

近自然经营方式对不同林龄油松 人工林碳储量的影响

张涛¹, 罗于洋¹, 王树森¹, 张岑¹, 赵婧², 王春霞², 朝鲁蒙³

(1. 内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古农业大学 草原与资源环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 3. 赤峰市林业对外合作项目管理办公室, 内蒙古 赤峰 024005)

摘要: [目的] 近自然经营方式对旺业甸不同林龄油松人工林碳储量的影响进行研究, 为该地区油松人工林制定合理的森林经营方式提供理论支持。[方法] 以内蒙古自治区赤峰市喀喇沁旗旺业甸林场近自然经营条件下的油松人工幼龄林、中龄林、近熟林为研究对象, 以常规经营和未经经营作为对照, 对油松人工林碳储量开展了比较研究。[结果] ①植被、乔木和枯落物碳储量表现为: 未经经营>近自然经营>常规经营, 虽然近自然经营的低于未经经营的, 但是高于常规经营的, 近自然经营相对于常规经营来看, 有利于碳储量的增加。②林下草本层碳储量表现为: 近自然经营>常规经营>未经经营, 近自然经营有效的改变了林分结构, 促进了草本植物的生长和碳汇量的增加; ③林下灌木层碳储量而言, 由于林下灌木种类少, 株数低等因素的影响, 其碳储量无显著性规律。[结论] 总体来看, 如果从增加森林碳汇方面考虑, 未经经营利于森林碳汇的积累; 常规经营更有利于提高森林木材质量, 如果两方面都考虑, 近自然经营方式是最适合的。

关键词: 油松人工林; 林龄; 碳储量; 近自然经营

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)02-0040-06

中图分类号: S718.54⁺2

文献参数: 张涛, 罗于洋, 王树森, 等. 近自然经营方式对不同林龄油松人工林碳储量的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2): 40-45. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.02.007. Zhang Tao, Luo Yuyang, Wang Shusen, et al. Effects of natural alike management on carbon storage in *Pinus tabulaeformis* plantations under different forest age[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2): 40-45.

Effects of Natural Alike Management on Carbon Storage in *Pinus Tabulaeformis* Plantations Under Different Forest Age

ZHANG Tao¹, LUO Yuyang¹, WANG Shusen¹,

ZHANG Cen¹, ZHAO Jing², WANG Chunxia², CHAO Lumeng³

(1. College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural

University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 2. College of Grassland, Resources

and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;

3. International Forestry Cooperation Project Management Office of Chifeng City, Chifeng, Inner Mongolia 024005, China)

Abstract: [Objective] The effects of natural alike management on carbon storage in *Pinus tabulaeformis* plantations under different forest ages were studied in order to provide theoretical support for establishing reasonable forest management mode in *Pinus tabulaeformis* plantation. [Methods] This article took the young, middle-aged and near-mature *Pinus tabulaeformis* planted forest under natural alike management as example, and compared it with the forests under conventional management and no treatment, studied the carbon storage of the artificial *Pinus tabulaeformis* forest at Wangyedian forest farm of Chifeng City, Inner Mongolia. [Results] ①The carbon storages of vegetation, trees and litters were ranked as follow: values of the no treatment>the ones of natural alike management>the ones of conventional management. Although

收稿日期: 2017-07-29

修回日期: 2017-09-20

资助项目: 亚太森林恢复与可持续管理组织项目“多功能林业示范基地建设试点示范项目”(二期)(APFNet-EA/2016/004)

第一作者: 张涛(1992—), 男(汉族), 内蒙古自治区阿拉善旗人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持。E-mail: 1246812540@qq.com。

通讯作者: 罗于洋(1968—), 女(汉族), 陕西省榆林市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事沙地植物资源与保护研究。E-mail: luo 689715@163.com。

the carbon storage of natural alike forest management was lower than those of no treatment, but was higher than those of conventional management. It was benefit for the increase of carbon storage. ②Carbon storage of herbs had the following rank: values of natural alike management>the ones of conventional management>the ones of no treatment. The natural alike management effectively improve the forest structure, and helped herbaceous grow well and hence carbon storage increased. ③Because there were few species and densities of shrubs were low, on obvious regularity with respect to the carbon storage of shrub layer of these forests was found. [Conclusion] On the whole, if we consider the increase of forest carbon storage, it is conducive for the no treatment in term of the accumulation of forest carbon storage; the conventional management is more conducive for improving the quality of forest timber; if both aspects are considered, the natural alike management is the most appropriate one.

Keywords: carbon storage; forest age; close alike management; *Pinus tabulaeformis* plantation

气候变暖是全球面临的最主要生态问题之一^[1],根据世界气象组织 2016 年 10 月 24 日发布的最新《温室气体公报》,2015 年全球 CO₂ 平均浓度已经达到了 400 mg/kg,是工业化前的 144%,2014—2015 年二氧化碳的增加值远超过去 10 a 增量的平均值^[2]。CO₂ 在大气中的积累,不仅引发了海平面上升、湖泊萎缩、物种灭绝,极端气候事件频发等问题,而且对全球的农业、牧业、水产、海洋、森林生态系统以及人体健康、社会经济产生严重影响,直接威胁到人类的生存和发展,因而引起国际社会的普遍关注^[3]。森林是陆地生态系统的主体,包含陆地生态系统地上碳库的 80%和地下碳库的 40%,含碳量高达 638 Gt,是地球最主要的碳库之一,并在全球气候变化和减少温室气体 CO₂ 排放过程中起着重要作用^[4-5]。因此,森林在全球碳循环中占主导地位。近年来,国内外学者对森林的碳循环做过大量的研究。如 FAO 在《2010 年全球森林资源评估报告》指出,2005—2010 年世界森林总面积略超过 4.00×10^9 hm²,但是仍在减少,森林砍伐速度趋于减缓,但仍高的惊人,不过大规模的植树造林活动使全球森林面积净损失明显减少^[5]。方精云等^[6]利用森林资源清查数据估算了我国森林总碳储量,结果表明北半球中高纬度的森林在固碳释氧、减缓气候变暖、维护全球碳平衡等方面起着重要作用。

油松(*Pinus tabulaeformis*)作为华北地区主要造林树种,具有成活率高,生长迅速,抗瘠薄、抗风和抗寒等特点。目前,我国已有一些学者对油松林碳储量进行了研究,并取得了一些成果。马钦彦等^[7]在这方面做了深入研究,该研究根据我国油松林面积的分布情况,利用生物量清单法分龄组对我国油松林生物量进行了估算,并按生物量碳转化系数 0.5 计算出了各龄组的林分碳储量。研究得出,中国油松林总碳储量为 6.898×10^6 t,林分平均碳密度为 33.5 t/hm²,说

明中国油松林具有较大的碳汇潜力。关于中国油松林碳储量的研究除了国家尺度上的研究外,还有一些小尺度上的研究。孟蕾等^[8]对黄土高原子午岭地区 20 年生的油松人工林进行了研究,通过生物量清查法并自行测定林分各组分含碳率来估算碳储量。

近自然经营模式是近年来提出来的一种新的尝试,通过人为干扰使森林经营接近自然状况,也是森林可持续经营的一种森林经营模式。国外关于近自然经营模式在森林方面的研究已有许多成功的案例^[9],已证实近自然经营是一种兼顾森林生态效益和经济效益的经营模式,符合人类经营森林的目标。与未经营和常规经营相比,它不仅能够改善林冠结构,满足森林生态可持续健康发展,实现森林经营的生态效益,还能在维持生态平衡的基础上产出优质木材,满足人类对木材日益增长的需求,实现森林经营的经济效益^[10-11]。陆元昌^[12]在目标树森林经营的理论与实践中指出,近自然经营通过标记目标树,对目标树进行单株抚育管理,能够在保持森林可持续发展的前提下,实现林木最大生产力,从而提高森林碳储量。戎建涛等^[13]以黑龙江省丹清河林场不同经营模式的针叶混交林、阔叶混交林、针阔混交林 3 种天然次生林为研究对象进行研究,结果表明目标树经营能够增加林分、土壤、乔木层碳贮量,是提高东北天然次生林碳汇功能的重要经营模式。方昕等^[14]研究表明,间伐 5 a 后杉木人工林乔木层碳贮量相比对照林分下降了 17.37%。若能给林分足够多的生长时间,则间伐引起的碳贮量差异最终会由于保留木的生长促进效益而得以弥补。邓华卫等^[15]运用空间景观模型模拟了采伐模式和无采伐 2 个预案下小兴安岭林区森林碳贮量及其主要树种碳贮量 200 a 间的动态变化;叶雨静等^[16]以长白山林区地带性植被阔叶红松(*Pinus koraiensis*)林为对象,将采伐木按使用方式进行分类,通过调查采伐前后乔木组成的变化及采伐木实

际排放情况,研究了采伐前后森林碳贮量的动态变化。这些研究为认识不同经营模式对人工林碳储量的影响奠定了基础,但对于近自然经营条件下的华北地区不同林龄的油松人工林碳贮量影响变化研究还少见报道。鉴于此,本研究通过对内蒙古自治区赤峰市喀喇沁旗旺业甸林场的调查,选取油松人工林为研究对象,比较研究近自然经营、常规经营、未经营 3 种模式下林分植被和枯落物碳储量的变化情况,从而来确定近自然经营对华北地区油松人工林森林碳汇的影响,为这一地区油松人工林制定合理的森林经营方式提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区赤峰市喀喇沁旗旺业甸

林场,地理坐标为北纬 41°20′—41°40′,东经 118°10′—118°29′。地处燕山北部山地的七老图山支脉,平均海拔 1 120 m。土壤类型多样,但以典型棕壤为主。气候呈明显的海洋性气候向大陆性气候交错的气候带,年平均降水量为 522.6 mm,年平均气温 3.9℃。植被种类丰富,主要以人工林和通过封山育林形成的次生林为主。林分类型有油松、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、白桦(*Betula platyphylla*)、黑桦(*Betula dahurica*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样方调查 2016 年在油松人工幼龄林、中龄林、近熟林中分别选取近自然经营(2013 年经营)、常规经营(2013 年经营)、未经营样地设置样方,每个类型 3 个重复,共 27 块样方,样地为圆形,半径为 13.82 m,面积为 600 m²,研究对象基本情况详见表 1。

表 1 旺业甸不同林龄不同经营方式林分基本情况

林分类型	经营模式	造林时间	海拔/m	坡位	坡度/(°)	林分密度/ (株·hm ⁻²)	抚育 方式	采伐强度/ %
油松人工 近熟林	近自然经营	1975 年	1 372~1 435	东	11~16	672	生长伐	17.7
	常规经营	1975 年	1 419~1 467	北	10~15	661		21.2
	未经营	1975 年	1 423~1 457	北	13~15	694		—
油松人工 中龄林	近自然经营	1985 年	1 165~1 201	西	18~20	1 212	生长伐	16
	常规经营	1985 年	1 129~1 157	南	15~20	1 061		28
	未经营	1985 年	1 151~1 171	南	15~22	1 355		—
油松人工 幼龄林	近自然经营	2004 年	1 146~1 188	东	16~20	4 616	定株	30
	常规经营	2004 年	1 173~1 219	东	17~22	3 855		30
	未经营	2004 年	1 194~1 237	东	20~23	3 238		—

常规经营模式按国家林业局《森林采伐作业规程》和《森林抚育作业设计规定》规程,包括幼林抚育和中、近熟林抚育采伐。近自然经营模式以促进目标树生长为核心的抚育伐,主要以目标树为核心定期标记并伐除与形成竞争的树木(干扰树),定期对目标树进行割灌并清除杂草,直到其达到目标直径后采伐利用。以促进目标树生长为核心的抚育伐又称为“目标树空间释放伐”。通过采伐与目标树形成竞争的干扰树,调节目标树的营养面积,释放目标树树冠生长空间,增强其稳定性,提高目标树的生长量和单木质量。未经营主要以自然恢复为主,不进行人为经营活动,幼苗、幼树以自然更新为主。

1.2.2 乔、灌、草的调查 乔木的调查,在标准样地内,由圆心开始,按照方位角以及半径给树木标号,并且记录乔木的树种,测量其胸径、树高、冠幅等情况。分别在每个乔木样方内设置 1 个灌木样方和 1 个草本样方。灌木样地采用 5 m×5 m 样方,共 27 个样方。

草本采用 1 m×1 m 样方,共 27 个样方。调查方法采用刈割法。将收的灌木、草本称鲜重,带回在 65℃烘箱经 24 h 烘干至恒重,称重即得其干物质质量。

1.2.3 枯落物的调查 在每个乔木样方内随机选取 1 个 0.5 m×0.5 m 的小样方,共 27 个样方。将未分解层和半分解层分别装入密封袋中。称鲜重,然后带回实验室将其烘干再称重。

1.2.4 植被和枯落物碳储量的计算 根据已经调查的油松树种胸径和树高,查当地一元材积表,计算材积量和蓄积量,根据油松的木材密度、根茎比、生物量扩展因子和含碳率,计算单位面积乔木树种的碳储量。

依据国家发展与改革委员会 2013 年发布的《碳汇造林方法学》,采用生物量扩展因子法计算油松人工林碳储量(表 2)。其计算公式为:

$$CS = V \cdot D \cdot BEF \cdot (1 + R) \cdot CF \times 44 / 12$$

式中:CS——各造林树种林分碳储量(t/hm²);
V——各造林树种林分蓄积量(m³/hm²); D——树

种基本木材密度($\text{t} \cdot \text{dm}/\text{m}^3$); BEF——将树种的树干生物量转换到地上生物量的生物量扩展因子,无量

纲; R ——树种林分地下生物量与地上生物量比; CF——各树种含碳率。

表 2 油松林碳汇计算参数

项 目	材积公式	生物量含碳率 CF	根茎比 R	基本木材密度 D	生物量扩展 因子 BEF
乔木层	$y=0.000\ 09x^{2.506\ 2}$	0.521	0.251	0.36	1.589
灌木层	—	0.47	0.40	—	—
草本层	—	0.45	0.87	—	—
枯落物层	—	0.45	—	—	—

注: y 为林木材积量(m^3); x 为林木胸径(cm)。表中参数来源于国家发展与改革委员会《碳汇造林方法学》2013 年以及文献[17-18]。

2 结果与分析

2.1 近自然经营对油松人工林乔木层碳储量的影响

从油松人工林来看,近自然经营、常规经营的乔木层碳储量分别为 154.34 和 $138.17\ \text{t}/\text{hm}^2$,较未经营分别减少了 $12.47, 28.64\ \text{t}/\text{hm}^2$ 。由图 1 可知,油松近熟林和中龄林在 3 种不同经营模式下的乔木碳储量均为:未经营($293.42, 191.88\ \text{t}/\text{hm}^2$)>近自然经营($262.14, 185.69\ \text{t}/\text{hm}^2$)>常规经营($227.79, 172.95\ \text{t}/\text{hm}^2$),而且常规经营与未经营表现为差异性显著($p<0.05$)。而油松幼龄林碳储量在 3 种经营方式下无显著性差异($p>0.05$)。

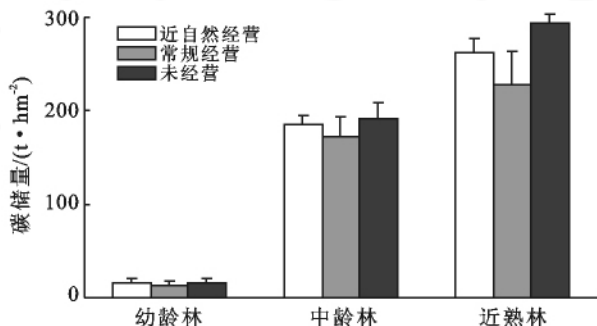


图 1 研究区不同林龄油松人工林乔木层碳储量

2.2 近自然经营对油松人工林灌木层碳储量的影响

由图 2 可知,油松人工林幼龄林、中龄林、近熟林的灌木层碳储量分别 $2.33, 0.32, 0.41\ \text{t}/\text{hm}^2$ 。由于油松人工林林下灌木层灌木量较小,而且分布不规则,因此导致油松人工林不同林龄的碳储量无显著性规律。

2.3 近自然经营对油松人工林草本层碳储量的影响

油松人工中龄林和近熟林林下草本层碳储量均表现为:近自然经营($3.85, 1.74\ \text{t}/\text{hm}^2$)>常规经营($3.24, 1.56\ \text{t}/\text{hm}^2$)>未经营($0.83, 0.58\ \text{t}/\text{hm}^2$)。而油松人工幼龄林呈现出:常规经营($0.46\ \text{t}/\text{hm}^2$)>近自然经营($0.38\ \text{t}/\text{hm}^2$)>未经营($0.30\ \text{t}/\text{hm}^2$)。

总体来看,油松人工林林下草本层碳储量表现为:近自然经营($1.99\ \text{t}/\text{hm}^2$)>常规经营($1.75\ \text{t}/\text{hm}^2$)>未经营($0.57\ \text{t}/\text{hm}^2$),3 种经营方式下无显著性差异($p>0.05$)(图 3)。

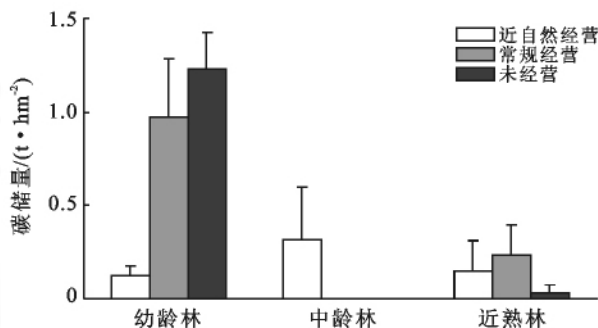


图 2 研究区不同林龄油松人工林灌木层碳储量

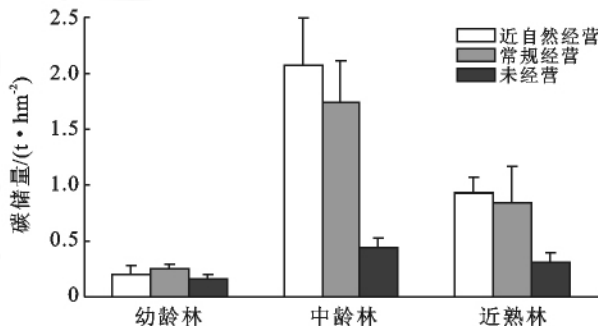


图 3 研究区不同林龄油松人工林草本层碳储量

2.4 近自然经营对植被碳储量的影响

油松人工林植被碳储量表现为:未经营($167.80\ \text{t}/\text{hm}^2$)>近自然经营($156.52\ \text{t}/\text{hm}^2$)>常规经营($140.33\ \text{t}/\text{hm}^2$)且常规经营与未经营表现为差异性显著($p<0.05$)。在油松人工幼龄林中,3 种经营方式无显著性差异($p<0.05$),乔木层、灌木层、草本层在植被碳储量的百分比依次为 $90.60\% \sim 96.81\%, 0.83\% \sim 7.38\%, 1.80\% \sim 3.02\%$ 。在中龄林林分碳储量中,常规经营与未经营差异显著($p<0.05$);与近自然经营差异不显著,乔木层、灌木层、草本层在植被碳储量

的百分比依次为 97.81%~99.57%, 0%~0.17%, 0.43%~2.03%。在近熟林植被碳储量中, 常规经营与未经营差异性显著 ($p < 0.05$), 乔木层、灌木层、草本层在植被碳储量的百分比依次为 99.21%~99.79%, 0.01%~0.10%, 0.20%~0.68% (图 4)。

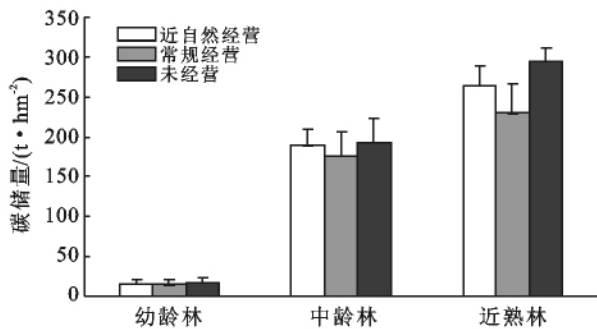


图 4 研究区不同林龄油松人工林植被碳储量

2.5 近自然经营对枯落物层碳储量的影响

油松人工幼龄林未经营和近自然经营的枯落物层碳储量 (4.51, 3.38 t/hm²) 均大于常规经营 (3.26 t/hm²), 油松人工中龄林枯落物层碳储量表现为: 未经营 (5.42 t/hm²) > 近自然经营模式 (4.66 t/hm²) > 常规经营 (4.62 t/hm²)。油松人工近熟林枯落物层碳储量表现为: 未经营 > 近自然经营模式 > 常规经营, 其碳储量分别为 7.84, 7.79, 5.69 t/hm²。总体来说, 在 3 种不同经营模式下, 未经营模式人工林枯落物碳储量比近自然经营模式 (4.93 t/hm²) 高 0.33 t/hm²; 比常规经营 (4.52 t/hm²) 高 0.74, 达到 5.26 t/hm²。3 种经营方式下无显著性差异 ($p > 0.05$) (图 5)。

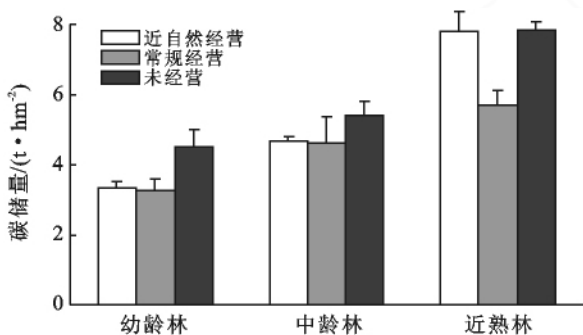


图 5 研究区不同林龄油松人工林枯落物层碳储量

3 讨论

本研究中油松人工幼林龄、中林龄和近熟林乔木层碳储量表现为: 未经营 (166.81 t/hm²) > 近自然经营 (154.34 t/hm²) > 常规经营 (138.17 t/hm²), 与张国庆等^[19]在四川盆地的研究结论一致。这是因为通

过对 3 种森林经营模式的经营方法的分析可知, 常规经营模式的采伐强度为 21.2%~28%, 在采伐过程中, 林分内大径级的林木被大量主伐, 所释放的空间被抚育更新的树木所占据, 但由于经营时间仅为 3 a, 许多小径级的更新树木仅为幼苗, 最终导致林分密度不大, 林分的平均胸径减少, 林分的碳储量降低; 而近自然经营模式的采伐强度为 16%~17.7%, 在采伐过程中主要以目标树为核心定期标记, 选定目标树后伐除与其形成竞争的树木 (干扰树), 因此林分中保留了一定数量的大径级林木, 而与其形成竞争的小径木被移除, 最终必然导致其平均胸径大幅增加, 林分碳储量增加, 但林分密度要高于常规经营, 而梁星云^[20]的研究表明, 在东北红松 (*Pinus koraiensis*) 天然次生林中, 传统经营模式的林分密度要高于目标树经营模式, 原因在于其经营时间从 1980 年代开始, 长达 20 a, 许多更新的树木被自然引进, 导致林分密度的增大, 本研究经营时间仅为 3 a, 许多更新树木仅为幼苗, 没有达到起测胸径。修勤绪等^[21]发现通过近自然经营, 黄土高原人工油松林林分平均胸径增加。综上所述, 如果从增加森林碳汇方面考虑, 未经营利于森林碳汇的积累; 常规经营更有利于提高森林木材质量, 如果两方面都考虑, 近自然经营方式是最适合的。

灌木层、草本层、枯落物层是森林群落重要的组成部分, 其碳储量对于生态系统的物质循环能量流动以及整个碳循环发挥着重要作用。对于林下灌木层碳储量而言, 由于林下灌木种类少, 株数低等因素的影响, 其碳储量无显著性规律。根据标准地调查所知, 该样地林下灌木仅有土庄绣线菊 (*Spiraea pubescens*)、东陵八仙花 (*Hydrangea bretschneideri*)、毛榛 (*Corylus mandshurica*)、六道木 (*Abelia biflora*), 共 4 种。3 种森林经营模式下草本层碳储量表现为: 近自然经营 (1.99 t/hm²) > 常规经营 (1.75 t/hm²) > 未经营 (0.57 t/hm²)。近自然经营有利于林下草本碳储量的增加。王雷等^[22]的研究表明近自然经营有助于落叶松林下生物物种的生长, 可以增加林下物种的多样性, 促进生物量的积累, 从而增加碳储量。而常规经营模式采伐量大, 郁闭度低, 一定条件的光照促进了林下草本层植物的生长; 未经营由于林分郁闭度高加上乔木层和灌木层的抑制, 使得草本层植物生物量降低。油松人工幼林龄、中林龄和近熟林中林下枯落物层碳储量表现为: 未经营 (5.26 t/hm²) > 近自然经营模式 (4.93 t/hm²) > 常规经营 (4.52 t/hm²)。这是因为间伐过程中, 大量地移除木材及采伐剩余物, 降低了枯落物在林地的蓄积, 这与明安刚等^[23]的研究结果一致。

3种经营模式植被碳储量表现为:未经营(167.80 t/hm^2) $>$ 近自然经营(156.52 t/hm^2) $>$ 常规经营(140.33 t/hm^2)。植被碳储量与乔木碳储量相一致,在森林植被中,乔木层是吸收 CO_2 的主体。常规经营模式采取“采大留小”的方式来获取木材发挥森林的经济价值,林分密度较大,但是小径木的比例大,平均胸径小,降低林木的蓄积量,从而减小碳储量;近自然经营模式以促进目标树生长为核心并定期标记并伐除与形成竞争的树木(干扰树),直到其达到目标直径后采伐利用。使得林分的密度最小,平均胸径最大,促进乔木蓄积量的积累,从而增加碳储量;未经营模式以自然恢复为主,经营时间短导致林分密度相对较大,平均胸径较高,使得碳储量最大。但3种经营模式之间差异未达到显著水平。

4 结论

(1) 3种森林经营模式下,油松人工幼龄林、中龄林、近熟林中乔木层、植被和枯落物层碳储量均表现为未经营($166.81, 167.80, 5.26 \text{ t/hm}^2$) $>$ 近自然经营($154.34, 156.52 \text{ t/hm}^2$) $>$ 常规经营($138.17, 140.33, 4.52 \text{ t/hm}^2$),虽然近自然经营的低于未经营的,其原因主要在于经营时间相对较短,但相对于常规经营,近自然经营的碳储量有大幅度提高。

(2) 在油松人工幼龄林、中龄林、近熟林中近自然经营草本层碳储量(1.99 t/hm^2)大于常规经营(1.75 t/hm^2)和未经营(0.57 t/hm^2),且3种经营模式无显著性差异($p>0.05$)。近自然经营改善了林分结构,有利于草本层碳储量的积累。

(3) 林下灌木层碳储量而言,由于林下灌木种类少,株数低等因素的影响,其碳储量无显著性规律。

(4) 如果从增加森林碳汇方面考虑,未经营利于森林碳汇的积累;常规经营更有利于提高森林木材质量,如果两方面都考虑,近自然经营方式是最适合的。

[参考文献]

- [1] 陈乐蓓. 不同经营模式杨树人工林生态系统生物量与碳储量的研究[D]. 江苏 南京:南京林业大学,2008.
- [2] 世界气象组织. 温室气体公报[OL/BL]. (2016-0505) [20170606]. <http://www.wmo.int/gaw>. 2016.
- [3] 王宁. 山西森林生态系统碳密度分配格局及碳储量研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.
- [4] Hoover C M, Leak W B, Keel B G. Benchmark carbon stocks from old-growth forests in Northern New England, USA[J]. Forest Ecology and Management, 2012, 26(6):108-114.
- [5] FAO. Production Yearbook [M]. Italy Rome: Food & Agriculture Organization, 2011.
- [6] 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,1996,16(5):497-508.
- [7] 马钦彦,谢征鸣. 中国油松林碳储量基本估计[J]. 北京林业大学学报,1996,18(3):31-34.
- [8] 孟蕾,程积民,杨晓梅,等. 黄土高原子午岭人工油松林碳储量与碳密度研究[J]. 水土保持通报,2010,30(2):133-137.
- [9] McRoberts R E, Winter S, Chirici G, et al. Assessing Forest Naturalness[J]. Forest Science, 2012, 58(3):294-309.
- [10] 杜强,张永涛. 近自然林业在我国的应用[J]. 中国水土保持科学,2010,8(1):119-124.
- [11] 高彦明,王兰,高艳梅,等. 德国巴伐利亚的近自然林业实践[J]. 世界林业研究,2009(1):68-72.
- [12] 陆元昌. 目标树森林经营的理论与实践[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [13] 戎建涛,何友均. 不同森林经营模式对丹清河林场天然次生林碳贮量的影响[J]. 林业科学,2014,50(9):26-35.
- [14] 方晰,田大伦,项文化. 间伐对杉木人工林生态系统碳贮量及其空间分配格局的影响[J]. 中南林业科技大学学报:自然科学版,2010,30(11):47-53.
- [15] 邓华卫,布仁仓,刘晓梅,等. 模拟分类经营对小兴安岭林区森林生物量的影响[J]. 生态学报,2012,32(21):6679-6687.
- [16] 叶雨静,于大炮,王玥,等. 采伐木对森林碳储量的影响[J]. 生态学杂志,2011,30(1):66-71.
- [17] 王欢. 北京妙峰山林场林下灌草层生物量及固碳效益研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.
- [18] 胡海清,罗碧珍,魏书精,等. 大兴安岭5种典型林型森林生物碳储量[J]. 生态学报,2015,35(17):5745-5760.
- [19] 张国庆. 不同经营措施对马尾松人工林生态系统碳储量的影响[D]. 四川 成都:四川农业大学,2008.
- [20] 梁星云. 不同森林经营模式对东北红松天然次生林群落生态特征的影响机制研究[D]. 广西南宁:广西大学,2013.
- [21] 修勤绪,陆元昌,曹旭平,等. 目标树林分作业对黄土高原油松人工林天然更新的影响[J]. 西南林学院学报,2009,29(2):13-19.
- [22] 王雷,周永斌,宋雪丽,等. 不同经营措施对冰砬山森林公园落叶松生长量和生物量的影响[J]. 农业机械化与电气化,2007,174(6):20-22.
- [23] 明安刚,张治军,湛红辉,等. 抚育间伐对马尾松人工林生物量与碳贮量的影响[J]. 林业科学,2013,49(10):1-6.