

# 宁南黄土丘陵 26 年生主要人工灌木林碳密度及其分配特征

刘涛 (中共商丘市委党校经济学教研部, 河南商丘 476000)

**摘要** [目的] 基于宁南黄土丘陵区 26 年生主要人工灌木林样地调查数据, 分析林地碳密度及其分配规律, 以期为该地区人工灌木林碳效益估算提供基础数据。[方法] 在宁夏隆德县退耕还林实施区, 选择 26 年生沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)、柠条 (*Caragana korshinskii*) 和山毛桃 (*Prunus davidiana*) 灌木林设置样地, 测算灌木层、草本层的生物量, 并取 0~100 cm 土层土样, 测定不同土层土壤体积质量, 计算灌木层、草本层和土壤层的碳密度, 分析 3 种灌木林各组分及土壤碳密度的变化。[结果] 沙棘、柠条、山毛桃林地碳密度分别为 56.30、74.20 和 117.44 t/hm<sup>2</sup>, 其碳密度的空间分布格局基本一致, 即土壤层碳密度所占比例最大, 分别占 84.10%、74.49% 和 84.82%; 其次为灌木层, 所占比例分别为 15.03%、25.15% 和 15.00%; 草本层所占比例最小, 分别为 0.78%、0.36% 和 0.17%。沙棘、柠条和山毛桃 0~10 cm 土层碳密度分别为 50~100 cm 土层碳密度的 1.84、2.50 和 3.48 倍。[结论] 灌木层是植被碳密度的主体; 土壤碳密度随土层深度的增加而下降; 土壤碳库是林地碳密度的主体。

**关键词** 沙棘; 柠条; 山毛桃; 碳密度; 黄土丘陵区

中图分类号 S714.5 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)04-0103-03

## Carbon Density and Its Allocation Characteristics of 26-year-old Major Shrub Plantations in Hilly Loess Plateau, South Ningxia

LIU Tao (Economic Research Department, Shangqiu Municipal Committee Party School of CPC, Shangqiu, Henan 476000)

**Abstract** [Objective] Based on data obtained from a survey of sample plots of 26-year-old major shrub plantations, carbon density and their distribution patterns were analyzed, aiming at providing the basic data for estimation of carbon benefits of the plantations in Loess Plateau in south Ningxia. [Method] Based on shrub layer biomass, herb layer biomass, soil samples from 0-100 cm layers of plots, carbon density and its variation of each component of *H. rhamnoides*, *C. korshinskii* and *P. davidiana* shrub plantations in afforestation area of Longde county, Ningxia were quantified. [Result] The results showed that forest carbon density of *Hippophae rhamnoides*, *Caragana korshinskii* and *Prunus davidiana* were 56.30, 74.20 and 117.44 t/hm<sup>2</sup>, respectively, the carbon density spatial distribution pattern was consistent, namely the carbon density of soil layer accounted for the largest proportion, respectively 84.10%, 74.49% and 84.82%; followed by the shrub layer, the proportion was 15.03%, 25.15% and 15%; the smallest proportion of herbaceous layer were 0.78%, 0.36% and 0.17%. 0-10 cm soil layer carbon densities of *Hippophae rhamnoides*, *Caragana korshinskii*, and *Prunus davidiana* were 1.84, 2.50 and 3.48 times that of 50-100 cm soil layer, respectively. [Conclusion] Shrub layer is the majority of vegetation carbon density. Carbon density in soil layer decreased with soil depth increasing. Soil carbon pool is the majority of forest carbon density.

**Key words** *H. rhamnoides*; *C. microphylla*; *P. davidiana*; Carbon density; Hilly loess plateau

从工业革命开始, 化石燃料被大规模利用, 再加上土地利用方式转变, 空气中 CO<sub>2</sub> 积累量越来越多, 温室效应不断加剧。人工造林可以提高森林覆盖率, 成为世界各国碳减排工程的重要措施之一<sup>[1]</sup>。我国人工林面积世界第一, Fang 等<sup>[2]</sup>研究表明, 人工林是我国森林碳储量增加的主体。作为世界上灌丛分布面积最广的国家之一, 我国灌丛面积近 2 亿 hm<sup>2</sup><sup>[3]</sup>。20 世纪 70 年代以来, 黄土丘陵区大面积实施天然林保护工程、三北防护林工程和退耕还林工程等大型生态恢复工程<sup>[4]</sup>, 沙棘、柠条和山毛桃在宁南黄土丘陵区大面积种植<sup>[5-9]</sup>, 是该地区主要退耕灌木种。因此, 对该地区灌木林碳密度进行研究, 将有助于准确评估该地区灌木林地的碳储量。目前, 对沙棘、柠条固碳能力的研究不多<sup>[10-13]</sup>, 对山毛桃固碳能力的研究更少, 目前仅见少量报道<sup>[8-9, 11]</sup>, 三者的固碳现状、速率和潜力尚不明确。鉴于此, 笔者对宁南黄土丘陵区 26 年生沙棘、柠条和山毛桃林地碳密度及其分配规律进行研究, 以期为该地区人工灌木林碳效益估算提供基础数据。

## 1 材料与与方法

**1.1 试验地概况** 宁夏回族自治区固原市隆德县属于半湿润向半干旱过渡地区, 春季低温少雨, 夏季短暂且冰雹较多,

秋季阴涝, 冬季寒冷且持续时间长。年平均气温为全自治区最低, 仅 5.1℃, 1 月平均气温最低, 为 -25.7℃; 7—8 月平均温度最高, 为 30.4℃。年平均日照时数 2 128 h, 无霜期 124 d。年平均降水 400~700 mm, 主要集中在夏、秋 2 季, 特别是 7—9 月。持续干旱年时, 降水量下降, 灾害性天气主要有霜冻、冰雹等。

该试验中, 所有样点均设在隆德县张程乡, 造林前为坡耕地, 为典型的黄土丘陵地貌类型, 造林前后土壤类型为黄绵土, 造林后禁牧, 无人干扰。沙棘林样点位于 105°50′ E, 35°35′ N, 海拔 1 868~1 932 m, 坡度大多在 13°~18°, 林龄为 26 a, 灌木层平均盖度 55.11%, 平均基径 1.30 cm, 平均株高 155.20 cm, 林下草本主要以铁杆蒿、冰草等为优势种, 草本盖度 4.23%; 柠条林样点位于 105°50′ E, 35°34′ N, 海拔 1 793~1 854 m, 坡度大多在 13°~18°, 林龄为 26a, 灌木层平均盖度 43.67%, 平均基径 2.76 cm, 平均株高 170.60 cm, 林下草本以白羊草、硬质早熟禾等为优势种, 草本盖度 2.41%; 山毛桃林样点位于 105°52′ E, 35°37′ N, 海拔 1 893~2 013 m, 坡度大多在 16°~19°, 林龄 26 a, 灌木层平均盖度 33.67%, 平均基径 3.22 cm, 平均株高 162.4 cm, 林下草本以长芒草、铁杆蒿等为优势种, 草本盖度 2.52%。

**1.2 样地设置** 样地调查于 2011 年 8 月在宁夏固原市隆德县张程乡进行, 分别选择 26 年生沙棘、柠条和山毛桃代表性样点 1 个, 每个样点在坡顶、坡中、坡底分别选取 10 m × 10 m 样地 3 块, 每个样地沿对角线选 3 个 2 m × 2 m 小样方。

**基金项目** 国家自然科学基金面上项目(41271518); 中科院战略性先导科技专项(XDA05060300)。

**作者简介** 刘涛(1985—), 男, 安徽宿州人, 助教, 硕士, 从事林业生态学研究。

**收稿日期** 2017-11-22

**1.3 生物量测定** 在灌木样地每个2 m×2 m的小样方中,采用全挖法获取灌木叶、茎、根、草本地部分和草本地部分鲜重,然后按比例选取适量样品称量鲜重,并带回实验室。先测定叶、枝和根等组分的鲜重,然后分别采集各组分的样品,在室内105℃杀青后置于80℃恒温箱中烘至恒质量,计算含水量,将各组分的鲜质量换算成干质量。

**1.4 土壤样品的采集、处理和测定** 样地内用5 cm土钻取土样,取样深度为0~100 cm,其中0~30 cm每隔10 cm取样1次,30~50 cm取样1次,50~100 cm取样1次。每层随机打3钻土,同一层次土混合得到该层次土样。采集的土壤在自然条件下风干并碾碎,过孔径0.25 mm铁筛,用于碳含量测定。在样地内选择具有代表性的地段挖掘1个100 cm深的土壤剖面,然后沿剖面用环刀采集各层土壤作为原状土,带回实验室测定土壤体积质量。用重铬酸钾-硫酸氧化法测定植物样品的碳含量;用K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>容量法测定土壤样品的碳含量<sup>[14]</sup>。

**1.5 碳密度测定法** 单位面积生物量与碳含量相乘得出灌木各器官的碳密度;灌木各器官碳密度相加得出灌木层碳密度;单位面积生物量与碳含量相乘得出草本层碳密度;每个土层容重与碳含量相乘得出该土层的碳密度;各层土壤碳密度相加得出林地土壤碳密度;灌木层、草本层和林地土壤层碳密度相加得出林地碳密度。

**1.6 统计分析** 数据用Excel 2013和SPSS 19.0软件处理。数据均用“平均值±标准差”模式表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 植被碳密度及其分配

**2.1.1 灌木碳密度及其分配** 由表1、2可知,在沙棘、柠条和山毛桃3种灌木中,茎的碳密度所占比例均最高,分别为76.42%、65.35%和56.84%;其次是根,分别为16.38%、31.22%

和39.46%;叶最小,分别仅占7.20%、3.43%和3.70%。因此,茎是灌木层碳密度的主体。

表1 灌木不同器官碳密度

Table 1 Carbon density of different shrub organs t/hm<sup>2</sup>

灌木种 Shrub species	碳密度 Carbon density			
	叶 Leaf	茎 Stem	根 Root	全株 Total
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	0.61 ± 0.01 c	6.46 ± 0.19 a	1.39 ± 0.25 b	8.46 ± 0.32
柠条 <i>C. microphylla</i>	0.64 ± 0.08 c	12.20 ± 1.58 a	5.83 ± 0.34 b	18.66 ± 1.63
山毛桃 <i>P. davidiana</i>	0.65 ± 0.08 c	10.01 ± 1.39 a	6.96 ± 1.17 b	17.62 ± 2.64

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences among different treatments ( $P < 0.05$ )

表2 灌木不同器官碳密度分配

Table 2 Carbon density distribution of different shrub organs

灌木种 Shrub species	碳密度分配比例 Carbon density distribution ratio//%		
	叶 Leaf	茎 Stem	根 Root
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	7.20 ± 1.10 c	76.42 ± 2.25 a	16.38 ± 3.01 b
柠条 <i>C. microphylla</i>	3.43 ± 0.42 c	65.35 ± 8.47 a	31.22 ± 1.82 b
山毛桃 <i>P. davidiana</i>	3.70 ± 0.43 c	56.84 ± 7.87 a	39.46 ± 6.67 b

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences among different treatments ( $P < 0.05$ )

**2.1.2 植被(包括灌木和草本)碳密度及其分配** 由表3可知,碳密度的分配在不同灌木林之间差异不显著,但灌木层碳密度显著高于草本层,草本层仅在植被层碳密度中仅占很小比例,沙棘、柠条和山毛桃草本层碳密度分别占植被层的5.53%、1.41%和1.14%。

表3 植被层碳密度及其分配

Table 3 Carbon density and their distribution traits of vegetation layers

灌木种 Shrub species	碳密度 Carbon density//t/hm <sup>2</sup>			碳密度分配 Distribution ratio of carbon density//%		
	灌木 Shrub	草本 Herbaceous	植被 Vegetation	灌木 Shrub	草本 Herbaceous	植被 Vegetation
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	8.46 ± 0.32 a	0.49 ± 0.08 b	8.95 ± 0.25	94.47	5.53	100
柠条 <i>C. microphylla</i>	18.66 ± 1.63 a	0.27 ± 0.05 b	18.93 ± 1.67	98.59	1.41	100
山毛桃 <i>P. davidiana</i>	17.62 ± 2.64 a	0.20 ± 0.05 b	17.83 ± 2.64	98.86	1.14	100

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences among different treatments ( $P < 0.05$ )

**2.2 3种灌木林土壤层的碳密度** 由表4可知,3种灌木林土壤层的碳密度随着土层深度的增加呈下降趋势。0~10 cm土层碳密度均显著高于50~100 cm土层碳密度,沙棘、柠条和山毛桃0~10 cm土层碳密度分别是50~100 cm土层碳密度的1.84、2.50和3.48倍。

**2.3 3种灌木林地的碳密度及其分配** 由表3、5可知,土壤层是林地碳密度的主体,其次是灌木层,草本层所占比例最小。26年生沙棘、柠条和山毛桃林土壤层碳密度分别为47.34、55.27和99.61 t/hm<sup>2</sup>,分别占总碳密度的83.25%、74.10%和84.80%;植被层碳密度分别为8.95、18.93和17.83 t/hm<sup>2</sup>,分别占总碳密度的16.75%、25.90%和15.20%;土壤层与植被层碳密度之比为分别为4.97:1、2.86:1和

5.58:1。以上结果均说明,土壤层是一个极大的碳库。

表4 土壤碳密度及其分配

Table 4 Carbon density and their distribution traits t/hm<sup>2</sup>

土层深度 Depth of soil//cm	沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	柠条 <i>C. microphylla</i>	山毛桃 <i>P. davidiana</i>
0~10	7.46 a	10.48 a	17.62 a
10~20	6.34 ab	7.79 ab	18.98 ab
20~30	4.72 ab	6.02 ab	15.28 ab
30~50	4.26 ab	4.99 b	11.19 b
50~100	4.06 b	4.20 b	5.07 b
合计 Total	47.35	55.27	99.61

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences among different treatments ( $P < 0.05$ )

表 5 灌木地碳密度及其分配

Table 5 Carbon density and its distribution in shrub and forest land

灌木种 Shrub species	碳密度 Carbon density // t/hm <sup>2</sup>			碳密度分配 Distribution ratio of carbon density // %		
	植被 Vegetation	土壤 Soil	林地 Woodland	植被 Vegetation	土壤 Soil	林地 Woodland
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	8.95 ± 0.25 b	47.34 ± 12.22 a	56.30 ± 16.23	16.75	83.25	100
柠条 <i>C. microphylla</i>	18.93 ± 1.67 b	55.27 ± 10.52 a	74.20 ± 9.43	25.90	74.10	100
山毛桃 <i>P. davidiana</i>	17.83 ± 2.64 b	99.61 ± 16.07 a	117.44 ± 18.71	15.20	84.80	100

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences among different treatments ( $P < 0.05$ )

### 3 结论与讨论

沙棘、柠条和山毛桃林地碳密度分别为 56.30、74.20 和 117.44 t/hm<sup>2</sup>, 其中土壤层是林地碳密度的主体, 分别占 83.25%、74.10% 和 84.80%; 灌木层次之, 分别占 15.90%、25.38% 和 15.18% 的比例; 草本层最低, 分别占 0.87%、0.36% 和 0.17%。山毛桃林地碳密度较高, 其中, 土壤碳库贡献值很大, 可能是由于退耕前土壤碳密度基底值较高。灌木层碳密度占比不高, 主要由于与乔木林相比, 灌木林生产力较低<sup>[15]</sup>, 生物量较小, 对应的碳密度也低。

沙棘植被层碳密度为 8.95 t/hm<sup>2</sup>, 低于全国平均水平 10.88 t/hm<sup>2</sup><sup>[16]</sup>, 而柠条、山毛桃的植被层碳密度分别为 18.93 和 17.83 t/hm<sup>2</sup>, 高于全国平均水平, 可能是因为柠条、山毛桃的生长速度较快。三者的碳密度均高于同地区 7 年生沙棘、柠条和山毛桃人工林植被层碳密度<sup>[9]</sup>, 可能是因为生物量和碳密度随着林龄的增加而增大。另外, 林分碳密度受林龄<sup>[17]</sup>、栽植密度<sup>[18]</sup>等多种因素影响。该研究中, 草本层碳密度在植被层碳密度中所占比例较小, 可能是灌木层占据空间上层且生长速度快, 生物量高, 盖度大, 竞争优势明显, 严重影响了林下草本生长, 从而降低了草本层生物量和碳密度。

除了山毛桃土壤碳密度与全国平均碳密度 (91.7 t/hm<sup>2</sup>)<sup>[19]</sup> 较为接近外, 沙棘、柠条的碳密度均低于全国平均值, 主要原因是黄土丘陵区土壤基底碳含量普遍较低。该研究中, 沙棘、柠条林地土壤碳密度与王玉娇等<sup>[20]</sup> 对黄土丘陵区 23 年生油松林的研究结果接近, 油松林土壤层碳密度为 66.85 t/hm<sup>2</sup>, 也与刘迎春等<sup>[4]</sup> 对黄土丘陵区 27 年生油松林和 17 年生刺槐林的研究结果接近, 27 年生油松林和 17 年生刺槐林土壤层碳密度分别为 64.06、53.09 t/hm<sup>2</sup>。另外, 随着土壤深度的增加, 3 种林地土壤有机碳含量呈下降趋势, 与国内大多数研究结果一致<sup>[20-23]</sup>, 这可能是由于上层土壤生物归还量较大。

### 参考文献

[1] 史军, 刘纪远, 高志强, 等. 造林对土壤碳储量影响的研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 410-416.

(上接第 92 页)

[11] BROOKS R P, O'CONNELL T J, WARDROP D H, et al. Towards a regional index of biological integrity: The example of forested riparian ecosystems[J]. Environmental monitoring and assessment, 1998, 51(1/2): 131-143.

[12] 王强, 吕宪国. 鸟类在湿地生态系统监测与评价中的应用[J]. 湿地科学, 2007, 5(3): 274-281.

[13] 约翰·马敬能, 卡伦·菲力普斯. 中国鸟类野外手册[M]. 卢何芬, 译. 长沙: 湖南教育出版社, 2000.

[14] 刘月良. 黄河三角洲鸟类[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013.

[2] FANG J Y, CHEN A P, PENG C H, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. Science, 2001, 292: 2320-2322.

[3] 侯学煜. 中华人民共和国植被图[M]. 北京: 中国地图出版社, 1982.

[4] 刘迎春, 秋风, 于贵瑞, 等. 黄土丘陵区两种主要退耕还林树种生态系统碳储量和固碳潜力[J]. 生态学报, 2011, 31(15): 4277-4286.

[5] 靳甜甜, 傅伯杰, 刘国华, 等. 不同坡位沙棘光合日变化及其主要环境因子[J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1783-1793.

[6] 保长虎. 黄土高原丘陵沟壑区柠条人工种群繁殖特征及天然化发育[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.

[7] 李欣, 郑广芬, 陈晓光, 等. 宁夏灌木碳储量及其价值估算初探[J]. 宁夏工程技术, 2014, 13(2): 189-192.

[8] 刘涛. 宁南山区不同退耕模式生态系统碳密度及其分配特征研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.

[9] 刘涛, 党小虎, 刘国彬, 等. 黄土丘陵区 3 种退耕灌木林生态系统碳密度的对比研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(9): 68-72, 77.

[10] 崔静, 陈云明, 黄佳健, 等. 黄土丘陵半干旱区人工柠条林土壤固碳特征及其影响因素[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(9): 1197-1203.

[11] 陈新闯, 邢恩德, 董智, 等. 退耕还林工程建设对吴起县域植被碳储量的影响[J]. 国际沙棘研究与开发, 2014(4): 32-37.

[12] 佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等. 黄土丘陵区三种典型退耕还林土壤固碳效应差异[J]. 生态学报, 2012, 30(20): 6396-6403.

[13] 王鑫, 王金成, 刘建新, 等. 黄土高原人工沙棘林恢复阶段土壤黑碳、颗粒有机碳的积累[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 250-254.

[14] 孙波, 施建平, 杨林章, 等. 陆地生态系统土壤观测规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007: 289-293.

[15] 巩文, 巩根照, 奚存娃, 等. 甘肃省灌木林资源碳储量估算及预测[J]. 林业资源管理, 2014, 30(3): 87-90.

[16] 胡会峰, 王志恒, 刘国华, 等. 中国主要灌丛植被碳储量[J]. 植物生态学报, 2006, 30(4): 539-544.

[17] ZHAO M F, XIANG W H, PENG C H, et al. Simulating age-related changes in carbon storage and allocation in a Chinese fir plantation growing in southern China using the 3-PG model[J]. Forest ecology and management, 2009, 257(6): 1520-1531.

[18] 王蕾, 张景群, 王晓芳, 等. 黄土高原两种人工林幼林生态系统碳汇能力评价[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(7): 75-78.

[19] 李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被与土壤碳储量[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2003, 33(1): 72-80.

[20] 王玉娇, 陈云明, 曹扬. 黄土丘陵区油松人工林生态系统碳密度及其分配[J]. 生态学报, 2014, 34(8): 2128-2136.

[21] 杨金艳, 王传宽. 东北东部森林生态系统土壤呼吸组分的分离量化[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 1640-1647.

[22] 何志斌, 赵文智, 刘鹤, 等. 祁连山青海云杉林表层土壤有机碳特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2572-2577.

[23] 张城, 王绍强, 于贵瑞, 等. 中国东部地区典型森林类型土壤有机碳储量分析[J]. 资源科学, 2006, 28(2): 97-103.

[15] 陈振宁, 曾阳. 青海祁连地区不同生境类型蝶类多样性研究[J]. 生物多样性, 2001, 9(2): 109-114.

[16] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I $\alpha$  多样性的测度方法[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.

[17] 吴逸群. 陕西黄河湿地夏季鸟类群落结构与多样性分析[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(11): 34-36.

[18] 方文珍, 陈志鸿, 陈小麟, 等. 厦门滨海湿地冬季鸟类群落多样性研究[J]. 海洋科学, 2007, 31(1): 10-16.

[19] 尚玉昌. 动物的行为节律[J]. 生物学通报, 2006, 41(10): 8-10.