

引用格式:尚二萍,张红旗. 1980s-2010s新疆伊犁河谷草地碳存储动态评估[J]. 资源科学, 2016, 38(7): 1229-1238. [Shang E P, Zhang H Q. Dynamic assessment of the carbon stock of different grassland types in the Yili Valley from 1980s to 2010s[J]. Resources Science, 2016, 38(7): 1229-1238]. DOI: 10.18402/resci.2016.07.04

1980s–2010s 新疆伊犁河谷草地碳存储动态评估

尚二萍^{1,2}, 张红旗¹

(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重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:伊犁河谷是中国草地生态系统最活跃的地区之一, 准确评估其碳库对当地草地的可持续利用有重要的指导意义。本文采用InVEST模型碳存储模块, 基于实测数据评估1980s、2000s、2010s三个不同时期伊犁河谷6种草地类型的四大碳库的碳存储。结果表明: ①伊犁河谷草地的碳存储呈先增加后降低的趋势, 1980s、2000s、2010s的草地碳存储总量分别为32.61TgC、39.67TgC、25.92TgC, 草地平均碳密度为9.76tC/hm²、12.26tC/hm²、8.45tC/hm²; ②草地碳密度以地下和土壤碳密度为主, 两者之和为(7.49~10.35)tC/hm², 占草地碳密度的84%~89%; ③不同类型草地碳储量差异显著, 以典型草甸和典型草原的碳储量为高, 荒漠草原最低; ④植被类型、气候、土地利用变化、放牧活动等对不同草地碳库产生影响。

关键词: InVEST模型; 草地类型; 碳存储; 伊犁

DOI: 10.18402/resci.2016.07.04

1 引言

碳存储服务功能是最重要的生态系统服务之一, 碳库储量及碳汇的问题受到世界各国的广泛关注^[1]。草地是中国广泛分布的生态系统之一, 在中国陆地生态系统碳循环, 以及全球碳循环中扮演着重要角色^[2,3], 评估草地的碳存储至关重要。

新疆伊犁河谷作为中国重点牧区, 是中国草地生态系统最活跃的地区之一, 草地类型丰富多样。2006年IPCC报告中指出草地的碳汇应包括地上部生物量、地下部生物量、死木、枯枝落叶和土壤有机质中的碳库变化^[4]。但在当前研究中, 对草地碳储量的估算大多忽视了土壤有机碳和死亡有机碳(死木、枯枝落叶)^[4-7]。方精云指出生态系统的碳汇应该包括植被和土壤两部分^[8], 缺少土壤碳是不完整的。死亡有机碳的研究当前还多数集中在森林生态系统^[9]中, 由于草地会频繁的受到放牧、火烧等人类管理活动, 影响草地的死亡和再生^[10], 导致很少有

研究能清晰记录死亡有机碳, 特别是大尺度的测量估算难度较大。对伊犁地区而言, 当前对碳存储的研究主要集中在土壤有机碳估算^[11], 尚缺少针对整个草地生态系统的碳存储评估。

本文拟应用InVEST模型的碳存储模块, 以草地的4个碳库为基础, 参考国内外最新的研究结果, 基于大量实测数据估算伊犁地区不同时期(1980s, 2000s, 2010s)6种草地类型碳存储的动态, 判断固碳能力大的草地类型, 以期为当地的草地改良方向及可持续利用提供参考依据。

2 研究区概况

新疆伊犁河谷地处42°15'N–44°55'N, 80°5'E–84°5'E, 土地总面积5.53万km², 行政上归属伊宁市、伊宁县、察布查尔锡伯自治县、霍城县、巩留县、新源县、昭苏县、特克斯县、尼勒克县(见图1)。气候为温带大陆性气候类型, 年平均气温10.4℃, 年降水量230~520mm。伊犁河谷是全国著名的牧区, 草

收稿日期: 2016-02-10; 修订日期: 2016-06-05

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAC15B03)。

作者简介: 尚二萍, 女, 河南焦作人, 博士生, 主要从事土地利用变化研究。E-mail: shangerping7@126.com

通讯作者: 张红旗。E-mail: zhanghq@igsrr.ac.cn



图1 研究区位置

Figure 1 Location of the study area

地面积约30 000km²。

3 研究方法

3.1 研究方法

InVEST模型(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)是由美国斯坦福大学、世界自然基金会和大自然保护协会联合开发的生态系统服务功能评估工具。本文利用InVEST模型的碳储存模块,根据不同草地类型地上、地下、土壤、死亡四种碳库的平均碳密度乘以各草地类型的面积来计算伊犁地区整个草地生态系统的碳储量。草地总碳储量由公式(1)和公式(2)计算得出:

$$C_v = C_{above} + C_{below} + C_{dead} \quad (1)$$

$$C_{tot} = C_v + C_{soil} \quad (2)$$

式中 C_v 为植被碳密度(t/hm²); C_{above} 为地上部分生物碳(t/hm²); C_{below} 为地下部分生物碳(t/hm²); C_{dead} 为死亡碳(t/hm²); C_{tot} 为总碳(t/hm²); C_{soil} 为土壤有机碳(t/hm²)。

本研究的总体技术路径为:在InVEST碳模型中输入伊犁河谷草地植被类型图和基于实测数据的草地四大碳库参数表,得到研究区草地的地上、地下和死亡碳三者碳密度总和,简称植被碳密度,即 C_v 。在Arc GIS中运用栅格计算器,将土壤碳密度图层(C_{soil})加上 C_v 图层可得到研究区草地总的碳密度空间分布图,即 C_{tot} 。

3.2 数据来源与数据处理

(1)研究区草地植被类型图数据的获取。伊犁地区的各时段草地分布图分别从1980s、2000s、2010s三期土地利用图中提取。其中,1980s、2000s两期土地利用图数据来源于中国科学院资源环境

科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>),2010s的土地利用数据由课题组自己解译。在ArcGIS平台上,将上述三期草地分布图与1:100万中华人民共和国植被图(来源于中国科学院资源环境科学数据中心,<http://www.resdc.cn/>)叠加得到伊犁谷三期草地类型图。研究区草地主要包括草甸草原、典型草原、荒漠草原、典型草甸、低地草甸和高寒草甸等6种草地类型,1980s、2000s、2010s三期不同草地类型面积详见表1。

表1 1980s–2010s伊犁河谷草地类型及面积

Table 1 Type and area of grassland in the Yili Valley

草地类型	from 1980s to 2010s (hm ²)		
	1980s	2000s	2010s
草甸草原	274 815	401 797	357 747
典型草原	663 228	650 276	783 265
荒漠草原	293 732	226 694	208 737
典型草甸	858 878	1 015 970	883 392
低地草甸	493 811	472 339	471 412
高寒草甸	705 711	469 050	362 745
总计	3 290 175	3 236 126	3 067 298

(2)草地四大碳库数据。草地的碳库(C_{tot})由地上生物碳、地下生物碳、死亡碳和土壤有机碳四部分组成,其中前三项综合可称为植被碳储量(C_v)。研究区草地四大碳库数据的来源各不相同。为了便于和前人的研究进行比较,本文统一使用转换系数(0.45)将生物量转换为碳^[12]。

地上碳数据主要来自全国第二次草地统一调查数据整理^[13]以及自1980年以来其他学者在该地区或邻近地区的实测数据^[14, 15]。共收集到研究区1980s(1981–1988年)的35个实测点草地类型的产草量(数据库:<http://www.grassland.net.cn/data.asp#>)及新疆全省不同草地类型的产草量数据^[13],2000s(2004–2005年、2009年)190个、2010s(2013年)149个实测点的6种草地类型地上生物量数据。地下部分碳数据是利用不同草地类型地上部分与地下部分的比值换算得到^[16, 17];死亡碳数据则利用地上部分生物量与死亡生物量的比值换算得到^[18–21]。

土壤有机碳虽为陆地生态系统中比较重要的碳汇,但其固碳速率较慢^[22],过去几十年土壤有机碳库基本未发生明显变化^[5],因此本文在研究草地碳库动态过程中不涉及土壤有机碳的变化,而主要针

2016年7月

对变化活跃的植被碳储量进行探讨。本研究中土壤有机碳数据将以中国 1:100 万土壤数据库(<http://westdc.westgis.ac.cn/data/611f7d50-b419-4d14-b4dd-4a944b141175>)为基础,利用土壤有机碳储量和碳密度的空间化表达和计算方法^[23],见公式(3):

$$SOC = \sum_{i=1}^n (1 - \theta_i\%) \times p_i \times C_i \times T_i / 100 \quad (3)$$

式中 SOC 为土壤剖面有机碳密度(kg/m²); θ_i 为第 i 层>2 mm 砾石含量(体积%); p_i 为第 i 层土壤容重(g/cm³); C_i 为第 i 层土壤有机碳含量(Cg/kg); T_i 为第 i 层土层厚度(cm); n 为参与计算的土壤层次总数。

最后再利用 ArcGIS 裁剪得到研究区草地的土壤碳密度。

4 结果与分析

4.1 伊犁河谷草地分布特征

伊犁河谷草地类型分布具有很强的空间异质性(图2)。到2015年为止,典型草甸的面积最大,占草地总面积的28.80%,多数集中分布在伊犁研究区的西南和东部,少量分布在西北;典型草原集中在伊犁河谷的中部区域,在其他县域有零散分布,约占全部草地的25.54%;低地草甸主要分布在伊犁研究区的北部边界区域,少部分出现在新源县的东部,占全部总面积的15.37%;高寒草甸主要分布在西北、南部和东北区域,分布范围较广,占草地总面积的11.83%;草甸草原分布较分散,除察布查尔锡伯自治县外,其他县域都有少量分布,面积占全部草地的11.61%;荒漠草原的面积最小,仅占全部面积的6.81%,主要分布在伊宁市、巩留县与尼勒

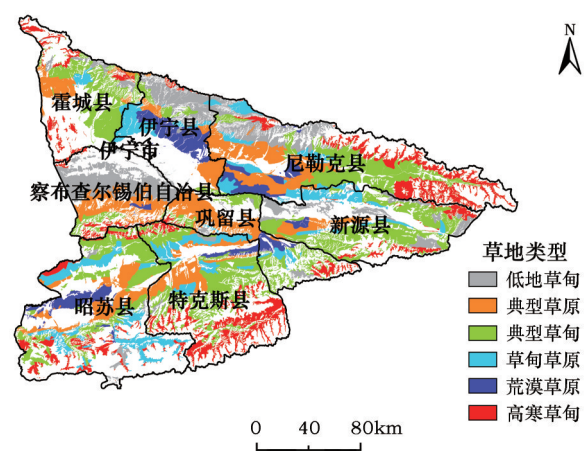


图2 伊犁河谷草地类型分布

Figure 2 Distribution of grassland type in the Yili Valley

克县交界区域,以及昭苏县的西边小部分区域。

4.2 伊犁河谷草地碳储量估算及其空间分布

从伊犁河谷草地碳储量(表2)可以看出,1980s 伊犁河谷草地碳储量约 32.12TgC,碳密度平均约 9.76tC/hm²;2000s 草地碳储量约 39.67TgC,碳密度平均约 12.26tC/hm²;2010s 草地碳储量约 25.92TgC,碳密度平均约 8.45tC/hm²。从草地碳储量看,以典型草甸和典型草原的碳积累量为主,两者之和达 15.49~21.99TgC,占草地碳储量的53%~60%以上;荒漠草原的碳储量最低,仅占碳总储量的4%~5%。典型草甸的碳储量约是荒漠草原碳储量的7.6倍。从草地碳密度来看,典型草甸碳密度最大,其次是低地草甸,高寒草甸、草甸草原、典型草原碳密度居中,荒漠草原碳密度最低。典型草甸因碳密度较高及其分布面积广大,使其碳储量最大;典型草原因其分布面积较广使得碳储量也占据较大比例;荒漠

表2 1980s-2010s 伊犁河谷草地碳储量与碳密度

Table 2 C stock and C density of grassland in the Yili Valley from 1980s to 2010s

草地类型	1980s		2000s		2010s	
	碳密度 /(tC/hm ²)	碳储量 /TgC	碳密度 /(tC/hm ²)	碳储量 /TgC	碳密度 /(tC/hm ²)	碳储量 /TgC
草甸草原	8.65	2.38	12.34	4.96	7.77	2.78
典型草原	6.96	4.62	9.03	5.88	8.00	6.27
荒漠草原	5.54	1.63	6.17	1.40	5.70	1.19
典型草甸	14.48	12.44	15.86	16.11	10.44	9.22
低地草甸	9.24	4.56	12.93	6.11	9.97	4.70
高寒草甸	9.20	6.49	11.12	5.21	4.84	1.76
总计		32.12		39.67		25.92

草原因碳密度较低以及分布面积小,碳储量最低。典型草甸的碳密度约是荒漠草原 1.83~2.61 倍。

从不同类型草地的4个碳库碳储量(图3)可以看出,草地碳储量以地下和土壤碳积累量为主,两者之和达到22.98~33.51TgC,占草地碳储量的84%~89%。从地上碳储量来看,以典型草甸和低地草甸为主,两者之和为0.83~1.73TgC,占草地地上碳储量的59%~61%;荒漠草原最低,仅占地上碳储量的2%~3%。地下碳储量也是以典型草甸和低地草甸较高,两者之和达5.17~10.83TgC,占草地地下碳储量的61%~65%;荒漠草原最低,仅占地下碳储量的2%~4%。从死亡碳储量来看,典型草甸和低地草甸为0.92~1.92TgC,占草地死亡碳储量的59%~61%;荒漠草原仅占死亡碳储量的2%~3%。土壤有机碳储

量以典型草甸和典型草原较高,两者之和为7.93~8.73TgC,占草地土壤碳储量的51%~58%;荒漠草原仅占土壤碳储量的6%~8%。由此可知,草地地上、地下、死亡碳储量都是以典型草甸和低地草甸为主,土壤碳储量以典型草甸和典型草原为主;荒漠草原的碳储量及其地上、地下、死亡和土壤碳储量都很低。

从不同类型草地四个碳库的碳密度可看出(图4),草地碳密度以地下和土壤碳密度为高,两者之和达到(7.49~10.35)tC/hm²,占草地碳密度的84%~89%。1980s、2000s和2010s伊犁河谷草地地上碳密度平均分别为0.59tC/hm²、0.90tC/hm²和0.45tC/hm²,地下碳密度平均分别为3.76tC/hm²、5.46tC/hm²和2.59tC/hm²,死亡碳密度平均分别为0.66tC/hm²、

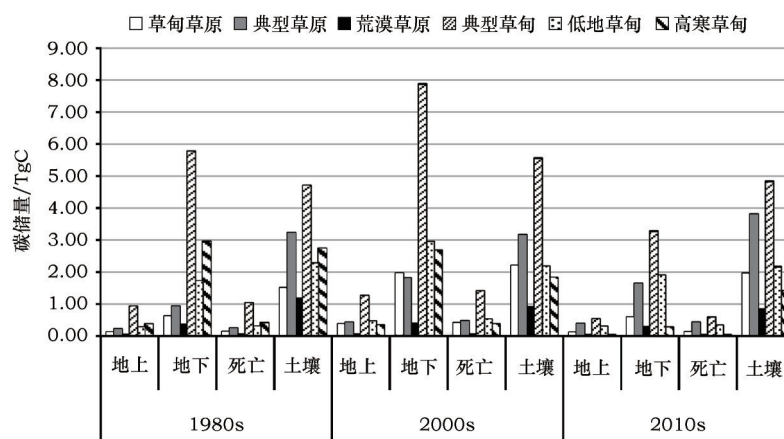


图3 1980s–2010s伊犁河谷不同类型草地4个碳库的碳存储量

Figure 3 Four C stock of different types of grassland in the Yili Valley from 1980s to 2010s

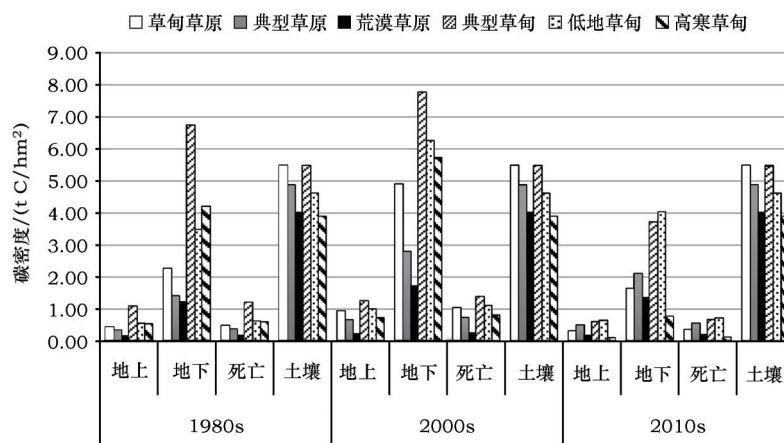


图4 1980s–2010s伊犁河谷不同类型草地4个碳库的碳密度

Figure 4 Four C density (C stock per area) in the Yili Valley from 1980s to 2010s

2016年7月

1.00tC/hm²和0.50tC/hm²,土壤碳密度平均分别为4.75tC/hm²、4.89tC/hm²和4.90tC/hm²。对草地地上、地下、死亡碳密度而言,典型草甸和低地草甸的碳密度较高,荒漠草原最低;对草地土壤碳密度而言,典型草甸和草甸草原土壤碳密度最大,高寒草甸碳密度最低。

从草地总碳密度分布的空间看,异质性较大(图5)。草地碳密度高值都呈“倒V型”分布,自北向南呈现两边高中间低,以及西低东高的分布格局。从县级区域来看,草地总碳密度较高的主要分布在北部的霍城县、伊宁县和尼勒克县的北部边界区域,以及昭苏县、特克斯县和新源县的西南边界沿线;中部区域草地总碳密度较低,特别是察布查尔锡伯自治县、伊宁县、巩留县之间的草地碳密度最低。

4.3 草地碳储量动态变化

1980s–2010s 期间,伊犁河谷草地碳储量总体上呈下降趋势,共减少了6.20TgC(表3)。其中,典型草原、草甸草原、低地草甸表现为碳汇,草地碳储量分别增加了1.65TgC、0.40TgC、0.14TgC,平均年变化率0.03tC/hm²/a、0.03tC/hm²/a、0.02tC/hm²/a;高寒草甸、典型草甸、荒漠草原表现为碳源,草地碳储量分别降低了4.73TgC、3.22TgC、0.44TgC,平均年变化率为-0.15tC/hm²/a、-0.13tC/hm²/a、0.01tC/hm²/a。可以看出,部分类型草地碳储量变化趋势和年变化率趋势不一致,主要是因为年变化率还受草地面积变化的影响,而且草地面积变化比重大于碳密度变化的比重。

从1980s–2000s和2000s–2010s两个时间段看,

伊犁河谷草地碳储量呈现先增加后降低的趋势(表3)。1980s–2000s期间草地碳储量有较大幅度的增长,增加了7.55TgC,其中典型草甸、草甸草原、低地草甸、典型草原的碳储量分别增加了3.67TgC、2.58TgC、1.55TgC、1.26TgC,平均年变化率分别为0.07tC/hm²/a、0.18tC/hm²/a、0.18tC/hm²/a、0.10tC/hm²/a;高寒草甸和荒漠草原的碳储量分别减少了1.28TgC和0.23TgC,平均年变化率分别为0.10tC/hm²/a和0.03tC/hm²/a。

2000s–2010s期间草地碳储量显著降低,减少了13.75TgC,其中典型草甸、高寒草甸、草甸草原、低地草甸、荒漠草原的碳储量各自降低了6.89TgC、3.45TgC、2.18TgC、1.41TgC、0.21TgC,平均年变化率分别为-0.54tC/hm²/a、-0.63tC/hm²/a、-0.46tC/hm²/a、-0.30tC/hm²/a、-0.05tC/hm²/a;典型草原的碳储量呈上升趋势,增加了0.39TgC,平均年变化率为-0.10tC/hm²/a。

草地上碳储量、地下碳储量、死亡碳储量各自的变化趋势与总碳储量变化趋势相似,都呈先增加后减少趋势。

4.4 草地碳密度动态变化

1980s–2010s期间,伊犁河谷草地碳密度和总碳储量总体变化趋势相似,草地碳密度总体上呈下降趋势(图6c),平均碳密度降低了1.31tC/hm²。约52.12%的区域表现出草地碳密度降低,主要在伊犁研究区东南区域的昭苏县、特克斯县、新源县和尼勒克县呈带状分布,其中典型草甸、草甸草原、高寒草甸分别以100%、98.69%、72.73%的面积表现出草地碳密度的降低;约47.88%的区域表现出草地碳密

表3 1980s–2010s伊犁河谷草地碳储量变化

Table 3 Changes of C stocks in the Yili Valley from 1980s to 2010s

草地类型	碳储量变化(1980s–2000s)			碳储量变化(2000s–2010s)			碳储量变化(1980s–2010s)		
	变化量 /(tC/hm ²)	变化率 /(tC/hm ² /a)	总碳 /TgC	变化量 /(tC/hm ²)	变化率 /(tC/hm ² /a)	总碳 /TgC	变化量 /(tC/hm ²)	变化率 /(tC/hm ² /a)	总碳 /TgC
草甸草原	3.69	0.18	2.58	-4.57	-0.46	-2.18	-0.88	-0.03	0.40
典型草原	2.07	0.10	1.26	-1.03	-0.10	0.39	1.04	0.03	1.65
荒漠草原	0.63	0.03	-0.23	-0.47	-0.05	-0.21	0.16	0.01	-0.44
典型草甸	1.38	0.07	3.67	-5.42	-0.54	-6.89	-4.04	-0.13	-3.22
低地草甸	3.69	0.18	1.55	-2.96	-0.30	-1.41	0.73	0.02	0.14
高寒草甸	1.92	0.10	-1.28	-6.28	-0.63	-3.45	-4.36	-0.15	-4.73
总计	2.50	0.125	7.55	-3.81	-0.381	-13.75	-1.31	-0.044	-6.20

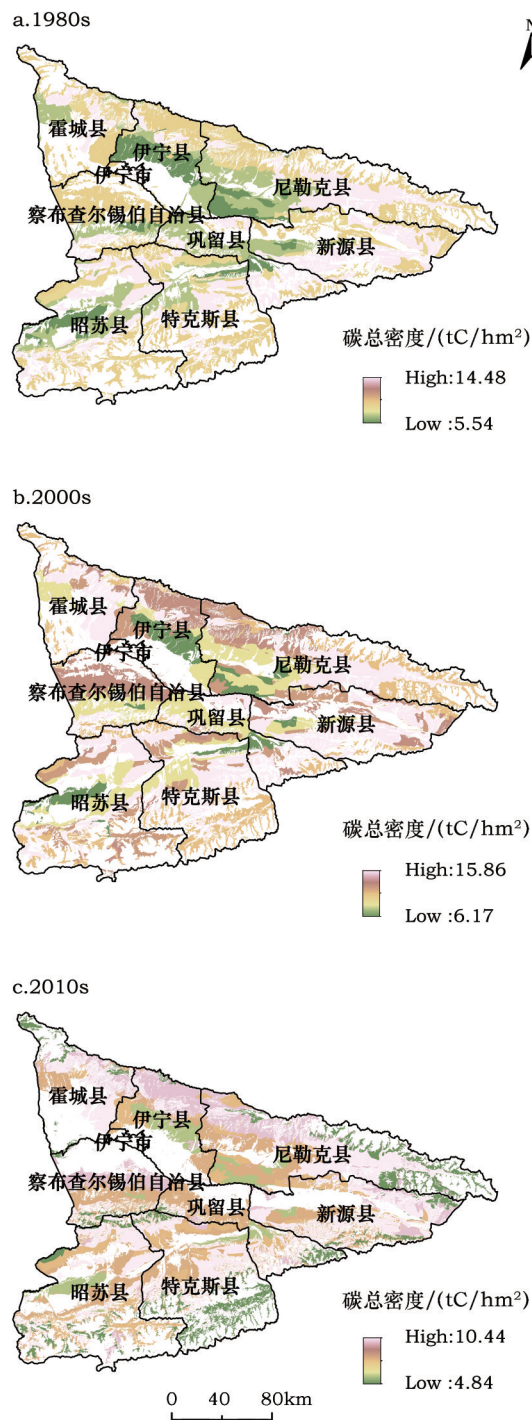


图5 1980s、2000s和2010s草地总碳密度空间分布

Figure 5 Spatial distribution of carbon density
in 1980s, 2000s and 2010s

度小幅度增长,主要分布在伊犁研究区西北区域,特别是伊宁县、察布查尔锡伯自治县和巩留县之间的草地,其中荒漠草原、典型草原、低地草甸分别以100%、99.94%、94.41%的面积表现出草地碳密度

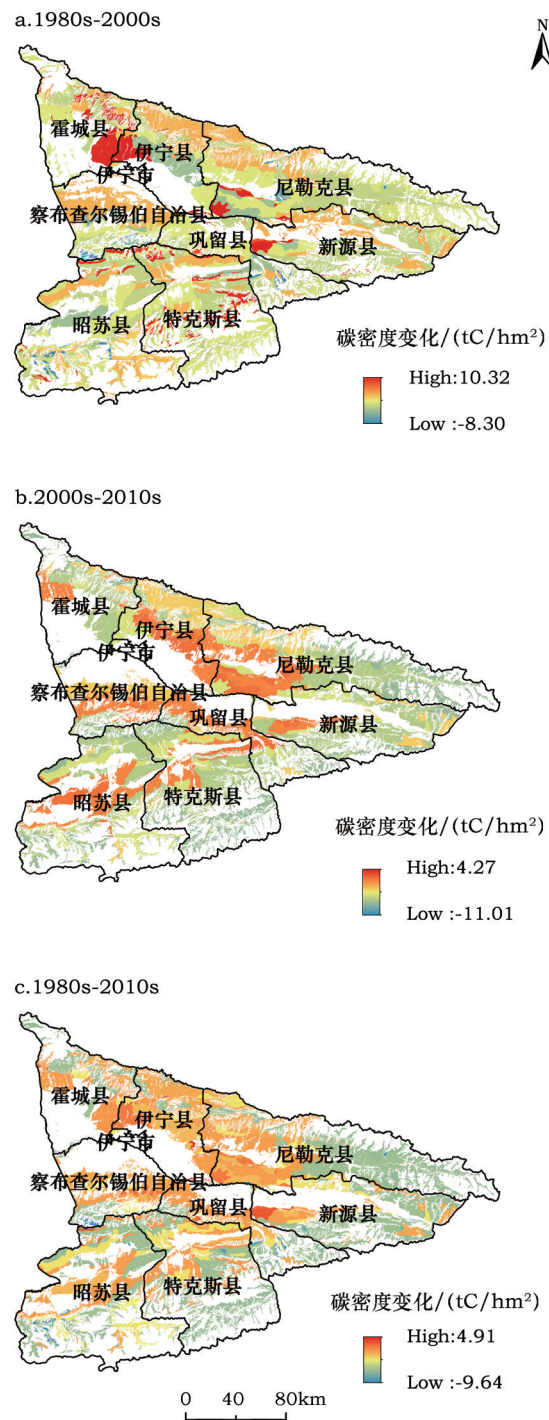


图6 1980s–2010s伊犁草地碳密度变化空间分布

Figure 6 C density and their changes of grassland in the Yili Valley
from 1980s to 2010s

增长。

从1980s–2000s和2000s–2010s两个时间段看,伊犁河谷草地碳密度呈现先增加后降低的趋势(图6a、图6b)。1980s–2000s期间,草地平均碳密度增

2016年7月

加了 $2.5\text{tC}/\text{hm}^2$, 除察布查尔锡伯自治县南部、尼勒克县中部少量草地碳密度有小幅下降外, 约 98% 的区域都表现出草地碳密度增加, 其中草甸草原、荒漠草原、低地草甸、典型草原、典型草甸、高寒草甸分别以 100%、100%、99.98%、94.66%、84.82%、86.26% 的面积表现出草地碳密度的增加。2000s–2010s 期间, 草地平均碳密度降低了 $3.81\text{tC}/\text{hm}^2$, 除昭苏县和察布查尔锡伯自治县有极少部分增加外, 约 99% 的区域表现出草地碳密度降低, 低地草甸、典型草甸、草甸草原以 99.98% 的面积表现出草地碳密度的降低, 典型草原、高寒草原、荒漠草原以 99.6% 的面积表现出草地碳密度的降低。

伊犁河谷草地地上、地下、死亡碳密度变化趋势与总碳密度变化相似, 都呈先增加后减少的趋势。

5 讨论

本研究基于实测数据和植被类型图估算的伊犁河谷 1980s 草地地上部分碳密度为 $0.59\text{tC}/\text{hm}^2$, 高于朴世龙^[7]估算的 $0.32\text{tC}/\text{hm}^2$ 新疆草地平均地上碳密度值, 这主要是因为伊犁地区受大西洋气流影响, 气候表现得比较湿润, 地上生物碳密度显著高于周围地区, 也就是说伊犁河谷的草地碳密度显著会高于新疆草地的平均碳密度, 而这也与孙慧兰^[24]的伊犁河流域不同类型草地产草量高于全疆平均值的结果吻合。此外, 本文估算的 2000s 草地地上部分碳密度为 $0.90\text{tC}/\text{hm}^2$, 低于苏清荷^[25] 2006–2009 年天山北坡草地碳密度为 $1.25\text{tC}/\text{hm}^2$ 估算值, 但与马文红等估算的 1980–2006 年新疆北部草地地上碳密度大于 $0.50\text{tC}/\text{hm}^2$ 相吻合^[26], 而且也在安尼瓦尔·买买提^[4]估算的 2004 年新疆草地地上碳密度为 $(0.35\sim 1.17)\text{tC}/\text{hm}^2$ 范围内。

1980s–2000s 伊犁河谷草地碳储量和碳密度呈显著增加趋势。同期, 中国北方草地平均碳储量由 1980s (1982–1986 年) 的 531.6TgC 增加到 2000s 的 (2002–2006 年) 的 557.5TgC ^[27], 与本研究的增加趋势一致。在此期间伊犁河谷草地碳储量增加的主要原因有三: ①草地类型的变化, 即部分碳密度低的草地向碳密度高的草地类型转化, 约有 29% 的荒漠草原转化为草甸草原、典型草原, 间接地提升了较高碳密度草地的面积, 草甸草原碳储量增加幅度

最大的原因就在于此, 其面积增加了 46.21%; ②该时段草地的活动增强^[28], 以及该时段内降水量的增加导致生物量的增加^[5], 使得草地的碳密度及碳储量增加; ③还有草地面积变化的原因, 虽然整体草地面积由 1980s 的 $3\,290\,175\text{hm}^2$ 降低至 2000s 的 $3\,236\,126\text{hm}^2$ (表 1), 但碳密度较高的典型草甸和草甸草原面积增幅较大, 分别由 1980s 的 $858\,878\text{hm}^2$ 、 $274\,815\text{hm}^2$ 增加到 2000s 的 $1\,015\,970\text{hm}^2$ 、 $401\,797\text{hm}^2$ (表 1), 从而使得草地整体碳储量上升。

2000s–2010s 期间伊犁河谷草地碳储量呈降低态势, 碳汇作用相对微弱。同期杨红飞也得出新疆草地 NPP 存在不同程度的下降趋势^[29]。一方面是伊犁河谷土地利用类型的变化, 较多的草地向高寒荒漠、耕地的方向转化, 草地总面积较之 2000s 降低了 5.22%, 导致草地总碳储量减少; 另一方面, 6 种草地类型的碳密度都有不同程度的下降, 以及较高密度的草地类型向较低密度草地类型的转化, 约 32% 的草甸草原转化为荒漠草原、高寒草甸。草地面积、草地转化为其他土地利用类型、草地与草地之间的转化都直接影响着草地的碳密度、碳储量。而且从草地面积持续不断的减少中可以看出, 越来越多的草地受人类活动的影响, 如开荒为农田、过度放牧以及其他不合理利用草地资源等, 加之受气候变化的影响, 使得伊犁河谷草地总体上呈现出碳储量下降的趋势。

6 结论

应用 InVEST 模型的碳存储模块, 基于实测数据估算 1980s–2010s 期间伊犁河谷 6 种草地类型的地上碳、地下碳、死亡碳、土壤有机碳四大碳库的碳储量动态变化。结果表明:

1980s、2000s 和 2010s 伊犁河谷草地碳储量分别约为 32.12TgC 、 39.67TgC 和 25.92TgC , 平均碳密度分别约为 $9.76\text{tC}/\text{hm}^2$ 、 $12.26\text{tC}/\text{hm}^2$ 和 $8.45\text{tC}/\text{hm}^2$ 。伊犁河谷草地碳密度及碳储量空间异质性较大, 高值都呈“倒 V 型”分布, 主要分布在北部的霍城县、伊宁县和尼勒克县的北部边界区域, 以及昭苏县、特克斯县和新源县的西南边界沿线; 中部区域草地碳总密度较低, 特别是察布查尔锡伯自治县、伊宁县、巩留县之间的草地碳密度最低。

不同类型草地的碳储量差异显著。草地碳储量以典型草甸和典型草原碳积累量为高,占草地碳储量的53%~60%以上;荒漠草原的碳储量最低,仅占碳总储量的4%~5%。典型草甸的碳储量约是荒漠草原碳储量的7.6倍。典型草甸的碳密度约是荒漠草原1.83~2.61倍。草地地上、地下、死亡碳储量都是以典型草甸和低地草甸为高,土壤碳储量以典型草甸和典型草原为主;荒漠草原的碳储量及其地上、地下、死亡和土壤碳储量都很低。

1980s~2010s草地碳储量及碳密度呈先增加后降低的趋势,1980s~2000s草地碳储量增加了7.55TgC,2000s~2010s草地碳储量显著降低了13.75TgC,总体上1980s~2010s草地碳储量降低6.20TgC。不同类型草地碳库变化方向存在差异,典型草原、草甸草原、低地草甸表现为碳汇,草地碳储量分别增加了1.65TgC、0.40TgC、0.14TgC,高寒草甸、典型草甸、荒漠草原表现为碳源,草地碳储量分别降低了4.73TgC、3.22TgC、0.44TgC。从草地碳密度看,1980s~2010s伊犁河谷草地平均碳密度降低了1.31tC/hm²,约52.12%的区域表现出草地碳密度降低,主要在伊犁研究区东南区域呈带状分布,以典型草甸、草甸草原、高寒草甸降低最为明显;约47.88%的区域表现出草地碳密度小幅度增长,荒漠草原、典型草原、低地草甸表现最为明显。总之,植被类型、气候、土地利用变化、放牧活动等将对不同草地碳库产生影响。

参考文献(References):

- [1] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[R]. Kanagawa:IPCC, 2006.
- [2] Piao S, Fang J, Ciais P, et al. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China[J]. *Nature*, 2009, 458(7241): 1009-1013.
- [3] Pagiola S. Payments for environmental services in Costa Rica[J]. *Ecological Economics*, 2007, 65(4): 712-724.
- [4] 安尼瓦尔·买买提,杨元合,郭兆迪,等. 新疆草地植被的地上生物量[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2006, 42(4): 521-526. [Anwar M, Yang Y H, Guo Z D, et al. Grassland aboveground biomass in Xinjiang[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2006, 42(4): 521-526.]
- [5] 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, 2010, 40(7): 566-576. [Fang J Y, Yang Y H, Ma W H, et al. Ecosystem carbon stocks and their changes in China's grasslands[J]. *Sci China Life Sci*, 2010, 40(7): 566-576.]
- [6] Fang J, Yang Y, Ma W, et al. Ecosystem carbon stocks and their changes in China's grasslands[J]. *Science China Life Sciences*, 2010, 53(7): 757-765.
- [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[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 491-498. [Piao S L, Fang J Y, He J S, et al. Spatial distribution of grassland biomass in China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(4): 491-498.]
- [8] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等. 1981-2000年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学, 2007, 37(6): 804-812. [Fang J Y, Guo Z D, Piao S L, et al. Assessment of China terrestrial vegetation carbon sinks in 1981-2000[J]. *Science in China (Series D)*, 2007, 37(6): 804-812.]
- [9] Leh M D K, Matmock M D, Cummings E C, et al. Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2013, 165: 6-18.
- [10] Naeth M A, Bailey A W, Pluth D J, et al. Grazing impacts on litter and soil organic matter in mixed prairie and fescue grassland ecosystems of Alberta[J]. *Journal of Range Management*, 1991, 44(1): 7-12.
- [11] 杨玉海,陈亚宁,李卫红,等. 伊犁河谷不同植被带下土壤有机碳分布[J]. 地理学报, 2010, 65(5): 605-612. [Yang Y M, Chen Y N, Li W H, et al. Soil organic carbon distribution of different vegetation types in the Ili River Valley[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(5): 605-612.]
- [12] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳循环及其全球意义[A]. 王庚辰,温玉璞. 温室气体浓度和排放监测及相关过程[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. [Fang J Y, Liu G H, Xu S L. Carbon Cycle of Terrestrial Ecosystems in China and Its Global Significance[A]. Wang G C, Wen Y P. Greenhouse Climate Concentration and Emission Monitoring and Related Process[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1996.]
- [13] 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: 中国农业出版社, 1994. [Department of Animal Husbandry and Veterinary Medicine of the Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Grassland Resources Data in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1994.]
- [14] 张旭琛,朱华忠,钟华平,等. 新疆伊犁河谷草地植被地上生物量遥感反演[J]. 草业学报, 2015, 24(6): 25-34. [Zhang X C, Zhu H Z, Zhong H P, et al. Assessment of above-ground Biomass of Grassland using remote sensing, Yili, Xinjiang[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(6): 25-34.]
- [15] 负静,王万林,安沙舟,等. 昭苏马场不同垂直带草地类型生物量的研究[J]. 草业科学, 2009, 26(1): 19-22. [Yun J, Wang W L, An S Z, et al. Study on the biomass of rangelands located on different vertical band spectrums in Zhaosu Horse Farm[J].

2016年7月

- Pratacultural Science*, 2009, 26(1): 19–22.]
- [16] 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. [Piao S L, Fang J Y, He J S, et al. Spatial distribution of grassland biomass in China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(4): 491–498.]
- [17] 黄玫, 季劲钧, 曹明奎, 等. 中国区域植被地上与地下生物量模拟[J]. 生态学报, 2006, 26(12): 4156–4163. [Huang M, Ji J J, Cao M K, et al. Modeling study of vegetation shoot and root biomass in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 4156–4163.]
- [18] 邓蕾, 上官周平. 陕西省天然草地生物量空间分布格局及其影响因素[J]. 草地学报, 2012, 20(5): 825–835. [Deng L, Shanguan Z P. Distribution of natural grassland biomass and its relationship with influencing factors in Shaanxi[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 20(5): 825–835.]
- [19] 陈光水, 杨玉盛, 谢锦升, 等. 中国森林的地下碳分配[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5148–5157. [Chen G S, Yang Y S, Xie J S, et al. Total belowground carbon allocation in China's forests[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5148–5157.]
- [20] 陈光水, 杨玉盛, 刘乐中, 等. 森林地下碳分配(TBCA)研究进展[J]. 亚热带资源与环境学报, 2007, 2(1): 34–42. [Chen G S, Yang Y S, Liu L Z, et al. Research review on total belowground carbon allocation in forest ecosystems[J]. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2007, 2(1): 34–42.]
- [21] 陈遐林. 华北主要森林类型的碳汇功能研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2003. [Chen X L. Researches on Carbon Sequestration Functions of Main Forest Types in Northern China[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2003.]
- [22] 白杨, 欧阳志云, 郑华, 等. 海河流域森林生态系统服务功能评估[J]. 生态学报, 2011, 31(7): 2029–2039. [Bai Y, Ouyang Z Y, Zheng H, et al. Evaluation of the forest ecosystem services in Haihe River Basin, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(7): 2029–2039.]
- [23] 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. [Yu D S, Shi X Z, Sun W X, et al. Estimation of China soil organic carbon storage and density based on 1:1 000 000 soil database[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(12): 2279–2283.]
- [24] 孙慧兰, 陈亚宁, 李卫红, 等. 新疆伊犁河流域草地类型特征及其生态服务价值研究[J]. 中国沙漠, 2011, 31(5): 1273–1277. [Sun H L, Chen Y N, Li W H, et al. Study on types and ecological services values of the grassland in the Ili River Basin, Xinjiang, China[J]. *Journal of Desert Research*, 2011, 31(5): 1273–1277.]
- [25] 苏清荷. 天山北坡主要草地类型生产力与气候相关性的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2010. [Su Q H. Study on Relationship between NPP and Climate of Major Rangeland Types in Northern Slope of Tianshan Mountain [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2010.]
- [26] 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]. *Sci China Life Sci*, 2010, 53(7): 841–850.
- [27] Mohammad A. Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982–2006[J]. *Science China (Life Sciences)*, 2010, 53(7): 93–102.
- [28] 方精云, 朴世龙, 贺金生, 等. 近 20 年来中国植被活动在增强[J]. 中国科学(C辑: 生命科学), 2003, 33(6): 554–565. [Fang J Y, Piao S L, He J S, et al. Chinese vegetation increased activity in recent 20 years[J]. *Science in China (Series C)*, 2003, 33(6): 554–565.]
- [29] 杨红飞, 刚成诚, 穆少杰, 等. 近 10 年新疆草地生态系统净初级生产力及其时空格局变化研究[J]. 草业学报, 2014, 23(3): 39–50. [Yang H F, Gang C C, Mu S J, et al. Analysis of the spatio-temporal variation in net primary productivity of grassland during the past 10 years in Xinjiang[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(3): 39–50.]

Dynamic assessment of the carbon stock of different grassland types in the Yili Valley from 1980s to 2010s

SHANG Erping^{1,2}, ZHANG Hongqi¹

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Yili Valley is one of the most active area of grassland ecosystem in China. The assessment of Carbon (C) stock and dynamics is crucial for the sustainable utilization of grassland ecosystems. Based on measured data, the Carbon module of the InVEST model was used to evaluate C stocks including above C, below C, dead C and soil organic C and their changes in different grasslands for Yili Valley in the 1980s, 2000s and 2010s. We found that the C stock of grasslands in Yili Valley increased from the 1980s to 2000s but decreased from the 2000s to 2010s. C stock in the 1980s, 2000s and 2010s was 32.61TgC, 39.67TgC, and 25.92TgC, respectively. The C density (C stock per area) was 9.76tC/hm², 12.26tC/hm², and 8.45tC/hm², respectively. The carbon density of grassland was mainly in the below carbon density and soil carbon density, and both of them were (7.49~10.35) tC/ hm², accounting for 84%~89% of grassland carbon density. The carbon storage of different types of grassland was significantly different. The carbon storage is high in typical meadow and typical steppe, which accounted for 53%~60% of grassland C stock; the lowest was desert steppe which accounted for 4%~5% of grassland C stock. The C stock of different grassland has been affected by vegetation type, climate, land use change and grazing activities.

Key words: InVEST model; grassland type; carbon stock; Yili Valley