

四川省草地生态系统碳储量估算

靳伟^{1*},倪天珍²,杨婷婷³

(1.四川省林业科学研究院,四川成都 610081;

2.四川省甘孜州海螺沟景区森林保护站,四川甘孜州 626000;

3.中国农业科学院草原研究所,内蒙古呼和浩特 010010)

摘要:草地生态系统在全球碳循环中起着极为重要的作用。但是实测数据十分匮乏。利用2008年四川省草原地面调查数据,以及卫星遥感数据,对2008年四川省草地的碳储量进行了估算。主要结论如下:四川省草地总面积约为 $20.38 \times 10^4 \text{ km}^2$,2008年四川省草地总有机碳为2 302.97 Tg,其中地上生物量有机碳为15.54 Tg,地下生物量碳为104.45 Tg,地下根系储存的碳是地上碳储量的6倍多,四川省草地土壤有机碳为2 182.98 Tg。土壤储存的碳是植被的19倍多。

关键词:草地生态系统;地上生物量;地下生物量;碳储量

中图分类号:S812.29

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2014)05-0008-05

Estimation of Carbon Storage in the Grassland Ecosystem in Sichuan

JIN Wei^{1*}, NI Tian-zhen², YANG Ting-ting³

(1. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China; 2. Forest Protection Station of the Hailuoguo Scenic Area 626000, China;

3. Grassland Research Institute of Chinese Academy Agricultural Sciences, Hohhot 010010, China)

Abstract: The grassland ecosystem plays a very important role in the global carbon cycle. But the measured data is very lacking. In this paper, based on the ground survey data of the grassland in 2008 and satellite remote sensing data in Sichuan, the carbon storage in grassland ecosystem in Sichuan was estimated. The results showed that the total grassland area in Sichuan was about $22.43 \times 10^4 \text{ km}^2$ in 2008, and the total carbon storage in the grassland ecosystem in Sichuan was 2 302.97 Tg. The aboveground and underground carbon storage was 15.54 and 104.45 Tg C respectively. The underground carbon storage was about 6 times more than the aboveground; the soil organic carbon in Sichuan grassland was 2 182.98 Tg, which was about 19 times more than the vegetation carbon.

Key words: Grassland ecosystem, Aboveground biomass, Underground biomass, Carbon storage

草地生态系统是地球上分布面积较广的类型之一,巨大的草地面积使得草地在全球碳汇中扮演着十分重要的角色。其巨大的地下植物生物量是土壤有机碳的重要来源,正如我们的结果发现85%的生物量储存在地下植物根系。中国拥有丰富的草地资源,从东北平原越过大兴安岭,经辽阔的蒙古高原、

鄂尔多斯高原、黄土高原,直到青藏高原南缘,绵延约4 500 km,南北跨越23个纬度,占全国草地总面积的78%,构成中国草地的主体,巨大的分布面积和地下碳储存能力,使得这里可能成为中国陆地生态系统潜在的碳汇。四川草原面积共有 $20.38 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全省幅员面积的43%,可利用天然草原

收稿日期:2014-05-29

基金项目:中-挪生物多样性与气候变化项目四川省分项目——四川省缓解气候变化的重点区域研究报告,重点是碳存储与碳吸收(C/IV/S/11/242-03)

作者简介:靳伟(1982-),男,博士,主要从事生物多样性保护和碳汇研究。

* 通讯作者:靳伟 jinwei0213@gmail.com

面积 $17.32 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全省草原总面积的 85%, 草原年均鲜草产量 $8 \times 10^{11} \text{ kg}$ 以上, 仅次于内蒙古、新疆, 居全国第三^[1]。其植被碳储量在我国草地碳平衡中占有重要地位。

国内学者已经陆续开展了草地碳储量的研究, 但有关四川草原的植被和土壤碳储量的研究相对较少, 尤其实测生物量数据缺乏, 使以往草地碳估算尚存在较大的不确定性。因此, 获取更多实地观测数据, 有助于更好地评价区域草地生态系统在全球陆地碳循环中的作用, 有助于改善对陆地生态系统碳储量的估算能力。本文采用 2008 年四川省草原地面监测数据, 共 92 个地面调查样方, 结合 2008 年遥感影像, 建立估产模型, 对 2008 年四川省草地碳储量进行了较为详细的估算, 旨在为我国草地生态系统碳循环研究提供基本参数。

1 研究区概况

四川省位于中国西南, 处长江上游, 介于东经 $92^{\circ}21' \sim 108^{\circ}12'$ 和北纬 $26^{\circ}03' \sim 34^{\circ}19'$ 之间, 东西长 1 075 km, 南北宽 900 多 km。东连重庆, 南邻滇、黔, 西接西藏, 北界青海、甘肃、陕西 3 省。面积 48.5 万 km^2 , 次于新疆、西藏、内蒙和青海, 居全国第五位。全省地貌东西差异大, 地形复杂多样。地带性和垂直变化十分明显, 东西部差异很大。全省可分为四川盆地、川西北高原和川西南山地 3 大部分。东部四川盆地是我国四大盆地之一, 该区气候温暖湿润, 冬暖夏热, 大部分地区年降水量 900 mm \sim 1 200 mm, 属亚热带湿润季风气候, 植被为亚热带常绿阔叶林。海拔 400 m \sim 800 m, 地势微向南倾斜。盆地边缘山地地区草地分布广泛, 主要为以白茅 (*Imperata cylindrica*)、荩草 (*Arthraxon hispidus*) 等禾本科牧草为主的灌草丛草地, 盆地内草地较少, 仅有农隙地和零星的灌草丛草地。西北部为川西北高原, 属于青藏高原东南一隅, 平均海拔 3 000 m \sim 5 000 m, 高寒气候区, 70% 的可利用草原分布在这里, 主要为高寒草甸草地和高寒灌丛草地, 在海拔较低的地方有山地疏林草地。川西南地区属山地地区, 属亚热带半湿润气候区, 草地资源垂直分异显著, 海拔 1 500 m 以下主要为山地灌丛草地, 1 500 m \sim 2 800 m 为山地草甸草地和山地灌丛, 2 800 m \sim 3 500 m 以高山草甸草地为主, 可利用草原面积

占全省的 11%^[2]。

组成四川草地的植被类型以草甸为主, 包括高山草甸、亚高山草甸与沼泽草甸。群落外貌一般较为华丽, 具有季相变化。群落种类组成丰富, 建群种和优势种主要有高山嵩草 (*Kobresia pygmaea*)、四川嵩草 (*K. setchwanensis*)、矮生嵩草 (*K. humilis*)、垂穗披碱草 (*Clinelymus nutans*)、垂穗鹅观草 (*Roegneria nutans*)、羊茅 (*Festuca ovina*)、糙野青茅 (*Deyeuxia scabrescens*)、草玉梅 (*Anemone rivularis*)、鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*)、淡黄香青 (*Anaphalis flavescens*)、长叶火绒草 (*Leontopodium longifolium*)、黄总花草 (*Spenceria ramalana*)、珠芽蓼 (*Polygonum longifolium*)、圆穗蓼 (*P. sphaerostachyum*) 等。在局部地势低洼、排水不良的地段上, 还发育着沼泽植被, 以苔草属植物为主^[3]。

2 数据来源

本文所用的主要数据资料如下: 2008 年 7 月、8 月份的 spot-NDVI 影像 (分辨率为 1 000 m, 每 10 天的数据), 来源于国家自然科学基金委员会“中国西部环境与生态科学数据中心” (<http://westdc.westgis.ac.cn>); 1:100 万中国土壤数据库; 59 个土类的土壤有机碳密度参照于东升的中国土类土壤有机碳密度及储量清单^[4]; 地面调查数据来源于 2008 年四川省地面监测数据, 共 92 个调查点的经度、纬度、样方鲜草重或干草重。草地面积的数据, 源自中国 1:100 万草地资源图; 地上、地下生物量换算系数采用朴世龙的中国 17 种主要草地类型的地上、地下生物量换算系数^[5]。

3 研究方法与技术路线

地面调查和遥感解译相结合, 获得草地植被地上生物量, 根据地上、地下生物量换算系数, 做出草地植被地下生物量分布图, 获得四川省草地植被生物量, 乘以系数 0.45 将生物量转换成碳, 估算四川省草地植被碳储量, 利用土壤类型图和各土壤平均有机碳密度, 以及草原类型图、四川省行政边界, 在 ARCGIS 里通过波段运算和掩膜作出四川省草原土壤碳储量分布图, 估算四川省草地生态系统碳储量, 技术路线见图 1。

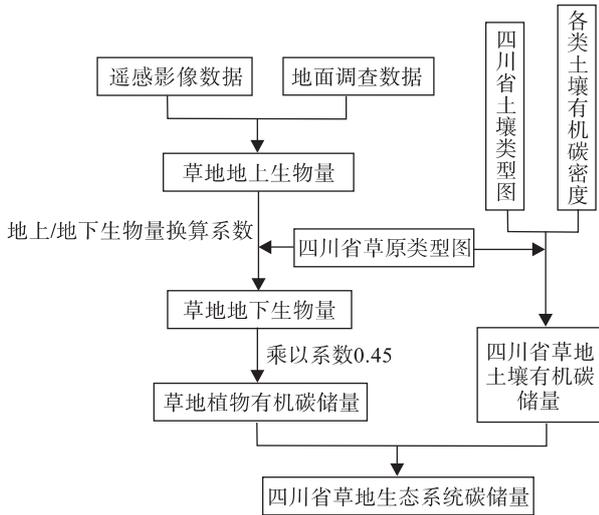


图1 四川省草地碳储量估算技术路线图

Fig. 1 Technique route of estimation of carbon storage in the grassland in Sichuan province

3.1 地面调查与采样

设立地面定位观测样地,监测草原地上生物量,监测点、线、面的选定必须考虑特定区域内草原生态系统的典型性和代表性。每种草地类型选择1个典型区域作为取样和观测样地。在每个样地中随机设置6个1 m × 1 m 样方。采用估测法或针刺法确定群落总盖度,将其地上部分齐地面刈割,称量其鲜重,然后在65℃烘箱中烘干至恒重,称量其干重。

3.2 地上生物量估算方法

产草量数据是1 a中产草量最高时期野外测得的(提前或推后所测产量以年产草量动态系数进行校正),计算每一空间位置上1 a中最大NDVI,利用实地调查资料,建立NDVI为自变量、地上生物量为因变量的回归模型。模型的空间分辨率为0.1° × 0.1°,用ERDAS软件,获取影像上不同草原类型的每个像元地上生物量,得到四川草原地上生物量空间分布图。为了更有效地与前人的研究做比较,本文中生物量单位均以碳(gC)的形式表示。通常,植物生物量(单位为g)转换为碳(gC)按照方精云等(1996)采用的0.45^[6]。

3.3 地下生物量估算方法

草地植被的地下生物量是根据地下与地上部分生物量的比例系数估算的。通常,草地的地下与地上部分生物量的比例系数随着草地类型、年龄、生境、气候和人为放牧影响而发生变化。但由于这方面信息的获取有限,因此,本文主要是根据公开发表的文献,不同植被类型采用了不同的地下与地上部

分生物量的比例系数(见表1)。

表1 不同草地类型的地下与地上部分生物量比例系数^[5]

Tab. 1 The ratio of underground and aboveground biomass of different grassland types

草地类型	比例	文献来源
热性草丛类	4.42	李文华等(1998)
热性灌草丛类	4.42	李文华等(1998)
暖性草丛类	4.42	李文华等(1998)
暖性灌草丛类	4.42	李文华等(1998)
低地草甸类	6.31	中华人民共和国农业部畜牧兽医司等(1994);李文华等(1998)
山地草甸类	6.23	中华人民共和国农业部畜牧兽医司等(1994);李文华等(1998)
高寒草甸类	7.92	李文华等(1998)
沼泽类	15.68	中华人民共和国农业部畜牧兽医司等(1994);李文华等(1998)

3.4 土壤碳储量估算

不同土壤类型分别具有不同的碳密度,运用于东升^[4]的全国各类土壤平均有机碳密度数据(见表2),首先将四川省1:100万土壤矢量数据按照土类进行合并,然后将各土壤类型的碳密度录入土壤数据库,再按照土壤碳密度将土壤类型图进行栅格化,即得到土壤有机碳密度分布图;以草地类型图作为掩模即可生成草地土壤有机碳密度分布图。估算四川省草地生态系统土壤碳储量。

表2 各类土壤有机碳密度^[4]
Tab. 2 SOC density of soil groups

土类	碳密度 kg · m ⁻²	土类	碳密度 kg · m ⁻²	土类	碳密度 kg · m ⁻²
赤红壤	9.15	燥红土	9.2	草甸土	14.43
红壤	9.58	褐土	8.25	山地草甸土	26.91
黄壤	10.51	新积土	4.67	沼泽土	49.49
棕色针叶林土	24.74	风沙土	1.91	泥炭土	146.76
黄棕壤	13.12	石灰土	13.05	盐土	6.36
黄褐土	6.7	紫色土	5.54	水稻土	11.14
棕壤	12.81	石质土	1.62	寒漠土	3.56
暗棕壤	18.76	粗骨土	5.15		

4 数据处理

用Envi、arcgis、excel或spss进行数据处理与制图。

4.1 生成地上生物量分布图

地上生物量的计算,利用SPOT vegetation NDVI及地面调查数据建立草地估产模型;进而将NDVI图像带入模型进行运算,同时以1:100万四川省草地类型图作为掩模,得出四川省草地地上生物量分布图。

4.1.1 原始影像计算 NDVI ,生成植被指数 NDVI 灰度图。计算公式如下:

Real NDVI = coefficient a × Digital Numver + coefficient b = a × DN + b

Coefficient a = 0.004 ; Coefficient b = -0.1

4.1.2 最大值合成与影像裁剪

将 2008 年 8 月 3 个旬的 spot - NDVI 影像在 Envi 里对其进行最大合成 ,利用 1: 400 万的中国矢量图进行裁剪。

4.1.3 建立地上生物量回归模型

利用调查样方点的矢量数据 ,对每个点以 400 m 为半径做缓冲区分析 ,以此缓冲区下的评价 NDVI 值为该样点的 NDVI 值。根据实地调查的样方数据 结合遥感影像对地上生物量和对应像元的 NDVI 值建立回归关系 (图 2) ,得到地上生物量估测模型:

$$Y = 14.31e^{3.831x} \quad R^2 = 0.779$$

式中 Y 为生物量干重。可以看出 ,群落地上生物量与 spot-NDVI 具有显著的相关性 ,相关系数 R 达到 0.883。

将获取的模型代入利用 ERDAS 软件中的 Model 模块建立的模型中 ,获取影像上不同草原类型的每个像元地上生物量 ,得到中国草原地上生物量空间分布图。

4.2 计算地下生物量

不同草地类型具有不同的根冠比^[6,7] ,将不同草地类型的根冠比作为 1: 100 万草地图的属性进行

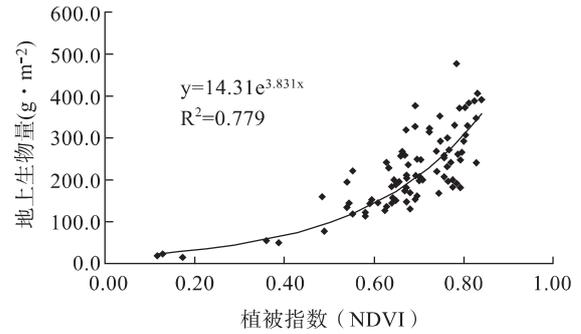


图 2 调查点的植被指数与地上生物量线性回归散点图

Fig. 2 The scatter plot of NDVI and aboveground biomass

栅格化 ,然后与地上生物量栅格图进行波段运算 ,获得草地地下生物量。

5 结果与分析

5.1 四川省草地植被碳储量

通过波段运算 ,将草地地上生物量和地下生物量进行相加得出草地地上地下总生物量 ;再给总生物量乘以生物量与碳的换算系数 0.45 ,即可得到四川省草地生物碳分布图 (图 3) ,结果显示 :四川省草地植被碳储量为 119.99 Tg。

估算植被碳储量 ,通常按照植物有机干物质中碳占的比重转换为碳量。尽管不同的植被其转换率不同 ,但由于获取各植被类型的转换率十分有限 ,这里我们采用国际上常用的转换率 0.45 将生物量统

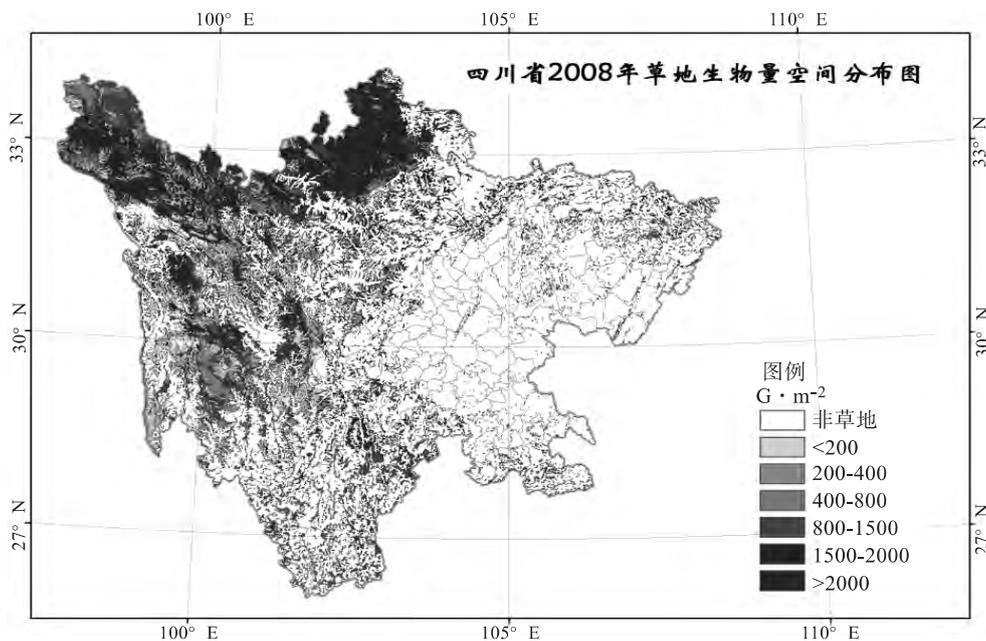


图 3 四川省草地生物量空间分布图

Fig. 3 Biomass of grassland in Sichuan province

一以碳($g C \cdot m^{-2}$)的形式表示。各草地类型的平均地上、地下碳密度乘以其面积得到其碳储量。

5.2 四川省草地土壤碳储量

四川省草地土壤总碳储量为2 182.98 Tg,其中高寒草甸类的土壤有机碳储量最高,为872.41 Tg,其次是热性草丛类,为553.04 Tg,排第三的是热性灌草丛类,为280.66 Tg。

5.3 四川省草地总碳储量

四川省草地生态系统总碳储量为2 302.97 Tg(图4)其中地上生物量碳为15.54 Tg,地下生物量碳104.45 Tg,地下生物量碳是地上生物量碳的6倍多,植被总碳储量为119.99 Tg,土壤碳储量为2 182.98 Tg,土壤碳储量是植被总碳储量的19倍多。

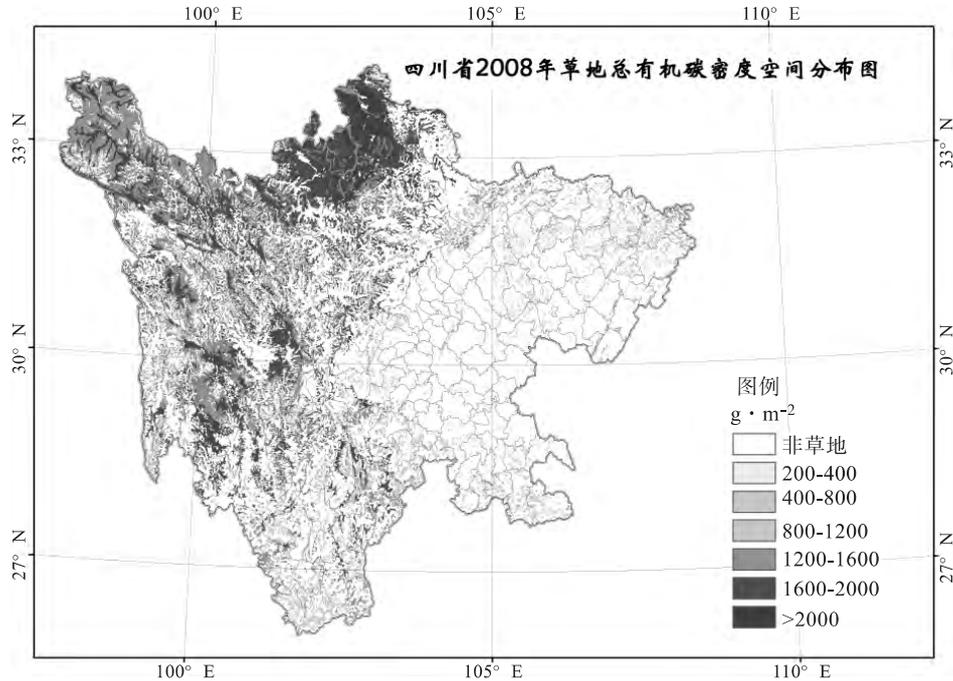


图4 四川省草地总有机碳密度分布图

Fig.4 Carbon density of grassland in Sichuan province

5.4 不同草地类型碳储量

四川省草地类型有:暖性草丛类、暖性灌草丛类、热性草丛类、热性灌草丛类、干热稀树灌草丛类、低地草甸类、山地草甸类、高寒草甸类、沼泽草地类。不同草地类型碳储量不同,高寒草甸类的碳储量最多,为941.31 Tg,其次为热性草丛类,碳储量为559.25 Tg(见表3)。

表3 四川省不同草地类型碳储量

Tab.3 Carbon storage of grassland types in Sichuan province

四川省草地类型	草地面积 ($\times 10^4 km^2$)	地上碳储量 Tg	地下植物碳储量 Tg	植被碳储量 Tg	土壤碳储量 Tg	总碳储量 Tg
热性草丛类	1.13	1.14	5.06	6.20	553.04	559.25
暖性草丛类	0.21	0.16	0.72	0.89	13.45	14.34
热性灌草丛类	3.92	2.34	10.32	12.66	280.66	293.32
暖性灌草丛类	1.66	1.10	4.85	5.94	118.84	124.78
干热稀树灌草丛类	0.07	0.07	0.30	0.37	11.97	12.34
低地草甸类	0.23	0.19	1.22	1.42	38.72	40.13
山地草甸类	2.97	2.45	15.29	17.75	261.39	279.14
高寒草甸类	9.75	7.72	61.18	68.90	872.41	941.31
沼泽类	0.43	0.35	5.45	5.79	30.66	36.46
零星草地	0.01	0.01	0.05	0.06	1.84	1.90
全省合计	20.38	15.54	104.45	119.99	2182.98	2302.97

参考文献:

- [1] 四川省畜牧局. 四川省天然草地资源调查统计册[R]. 1987.
- [2] 张新跃,周裕,唐川江等. 四川省天然草原生产力监测方法研究[J]. 草业科学 2011 28(10):1859~1863.
- [3] 四川植被协作组. 四川植被[M]. 四川人民出版社,1980.
- [4] 于东升,史学正,孙维侠等. 基于1:100万土壤数据库的中国土壤有机碳密度及储量研究[J]. 应用生态学报,2005,16(12):2279~2283.
- [5] 朴世龙. 中国草地植被生物量及其空间分布格局[J]. 植物生态学报 2004 28(4) 491~498.
- [6] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳库. 见:王庚辰,温玉璞编着. 温室气体浓度和排放监测及相关过程[C]. 北京:中国环境科学出版社,1996:109~127.
- [7] 方精云,等. 1981-2000年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学D辑:地球科学 2007 37(6):804~812.