

西藏草地生态系统植被碳贮量及其空间分布格局

王建林*, 常天军, 李 鹏, 成海宏, 方华丽

(西藏农牧学院植物科学技术系, 林芝 860000)

摘要:在广泛收集资料的基础上,利用平均碳密度方法,估算了青藏高原草地生态系统 17 类草地植被的碳贮量,并分析了其空间分布格局。结果表明:(1)17 类草地植被总面积为 $8205.194 \times 10^4 \text{hm}^2$,总碳贮量为 189.367 Tg ($1\text{TgC} = 10^{12}\text{g}$),平均碳密度为 $2307.895 \text{kgC}/\text{hm}^2$,不同植被类型差异较大,在 $395.977 \sim 20471.161\text{kgC}/\text{hm}^2$ 之间波动;(2)从草地类型分布看,高寒草原和高寒草甸是西藏分布面积最大的 2 类草地,分布面积占西藏草地总面积的 70.210%,又是西藏草地碳贮量的主要贮库,碳贮量占西藏草地总碳贮量的 79.393%;(3)在空间分布格局上,随着自藏东南向西北的延伸,草地植被总碳密度逐次降低,这一水平分布格局与西藏独特的水热分布相一致;碳密度的垂直分布规律因地区而异,但各地区均以高寒草甸或高寒荒漠的低碳密度为终点,表现出“殊途同归”的特征。

关键词:西藏;植被;碳贮量;空间分布

文章编号:1000-0933(2009)02-0931-08 中图分类号:Q142, Q945, Q948 文献标识码:A

The vegetation carbon reserve and its spatial distribution configuration of grassland ecosystem in Tibet

WANG Jian-Lin, CHANG Tian-Jun, LI Peng, CHENG Hai-Hong, FANG Hua-Li

Department of Plant Science and Technology, Tibet Agriculture and Husbandry College, Linzhi 860000 China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 0931 ~ 0938.

Abstract: Based on extensively collected data, we used average carbon density method to estimate 17 vegetations carbon reserve of alpine grassland ecosystem and analyzed its spatial distribution in Tibet. The results indicated that: 1) the total area of all 17 grassland vegetation was $8205.194 \times 10^4 \text{hm}^2$, total carbon reserve was 189.367 Tg ($1\text{TgC} = 10^{12}\text{g}$), average carbon density was $2307.895 \text{kgC}/\text{hm}^2$, there was significant variation between $395.977 \sim 20471.161\text{kgC}/\text{hm}^2$ among different grassland types. 2) In the view of grassland types, Alpine grassland and Alpine meadow took the biggest portion of 70.210% all of Tibet grassland. They were also the main grassland carbon reserve in Tibet, and occupied 79.393% of the total. 3) In the spatial configuration, the vegetation carbon density gradually decrease from southeast to northwest in Tibet, This distribution is in correspondence to the particular precipitation and temperature in Tibet. Vertical distribution was different according to regions, but alpine meadow or Alpine desert had the lowest carbon density and was characterized by “reach the same goal by different routes”.

Key Words: Tibet; vegetation; carbon reserve; spatial distribution

草地是自然界中一种广泛分布的陆地生态系统类型,由于具有种类繁多、分布广泛、生命力强、萌生力强、生产力高、适生范围宽等特点,不仅在群落的演替过程中扮演着极其重要的角色,而且在区域环境保护和替代能源方面也起着非常重要的作用。近年来,为正确评价我国陆地生态系统在全球及区域碳循环和碳平衡

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40661007)

收稿日期:2007-09-20; 修订日期:2008-01-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xzwangjl@126.com

中的作用,我国科学家对中国森林、灌丛、草地等植被的碳贮量进行了广泛的估算^[1~8],但是对西藏草地生态系统碳贮量及其空间分布格局的研究还较为薄弱^[9]。

西藏地处我国西南边陲,素以“世界屋脊”和“地球第三极”著称于世。由于地质史独特,地形地貌复杂,气候带全,土壤种类繁多,野生植被多样,凡此种种,青藏高原草地生境具有全球最典型的立体生境特色,其生态环境千差万别,堪称全球之最。独特而复杂的草地生境,加上长期的自然选择,产生了极为丰富的草地类型。据研究^[10],西藏拥有 17 类草地,是我国草地类型最为复杂的省区(市),可以说西藏是我国草地类型的典型缩影区。为此,本文试图以草地类型最为复杂、地理环境最为独特的青藏高原为研究对象,通过收集西藏不同地区样地水平上的草地生物量数据进行汇总,系统研究西藏草地植被碳贮量及其空间分布格局,以期为准准确估算中国陆地生态系统碳贮量提供基础数据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

由于近 15~20a 来,西藏各类草地面积和单位面积草场载畜量变化不大,加之,截止目前,对于西藏草地调查最为系统的是于 1984~1988 年进行的第一次西藏自治区土地资源普查。为此,本文研究所用的草地类型、分布面积、产草量等数据均来源于该次普查汇总资料^[10~17]。

1.2 植被生物量估算

1.2.1 地上生物量估算方法

在第一次西藏草地资源调查资料中,所提供的草地生产力数据为鲜草产量,但是鲜草产量和地上生物量是有差别的,为此,进行补充调查。

于 2006 年 5~9 月,在西藏高寒草原、高寒草甸、高寒草甸草原等主要草地类型典型分布区,各设 30 个样地。其中:藏北的那曲、申扎、当雄 3 县各设 5 个样地,藏南的聂拉木、浪卡子、隆子 3 县各设 5 个样地。样地分布如图 1 所示。每一样地,均选地形较为一致的地段,分围栏固定和正常放牧两种处理,各设 3 个重复样方(1m×1m),每半月观测地上生物量 1 次,期间共观测 10 次,并及时将采样品送到实验室烘干称重。待测定完毕,采用多元统计分析方法^[18],拟合实测最大产草量(放牧区)与地上最大生物量(围栏固定)之间的比例关系为:

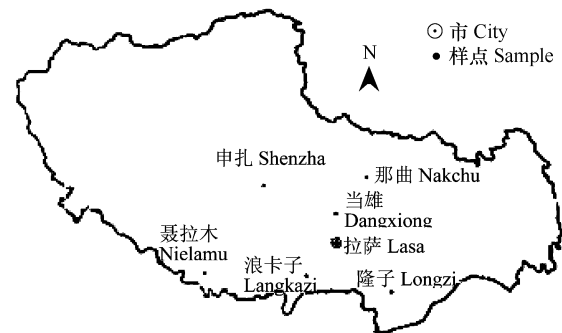


图 1 样点分布示意图

Fig. 1 Location map of study area

$$Y = 5.719X (N = 270, R = 0.8108^{**}) \quad (1)$$

式中, Y 为地上最大生物量(烘干重), X 为放牧区最大实测产草量(烘干重), N 为样本数, R 为相关系数。从式(1)可以看出,本文所建立的地上生物量(Y)与产草量(X)之间的关系方程达到 $\alpha = 0.01$ 水平的极显著差异,这表明,产草量与地上生物量之间呈极显著正相关关系。

对于第一次西藏草地资源调查资料中产草量鲜重与烘干重的换算,可根据下式进行计算:

$$D = 0.105W \quad (2)$$

式中, D 为最高月份产草量(烘干重), W 为第一次西藏草地资源调查资料中所载的最高月份产草量(鲜重),0.105 为根据有关研究资料^[19] 计算得出的产草量烘干重与鲜重的比值。

2006 年实测的样地放牧区最大产草量 X 与根据式(2) 计算得出的第一次西藏草地资源调查资料中的草地产草量 D 数据进行多重比较,发现二者差异不大,未达到 $\alpha = 0.05$ 水平的显著性差异。

为此,用式(2)中的 D 替代式(1)中的 X ,得:

$$Y = 0.6005W \quad (3)$$

通过上述分析可以看出,利用式(3),将第一次西藏草地资源调查资料中高寒草原、高寒草甸和高寒草甸草原的产草量(鲜重)数据换算为相应的地上生物量(烘干重)应该是可行的,也是较为可靠的。

由于在西藏草地中,高寒草原、高寒草甸和高寒草甸草原面积占西藏草地总面积的 77% 以上,而其他 14 类草地面积尚不足西藏草地总面积的 23%,加之关于其他 14 类草地产草量与地上生物量之间关系的研究资料非常缺乏。为此,仍然采用式(3),将第一次西藏草地资源调查资料中其他 14 类草地的产草量数据换算为相应的地上生物量。

1.2.2 地下生物量估算方法

通常,草地植被的地下生物量是根据地下与地上生物量的比例系数来估算的。由于西藏各类草地地下与地上生物量比例关系的研究报道相对较少,因此,本文研究中,不同草地植被地下与地上部分生物量的比例系数,根据文献^[7,20]进行确定(表 1)。

表 1 不同草地类型地下与地上生物量比例
Table 1 Ratio of belowground and aboveground biomass in different grassland types

草地类型 Grassland type	比例 Ratio	文献 References	草地类型 Grassland type	比例 Ratio	文献 References
温性草甸草原 Temperate meadow-steppe	5.26	[7]	暖性草丛 Warm-temperate herbosa	4.42	[7]
温性草原 Temperate steppe	4.25	[7]	暖性灌草丛 Warm-temperate shrub herbosa	4.42	[7]
温性荒漠草原 Temperate desert-steppe	7.89	[7]	热性草丛 Tropical herbosa	4.42	[7]
高寒草甸草原 Alpine meadow-steppe	7.91	[7]	热性灌草丛 Tropical shrub herbosa	4.42	[7]
高寒草原 Alpine steppe	4.25	[7]	低地草甸 Lowland meadow	6.31	[7]
高寒荒漠草原 Alpine desert-steppe	7.89	[7]	山地草甸 Temperate montane meadow	6.23	[7]
温性草原化荒漠 Temperate steppe -meadow	7.89	[7]	高寒草甸 Alpine meadow	9.32	[20]
温性荒漠 Temperate desert	7.89	[7]	沼泽类 Marsh	15.68	[7]
高寒荒漠 Alpine desert	7.89	[7]			

1.3 草地植被碳密度和碳贮量

草地植被碳密度(grassland biomass carbon density $GBCD$) $GBCD$ 计算如下式:

$$GBCD_i = Y_i \times C_i \quad (4)$$

式中, $GBCD$ 为第 i 类草地植被的碳密度($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), Y_i 为根据式(3)所求得的第 i 类草地植被的最大生物量(烘干重)($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), C_i 为第 i 类草地植被的有机碳含量(%),各类草地植被有机碳含量数据取自西藏草地资源^[10]。

各类草地植被碳贮量(Grassland biomass carbon reserve $GBCR$) $GBCR$ 的估算方法如下:

$$GBCR_i = S_i \times GBCD_i \quad (5)$$

式中, $GBCR_i$ 为第 i 类草地植被的碳贮量(kg), S_i 为第 i 类草地植被的分布面积(hm^{-2}), $GBCD_i$ 为第 i 类草地植被的碳密度($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

2 结果与分析

2.1 西藏草地植被碳密度及其空间分布

2.1.1 草地植被碳密度变化趋势与组成分布

(1) 草地植被碳密度变化趋势

由表 2 可知,西藏 17 类草地的总面积为 $8205.194 \times 10^4 \text{hm}^2$, 占整个西藏国陆地面积的 71.15%, 草地植被平均碳密度 $2307.895 \text{kgC}/\text{hm}^2$ 。从沼泽类、山地草甸、暖性草丛、热性灌草丛和热性草丛,到高寒草甸、低地草甸、暖性灌草丛、温性荒漠、高寒荒漠、温性草原和温性草甸草原,再到高寒草原、高寒草甸草原、温性荒漠草原、高寒荒漠草原和温性草原化荒漠,植被碳密度逐渐下降,最大者(沼泽类)碳密度几乎是最小者(温性草

原化荒漠)的 52 倍。表明,西藏不同草地植被碳密度差异显著,这可能与西藏高原地形地貌复杂、气候类型多样的独特地理环境有关,也可能与这种独特地理环境下,所形成的地带性草地植被的生理特性有关。

表 2 西藏草地植被类型的碳密度

Table 2 The carbon density of Tibet grasslands types

草地类型 Grassland type	面积 Area ($\times 10^4 \text{hm}^2$)	地上碳密度 Aboveground carbon density (kgC/hm^2)	地下碳密度 Belowground carbon density (kgC/hm^2)	总碳密度 Total carbon density (kgC/hm^2)
温性草甸草原 Temperate meadow-grassland	13.128	168.020	1325.675	1493.695
温性草原 Temperate grassland	180.514	205.014	1621.659	1826.673
温性荒漠草原 Temperate desert-grassland	43.488	195.046	828.944	1023.990
高寒草甸草原 Alpine meadow-grassland	600.620	124.398	981.502	1105.900
高寒草原 Alpine grassland	3195.103	133.649	1054.548	1188.197
高寒荒漠草原 Alpine desert-grassland	877.956	102.361	807.619	909.993
温性草原化荒漠 Temperate grassland -desert	10.667	44.542	351.435	395.977
温性荒漠 Temperate desert	4.923	679.286	3002.427	3681.753
高寒荒漠 Alpine desert	550.569	589.928	2607.480	3197.415
暖性草丛 Warm-temperate herbosa	1.641	1620.895	7164.368	8785.293
暖性灌草丛 Warm-temperate shrub herbosa	13.949	793.157	3505.767	4298.923
热性草丛 Tropical herbosa	0.821	668.187	4216.249	4884.450
热性灌草丛 Tropical shrub herbosa	3.282	982.298	6119.714	7102.011
低地草甸 Lowland meadow	5.744	444.227	4140.198	4584.424
山地草甸 Montane meadow	134.565	1227.093	19240.822	20467.931
高寒草甸 Alpine meadow	2565.764	488.658	4140.209	4584.443
沼泽类 Marsh	2.462	1218.521	19252.640	20471.161
合计 Total	8205.194			

(2) 碳密度的组成分布

由表 2 可知,西藏草地植被的平均地下部分碳密度为 $2032.289 \text{ kgC}/\text{hm}^2$, 占总碳密度的 88.058%, 而地上部分仅占 11.942%。在西藏草地中,除温性草甸草原、温性草原、高寒草原、暖性草丛、暖性灌草丛、热性草丛和热性灌草丛等 7 类草地植被地下部分碳密度的比例较低外,其余温性荒漠草原、高寒草甸草原、高寒荒漠草原、温性草原化荒漠、温性荒漠、高寒荒漠、低地草甸、山地草甸、高寒草甸和沼泽类等 10 类草地植被地下部分碳密度占总碳密度的比例都超过 86%。表明,地下部分是西藏草地植被碳密度积累最重要的场所。因此,与地上部分相比,地下部分对地球碳循环、温室气体的固定与排放的贡献可能更大。

2.1.2 草地植被碳密度的地理分布特征

(1) 草地植被碳密度的水平地带分布

由表 3 可知,西藏草地植被碳密度地理分布的总体趋势是由藏东南向西北逐次降低。其中,昌都地区草地植被碳密度最高,拉萨市仅次于昌都地区,居第 2 位;林芝地区和山南地区分别居第 3、4 位,而阿里、那曲和日喀则地区,则处于较低水平。这 3 个地区草地植被平均地上部分碳密度、地下部分碳密度和总碳密度分别为 247.011 、 $1714.663 \text{ kgC}/\text{hm}^2$ 和 $1961.573 \text{ kgC}/\text{hm}^2$, 仅相当于西藏平均水平的 54.833%、47.887% 和 48.659%。草地植被碳密度的这一分布格局可能与西藏独特的水热分布有关。

据西藏年平均气温和降水量分布图^[21-23],气温和降水量均自藏东南向藏西北逐次降低,所对应的气候类型由湿润型依次过渡为半湿润、半干旱、干旱型,相应的草地植被类型则由热性草丛、热性灌草丛或暖性灌草丛和暖性草丛依次过渡为高寒草甸、高寒草甸草原、高寒草原、高寒荒漠草原、高寒荒漠,或依次过渡为温性草原、温性荒漠草原、温性荒漠^[10],草地植被碳密度亦随之由高变低。

表 3 西藏各地区草地植被类型的碳密度

Table 3 The carbon density of Tibet grassland types in different areas

地区 Region	面积 Area ($\times 10^4 \text{ hm}^2$)	地上碳密度 Aboveground carbon density (kgC/hm^2)	地下碳密度 Belowground carbon density (kgC/hm^2)	总碳密度 Total carbon density (kgC/hm^2)
拉萨 Lasa	213.996	599.075	5053.917	5652.992
林芝 Linzhi	199.963	577.506	4932.603	5510.108
昌都 Changdu	573.386	715.888	5871.353	6587.241
日喀则 Rikaze	1272.997	416.930	3000.966	3417.888
阿里 Ali	2175.863	160.690	981.427	1142.117
那曲 Nakchu	3456.263	163.115	1161.596	1324.714
山南 Shannan	312.727	521.414	4062.591	4584.006

(2) 草地植被碳密度的垂直分布

据分析,西藏草地植被碳密度的垂直分布规律因地区不同而异:

林芝地区 随着海拔梯度的增高,分布的草地植被类型依次是热性灌草丛和热性草丛(2800m 以下)、暖性灌草丛和暖性草丛(2500 ~ 3600m)、温性草原和温性草甸草原(3000 ~ 4100 m)、山地草甸和低地草甸(3500 ~ 4400 m)、高寒草甸(4200 ~ 5300 m),草地植被碳密度分别为 6542.082、3623.062、4114.571、8986.642 kgC/hm^2 和 5467.515 kgC/hm^2 ,表现出“高→低→高→更高→低”的垂直分布特征。

在拉萨市 随着海拔梯度的增高,分布的草地植被类型依次是山地草甸和低地草甸(3600 ~ 4100 m)、温性草原(3600 ~ 4200 m)、沼泽类(3800 ~ 4200 m)、高寒草甸草原和高寒草甸(4300 ~ 5000 m)、高寒草原(4600 ~ 4800 m),草地植被碳密度分别为 9605.525、2504.291、30987.4、5347.259 kgC/hm^2 和 2117.48 kgC/hm^2 ,也表现出“高→低→高→更高→低”的垂直分布特征。

昌都地区 随着海拔梯度的增高,分布的草地植被类型依次是暖性灌草丛(2000 ~ 3700m)、山地草甸(2800 ~ 4200 m)、温性草原和温性草甸草原(3500 ~ 4200 m)、高寒草甸(4200 ~ 5100 m),草地植被碳密度分别为 3037.954、7426.246、2991.798 kgC/hm^2 和 6865.194 kgC/hm^2 ,表现出“低→高→低→高”的垂直分布特征。

山南地区 随着海拔梯度的增高,分布的草地植被类型依次是山地草甸(3000 ~ 4000m)、温性草原和温性草甸草原(3500 ~ 4300 m)、高寒草原和高寒草甸草原(4300 ~ 5200 m)、高寒草甸(4600 ~ 5200 m),草地植被碳密度分别为 3125.466、1963.883、4267.768 kgC/hm^2 和 5386.798 kgC/hm^2 ,表现出“高→低→高→更高”的垂直分布特征。

日喀则地区 随着海拔梯度的增高,分布的草地植被类型依次是山地草甸(3600 ~ 4200 m)、温性草原和温性草甸草原(3800 ~ 4300 m)、高寒草原和高寒草甸草原(4300 ~ 5100 m)、高寒草甸(4300 ~ 5300 m)、沼泽类(4500 ~ 5000 m),草地植被碳密度分别为 6973.532、2811.469、2415.636、4915.241 和 4269.620 kgC/hm^2 ,表现出与林芝地区和拉萨市一样的“高→低→高→更高→低”的垂直分布特征。

阿里地区 随着海拔梯度的增高,分布的草地植被类型依次是低地草甸(3900 ~ 4200 m)、温性草原、温性荒漠草原、温性草原化荒漠和温性荒漠(3750 ~ 4600 m)、沼泽类(4300 ~ 4500 m)、高寒草原、高寒草甸草原、高寒草甸和高寒荒漠草原(4400 ~ 5400 m)、高寒荒漠(5000 m 以上),草地植被碳密度分别为 2592.044、1127.870、55979.460、1850.017 kgC/hm^2 和 218.782 kgC/hm^2 ,表现出“高→低→高→低→更低”的垂直分布特征。

那曲地区 随着海拔梯度的增高,分布的草地植被类型依次是山地草甸(4000 ~ 4500m)、高寒草甸草原和高寒草甸(4300 ~ 5200 m)、高寒草原(4600 ~ 5200 m)、高寒荒漠草原(4900 ~ 5200 m)、高寒荒漠(4900 ~ 5300 m),草地植被碳密度分别为 2402.865、2057.395、790.344、832.890 kgC/hm^2 和 529.215 kgC/hm^2 ,表现出“高→低→低→高→低”的垂直分布特征。

通过以上分析可以看出,虽然西藏草地植被碳密度的垂直分布规律在各地区之间差异明显,但是各地区草地植被碳密度的垂直分布均以高寒草甸或高寒荒漠(除日喀则地区外)的低碳密度(除昌都、山南二地区外)为终点,表现出“殊途同归”的特征。

2.2 西藏草地植被碳贮量及其区域分布特征

2.2.1 草地植被碳贮量

由表4可知,西藏草地植被总碳贮量为189.367 TgC ($1\text{TgC} = 10^{12}\text{g}$)。在分布的17类草地中,高寒草原和高寒草甸分布面积最大,为 $5760.867 \times 10^4\text{hm}^2$,占西藏草地总面积的70.210%,这2类草地地上部分、地下部分和总碳贮量为17.630、132.714 TgC和150.344 TgC,分别占西藏草地植被总碳贮量的77.961%、79.587%和79.393%,而其余的15类草地植被所贮存的地上部分、地下部分和总碳贮量仅分别占西藏草地植被碳贮量的22.039%、20.431%和20.607%。表明,高寒草原和高寒草甸构成了西藏主要的草地植被碳库,而其余的15类草地对西藏草地植被碳库的贡献甚小。

表4 西藏各地区草地植被总碳贮量

Table 4 The total carbon reserve of all regions in Tibet(TgC)

草地类型 Grassland type	拉萨 Lasa	林芝 Linzi	昌都 Changdu	日喀则 Rikaze	阿里 Ali	那曲 Nakchu	山南 Shannan	全西藏 Total Tibet
温性草甸草原 Temperate meadow-grassland	0	0.062	0.387	0.039	0	0	0.020	0.508
温性草原 Temperate meadow	0.811	0.100	0.622	1.169	0.036	0	1.034	3.773
温性荒漠草原 Temperate desert-grassland	0	0	0	0	0.650	0	0	0.650
高寒草甸草原 Alpine meadow-grassland	0.458	0	0	3.497	0.253	5.884	0.879	10.971
高寒草原 Alpine grassland	0.255	0	0	9.782	10.494	10.871	1.315	32.718
高寒荒漠草原 Alpine desert-grassland	0	0	0	0	5.655	4.055	0	9.709
温性草原化荒漠 Temperate grassland -desert	0	0	0	0	0.127	0	0	0.127
温性荒漠 Temperate desert	0	0	0	0	0.045	0	0	0.045
高寒荒漠 Alpine desert	0	0	0	0	0.517	1.663	0	2.180
暖性草丛 Warm-temperate herbosa	0	0.060	0	0	0	0	0	0.060
暖性灌草丛 Warm-temperate shrub herbosa	0	0.151	0.295	0	0	0	0	0.446
热性草丛 Tropical herbosa	0	0.072	0	0	0	0	0	0.073
热性灌草丛 Tropical shrub herbosa	0	0.141	0	0	0	0	0	0.141
低地草甸 Lowland meadow	0.070	0.120	0	0	0.090	0	0	0.281
山地草甸 Montane meadow	0.070	0.773	8.123	0.314	0	0.109	0.168	9.557
高寒草甸 Alpine meadow	10.360	9.539	28.342	28.640	6.622	23.204	10.919	117.626
沼泽类 Marsh	0.073	0	0	0.0673	0.363	0	0	0.504
合计 Total	12.09	11.018	37.770	43.510	24.851	45.786	14.335	189.367

2.2.2 草地植被碳贮量的区域分布特征

由表4可知,西藏草地植被贮地理分布的总体趋势是由藏东南向西北逐次降低。其中:藏东南地区(包括拉萨、林芝、昌都、山南、日喀则5地市)草地植被碳贮量为118.73 TgC,占西藏草地植被总碳贮量的62.699%,而藏西北地区(包括阿里和那曲2地区)草地植被所贮存的地上部分、地下部分和总碳贮量70.637 TgC,仅占西藏草地植被碳贮量的37.301%。表明,虽然藏东南5地市分布的草地面积仅占西藏草地总面积的31.359%,但却是西藏主要的草地植被碳库。同时,这里也是西藏草地放牧、森林采伐和耕垦等人为活动干预最强烈的地区。因此,保持和恢复这一地区草地植被的贮碳能力,对调节青藏高原乃至全球温室气体排放和生态环境平衡有着特殊重要的意义。

3 讨论

草地是西藏分布面积最广的一种植被类型,在西藏分布面积高于森林。朴世龙等估算了西藏平均碳密度为 $2171.08\text{kgC}/\text{hm}^2$ ^[7],与估算的西藏草地植被的平均碳密度相当。与北美温带草原、欧洲温带草原、东欧温带草原、前苏联温带草原、澳大利亚草原、印度热带草原、非洲热带草原南美热带草原、全球热带稀树草原及热带草原、全球温带草原及温带灌丛、热带草原、全球温带草原及温带灌丛、全球陆地生物区和中国草地植被碳

密度相比(表 5),西藏草地植被碳密度仅分别相当于它们的 56.566%、28.990%、40.327%、28.370%、23.69984%、23.017%、23.354%、29.509%、7.868%、32.054%、7.488%、73.209%。但是,西藏草地植被平均碳密度和森林碳密度(40646.1 kgC/hm²)^[1]的比值为 5.678%,高于世界平均草地碳密度与森林碳密度 4.60%^[25]的水平。同时,朴世龙等也估算了西藏草地植被的碳贮量,为 180.20TgC^[7],与估算的西藏 17 类草地植被碳贮量的结果相近。与西藏森林植被碳贮量(329.64 TgC)^[1]相比,尽管本文计算的 17 类草地植被面积为西藏森林面积的 14.05 倍,但由于草地植被碳密度远低于森林植被碳密度,因此草地植被碳贮量仅相当于森林碳贮量的 54.666%。表明,无论与世界各地草地相比,还是与中国草地相比,西藏草地植被碳密度处于较低水平,但是草地碳密度与森林碳密度的比值却处于较高水平。同时也表明,西藏草地在碳平衡中的贡献要小于森林。这可能与西藏高原地质史较为年轻、地势高亢、降水较少、气温较低的地理环境条件下,草地植被的初级生物量较低、土壤有机质积累较少有关,也可能与西藏高原所处的独特地理位置和复杂的生态环境有关。

表 5 西藏草地和世界各地草地碳密度

Table 5 The carbon density of Tibet and world grasslands

群落类型 Community type	草地植被碳密度 Grassland vegetation carbon density (kgC/hm ²)			文献 References
	地上部分 Aboveground	地下部分 Belowground	总量 Total	
北美温带草原 North-American warm-temperate steppe	1147	2706	4080	[24]
欧洲温带草原 Europe warm-temperate steppe	4462	2453	7961	[24]
东欧温带草原 Eastern-Europe warm-temperate steppe	2521	2886	5723	[24]
前苏联温带草原 Pro-Russia warm-temperate steppe	1800	6110	8135	[24]
澳大利亚草原 Australian steppe	3760	5508	9738	[24]
印度热带草原 Indian tropical steppe	3944	3342	10027	[24]
非洲热带草原 African tropical steppe	1784	6727	9882	[24]
南美热带草原 Southern-American tropical steppe	3481	4300	7821	[24]
全球热带稀树草原及热带草原 Global tropical savanna and steppe	0	0	29333	[24]
全球温带草原及温带灌丛 Global warm-temperate grassland and shrub	0	0	7200	[24]
全球陆地生物区 Global terrestrial biota	0	0	30820	[24]
中国草地植被 Chinese grassland vegetation	441.02	2711.45	3152.47	[7]
西藏草地 Tibet grassland	275.6	2032.3	2307.89	

References:

- [1] Zhao M, Zhou G S. Carbon storage of forest vegetation and it's relationship with climatic factors. *Scientia Geographica Sinica*, 2004,24(1):50—54.
- [2] Zhou Y R, Yu Z L, Zhao S D. Carbon storage and budget of major Chinese forest types. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000,24(5):518—522.
- [3] Fang J Y, Liu G H, Xu S L. The biomass and net production of Chinese forest vegetation. *Acta Ecologica Sinica*, 1996,16:497—508.
- [4] Wang X K, Feng Z W, Ou Y Z Y. Research of forest system vegetation carbon storage and density in China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001,12(1):13—16.
- [5] Zhang C, Wang S Q, Yu G R, *et al.* The Analysis of Soil Organic Carbon storage in East China Region Typical Forest types. *Resources Science*, 2006,28(2):97—102.
- [6] Ni J. Carbon storage in grasslands of China. *Journal Arid Environment*, 2002,50:205—218.
- [7] Piao S L, Fang J Y, He J S, *et al.* Spacial distribution of grassland and biomass in China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(4): 491—498.
- [8] Wang G X, Cheng G D, Shen Y P. Soil Organic Carbon Pool of Grasslands on the Tibetan Plateau and Its Global Implication. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002,24(6):693—700.

- [9] Li W H, Zhou X M. Qinghai-Tibet Plateau ecosystem and its module optimize utilization. Guangdong: Science and Technology Press, 1998. 244—270.
- [10] Liang X Y. Land resources in Shannan of Tibet. Beijing: China Agriculture and Technology Press, 1991.
- [11] Yan Y L. Land resources in Rikaze of Tibet. Beijing: China Agriculture and Technology Press, 1993.
- [12] Zhang B, Li S H, Xiao D Z. Land resources in Ali of Tibet. Beijing: China Agriculture and Technology Press, 1991.
- [13] Wang H Q, Wang J X. Land resources in Lasa of Tibet. Beijing: China Agriculture and Technology Press, 1993.
- [14] Liu S Q, Su D X, Li S. Land resources in Linzhi of Tibet. Beijing: China Agriculture and Technology Press, 1993.
- [15] Yang F, Liu M. Land resources in Changdu of Tibet. Beijing: China Agriculture and Technology Press, 1992.
- [16] Zhang T Z, Yao Z F. Land resources in Nakchu of Tibet. Beijing: China Agriculture Press, 1992.
- [17] Land Management Bureau in Tibet Autonomous Region. Grassland Resource of Tibet Autonomous Region. Beijing: Science Press, 1994.
- [18] Tang M Y, Feng M G. Statistical analysis and DPS data process system. Beijing: Science Press, 2000.
- [19] Tibet Animal Husbandry and veterinarian editing department. Tibet Animal Husbandry and Veterinarian Compilation (Animal Husbandry grassland fascicule) (1980—1990). 1991.
- [20] Yan Y, Zhang J G, Zhang J H, *et al.* The belowground biomass in alpine grassland in Nakchu Prefecture of Tibet. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11):2819—2823.
- [21] Chinese Academy of Sciercer of Qinghai-Tibet Plateau Integrated Investigative Team. Tibet Climate, 1983.
- [22] Chinese Academy of Sciercer of Qinghai-Tibet Plateau Integrated Investigative Team. Tibet Physical Geography, 1993.
- [23] Xiang Y. Land resources of Tibet. Lasa: Tibet People Press, 1989.
- [24] Whittaker R H. G. E. licken Carbon in the biota. In: Wood well, G. M. ed. Carbon and the biosphere. Virginia: Springfield, 1973. 281—302.
- [25] Chen P Q, Huang Y, Yu G R. Carbon cycle of global system. Beijing: Science Press, 2004. 231—259.

参考文献:

- [1] 赵敏,周广胜. 中国森林生态系统的植物碳贮量及其影响因子分析. *地理科学*, 2004, 24(1):50~54.
- [2] 周玉容,于振良,赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡. *植物生态学报*, 2000, 24(5):518~522.
- [3] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量. *生态学报*, 1996, 16:497~508.
- [4] 王效科,冯宗炜,欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳贮量和碳密度研究. *应用生态学报*, 2001, 12(1):13~16.
- [5] 张城,王绍强,于贵瑞,等. 中国东部地区典型森林类型土壤有机碳贮量分析. *资源科学*, 2006, 28(2):97~102.
- [7] 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. *植物生态学报*, 2004, 28(4):491~498.
- [8] 王根绪,程国栋,沈永平. 青藏高原草地土壤有机碳库及其全球意义. *冰川冻土*, 2002, 24(6):693~700.
- [9] 李文华,周兴民主编. 青藏高原生态系统及优化利用模式. 广州:广东科学技术出版社, 1998. 244~270.
- [10] 梁显有主编. 西藏山南土地资源. 北京:中国农业科技出版社, 1991.
- [11] 阎银良主编. 西藏日喀则地区土地资源. 北京:中国农业科技出版社, 1993.
- [12] 张斌,李盛湖,肖笃志主编. 西藏阿里土地资源. 北京:中国农业科技出版社, 1991.
- [13] 王浩清,王敬轩主编. 西藏拉萨土地资源. 北京:中国农业科技出版社, 1993.
- [14] 刘世全,苏大学,李爽,等. 西藏昌都地区土地资源. 北京:中国农业科技出版社, 1993.
- [15] 杨峰,刘敏主编. 西藏林芝地区土地资源. 北京:中国农业科技出版社, 1992.
- [16] 张天增,姚祖芳主编. 西藏那曲地区土地资源. 北京:中国农业科技出版社, 1992.
- [17] 西藏自治区土地管理局编. 西藏草地资源. 北京:科学出版社, 1994.
- [18] 唐明义,冯明光著. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京:科学出版社, 2000.
- [19] 《西藏畜牧兽医》编辑部编. 西藏畜牧兽医汇编(畜牧草原分册)(1980~1990). 1991, 734~874.
- [20] 鄢燕,张建国,张锦华,等. 西藏那曲地区高寒草地地下生物量. *生态学报*, 2005, 25(11):2819~2823.
- [21] 中国科学院青藏高原综合科学考察队编. 西藏气候. 北京:科学出版社, 1983.
- [22] 中国科学院青藏高原综合科学考察队编. 西藏自然地理. 北京:科学出版社, 1983.
- [23] 向杨主编. 西藏国土资源. 拉萨:西藏人民出版社, 1989.
- [25] 陈泮勤,黄耀,于贵瑞主编. 地球系统碳循环. 北京:科学出版社, 2004. 231~259.