Journal of Sichuan Forestry Science and Technology

重庆万州马尾松林经营碳汇项目计量研究

孟祥江

(重庆市林业科学研究院 重庆 400036)

摘 要: 对重庆万州马尾松林经营碳汇项目进行计量研究的结果表明: 项目期 30 年,基线情景下碳汇量累计为 57 552 tC 项目情景下碳汇量累计为180 572 tC 是基线情景下的 3. 13 倍; 项目净碳汇量为123 020 tC 换算成 CO_2 当量为451 074 tCO_2 — e 年均每 hm^2 碳汇量为 2. 89 tCO_2 — e。 通过森林经营可以有效增加碳储量,增强碳汇能力,对于建立碳汇效益补偿机制,完善碳汇交易市场,改善生态环境和应对区域气候变化有着重要意义。

关键词: 森林经营; 碳汇; 马尾松; 重庆

中图分类号: S727 文献标识码: A 文章编号: 1003 - 5508(2014) 02 - 0013 - 05

A Study of Measuring Carbon Sequestration of *Pinus massoniana*Forest Management Project in Wanzhou Disrict Chongqing

MENG Xiang-jiang

(Chongqing Academy of Forestry Chongqing 400036 China)

Abstract: The carbon sequestration of *Pinus massoniana* Forest Management Project in Wanzhou District was measured. The results showed that the carbon sequestration of the baseline scenario was accumulated to 57 552 tC and the carbon sequestration of project scenario was cumulated to 180 572 tC ,which was 3. 13 times the baseline scenario. Project net carbon sequestration was 123 020 tC ,which could be converted into 451 074 t CO₂ equivalent and the average annual amount of carbon sequestration was 2. 89 t CO₂ – e per hectare. Through forest management carbon storage could be effectively increased and the capacity of carbon sequestration could be enhanced. It was of great significance for establishing the carbon sequestration benefit compensation mechanism perfecting the carbon trade market improving the ecological environment and tackling regional climate changes.

Key words: Forest management , Carbon sequestration Pinus massoniana , Chongqing

以气候变暖为主要特征的气候变化给全球社会 经济发展带来了重大而深远的影响,是各国面临的 严峻挑战,引起了国际社会的广泛关注。作为陆地 生态系统中最大碳库的森林生态系统,是全球最为 经济的吸收二氧化碳的手段,在降低温室气体浓度、 减缓全球气候变暖中,具有十分重要的作用,许多国 家和国际组织都在积极利用森林碳汇应对气候变 化。因此,积极推动以森林碳汇为主的生态服务市 场的建立和发展成为林业应对气候变化工作的重要 内容。

森林增加碳汇主要有两种途径,一是增加森林面积,提高森林碳汇能力。全国第七次森林资源清查结果显示[1],我国现有森林面积 1.95 亿 hm²,森林覆盖率 20.36%,碳储量为 78.1 亿 t。我国政府还承诺,到 2020 年要在 2005 年基础上增加森林面积4 000万 hm² 和森林蓄积量 13 亿 m³; 二是通过加

收稿日期: 2012-11-06

基金项目: 重庆市科委基本科研业务专项"重庆市碳汇造林固碳成本效益研究"(项目编号: BS1103)

作者简介: 孟祥江(1971-) 男 安徽固镇人 高级工程师 博士后 从事森林生态学、森林经理学、林业碳汇方面的研究。

E-mail: mxj517@ sina. com.

强森林经营 提高森林质量 增强森林碳汇功能。可 见 林业已成为我国发展低碳经济的最有效途径。 我国政府十分重视通过森林经营增汇减排工作, 2010年 国家林业局印发了《碳汇造林技术规定(试 行)》规定了碳汇造林地点选择、调查和作业设计、 树种选择、造林方式、整地栽植、未成林抚育、检查验 收、档案管理等。中国碳汇基金会在温州森林经营 增汇试点的基础上,编制了温州森林经营碳汇项目 方法学。由国家林业局组织、中国绿色碳汇基金会 参与编写的《碳汇造林项目方法学》和《竹子造林碳 汇项目方法学》已通过国家发改委审核,并于2013 年 10 月正式发布,作为温室气体自愿减排方法学予 以备案。森林经营碳汇项目方法学,也已经向国家 发改委上报 正在审核过程中。这些林业碳汇项目 方法学的发布,为林业碳汇项目减排量进入国家碳 排放权交易试点提供了依据。重庆市现有森林面积 347. 23 万 hm² ,森林覆盖率 42. 1% ,其中低质低效 林占有一定比重。研究利用现有相对成熟的森林经 营项目方法学 选择重庆万州区后山镇做为森林经 营增汇试点 通过加强抚育新间伐管理 对现有低效 林进行改造 促进森林增长 有利于增加森林生物量 和碳储量 增强森林碳汇能力 对于构建碳汇交易市 场,建立碳汇效益补偿机制,发展重庆碳汇林业,改 善生态环境和应对区域气候变化有着重要意义。

1 区域概况和研究方法

1.1 研究地概况

研究区后山镇,幅员面积 78. 86 km²。位于万州区西部,长江北岸,距离万州主城区 70 余 km。境内坐落扇子山,由中、低山丘构成深丘地貌特征,沟壑纵横,地质复杂,地形多样,海拔在 520 m~1 345 m之间。属亚热带暖湿润东南季风气候,气候温和,雨量充沛,无霜期长,冬暖春早,四季分明。年平均气温 18.1℃,最冷月 1 月平均气温 6.6℃,最热月 8 月平均气温 28. 4℃,10℃以上积温5 800 ℃~6 000℃;平均日照时数1 284 h,无霜期 306 d。年降水量1 200 mm~1 300 mm 相对湿度为 80%。水热条件适度,有利于森林植物生长。土壤分布有冲积土、紫色土和矿质黄壤等。林分起源以人工林和人工促进天然更新为主,树种以马尾松($Pinus\ massoniana$),有少量杉木($Cunninghamia\ lanceolata$),林木较为密

集。自然分化现象严重。

1.2 碳库选择

国际上通行的做法是把森林碳库划分为地上生物量、地下生物量、枯落物、枯死木和土壤有机质 5 大碳库。鉴于在计入期内土壤有机质碳库碳储量变化相对较小,且计量复杂、不确定因素较多且成本较高 枯落物和枯死木碳库中的碳储量一般较低,因此根据成本有效性、不确定性和保守性等原则,研究仅计量地上生物量和地下生物量两个碳库。

1.3 典型样地设置与调查

通过采取典型样地调查 样地涉及 11 个小班。每个小班建 3 个 20 m×30 m 典型样地 ,共 33 个。同时建 7 个标准对比样地进行对照研究。

1.4 碳汇计量方法

由于项目活动涉及基线、温室气体源排放和泄漏等问题,因此实际产生的净碳汇量为项目碳储量变化量,减去项目活动在项目边界内增加的排放量,减去基线碳储量变化量,再减去造林项目引起的边界外温室气体源排放的增加量(即泄漏)^[2]。

 $C_{\text{Proj},r} = \Delta C_{\text{Proj},r} - GHG_{E,r} - LK_t - \Delta C_{BSL,r}$ 式中, $C_{\text{Proj},r}$ 为第 t 年的项目净碳汇量(t CO_2 - e \cdot a^{-1}), $\Delta C_{\text{Proj},r}$ 为第 t 年项目碳储量的变化量(t CO_2 - e \cdot a^{-1}), $GHG_{E,r}$ 为第 t 年项目边界内增加的温室气体排放量(t CO_2 - e \cdot a^{-1}), LK_t 为第 t 年项目活动引起的泄漏(t CO_2 - e \cdot a^{-1}), $\Delta C_{BSL,r}$ 为第 t 年基线碳储量变化量(t CO_2 - e \cdot a^{-1}) t 为项目开始后的年数(a)。

马尾松碳储量计量模型为:

 $CS = V \cdot WD \cdot BEF(1 + R) \times 0.47 \times 44/12$ 式中 CS 为马尾松林分碳储量($t CO_2 \cdot hm^{-2}$) V 为蓄积量($m^3 \cdot hm^{-2}$) WD 为木材密度($t \cdot m^{-3}$) ,研究取国家参考值 0.478 EF 为生物量扩展因子,研究取国家参考值 1.765 R 为根茎比,取 IPCC 参考值 0.244 0.47 为平均含碳率。

马尾松蓄积量异速生长方程采用中国川西北退 化土地造林再造林项目马尾松天然林生长模型^[3]:

$$CS = NT_{(A)} \cdot 0.0958(1 - e^{t - 0.0753 \cdot A)})^{2.3806}$$

式中 V 为蓄积量($m^3 \cdot hm^{-2}$) $NT_{(A)}$ 为造林密度(单位: 株 $\cdot hm^{-2}$)。

(4)资料来源

采用的基本资料为重庆市森林资源规划设计调查(二类调查)报告数据资料和相关文献资料,在此

基础上经整理分析后形成。相关参数来源于国家和2006 年 IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会) 国家温室气体清单办法: 农业、林业和其它土地利用以及《中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南》。

2 结果与分析

2.1 基线情景马尾松林分碳储量及其变化

计量结果表明(表1) 在基线情景下,项目期开始时,现有25 a 生马尾松碳储量量为203 829 tC。随着项目计入期的增加,碳储量也随之增加,当项目期30 a 时马尾松林龄达到55 a 时,碳储量将会达到261 380 tC。基线情景下30 a 碳储量增加亦即累计碳储量变化量为57 552 tC 年均增加1 918.4 tC。项

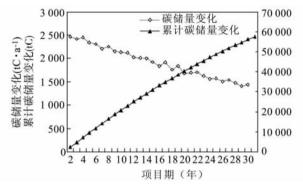


图 1 基线情景马尾松年均碳储量及累计碳储量变化 Fig. 1 Annual carbon storage change and cumulative carbon storage of *Pinus massoniana* in baseline scenario

表 1 基线情景马尾松林分碳储量及变化
Table 1 Carbon storage of *Pinus massoniana* and its change in baseline scenario

Table 1		Carbon storage of Pinus massoniana and its change in baseline scenario								
林龄(a) Age	胸径(cm) DHB	株数 Number	蓄积(hm³) stock volume	碳储量(tC) Carbon storage	碳储量变化(tc • a ⁻¹) Change of annual Carbon storage	累计碳储量变化(tc • a ⁻¹) cumulative change of carbon storage				
25	8.50	3270	74.69	203 829						
26	8.57	3 265	75.49	206 018	2 189	2 189				
27	8.64	3 238	76.40	208 483	2 466	4 654				
28	8.71	3 212	77.28	210 905	2 422	7 076				
29	8.77	3 188	78.18	213 353	2 448	9 524				
30	8.84	3 164	79.04	215 698	2 345	11 869				
31	8.90	3 141	79.89	218 010	2 311	14 181				
32	8.96	3 118	80.70	220 220	2 211	16 391				
33	9.03	3 097	81.52	222 474	2 254	18 645				
34	9.09	3 076	82.31	224 631	2 158	20 802				
35	9.14	3 056	83.10	226 767	2 136	22 938				
36	9.20	3 037	83.87	228 885	2 118	25 056				
37	9.26	3 018	84.61	230 912	2 027	27 083				
38	9.31	3 000	85.35	232 927	2 014	29 098				
39	9.36	2 983	86.09	234 932	2 005	31 103				
40	9.42	2 966	86.79	236 852	1 920	33 023				
41	9.47	2 949	87.46	238 688	1 836	34 859				
42	9.52	2 934	88.17	240 603	1 915	36 775				
43	9.57	2 918	88.81	242 356	1 753	38 528				
44	9.61	2 904	89.48	244 197	1 841	40 368				
45	9.66	2 889	90.10	245 876	1 679	42 048				
46	9.71	2 875	90.72	247 564	1 688	43 736				
47	9.75	2 862	91.34	249 265	1 701	45 436				
48	9.79	2 849	91.94	250 893	1 628	47 065				
49	9.84	2 836	92.51	252 451	1 557	48 622				
50	9.88	2 824	93.08	254 027	1 577	50 198				
51	9.92	2 812	93.64	255 536	1 509	51 707				
52	9.96	2 801	94.20	257 070	1 533	53 241				
53	10.00	2 790	94.74	258 538	1 469	54 710				
54	10.04	2 779	95.25	259 944	1 405	56 115				
55	10.07	2 769	95.78	261 380	1 437	57 552				

1 437 tC • a⁻¹。其主要原因是马尾松的近熟龄组为 21 a~30 a 在此期间 其年生物量处于高增长状态, 31 a以上时进入成熟龄 ,此间生物量虽然也还是处 于增长状态 ,但增长幅度逐渐降低 ,因此 ,碳储量会 随之增加 ,但碳储量年均增加量在逐步减少。

2.2 项目情景碳储量及其变化

项目情景下(表2),项目期开始前3 a,其碳储量变化量是负值,是碳源,项目第4年马尾松林龄达到28 a时,碳储量的变化量为正,而累计碳储量变化量在项目期第5年才转为正数。分析其原因,在项目期前3 a,由于需采用割灌除草、抚育间伐、施肥

等营林措施 ,会出现由于使用燃油机械化石燃料燃烧引起 CO₂ 的排放、施用含氮肥料引起的 NO₂ 排放等项目边界内温室气体排放 ,以及运输肥料、集材等所使用的运输工具燃烧产生的项目边界外的温室气体泄漏 ,而项目实施所带来的碳储量的增加 ,暂时无法弥补其所导致的 CO₂ 的排放和泄漏 ,故一直是碳源 ,但呈现递减的趋势; 随着项目的实施 ,马尾松林分碳汇能力的增强 ,从项目第 4 年开始 ,碳储量变化量变为正值 ,累计碳储量变化也从第 5 年变化为正值 ,项目期末 ,累计碳储量变化量为180 572 tC ,年均增加6 019.06 tC ,是基线情景下的 3.13 倍。

表 2 项目碳储量变化及累计净碳汇

Table 2	Carbon storage change and	cumulative net carbon sequestration

项目期 年(a) Project lifetiome		基线情景 Baseline scenario		项目情景 Project scenario		项目净碳储量变化 Net carbon storage change		为 CO ₂ version	项目累计净碳汇 (tCO ₂ - e)
	碳储量 变化	累计碳储 量变化	碳储量 变化	累计碳储 量变化	碳储量 变化	累计碳储 量变化	碳储量 变化	累计碳储 量变化	Cumulative net carbon sequestration
1	2 189	2 189	- 13 097	-13 097	- 15 285	- 15 285	8 025	-48 021	- 56 047
2	2 466	4 654	-4 094	-17 190	-6 559	-21 845	17 066	-63 031	-80 097
3	2 422	7 076	-3109	-20 299	-5 530	-27 375	25 945	-74 429	- 100 375
4	2 448	9 524	12 145	-8 153	9 697	-17 677	34 922	-29 896	-64 817
5	2 345	11 869	12 672	4 518	10 326	-7 351	43 521	16 567	-26 954
6	2 311	14 181	12 692	17 210	10 380	3 029	51 996	63 103	11 107
7	2 211	16 391	11 856	29 066	9 646	12 675	60 102	106 576	46 474
8	2 254	18 645	11 199	40 265	8 945	21 620	68 365	147 638	79 273
9	2 158	20 802	10 440	50 705	8 282	29 902	76 276	185 918	109 642
10	2 136	22 938	9 711	60 416	7 575	37 477	84 107	221 524	137 416
11	2 118	25 056	-2 045	58 370	-4 163	33 314	91 873	214 024	122 151
12	2 027	27 083	-1 287	57 083	-3 314	30 000	99 306	209 304	109 998
13	2 014	29 098	-2 031	55 052	-4 046	25 954	106 692	201 856	95 164
14	2 005	31 103	9 677	64 729	7 672	33 625	114 045	237 338	123 293
15	1 920	33 023	9 224	73 953	7 304	40 929	121 086	271 160	150 074
16	1 836	34 859	8 649	82 602	6 814	47 743	127 817	302 875	175 058
17	1 915	36 775	8 363	90 965	6 448	54 191	134 840	333 539	198 699
18	1 753	38 528	8 275	99 240	6 522	60 712	141 268	363 880	222 612
19	1 841	40 368	8 159	107 399	6 318	67 030	148 017	393 795	245 778
20	1 679	42 048	7 920	115 319	6 241	73 271	154 174	422 836	268 661
21	1 688	43 736	7 521	122 840	5 833	79 105	160 364	450 414	290 050
22	1 701	45 436	7 406	130 246	5 706	84 810	166 599	477 569	310 970
23	1 628	47 065	7 212	137 458	5 583	90 393	172 570	504 013	331 443
24	1 557	48 622	7 067	144 525	5 509	95 903	178 280	529 924	351 644
25	1 577	50 198	6 744	151 269	5 168	101 070	184 061	554 652	370 591
26	1 509	51 707	6 434	157 703	4 925	105 995	189 593	578 243	388 650
27	1 533	53 241	6 136	163 838	4 602	110 598	195 216	600 740	405 525
28	1 469	54 710	5 849	169 687	4 380	114 978	200 602	622 187	421 585
29	1 405	56 115	5 574	175 262	4 169	119 147	205 755	642 626	436 871
30	1 437	57 552	5 310	180 572	3 874	123 020	211 023	662 097	451 074

2.3 项目累计净碳汇变化

项目情景下累计净碳汇变化(表2),项目开始后5a,由于采用各种营林措施使用燃油机械和施

肥 项目净碳汇量是负值 ,表现为碳源 ,前 3 a 逐年 略增 ,第 4 年、第 5 年开始下降 ,从第 6 年开始 ,累积 净碳汇量转为正值 ,开始表现为碳汇 ,并且呈逐年递 增的趋势(图 2)。说明在项目开始以后 5 a 内,项目情景与基线情景相比,碳汇能力较弱,但从项目期第 6 年开始,经过经营后的马尾松林分的碳汇能力显著强于未经营林分,项目期末累计净碳汇量较基线情景高出451 074 tCO₂ - e。

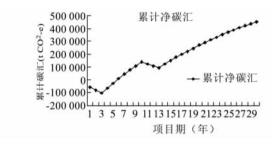


图 2 项目期累计净碳汇量

Fig. 2 Cumulative net carbon sequestration in the project lifetime

3 结论与讨论

经测算计量,通过采用抚育间伐、割灌除草等森林经营措施。在项目期内,重庆万州马尾松林分碳汇量较没有经营的基线情景将会有显著的增加,累计净碳汇量呈递增趋势,项目期末时,项目期累计净碳汇量达451 074 t CO₂ - e,平均每年每 hm² 碳汇为2.89 t CO₂ - e。由此可以看出,森林经营将会大幅增强马尾松林分碳储量和碳汇能力。在目前林地面积有限的情况下,通过森林经营对低产低效林进行改造,提高生物量进而提升森林生态系统的碳汇能力,已成为当前林业增汇减排、应对区域气候变化的一个有效措施。基于项目的碳汇计量研究工作的开展,对于科学计量森林经营所增加的碳汇,完善碳排放权交易市场的交易内容和形式,都有着积极的作用,今后的计量研究工作还要在以下一些方面进行

拓展和深入。

- (1)按照国际上通行的方法,研究只针对马尾松林分地上生物量和地下生物量两个碳库和碳汇进行了计量。虽然根据相关研究文献 枯落物、枯死木碳储量变化量仅占极小的一部分,土壤碳储量也相对稳定,但其碳汇量对整个林分的碳汇能力还是有一定的影响,今后的计量研究要对这3个碳库进行深入研究,科学、准确计量森林生态系统整体碳汇能力。
- (2) 因项目期开始时,马尾松树龄为 25 a 生,因此研究对马尾松从 25 a 至 50 a 生的碳汇情况进行了计量,对 1 a 至 24 a 的基线情景和项目情景没有计量,因此并不完善,下一步要加强对 1 a 至 24 a 生即马尾松幼龄林、中龄林和近熟龄林进行研究。
- (3) 本研究只针对一种间伐强度进行了计量研究 间伐可以提高森林生态系统总的光合生产力 增加碳储量^[4] ,但间伐强度确定多大时 ,才能使马尾松林分达到最佳的固碳效益 ,碳汇能力最强 ,可以设置轻度间伐、中度间伐和重度间伐等几种间伐强度进行比研究 ,在保证森林可持续经营的同时 ,使其固碳能力最强。

参考文献:

- [1] 贾自邦. 中国森林资源报告—第七次全国森林资源清查[M]. 北京: 中国林业出版社 2009 2~3.
- [2] 国家林业局应对气候变化和节能减排工作领导小组办公室 编 中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南 [M]. 北京: 中国林业出版社 2008 ,15~16.
- [3] 张治军.广西造林再造林固碳成本效益研究[D].中国林业科学研究院 2009,124~130.
- [4] 刘于鹤. 气候变化与中国林业碳汇[M]. 北京: 气象出版社, 2011 56~59.