

沙棘经济林碳汇计量研究

党晓宏¹, 高永¹, 虞毅², 汪季¹, 李谦¹, 刘阳¹

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 国际竹藤网络中心, 北京 100102)

摘 要: 根据《中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南》的有关规定, 对内蒙古自治区鄂尔多斯地区营造的沙棘经济林进行了碳汇计量研究。结果表明, 沙棘各器官含碳率为: 叶子 54.72%, 根 45.26%, 枝条 54.58%。20 a 后的碳储量约为 81 911.53 t。在造林和培育过程中, 由于苗木、果实运输、浇水、施肥等活动引起的 CO₂ 排放量为 834.60 t, 因此可计算出在造林 20 a 后的沙棘经济林的净碳汇量为 81 077 t。

关键词: 鄂尔多斯市; 沙棘; 碳汇; 计量

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2011)06-0134-05

中图分类号: S757.9

Measurement of Carbon Sequestration of *Xanthoceras Sorbifolia* Forest Plantation

DANG Xiao-hong¹, GAO Yong¹, YU Yi², WANG Ji¹, LI Qian¹, LIU Yang¹

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China; 2. International Bamboo and Rattan Network Center, Beijing 100102, China)

Abstract: According to Guide of Carbon Sequestration Measurement and Monitoring of Afforestation Project of Green Carbon Fund in China. Carbon sequestration amount of *Xanthoceras sorbifolia* forest planted was researched in Erdos City of Inner Mongolia. The results showed that *Xanthoceras sorbifolia* carbon content of every organs as follows. Carbon content of leaf, root, bark is 54.72%, 45.26% and 54.58% respectively. After 20 years plantation of *Xanthoceras sorbifolia* forest, the carbon reserve would be 81 911.53 t totally. In the process of plantation and tending, as a result of transport of seedling and fruit, water, fertilizer and other activities, carbon emission would be 834.60 t, and the net carbon sequestration would be 81 077 t.

Keywords: Erdos City; *Xanthoceras sorbifolia*; carbon sink; measurement

近年来, 大气 CO₂ 浓度上升引起的温室效应及其所带来的一系列生态环境变化已经越来越明显, 解决温室效应所带来的影响已成为广大学者研究的首要目标。森林在固定 CO₂, 减少温室气体方面发挥着重要作用。已有研究表明^[1], 森林植物在其生长过程中可通过同化作用吸收大气中的 CO₂, 以生物量的形式将其固定在植物体和土壤中, 使森林成为陆地生态系统最重要的碳汇或碳库。沙棘是鄂尔多斯地区的一种乡土植物, 这种植物集经济和生态效益于一体, 植物体内含碳率高, 具有很强的碳汇功能。

1 项目区概况

项目区位于内蒙古自治区西南部, 地处黄土高原丘陵沟壑与库布齐沙漠东南缘的鄂尔多斯市, 属于中温大陆性气候, 年平均气温 6.2~8.7 °C, 多年平均年降雨量 380 mm, 多集中在 7—9 月, 该地区广泛分布

着中生代陆相碎屑沉积岩类(砒砂岩), 在准格尔旗、达拉特旗、东胜、伊金霍洛旗、杭锦旗、鄂托克旗等地区都有不同程度的分布。尤以准格尔旗的部分地区此类地质分布最为严重。砒砂岩结构松散, 形成的土壤土层薄, 由于抗侵蚀能力极差, 全年土壤侵蚀过程都很活跃, 冬春风蚀较强, 夏秋水蚀剧烈, 每遇暴雨, 河道下泄的不是洪水, 而是泥沙浆, 据观测最大侵蚀模数可达 $4.0 \times 10^4 \sim 6.0 \times 10^4$ t/(km² · a), 其中粒径 > 0.05 mm 的粗沙占泥沙总量的 80% 以上。据有关观测论证认定, 该区是黄河粗沙的主要来源区域。

2 研究内容

本研究以《中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南》(以下简称《指南》)为指导, 以“国家林业科学技术推广项目[2009]14 号”沙棘优良品种高效栽培技术推广作业设计为基础, 以鄂尔多斯市准格尔

收稿日期: 2011-03-16

修回日期: 2011-04-06

资助项目: 林业科学技术推广项目“优良品种沙棘推广”(2009-14); 内蒙古农业大学创新团队(NDTD2010-11); 全球环境基金(GEF)项目

作者简介: 党晓宏(1986—), 男(汉族), 陕西省合阳县人, 硕士研究生, 研究方向为荒漠化防治。E-mail: dangxiaohong222333@126.com。

通信作者: 汪季(1957—), 男(汉族), 山东省济南市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事荒漠化防治研究。E-mail: wangji1957@163.com。

旗、伊金霍洛旗、乌审旗、达拉特旗、东胜区等地的野外沙棘经济林实地调查资料、问卷调查资料和实验分析数据为依据,对鄂尔多斯市5个旗区2009—2010年营造的7 119.27 hm²沙棘经济林进行土地合格性评价,并对合格造林地进行碳计量。

3 研究方法

3.1 计量原则

根据《指南》的要求,鄂尔多斯地区沙棘经济林项目的碳计量必须遵循5项原则。

(1) 保守性原则。在参数选择方面要保证基线情景下的碳储量增加量被高估,或者项目情景下的碳储量被低估,或者项目情景下的排放量被高估。

(2) 透明性原则。本项目除了涉及到商业机密的数据外,保证活动水平和碳计量参数的确定方法和数据是公开、透明的,并易于被公众所获取。

(3) 可比性原则。本研究保证所采用的各项参数具有可比性,如果所选择的当地参数超过IPCC或者国家水平参数值的正常范围,文中会详细说明理由。

(4) 降低不确定性原则。本研究在设计和实施过程中会尽可能地采取必要的措施,提高碳计量的精度和准确性,降低计量结果的不确定性,文中会包含计量结果不确定性评价的内容。

(5) 成本有效性原则。由于精度和准确性越高,计量的成本会越高,因此,本研究根据项目经费,在计量中科学合理安排,使精确性、准确性和成本达到平衡。

3.2 项目土地合格性的确定

根据《中国绿色碳基金碳汇项目造林技术暂行规定》第7条要求,通过实地调查表明造林地在2000年1月1日以来都是无林地,主要位于难以天然更新的宜林荒山荒地,或者是林木覆盖度小于20%的荒地上,不进行人工造林,不可能天然更新。由于土地贫瘠,降水少,造林较困难,需要采取浇水等措施改善立地条件,才能够适合林木生长。

3.3 碳库和温室气体排放源的选择

3.3.1 碳库选择 共涉及5个碳库:地上生物量,地下生物量,枯落物,粗木质残体和土壤有机物。本研究选择地上生物量、地下生物量2个碳库。

未选择土壤碳库的原因主要包括:(1)造林地主要是正在退化的荒山和沟壑;(2)造林项目地为各种类型土壤,没有《指南》所提到的湿地和泥炭土;(3)整地方式中,平地采用机械开沟整地,丘陵、山地采用穴状或鱼鳞坑整地。据实地调查,地表实际破坏

面积小于10%;(4)整地沿等高线进行;(5)造林树种为沙棘,不属于针叶树种,故不计土壤有机碳库。

由于没有进行造林地整理,因此造林后将会使粗木质残体和枯落物增多,而2者在不同造林地点变异较大。因此,根据计量的保守性和成本有效性原则,不进行计量。

3.3.2 涉及的温室气体排放源

(1) 燃油机械设备的使用。用于苗木、果实和水等运输所使用的运输工具和造林整地过程中所使用的燃油机械所消耗的化石燃料引起的CO₂排放。

(2) 森林火灾。森林火灾引起的温室气体排放无法进行事前计量,所以在研究期内不予计量。

(3) 肥料使用。由于在造林和森林管理过程中未施用肥料。因此,不计量由于其引起的N₂O的排放。

3.4 项目碳储量变化调查

本研究在鄂尔多斯地区选择设置了4块规格为50 m×50 m的标准样地,对每个样地内所有活立木的地径、树高、冠幅、进行了详细调查,然后选择了5、10、15和20 a这4个年龄段的标准木各3株并伐倒。分别对枝条、根系、叶子等器官采用烘干称量法测定其生物量。计算各器官生物量的同时,在实验室采用重铬酸钾—外加热法测定各器官含碳率(%),最后估算其固碳量。在计算单株树木的固碳量基础上,根据造林面积以及林分密度,推算各造林区相同年龄的时候所固定的碳储量。

3.5 碳计量计算方法

3.5.1 事前基线分层和项目分层

(1) 事前基线分层。根据鄂尔多斯市当地造林的调查结果表明,造林地内主要分布散生的一些天然生的沙棘,这些散生沙棘的生物量和碳储量会随着年龄的增加而增加,但是数量较少,分布分散,统计起来困难,碳汇计量成本较高。另外,研究区造林后,林下草本植物碳汇量增加明显,然而由于研究区不同造林地草本植物的增加幅度不完全一致,草本植物随着监测年份的增加碳汇量后期增加量有限。因此,综合考虑《指南》的保守性和成本有效性原则,不计算包括散生木和草本植物的基线碳储量变化,因此也不进行基线分层。

(2) 事前项目分层。由于在研究区内营造的沙棘林,加之造林密度均为1 m×6 m,所以事前项目分层按造林区域进行分层。

3.5.2 基线碳储量变化 根据调查结果,在基线情景下,土壤有机碳、枯落物和粗木质残体这3个碳库中的碳储量将会增加,根据保守性和成本有效性原则,假定其变化为零。

3.5.3 项目碳储量变化 项目碳储量的变化与原有植被和栽植沙棘后整个研究区的生物量变化存有直接的关系,根据公式(1)估算项目不同碳层在研究期内的生物量变化情况。

$$\Delta C_{PROJ,t} = \left[\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (\Delta C_{PROJ,BBijk,t} + \Delta C_{PROJ,BB,ijk,t}) - \sum_{i=1}^I (\Delta C_{LOSS,AB,i,t} + \Delta C_{LOSS,BB,i,t}) \right] \times 44/12 \quad (1)$$

式中: $\Delta C_{PROJ,t}$ ——项目碳储量变化(t/a); $\Delta C_{PROJ,AB,ijk,t}$ ——地上生物量碳储量的变化量(t/a); $\Delta C_{PROJ,BB,ijk,t}$ ——地下生物量碳储量的变化量(t/a); $\Delta C_{LOSS,AB,i,t}$ ——各基线碳层地上生物量碳储量的降低量(t/a),本研究取值为0; $\Delta C_{LOSS,BB,i,t}$ ——各基线碳层地下生物量碳储量的降低量(t/a),本研究取值为0; t ——时间(a),项目记入期为1~20 a; i ——碳层, $i=1, \dots, 5$; j ——树种,本项目只使用一种树种,因此, $j=1$; k ——林分年龄。

3.5.4 项目边界内温室气体排放 项目边界内温室气体排放的计算公式为:

$$CHG_{E,t} = E_{Equipment,t} + E_{N_Fertilizer,t} \quad (2)$$

式中: $GHG_{E,t}$ ——第 t 年项目边界内温室气体排放的增加量(t/a); $E_{Equipment,t}$ ——第 t 年项目边界内燃油机械使用化石燃料燃烧引起的温室气体排放的增加量(t/a); $E_{N_Fertilizer,t}$ ——第 t 年项目边界内施用含氮肥料引起的 NO_2 排放的增加量(t/a),本项目没有施肥,此项值为0; t ——项目开始后的年数(a)。

3.5.5 项目边界外的温室气体泄漏 项目边界外的温室气体泄漏计算公式为:

$$FC_t = \sum_{v=1}^V \sum_{i=1}^I n \cdot (MT_{v,j,t} / TL_{v,i}) \cdot AD_{v,j} \cdot SECK_v \quad (3)$$

式中: FC_t ——第 t 年柴油的消耗量(由于项目中仅使用柴油,因此不考虑燃油类型因子); n ——车辆回程装载因子,本项目取值为2; $MT_{v,i,t}$ ——第 t 年 v 类车辆运载 i 类物资的总量(株/辆, t/辆); $TL_{v,i}$ —— v 类车辆运载 i 类物资的装载量(株/辆, t/辆); $AD_{v,i}$ —— v 类车辆运载 i 类物资的单程运输距离(km); $SECK_v$ —— v 类车辆的单位距离耗油量; v ——车辆类型; t ——项目开始后的年限(a)。

3.5.6 项目净碳汇量 净碳汇量计算公式为:

$$C_{Proj,t} = \Delta C_{proj,t} - CHG_{E,t} - LK_t - \Delta C_{BSL,t} \quad (4)$$

式中: $\Delta C_{Proj,t}$ ——第 t 年的项目碳汇量(t); $C_{Proj,t}$ ——第 t 年的项目碳储量变化量(t); $GHG_{E,t}$ ——第 t 年的项目边界内增加的温室气体排放量(t); LK_t ——第 t 年的项目活动引起的泄露(t); $C_{BSL,t}$ ——第 t 年基线碳储量变化量(t); t ——项目开始后的年限(a)。

4 结果分析

4.1 沙棘林事前项目分层

由于在研究区内营造的是沙棘纯林,加之造林密度均为 $1 \text{ m} \times 6 \text{ m}$,所以事前项目分层按造林区域进行分层(表1)。

表1 鄂尔多斯地区沙棘经济林项目事前分层

碳层	株行距/ m	造林密度/ (株·hm ⁻²)	造林面积/ hm ²
碳层1	1×6	1 667	1 200.73
碳层2	1×6	1 667	2 310.33
碳层3	1×6	1 667	786.67
碳层4	1×6	1 667	945.87
碳层5	1×6	1 667	1 875.67
合计			7 119.27

4.2 沙棘林固碳量分析

测定结果表明,沙棘各器官含碳率为:枝条 54.58%,叶子 54.72%,树根 45.26%,平均含碳率为 51.52%(表2)。考虑到本研究的工作量,认为沙棘以 5 a 为一个生长阶段,而且每个阶段内年生长量假设相同。通过对沙棘的生物量的测定以及含碳率的测定计算出单株沙棘的碳含量并将其转换成 CO_2 的量,进而在单株的基础上计算出各个碳层沙棘吸收 CO_2 的量,分析结果认为 1~5 a 内年平均吸收 CO_2 量为 0.118 4 kg/株,6~10 a 内年平均吸收 CO_2 量为 0.237 0 kg/株,10~15 a 内年平均吸收 CO_2 量为 0.355 0 kg/株,15~20 a 内年平均吸收 CO_2 量为 0.473 0 kg/株。最终,项目碳储量增加量计算结果详见表3。结果表明,通过 20 a 沙棘造林项目的实施,沙棘林项目固碳量可达到 $8.191 \times 10^4 \text{ t}$ 。

表2 项目区沙棘各器官含碳率测定

器官名称	质量/ g	基线值	含碳率/ (g·kg ⁻¹)	含碳率/ %
叶子	0.006 1	14.86	548.051 7	54.805 17
	0.004 8	15.19	552.762 8	55.276 28
	0.006 6	14.52	540.703 5	54.070 35
平均值	0.005 83	14.856 7	547.173 0	54.717 30
枝条	0.007 0	14.06	553.395 5	55.339 55
	0.005 9	15.00	550.890 0	55.089 00
	0.005 6	15.40	533.023 3	53.302 33
平均值	0.006 17	14.820 0	545.769 6	54.576 96
根系	0.005 4	15.58	530.653 3	53.065 33
	0.006 5	15.12	487.792 8	48.779 28
	0.007 7	15.96	339.413 0	33.941 30
平均值	0.006 53	15.553 0	452.619 7	45.261 97

表 3 项目区不同碳层项目碳储量年增加量 t

龄级	碳层 1	碳层 2	碳层 3	碳层 4	碳层 5
1	276.342	531.711	181.047	217.686	431.444
2	276.342	531.711	181.047	217.686	431.444
3	276.342	531.714	181.047	217.686	431.444
4	276.342	531.711	181.047	217.686	431.444
5	276.342	531.711	181.047	217.686	431.444
6	552.685	1 063.422	362.094	435.372	862.889
7	552.685	1 063.422	362.094	435.372	862.889
8	552.685	1 063.422	362.094	435.372	862.889
9	552.685	1 063.422	362.094	435.372	862.889
10	552.685	1 063.422	362.094	435.372	862.889
11	829.027	1 595.133	543.141	653.058	1 294.333
12	829.027	1 595.133	543.141	653.058	1 294.333
13	829.027	1 595.133	543.141	653.058	1 294.333
14	829.027	1 595.133	543.141	653.058	1 294.333
15	829.027	1 595.133	543.141	653.058	1 294.333
16	1 105.369	2 126.843	724.188	870.744	1 725.778
17	1 105.369	2 126.843	724.188	870.744	1 725.778
18	1 105.369	2 126.843	724.188	870.744	1 725.778
19	1 105.369	2 126.843	724.188	870.744	1 725.778
20	1 105.369	2 126.843	724.188	870.744	1 725.778
合计	13 817.11	26 585.54	9052.354	10884.30	21 572.22
总计					81 911.53

4.3 项目边界内温室气体排放

本项目不施肥,不考虑因施用含氮肥料引起的 N₂O 排放。因此,本项目边界内的温室气体排放的仅考虑因整地使用燃油机械引起 CO₂ 的排放,根据

对 2009 年在鄂尔多斯市造林区进行调查,整地使用的主要机械类型为 802 拖拉机,该机器使用柴油,耗油率为 30 L/hm²,每升柴油重 0.85 kg,每 1 kg 柴油排放 CO₂ 3.2 kg。根据公式(2)计算出研究区边界内 CO₂ 总排放量为 580.85 t(表 4)。

表 4 不同碳层项目区边界内 CO₂ 排放量

碳层	造林面积/hm ²	总耗油量/L	排放 CO ₂ 量/t
碳层 1	1 200.73	36 022	97.979 8
碳层 2	2 310.33	69 310	188.523 2
碳层 3	786.67	23 600	64.192 0
碳层 4	945.87	28 376	77.182 7
碳层 5	1 875.67	56 240	152.972 8
合计	7 119.27	213 548	580.850 6

4.4 项目边界外的温室气体泄漏

根据调查结果,鄂尔多斯地区沙棘经济林项目的温室气体泄露主要是由于苗木运输、浇地运水以及果实运输造成的。

4.4.1 苗木运输造成的泄漏 苗木运输主要发生在项目实施的第一年。各旗区的苗木运输车辆主要为轻型卡车(耗油量:7.7 km/L;车载量:50 000 株/车)。平均往返运输距离为:伊金霍洛旗 60 km,准格尔旗 45 km,东胜区 40 km,达拉特特旗 100 km,乌审旗 120 km。经过计算,各旗区苗木运输造成的 CO₂ 总泄漏量为 6.21 t(表 5)。

表 5 不同泄漏方式下沙棘经济林边界外 CO₂ 的泄漏量

碳层	造林面积/hm ²	苗木运输泄漏		灌溉运水泄漏		果实运输泄漏	
		用车数/辆	CO ₂ 排放量/t	用车数/辆	CO ₂ 排放量/t	车辆数/辆	CO ₂ 排放量/t
碳层 1	1 200.73	21	1.017 6	7 204	30.025 5	1 801	38.032 1
碳层 2	2 310.33	52	1.122 1	13 861	51.869 0	3 466	43.039 8
碳层 3	786.67	13	0.362 4	4 720	11.279 0	1 180	14.098 7
碳层 4	945.87	16	1.115 2	5 675	19.970 0	1 419	42.385 7
碳层 5	1 875.67	31	2.593 0	11 248	134.392 0	2 812	100.793 7
合计	7 119.27	120	6.210 3	42 708	247.535 5	10 678	238.350 0

4.4.2 灌溉运水造成项目边界外的温室气体泄漏 研究区内多数没有灌水设施,造林时需从外面运水对苗木进行灌溉。根据调查,本研究只在造林当年进行浇水,浇水量为 30 t/hm²,浇水主要使用轻型卡车(耗油量:7.7 km/L;车载量:5 t/车),平均运水往返运输距离为:伊金霍洛旗 12 km,准格尔旗 11 km,东胜区 8 km,达拉特特旗 12 km,乌审旗 40 km。各旗区因浇地运水造成的 CO₂ 总泄漏量为 247.54 t(表 5)。

4.4.3 果实运输造成项目边界外的温室气体泄漏 根据当地沙棘果实产量调查,沙棘果实在 6~15 a 果

实产量为 7.5t/hm²,而沙棘到 15 a 后果实产量逐渐降低,为了便于项目计算,假设在项目期内沙棘的果实产量均为 7.5 t/hm²,运输车辆主要使用轻型卡车(耗油量:7.7 km/L;车载量:5 t/辆),平均运输往返距离为:伊金霍洛旗 62 km,准格尔旗 45 km,东胜区 40 km,达拉特特旗 100 km,乌审旗 120 km。估算得出未来 20 a 研究区边界外因运输果实造成的温室气体总泄漏量为 238.35 t(表 5)。

4.5 项目净碳汇量

项目实际产生的净碳汇量是通过在沙棘林碳汇

量、整地所产生的排放和在沙棘林的造林、管护过程中灌溉运水,苗木运输以及果实的运输所使用燃料动力车产生的的泄露的数据的基础上,采用《指南》提供的公式(4),计算出内蒙古鄂尔多斯市沙棘经济林项目的净碳汇量。

通过计算,得出内蒙古鄂尔多斯沙棘经济林项目 20 a 沙棘林累计碳汇量为 8.191×10^4 t,而整地、运输水、苗木和果实产生排放及泄露碳量为 840 t,进而计算出沙棘经济林产生净碳汇量为 8.107×10^4 t (表 6)。

表 6 鄂尔多斯沙棘经济林项目净碳汇量

t

生长阶段	树龄	沙棘碳汇量 年增加量	沙棘累计 碳汇量	整地排放	浇水运输 泄漏	苗木运输 泄漏	果实运输 泄漏	净碳汇量 累加值
第 1 个 5 a	1	1 638.230 7	1 638.230 7	580.850 6	247.535 5	6.210 3		803.634 3
	2	1 638.230 7	3 276.461 3					2 441.865 0
	3	1 638.230 7	4 914.692 0					4 080.095 6
	4	1 638.230 7	6 552.922 6					5 718.326 3
	5	1 638.230 7	8 191.153 3					7 356.556 9
第 2 个 5 a	6	3 276.461 3	11 467.614 6				238.35	10 633.018 2
	7	3 276.461 3	14 744.075 9				238.35	13 909.479 5
	8	3 276.461 3	18 020.537 2				238.35	17 185.940 9
	9	3 276.461 3	21 296.998 5				238.35	20 462.402 2
	10	3 276.461 3	24 573.459 8				238.35	23 738.863 5
第 3 个 5 a	11	4 914.692 0	29 488.151 8				238.35	28 653.555 4
	12	4 914.692 0	34 402.843 8				238.35	33 568.247 4
	13	4 914.692 0	39 317.535 7				238.35	38 482.939 4
	14	4 914.692 0	44 232.227 7				238.35	43 397.631 3
	15	4 914.692 0	49 146.919 7				238.35	48 312.323 3
第 4 个 5 a	16	6 552.922 6	55 699.842 3				238.35	54 865.245 9
	17	6 552.922 6	62 252.764 9				238.35	61 418.168 5
	18	6 552.922 6	68 805.687 5				238.35	67 971.091 2
	19	6 552.922 6	75 358.610 1				238.35	74 524.013 8
	20	6 552.922 6	81 911.532 8				238.35	8 1076.936 4

5 结 论

(1) 沙棘各器官含碳率为枝条 54.58%, 叶子 54.72%, 树根 45.26%, 平均含碳率为 51.52%。1~5 a 单株沙棘年平均吸收 CO₂ 量为 0.118 4 kg/株, 6~10 a 年平均吸收 CO₂ 量为 0.237 0 kg/株, 10~15 a 年平均吸收 CO₂ 量为 0.355 0 kg/株, 15~20 a 年平均吸收 CO₂ 量为 0.473 0 kg/株。

(2) 通过 20 a 沙棘造林项目的实施, 沙棘林项目固碳量可达到 81 911.53 t。在造林前对造林地进行整地的过程中使用燃油而排放的 CO₂ 温室气体量为 580.85 t。在第 1 a 进行苗木运输而泄露的 CO₂ 温室气体量为 6.21 t。在第 1 a 进行浇水灌溉使用燃油而泄露的 CO₂ 温室气体量为 247.54 t。从第 6 a 开始运输果实使用机动车每年泄漏 238.35 t。

(3) 经过在鄂尔多斯地区沙棘营造沙棘经济林 20 a 后林分净碳汇量为 8.107×10^4 t。

[参 考 文 献]

- [1] Ciais P, Tans P, Trolier Metal. A large northern hemisphere terrestrial CO₂ sink indicated by ¹³C/¹²C of atmospheric CO₂[J]. Science, 1995, 269: 1098-1102.
- [2] 武曙红, 张小全, 李俊清. CDM 林业碳汇项目的泄漏问题分析[J]. 林业科学, 2006, 42(2): 98-104.
- [3] 方精云, 刘国华, 徐高龄. 中国陆地生态系统碳库[M]. 北京: 中国科技出版社, 1996: 251.
- [4] 王效科. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 13-16.
- [5] 康惠宁, 马钦彦, 袁嘉祖. 中国森林 C 汇功能基本估计[J]. 应用生态学报, 1996, 7(3): 230-234.
- [6] 党晓宏, 汪季. 准格尔旗露天煤矿矿区沙棘生长状况调查研究[J]. 内蒙古林业科技, 2010, 36(3): 23-26.
- [7] 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. 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: 12.