

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2017.05.001

中国草地碳库估算差异性综合分析

王穗子^{1,2}, 樊江文^{1*}, 刘 帅³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 农业部草原监理中心, 北京 100125)

摘要:我国草地资源丰富,固碳量大,具有深厚的碳汇潜力。本文综合分析已发表的中国草地碳库相关研究结果,以期阐述中国草地碳库的情况及其分布格局,探究草地碳储量估算中不确定性因素导致的差异性。结果表明:中国草地碳储量估算结果差异较大,接近 4 倍;中国草地有机碳主要分布于高寒和温带地区;采用不同资料数据来源估算出的草地面积不同,利用草场普查资料估算的草地面积均值最大,卫星遥感数据估算出的最小;不同估算方法也导致碳库估算结果存在差异,全球平均碳密度法的草地碳储量平均估值最大,模型估算法最小;根冠比范围差距由 0.38 到 52.30 导致草地地下生物量碳储量估算差异较大。经综合分析,中国草地碳储量为 41.67 PgC,具有较大的碳汇潜力。

关键词:草地生态系统;碳库;碳汇;差异性;分布格局

中图分类号:S153.61

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2017)05-0905-09

A Comprehensive Analysis of Difference in Carbon Stock Estimation in the Grasslands of China

WANG Sui-zi^{1,2}, FAN Jiang-wen^{1*}, LIU Shuai³

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Grassland Monitoring and Supervision Center, Ministry of Agriculture, Beijing 100125, China)

Abstract: As one of the most widespread vegetation types in the world, grassland ecosystem plays an important role in the global carbon cycle. China has very abundant resource of meadows and profound carbon sink. Grassland ecosystem holds a central position in the process of carbon cycling in terrestrial ecosystems in China, and even in global. The estimated carbon stock was different in the studies due to the differences in estimation methods and data resources. This study makes a synthetic analysis on carbon stock in grassland ecosystem of China by literatures. Our estimate indicated that the estimation of total carbon storage in grassland in China was very different. In China, the grassland carbon reserves are mainly distributed in alpine and temperate regions. The average area of grassland varied largely from different data resources, the maximum and minimum average areas came from the data of grassland inventory and remote sensing, respectively. Below-ground biomass estimates are also different due to different Root-shoot ratio data. The carbon storage was also different depending on estimation methods. The maximum and minimum value was estimated by average carbon density in global and models, respectively. Using a comprehensive analysis, the valuation of total carbon storage in the grassland of China was 41.67 PgC, which has great potential for carbon sequestration.

Key words: Grassland ecosystem; Carbon storage; Carbon sink; Difference; Distribution pattern

随着《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》的推出,全球气候变化和碳增汇减源成为了国际社会广泛关注的焦点。陆地生态系统在全球碳循环

中起着重要作用^[1],而草地作为分布最广泛的植被类型之一,是重要的碳汇资源,在热带和温带均有分布,大约占据了陆地面积的 20%。其具有保持水

收稿日期:2017-03-15;修回日期:2017-09-06

基金项目:草原碳汇和碳排放权交易(Y6L60170AJ);南方草地固碳现状速率(Y3L30240AJ)资助

作者简介:王穗子(1990-),女,博士研究生,主要从事草地生态学研究,E-mail:wsz_3225@163.com; * 通信作者 Author for correspondence, E-mail: fanjw@igsnrr.ac.cn

土、净化空气、防风固沙、控制温室气体排放的功能,在全球碳循环和对区域气候的变化上具有重要作用^[2-3]。

我国草地资源极为丰富^[4],天然草地面积大,占世界草地面积的 5.71%~9.34%,蕴藏着全球草地碳的 3.59%~15.98%^[5-10],中国草地生态系统面积为陆地生态系统面积的 28.97%~47.40%,其植被碳储量占到中国陆地生态系统植被层碳储量的 2.65%~13.58%,土壤层碳储量高达 12.62%~64.59%^[11-14],表明我国草地碳储量在世界草地碳储蓄积占据重要地位^[15-16],具有相当深厚的碳汇潜力。草地生态系统的碳收支对我国乃至世界陆地生态系统的碳汇功能具有不可替代的意义,也是目前国际地圈-生物圈研究计划碳循环研究中的重要组成部分^[17]。

有大量学者对草地生态系统进行了碳蓄积的研究,Atjay 等^[5]估算全球草地碳储量为 761 PgC。Raich 等^[18]认为全球草地生态系统碳储量约为 266.3 PgC,约占陆地生态系统碳储量的 12.7%。据 WBGU 估算,全球草地生态系统碳储量约为 1 200 PgC^[19]。Ojima 等^[20]也应用 CENTU-RY 模型模拟计算了全球 7 个草地生态区域的土壤表层有机碳含量。近年来国内一些学者也相继开展了我国草地碳库碳汇的研究^[21-27]。但是由于采用的草地分类系统、草地面积的不同、估算方法和技术差异,草地生态系统的碳储量和碳汇估算结果存在很大的不确定性。因此,本文综合分析了中国草地生态系统碳储量和碳汇研究中已发布的数据,试图阐述(1)中国草地碳库和碳汇的大小及其变化;(2)中国草地碳蓄积分布格局;(3)中国草地碳储量估算中不确定性因素导致的差异性。以期系统梳理草地生态系统碳库的研究结果,为我国草地生态系统碳循环研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据来源于相关文献以及统计年鉴、草地普查资料等各类数据。选择关键词为:中国(China/Chinese)、草地(grassland)、碳储量(carbon storage/stock)、碳汇(carbon sink),通过搜索 Web of Science 和中国期刊全文数据库(CNKI),筛选出截止 2017 年前的相关文献。提取每篇文献的中国草地面积、草地生物量碳储量、草地土壤碳储量、碳密度、

草地年均碳汇。若文献中数据是以图的形式,则使用软件 GetData Graph Digitizer 将图形进行数字化后再提取。

1.2 数据分析

采用 EXCEL 2016 软件对文献中收集到的数据进行初步统计分析,采用 SPSS 17.0 软件中单因素方差分析(one-way ANOVA)对各研究的中国不同草地类型面积和碳储量进行差异显著性检验。并利用 origin 9.1 和 graphPad Prism5 进行制图。

2 结果与分析

2.1 中国草地碳储量及碳汇

由于不同的研究年限、草地分类系统、资料来源、估算方式、采用草地面积的差异和地下生物量数据的缺乏,使得估算出的碳库大小存在较大差异,各研究中采用的中国草地面积为 $184.67 \times 10^4 \sim 430.66 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[28-29],其中广泛采用的草地面积为 $331.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[30-34]。目前各研究中,中国草地生物量碳库的估算范围是 900~4660 TgC 之间,土壤碳库估算范围是 12.4~63.44 PgC,中国草地生态系统碳库大小为 14.5~64.46 PgC,几乎绝大部分的碳存储于土壤中。

2.1.1 草地植被碳储量 不同研究得到的草地生物量碳库估算值介于 900~4 660 TgC,相差 4~5 倍(表 1)。Fang 等^[29-31]与 Piao 等^[32-33]基于草场普查资料和根茎比、Yang 等^[34]使用 2008 年全国草地监测数据和遥感影像、高树琴等^[35]通过相关文献结合 1:100 万植被图和遥感影像对中国草地生物量碳库进行估算,估算结果较为相近(约 1 PgC)。沈海花等^[36]整合分析近年资料并结合 1982-2011 年遥感数据,估算中国草地生物量碳库为 2 620 TgC,碳密度为 $936.8 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2}$,研究估算结果高于前面,主要是因为该研究中包括生物量密度较高的草丛和草本沼泽,而未包括生物量密度较低的荒漠植被。Fan 等^[37]利用 1980 年中国草地资源资料和 2003-2004 年野外实测生物量数据估算结果为 3 316 TgC,平均生物量密度为 $1 002 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2}$,远高于 Fang 等人^[29-31]和 Piao 等人^[32-33]的估算值,可能由于植物样方里还包括了凋落物和立枯物。Ni 等^[13,15]根据全球平均生物量碳密度估算中国草地生物量碳库为 3 060~4 660 TgC,与 Fan 等^[37]研究结果相近。

基于 CEVSA 模型、DNDC 模型、TEM 模型估算出的中国草地生物量碳储量分别为 3 356 TgC^[12], 2 100 TgC^[38] 和 3 150 TgC^[39]。如表 1

所示,草地生物量碳库在估算上存在差异主要是由于草地分类系统的差异、植物样方内的凋落物和立枯物的统计差异及生物量密度估算范围差异。

表 1 相关研究估算的中国草地生物量碳库

Table 1 The biomass carbon stock of grassland ecosystem in China

面积/10 ⁴ km ²	植被生物量碳库/Tg C	生物量碳密度/g C · m ⁻²	数据来源与方法	参考文献
Areas	Biomass carbon storage	Biomass carbon density	Data sources and methods	References
430.7	1019.9	236.8	国家草地普查资料,根茎比估算	[29]
331.4	1150.0	346.0	草场资源普查资料,根茎比,遥感数据	[30]
331.4	1000.0	320.5	文献综述,实测数据	[31]
331.4	1044.8	315.3	草场资源普查资料,根茎比,遥感数据	[32]
334.1	1053.1	315.3	草场资源普查资料,遥感数据	[33]
280.0	1180.0	421.6	文献综述,遥感数据	[35]
280.0	2620.0	936.8	根茎比,遥感数据	[36]
341.7	900.8	-----	地面调查数据,遥感数据	[34]
331.0	3316.0	1002.0	国家草地资源数据,野外实测生物量数据	[37]
405.9	4660.0	1148.2	全球不同草地类型的平均生物量	[13]
299.0	3060.0	1023.5	全球不同草地类型的平均生物量	[15]
263.2*	3356.0*	-----	CEVSA 模型,遥感数据	[12]
337.0	2100.0	623.2	DNDC 模型	[38]
394.9	3150.0	797.0	TEM 模型	[39]

注: * 表示包括草地和有林草地

Note: * indicates including grassland and wooded grassland

2.1.2 草地土壤碳储量 土壤碳库是植被碳库的 3 倍,大气碳库的 2 倍^[40],是全球碳循环非常重要的组成部分,土壤碳库的变化会改变大气 CO₂ 浓度进而影响全球的碳平衡。草地生态系统碳循环的主要过程是在土壤中完成。草地生态系统的碳库主要储存于土壤中,约占草地生态系统碳库总量的 90% 以上^[12-13,31]。基于基础数据和计算方法的差异,不同研究对中国草地土壤碳库的估算结果差异较大,低至 12.4 PgC^[38],高至 59.47 PgC^[39](表 2)。Ni 等^[13,15]基于全球土壤数据库估算出中国草地土壤

碳密度为 13.20 kg C · m⁻²,估算得到中国草地 1 m 深土壤碳库为 53.72 PgC,其中可利用草原为 41.03 PgC。Xie 等^[41]根据第二次全国土壤普查数据中 2 743 个土壤剖面资料,估算出中国草地土壤有机碳密度为 15.10 kg C · m⁻²,高于全球土壤数据库估算出的碳密度值。张利^[39]基于第二次全国土壤普查数据和 TEM 模型得到的土壤碳密度略低于 Xie^[41],为 14.30 kg C · m⁻²。Li 等^[12]采用 CEVSA 模型预测出草地土壤碳密度为 9.99 kg C · m⁻²,有林草地土壤碳密度为 12.76 kg C · m⁻²。

表 2 相关研究估算的中国草地土壤碳库

Table 2 The soil carbon stock of grassland ecosystem in China

土壤深度/cm	土壤碳库/PgC	土壤碳密度/kg C · m ⁻²	数据来源与方法	参考文献
Soil depth	Soil carbon storage	Soil carbon density	Data sources and methods	References
100	28.10	8.50	文献综述结合实测数据	[31]
100	53.72	13.20	全球土壤数据库	[13]
100	41.03	13.20	全球土壤数据库	[15]
100	28.97*	11.40*	CEVSA 模型	[12]
103	37.71	15.10	第二次全国土壤普查数据	[41]
100	35.06	10.26	1:100 万中国土壤数据库	[34]
0~50	12.40	-----	1:100 万中国土壤数据库, DNDC 模型	[38]
103	59.47	14.30	第二次全国土壤普查数据, TEM 模型	[39]

注: * 表示包括草地和有林草地

Note: * indicates including grassland and wooded grassland

2.1.3 草地碳汇 碳汇体现为汇集、吸收和固定二氧化碳的能力,是一种过程、活动或机制和贮存库,可以用来表征碳循环过程的一种状态。Fang 等^[30]

根据遥感数据和草地资源普查数据计算出中国草地上生物量及其时空变化,结合地上与地下生物量比例估算得出 1981—2000 年中国草地总碳汇为

0.127 PgC, 年均碳汇 7.04 Tg C · a⁻¹。Piao 等^[16, 33]利用草场资源数据、NDVI、时间序列数据和基于卫星的统计模型, 研究显示 1982—1999 年中国草地生物量年均碳汇为 1.01 Tg C · a⁻¹。Fang 等^[42]采用 CASA 模型估算出 1982—2000 年中国草地(包括温带草原、高山草地和萨王纳)净初级生产力增加为 7.20 Tg C · a⁻¹。Sui 等^[43]采用生物地球化学循环模型分析 1951—2007 年中国草地碳汇, 结果得出年均碳汇为 7.30 Tg C · a⁻¹。Tian 等^[44]使用了两种基于过程的生态系统/生物地球化学模型(陆地生态系统模型和陆地生态系统动态模型)研究得出 1981—2000 年中国草地生态系统生物量年均碳汇 5 Tg C · a⁻¹, 草地土壤碳汇为 22 Tg C · a⁻¹。任继周等^[45]采用综合顺序分类法(CSCS)及 NPP 分类指数模型计算中国草地近 50 年(1950—2000)和未来 50 年(2001—2050)空间分布, 研究表明 1950—2000 年我国潜在草地年碳汇潜力 773.21 Tg C(潜在草地面积为 549.38 × 10⁴ km²), 并估算 2001—2050 年我国潜在草地年碳汇潜力 901.25 Tg C(潜在草地面积为 530.40 × 10⁴ km²)。

2.2 草地碳储量与碳汇的变化

根据草地资源普查数据和遥感数据, Piao 等^[33]发现 1982—1999 年中国草地地上生物量碳库显著增加 1.01 Tg C · a⁻¹。基于土壤有机碳与 NDVI 及气候因子建立多元回归统计模型, Piao 等^[16]估算 1982—1999 年中国草地生物量有机碳库平均年碳沉积量为 7 ± 2.5 Tg C, 草地土壤有机碳储量增加 6.0 ± 1.0 Tg C/年。有研究表明 1961—2013 年, 中国草地碳平均增长速率为 19.4 Tg C · a⁻¹^[39]。2000—2007 年, 中国草地年碳沉积量为 71 ± 4 Tg C^[38]。由此可见中国草地生态系统仍是一个碳汇。而 Yang 等^[46-47]基于大样本野外测定数据, 结果表明, 过去 20 余年中国北方草地和青藏高原草地土壤有机碳没有明显变化。Ma 等^[48]基于更长时间序列研究表明, 1982—2006 年中国北方草地生物量碳库增加趋势微弱, 平均每年增加 0.2 Tg C, 但特别在 20 世纪 80 年代后期几乎无显著变化趋势。Xie 等^[41]根据文献综述, 估算近 20 年来中国草地土壤有机碳库的变化, 发现大量有机碳的流失。

2.3 中国草地碳蓄积分布格局

目前相关研究在估算草地碳储量和碳汇时主要采用 4 种草地分类系统, 第一种是中国草地普查资

料^[49], 第二种是中国草地资源图^[50], 第三种为中国土地利用图^[51], 第四种是中国植被图^[52-53]。综合计算相关文献^[15, 34, 37-38, 54]中对中国 18 个草地类型的碳蓄积估算, 得到结果如图 1 所示。沼泽的植被碳密度最大(3 kg · m⁻²), 其次为热性灌草丛类、干热稀树灌草丛类、暖性灌草丛类、低地草甸类、温性草甸草原类, 约为 1.5~1.6 kg · m⁻²。土壤碳密度最高的草地类型是高寒草甸草原类、高寒草甸类和山地草甸类, 约 18.2 kg · m⁻²。中国草地的有机碳主要分布于高寒和温带地区, 高寒地区占中国草地面积 32.50%, 碳储量为 21.15 PgC(占中国草地碳储量的 48.76%), 占据中国草地面积 34.91%的温带地区碳储量为 10.54 PgC(24.30%)。其中面积占 15.21%的高寒草甸类储存了中国草地 26.31%的碳。温性草原类和高寒草原类也分别占中国草地总碳储量的 10.86%和 14.49%。对中国草地总碳储量具有重要作用。高寒草甸类和高寒草原类面积约为中国草地面积的 1/4, 储存了中国草地土壤中约 1/2 的碳, 说明高寒地区草地碳储量丰富。这两类草原主要位于青藏高原, 植被类型极为丰富且年均温低, 能缓解土壤有机质的分解速率和增加有机质积累, 土壤碳储量巨大^[55]。而其他类型草地, 包括沼泽、温性荒漠草原类、温带草原性荒漠类、温性荒漠类、高寒荒漠类、高寒荒漠草原类、暖性草丛类、暖性灌草丛类、热带草丛类、热带灌草丛类、干热稀树灌草丛类碳储量只有 12.90 PgC, 不足草地总碳储量的 1/3, 尤其是沼泽面积和碳储量都很低。

2.4 中国草地碳储量估算的差异分析

2.4.1 中国草地面积估算来源的差异性

按照中国植被图估算得出中国草地面积为 280 × 10⁴ km²^[36], 336.98 × 10⁴ km²^[38] 和 406 × 10⁴ km²^[13]。而根据中国草场资源普查资料估算出中国草地面积差异也较大, 最小为 298.97 × 10⁴ km²^[15], 最大达 430.66 × 10⁴ km²^[29]。利用卫星遥感数据估算出的结果也存在较大的不确定性, 基于 TM 和中国陆地卫星影像(1999—2000)估算出中国草地面积为 331 × 10⁴ km²^[56]。根据 2001 年 MODIS 草地覆盖数据得到的中国草地面积为 225 × 10⁴ km²^[57]。而基于 NOAA/AVHRR(8 km)全球植被覆盖数据, 得出中国草地面积是 263.22 × 10⁴ km²^[12]。也可使用模型根据植被和气候关系估算潜在的植被分布^[58-59], Ni 等人^[58]以 BIOME3 模型根据当前气候条件、CO₂ 增强气候条件、对植物生理的直接影响的天气情景估算出

中国草地面积分别为 $377.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, $416.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ 和 $357.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

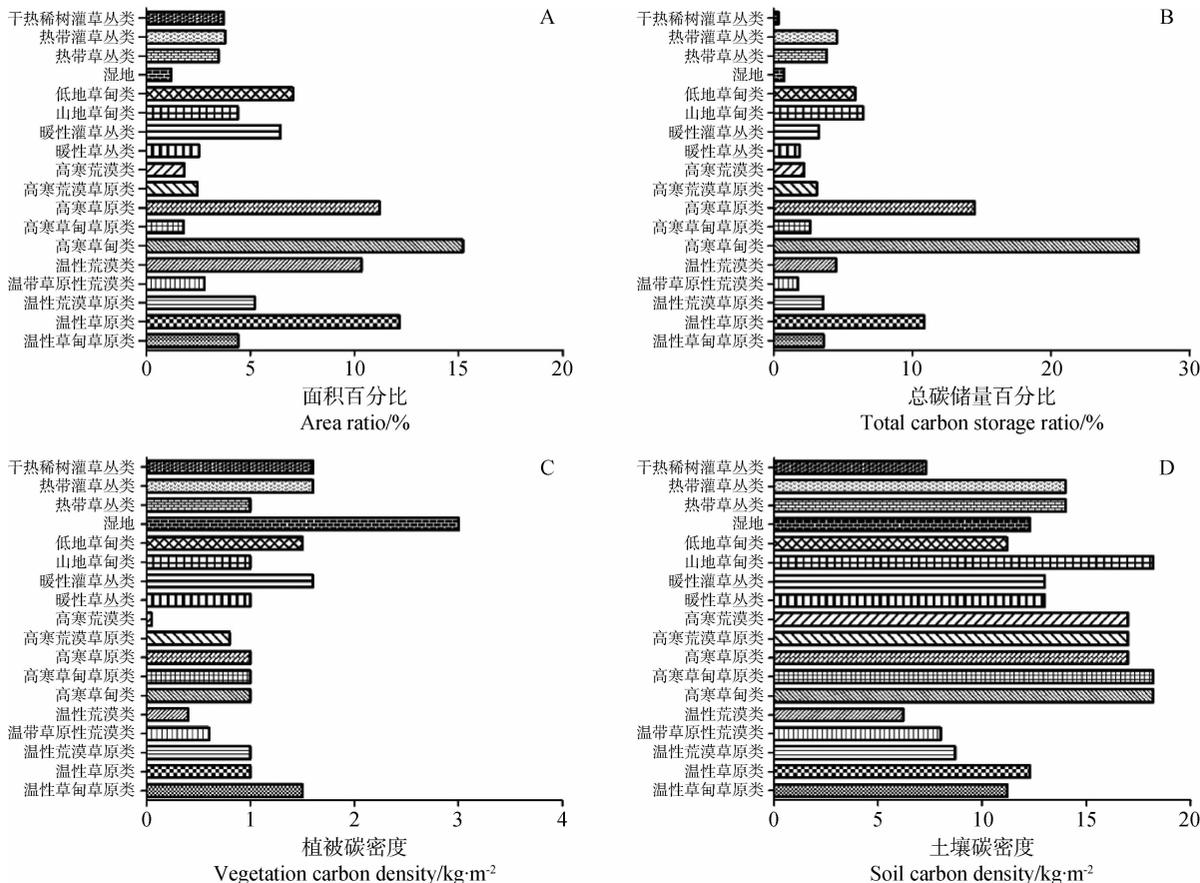


图 1 不同类型草地碳密度和碳储量

Fig. 1 The carbon density and carbon storage in different grassland types

注: A. 各类型草地面积; B. 各类型草地总碳储量; C. 各类型草地植被碳密度; D. 各类型草地土壤碳密度

Note: A. Area ratio; B. Total carbon storage ratio; C. Vegetation carbon density; D. Soil carbon density

不同的草地分类系统和资料来源会导致草地面积和单位面积碳密度不同,估算的草地面积差异异常会导致碳储量估算结果差异较大。中国草地面积估算存在不确定性主要是由于中国植被图、草场普查资料、卫星遥感数据、模型这 4 种不同类型数据来源引起的。综合分析已有的研究估算结果,中国草地面积为 $184.67 \times 10^4 \sim 430.66 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。不同来源资料所采用的中国草地面积由大到小为:草场普查资料 > 模型 > 中国植被图 > 卫星遥感数据,其中草场普查资料的估算值显著大于卫星遥感数据的估算值 ($P < 0.05$)。不同资料来源估算出的中国草地面积均值在 $274.45 \times 10^4 \sim 355.04 \times 10^4 \text{ km}^2$ 之间(图 2)。

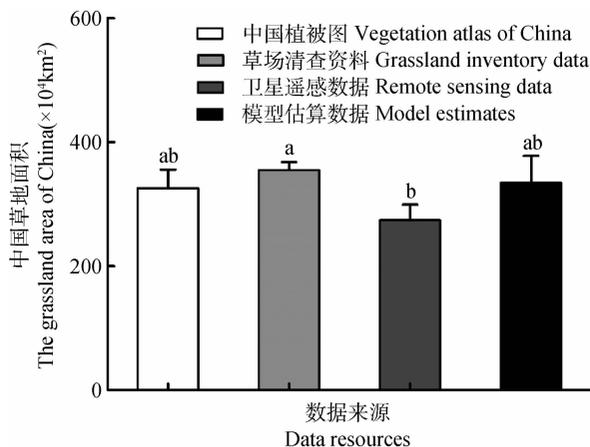


图 2 不同来源资料的中国草地面积

Fig 2 The grassland area of China in different data resources

注:不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: different lowercase letters indicate significant difference among data resources at the 0.05 level

2.4.2 草地碳库不同估算方法的差异性 中国草地碳库估算方法,目前主要有遥感-植被指数法、全球生物量密度法、实地调查法、模型估算法(图3,表3)。全球生物量密度法的生物量碳储量估值(3.86 PgC)显著大于遥感植被指数法和实地调查法($P < 0.05$),其次是模型估算法(2.87 PgC)。遥感-植被指数法得到的数值最小(1.08 PgC),显著低于全球生物量密度法和模型估算法得到的估值。4种估算方法估算出的草地土壤碳储量,也是全球生物量密度法估值最大(46.04 PgC),而估值

最小的方法是模型估算法(28.88 PgC),但4种估算方法的数值无显著差异。4种估算方法的中国草地总碳储量值之间差异也不显著,其中全球生物量密度法的估值最大(51.24 PgC),模型估算法估值最小(31.84 PgC),且遥感-植被指数法、实地调查法、模型估算法估值均很相近。采用遥感-植被指数法得到的生物量和土壤碳储量估值差异最小,数值较为接近,而模型估算法得出的土壤碳储量和总碳储量的估值差距最大,该方法得到的数据误差较大。

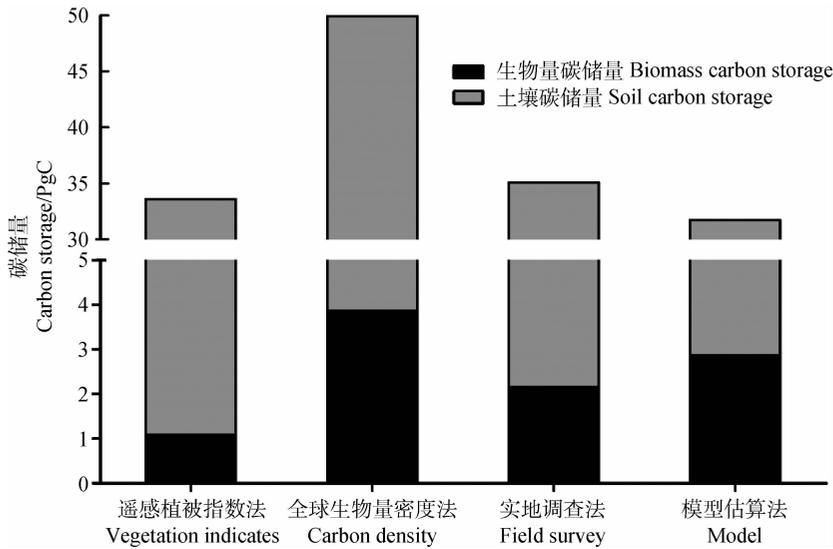


图3 不同估算方法得到的草地生物量碳储量和土壤碳储量

Fig. 3 The biomass and soil carbon storage estimated by different methods

表3 不同方法估算出的草地碳储量

Table 3 The carbon storage of grassland estimated by different methods

	生物量碳储量 /PgC Biomass carbon storage	土壤碳储量 /PgC Soil carbon storage	总碳储量 /PgC Total carbon storage
遥感植被指数法 Vegetation indicates	1.08±0.05 ^b	32.53±2.07 ^a	33.65±1.95 ^a
全球生物量密度法 Carbon density	3.86±0.65 ^a	46.04±5.51 ^a	51.24±5.83 ^a
实地调查法 Field survey	2.16±0.95 ^{bc}	32.91±3.92 ^a	35.06±4.87 ^a
模型估算法 Model	2.87±0.55 ^{ac}	28.88±19.53 ^a	31.84±19.92 ^a

2.4.3 草地地下生物量估算的差异性 估算草地地下生物量最常见的方法是根冠比,但根冠比数据相对缺乏,因此以根冠比数据估算也会产生很大误差。有研究表明,全球各类植被根冠比数据中约62%都存在问题^[60]。Fan等^[37]对我国17个不同类型的草地群落进行调查并结合文献记录数据得到根冠比范围在0.99~52.28。Piao等^[33]和方精云等^[29]根据文献记录得到草地的根冠比,Piao等^[33]认为17类草地根茎比范围在0.45~15.68,方精云等^[29]得出6类草地类型根茎比平均值为0.38~25。Yang等^[61]通过大量的调查分析北方草地根冠比范

围为0.4~14.3。各研究中根冠比的范围差异较大,从0.38~52.3。根冠比均值之间差异性也高达两倍,Fan根冠比平均值是Piao的两倍。根据不同研究中的根冠比,得到的地下生物量估值会存在显著差异。

3 讨论

通过综合分析已有的研究结果^[12-16,28-39,41-44,54],得到中国草地生物量碳密度平均值约为623.9 g C·m⁻²,土壤碳密度均值约为12.22 kg C·m⁻²,中

国草地面积估算均值为 $324.47 \times 10^4 \pm 57.03 \times 10^4$ km²。根据碳密度和草地面积均值进行估算,得出中国草地总碳库约为 41.67 PgC(其中草地生物量碳储量为 2.02 PgC,草地土壤碳储量约为 39.65 PgC)。中国草地碳储量主要集中于高寒草甸类、高寒草原类、温性草原类这几类草原,主要位于中国北部和西部,占中国草原面积 38.56%,却储存了大约中国草地土壤 51.65%的碳。其中高寒草甸类和高寒草原类主要分布于青藏高原地区,该地区海拔高、温度低,有机质分解缓慢,碳储量较高^[62-63],对全球碳循环具有重要意义。其他草地类型如荒漠、沼泽、山坡等则碳储量较低。中国草地碳储量估算存在差异性,主要是因为草地面积、估算方法的不同。4种不同类型数据来源(分别为中国植被图、草场清查资料、卫星遥感数据、模型数据)导致中国草地面积估算存在不确定性和差异性。中国草地面积估算低至 184.67×10^4 km²^[28],高至 430.66×10^4 km²^[29]。中国草场清查资料中划分了 18 类植被类型,对草地的定义中还包括了灌木和稀疏乔木的饲用植物地。中国植被图将草地划分为 40 多种类型,对草地定义是以草本植物占优势的植物群落。遥感资料没有统一的分类系统且缺乏详细的地面验证,故估算出的面积结果具有较大的差异。不同的估算方法中,根据全球生物量碳密度法得到的草地碳储量估值均为最大^[15],但是全球碳密度数据库高度简化了地球上各类生态系统,且不同的植被分类系统,不同的草地类型之间群落结构和物种组成均差异较大,故用此方法来估算中国草地碳库可能会存在较大的误差。实地调查法的数据较为可靠,但实际操作中较难均匀取样,在有限的实地调查中得到的数据来推算整个地区的碳储量也存在较大误差。模型估算法中生物量碳储量估算值较高,且估值差异较大,可能与其模型自身适用性和估算精度有关,获取驱动模型所需的数据也较为困难。遥感一植被指数法结合实地调查法,可以更为准确的反映中国草地碳库的真实情况。而根冠比的不同,同样会导致地下生物量估算存在很大不确定性,可能会大大低估草地生态系统的碳储存能力,亟待更精确的各种草地类型的根冠比数据。

4 结论

中国草地碳库在全球及区域尺度上对全球碳平衡均具有很重要的意义,特别是草原土壤碳库。草

地中植物根系庞大,且地下生物量占据很大的比例,草地碳储量的估算具有很大的不确定性,估算面积、草地分类、土壤分类、估算方法、数据收集、土壤采样等均是碳蓄积量估算误差的重要因素。应进一步完善我国草地分类系统和土壤分类的标准和划分依据,进一步完善土壤剖面实测数据,进一步开展地下生物量碳和土壤碳的研究,尽可能获取地下生物量数据,从而准确的评估中国草地生态系统的碳储量,这将对正确认识我国草地在全球碳库的地位具有重要的意义。CO₂ 浓度升高、温度升高、降水格局改变、土地利用变化等都会导致草地有机碳库的变化,目前多只考虑单一因子或部分因子对草地碳库的影响,应开展系统的综合研究,加强多因子对草地碳储量动态变化、退化机理和生态影响的研究,这对草地生态系统乃至陆地生态系统碳平衡具有非常重要的作用。

参考文献

- [1] Schindler D W. Carbon cycling-The mysterious missing sink [J]. *Nature*, 1999, 398(6723): 105
- [2] Scurlock J M O, Hall D O. The global carbon sink: a grassland perspective[J]. *Global Change Biology*, 1998, 4(2): 229-233
- [3] Scurlock J M O, Johnson K, Olson R J. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements[J]. *Global Change Biology*, 2002, 8(8): 736-753
- [4] 中华人民共和国农业部畜牧兽医司. 中国草地资源[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996
- [5] Ajtay G, Ketner P, Duvigneaud P. Terrestrial primary production and phytomass[M]. New York: John Wiley & sons, 1979
- [6] Schuman G E, Janzen H H, Herrick J E. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands[J]. *Environmental Pollution*, 2002, 116(3): 391-396
- [7] Prentice I C, Sykes M T, Lautenschlager M, *et al.* Modeling Global Vegetation Patterns and Terrestrial Carbon Storage at the Last Glacial Maximum[J]. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 1993, 3(3): 67-76
- [8] Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, *et al.* Soil Carbon Pools and World Life Zones[J]. *Nature*, 1982, 298(5870): 156-159
- [9] Whittaker R H, Niering W A. Vegetation of the santa catalina mountain, arizona. v. biomass, production and diversity along the elevation gradient[J]. *Ecology*, 1975, 56(4): 771-790
- [10] Olson R J, Watts J A, Allison L J. Carbon in live vegetation of major world ecosystem[M]. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory, 1983
- [11] Yu G R, Li X R, Wang Q G, *et al.* Carbon storage and its spatial pattern of terrestrial ecosystem in china[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2010, 1(2): 97-109

- [12] Li K R, Wang S Q, Cao M K. Vegetation and soil carbon storage in China[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2004, 47(1): 149-157
- [13] Ni J. Carbon storage in terrestrial ecosystems of China: estimates at different spatial resolutions and their responses to climate change[J]. Climatic Change, 2001, 49: 339-358
- [14] Wang S Q, Zhou C H, Li K R, *et al.* Estimation of soil organic carbon reservoir in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2001, 11(1): 3-13
- [15] Ni J. Carbon storage in grasslands of China[J]. Journal of Arid Environments, 2002, 50(2): 205-218
- [16] Piao S L, Fang J Y, Ciais P, *et al.* The carbon balance of terrestrial ecosystems in China[J]. Nature, 2009, 458(7241): 1009-1013
- [17] Kang L, Han X, Zhang Z, *et al.* Grassland ecosystems in China: review of current knowledge and research advancement [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B-biological Sciences, 2007, 362(1482): 997-1008
- [18] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate [J]. Tellus Series B-chemical and Physical Meteorology, 1992, 44(2): 81-99
- [19] 杨红飞, 穆少杰, 李建龙. 气候变化对草地生态系统土壤有机碳储量的影响[J]. 草业科学, 2012(3): 392-400
- [20] Ojima D S, Dirks B O M, Glenn E P, *et al.* Assessment of C budget for grasslands and drylands of the world[J]. Water Air and Soil Pollution, 1993, 70(1-4): 95-109
- [21] 马文红, 韩梅, 林鑫, 等. 内蒙古温带草地植被的碳储量[J]. 干旱区资源与环境, 2006(3): 192-195
- [22] Yang Y H, Fang J Y, Pan Y D, *et al.* Aboveground biomass in Tibetan grasslands [J]. Journal of Arid Environments, 2009, 73(1): 91-95
- [23] 王建林, 常天军, 李鹏, 等. 西藏草地生态系统植被碳储量及其空间分布格局[J]. 生态学报, 2009(2): 931-938
- [24] 王亮, 牛克昌, 杨元合, 等. 中国草地生物量地上-地下分配格局: 基于个体水平的研究[J]. 中国科学: 生命科学, 2010(07): 642-649
- [25] 霍艳双, 杨波, 杨雪栋, 等. 草地土壤有机碳研究进展[J]. 中国草地学报, 2014(06): 90-96
- [26] 穆少杰, 周可新, 陈奕兆, 等. 草地生态系统碳循环及其影响因素研究进展[J]. 草地学报, 2014(03): 439-447
- [27] 钟华平, 樊江文, 于贵瑞, 等. 草地生态系统碳循环研究进展 [J]. 草地学报, 2005, 13: 67-73
- [28] 王思远, 刘纪远, 张增祥, 等. 中国土地利用时空特征分析[J]. 地理学报, 2001, 56(6): 631-639
- [29] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳库[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996: 109-128
- [30] Fang J Y, Guo Z D, Piao S L, *et al.* Changes in biomass carbon stocks in China's grasslands between 1982 and 1999[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 50(9): 1341-1350
- [31] 方精云, 杨元合, 马文红, 等. 中国草地生态系统碳库及其变化 [J]. 中国科学: 生命科学, 2010, 40(7): 566-576
- [32] 朴世龙, 方精云, 贺金生 等. 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
- [33] Piao S L, Fang J Y, Zhou L M, *et al.* Changes in biomass carbon stocks in China's grasslands between 1982 and 1999[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2007, 21(2): B2001-B2002
- [34] Yang T T, Li P, Liu P T, *et al.* Distribution of grassland biomass carbon storage in china [J]. Advanced Materials Research, 2012, 518-523(2012): 183-188
- [35] 高树琴, 赵霞, 方精云. 我国草地的固碳功能[J]. 中国工程科学, 2016, 18(1): 73-79
- [36] 沈海花, 朱言坤, 赵霞, 等. 中国草地资源的现状分析[J]. 科学通报, 2016, 61(2): 139-154
- [37] Fan J W, Zhong H P, Harris W, *et al.* Carbon storage in the grasslands of China based on field measurements of above- and below-ground biomass[J]. Climatic Change, 2008, 3-4(86): 375-396
- [38] 张峰. 中国草原碳库储量及温室气体排放量估算[D]. 兰州: 兰州大学, 2010
- [39] 张利, 周广胜, 汲玉河, 等. 中国草地碳储量时空动态模拟研究 [J]. 中国科学: 地球科学, 2016, 46(10): 1392-1405
- [40] Lal R. World soils and the greenhouse effect [J]. Global change newsletter, 1999, 37: 4-5
- [41] Xie Z B, Zhu J G, Liu G, *et al.* Soil organic carbon stocks in China and changes from 1980s to 2000s[J]. Global Change Biology, 2007, 13(9): 1989-2007
- [42] Fang J Y, Piao S L, Field C B, *et al.* Increasing net primary production in China from 1982 to 1999[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2003, 1(6): 293-297
- [43] Sui X H, Zhou G S. Carbon dynamics of temperate grassland ecosystems in China from 1951 to 2007: an analysis with a process-based biogeochemistry model [J]. Environmental Earth Sciences, 2013, 68(2): 521-533
- [44] Tian H Q, Melillo J, Lu C Q, *et al.* China's terrestrial carbon balance: Contributions from multiple global change factors [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2011, 25(1): GB1007-GB1022
- [45] 任继周, 梁天刚, 林慧龙, 等. 草地对全球气候变化的响应及其碳汇潜势研究[J]. 草业学报, 2011, 20(2): 1-22
- [46] Yang Y H, Fang J Y, Ma W H, *et al.* Soil carbon stock and its changes in northern China's grasslands from 1980s to 2000s [J]. Global Change Biology, 2010, 16(11): 3036-3047
- [47] Yang Y H, Fang J Y, Smith P, *et al.* Changes in topsoil carbon stock in the Tibetan grasslands between the 1980s and 2004[J]. Global Change Biology, 2009, 15(11): 2723-2729
- [48] Ma W H, Fang J Y, Yang Y H, *et al.* Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982-2006[J]. Science China-Life Sciences, 2010, 53(7): 841-850
- [49] 中华人民共和国农业部畜牧兽医司. 中国草地资源数据[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1994
- [50] 中国科学院综合考察委员会. 中国草地资源图(1: 400 万) [M]. 北京: 科学出版社, 1996

- [51] 吴传钧. 中国土地利用图(1:400万)[M]. 北京:测绘出版社, 2001
- [52] 侯学煜. 1:100万中国植被图集[M]. 北京:科学出版社, 2001
- [53] 侯学煜. 中华人民共和国植被图(1:4000000)[M]. 北京:中国地图出版社, 1982
- [54] Ni J. Forage yield-based carbon storage in grasslands of China [J]. *Climatic Change*, 2004, 67:237-246
- [55] 田玉强, 欧阳华, 徐兴良, 等. 青藏高原土壤有机碳储量与密度分布[J]. *土壤学报*, 2008, 45(5):933-942
- [56] 杜青林. 中国草业可持续发展战略[M]. 北京:中国农业出版社, 2006
- [57] 陈世荣, 王世新, 周艺. 基于遥感的中国草地生产力初步计算[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(1):208-212
- [58] Ni J, Sykes M T, Prentice I C, *et al.* Modelling the vegetation of China using the process-based equilibrium terrestrial biosphere model BIOME3[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2000, 2000(9):463-479
- [59] 冯琦胜. 基于 CSCS 模型的全球及区域潜在自然植被时空分布特征研究[D]. 兰州:兰州大学, 2012
- [60] Mokany K, Raison R J, Prokushkin A S. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes[J]. *Global Change Biology*, 2006, 12(1):84-96
- [61] Yang Y H, Fang J Y, Ma W H, *et al.* Large-scale pattern of biomass partitioning across China's grasslands[J]. *Global Ecology & Biogeography*, 2010, 19(2):268-277
- [62] Zhang Y Q, Tang Y H, Jiang J, *et al.* Characterizing the dynamics of soil organic carbon in grasslands on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Science in China Series D: earth sciences*, 2007, 50(1):113-120
- [63] Zhang K, Li X, Zhou W, *et al.* Land resource degradation in China: Analysis of status, trends and strategy[J]. *International Journal of Sustainable Development*, 2006, 13:397-408

(责任编辑 位晓婷)

2018年《草地学报》征订启事

《草地学报》是中国科协主管、中国草学会主办、中国农业大学承办的学术刊物,是了解草地科学前沿科技、创新成果和草业发展的重要窗口。主要刊登国内外草地科学研究及相关领域的新成果、新理论、新进展,以研究论文为主,兼发少量专稿、综述、简报和硕博论文精要,主要面向从事草地科学、草地生态、草地畜牧业和草坪业及相关领域的高校师生和科研院、所、站的科研人员。本刊从2012年6月20日正式开始在线投稿和审稿,欢迎各位审稿专家、作者和读者通过本刊网站(<http://www.cdxb.org>)进行审稿、投稿和查阅。

《草地学报》为中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国农业核心期刊、RCCSE中国权威学术期刊,并被美国CA及Thomson Reuters Master Journal List、英国CABI及ZR、波兰IC等检索机构收录。同时为《中国科学引文数据库(CSCD)》、《中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)》、《中国学术期刊文摘》及其英文版源期刊,并被《中国核心期刊(遴选)数据库》、《万方数据—数字化期刊群》、《中国期刊全文数据库(CJFD)》、《中国生物学文摘》、《中国生物学文献数据库》、台湾《CEPS中文电子期刊》收录,并荣获首届《CAJ—CD规范》执行优秀期刊奖。2011年影响因子为1.268(据中信所2012版《中国科技期刊引证报告》核心版);复合影响因子提升为1.905(据《中国学术期刊影响因子年报(2012)》),在所属畜牧、兽医学科中排名第2位。2012年《草地学报》进入中国科协精品科技期刊项目。

《草地学报》为双月刊,全铜版印刷,彩色四封,逢单月月末出版,国内外公开发行(国内邮发代号:80-135;国外代号:Q1949),从2014年起每期定价将调整至25元,全年150元。若错过邮订时间,可直接向本刊编辑部订购(中国草学会会员订阅可优惠30%)。

地址:北京市海淀区圆明园西路2号中国农业大学动科大楼152室

邮编:100193 电话:010-62733894

<http://www.cdxb.org>

E-mail:cdxb@cau.edu.cn