

青藏高原生态系统固碳释氧价值动态测评

刘宪锋, 任志远, 林志慧

(陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062)

摘要: 本文旨在定量评价青藏高原生态系统的固碳释氧价值及其动态变化, 为改善区域生态环境提供参考。基于MODIS/NDVI数据, 利用光能利用率模型测算净第一性生产(NPP)物质量, 并通过光合作用方程式换算成固定CO₂和释放O₂的物质量, 以此为基础, 采用造林成本法和工业制氧法对青藏高原固碳释氧价值量进行估算。结果表明: 2000年、2005年和2010年固定CO₂的价值分别为384.36×10⁹元、393.23×10⁹元和356.41×10⁹元, 释放O₂的价值分别为408.31×10⁹元、415.02×10⁹元和378.61×10⁹元。2000-2005年固碳释氧价值增加了15.58×10⁹元, 2005-2010年下降了73.23×10⁹元, 而2000-2010年下降了57.65×10⁹元。固碳释氧价值在空间上呈现出从东南向西北递减的趋势, 这与青藏高原的水热条件分布基本一致。在价值构成中, 草原>森林>草甸>其它类型>灌丛>农田。2000-2010年青藏高原生态系统固碳释氧价值呈现减小趋势, 表明近年来气候变化和人类活动导致青藏高原的生态环境出现了退化趋势。

关键词: 青藏高原; NPP; 固碳释氧价值; 动态测评

1 引言

陆地生态系统是人类赖以生存的物质基础, 具有十分重要的生态调节功能, 能够为人类的生存和发展提供生态服务, 体现生态服务价值^[1-4], 其中生态系统的大气调节功能是其服务功能的重要组成部分, 主要体现在CO₂/O₂平衡、O₃防紫外线及SO₂水平等方面的服务功能^[5]。本文仅研究生态系统的固碳释氧功能。生态系统的固碳释氧功能指绿色植物通过光合作用将CO₂转化为有机物并释放O₂的功能, 这种功能对于调节气候、平衡空气中CO₂/O₂浓度具有重要意义, 特别是随着大气中CO₂浓度升高, 全球气候变化的异常, 对于生态系统固碳释氧功能价值的测评显得尤为重要。近年来, 生态服务功能的研究引起国际社会的广泛重视, 成为生态经济学的前沿问题^[6], 国内外学者在这方面做了大量的研究^[7-12], 其中欧阳志云等^[7]对中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究表明, 中国陆地生态系统有机质生产间接价值为1.57×10¹³元/a, 固定CO₂总经济价值为7.73×10¹¹元/a, 释放O₂间接经济价值为2.84×10¹²元/a; Costanza等^[2]研究表明, 全球森林生态系统的平均生态服务价值为969 \$·hm⁻²·a⁻¹, 其中原材料生产价值为138 \$·hm⁻²·a⁻¹, 营养物质循环价值为361 \$·hm⁻²·a⁻¹, 土壤保持价值为96 \$·hm⁻²·a⁻¹, 气候调节价值为141 \$·hm⁻²·a⁻¹; 任志远等^[8]对陕南秦巴山区植被生态功能的价值测评, 得出植被固定CO₂价值为352.24×10⁸元/a,

收稿日期: 2012-04-27; 修订日期: 2012-12-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071057); 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(2009JJD770025)

作者简介: 刘宪锋(1986-), 男, 黑龙江省鹤岗市人, 硕士, 主要从事资源环境遥感与GIS研究。

E-mail: liuxianfeng7987@163.com

通讯作者: 任志远(1953-), 陕西兴平人, 教授, 博士生导师, 主要从事国土资源开发与生态环境评价研究。

E-mail: renzhy@snnu.edu.cn

释放 O_2 价值为 374.19×10^8 元/a; 鲁春霞等^[9]对青藏高原生态系统服务功能的价值进行评估, 得出调节大气的服务价值总计为 10015×10^8 元。青藏高原作为地球的“第三极”, 是全球海拔最高的一个巨型构造地貌单元, 是世界上少数几个范围广阔且受人类活动影响较少的区域之一, 但由于气候变化, 特别是近几十年来的全球变暖, 青藏高原的生态环境发生了显著变化, 如湿地面积萎缩、草甸退化、草原冻融荒漠化等^[13-15]。目前, 关于青藏高原生态系统生态服务功能价值的动态变化研究还相对较少。鉴于此, 本文通过定量方法对青藏高原的固碳释氧价值进行测评, 并对其时空变化进行分析, 为生态保护和改善区域生态环境提供参考。

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区概况

青藏高原在中国境内西起帕米尔高原, 东至横断山脉, 南自喜马拉雅山脉南缘, 北迄昆仑山—祁连山北侧, 横跨 31 个经度, 纵贯约 13 个纬度, 东西长约 2945 km, 南北宽达 1532 km, 范围为 $26^{\circ}00'12''N$ - $39^{\circ}46'50''N$ 、 $73^{\circ}18'52''E$ - $104^{\circ}46'59''E$, 面积为 257.2×10^4 km², 占中国陆地总面积的 26.8%^[16]。青藏高原是地球上最大最高的高原, 被誉为地球的“第三极”。高原地域广阔, 地形复杂, 海拔高度变化很大, 形成了热带、亚热带、温带、寒带和湿润、半湿润、干旱和半干旱等多种气候类型, 地面气候差异十分显著, 并且其独特的地理气候特征, 如海拔高、空气稀薄、太阳辐射强等特征, 使其对亚洲乃至北半球的气候和碳平衡产生了重要影响。因此, 青藏高原被科学家称作研究全球变化的“天然实验室”^[17,18]。

2.2 数据来源及处理

2000 年、2005 年和 2010 年 MODIS/NDVI 月最大合成数据, 来源于美国 LPDAAC (Land Process Distributed Active Center) 的 MODIS 数据中的 MOD13A3 数据产品 (FTP 地址: e4ftl01.cr.usgs.gov), 空间分辨率为 1 km。由于 MODIS/NDVI 数据是从 2000 年 2 月份开始获取, 因此, 2000 年 1 月份 NDVI 数据采用空间分辨率为 1 km 的 SPOT-VEGETATION 数据 (<http://free.vgt.vito.be>) 进行补齐。青藏高原及其周边共 176 个气象站点 2000 年、2005 年和 2010 年的逐月数据 (包括月平均温度、月降水量及月总辐射量数据), 来源于中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn>)。其它数据主要包括青藏高原 1:100 万植被类型图^[19]; DEM 数据, 来源于美国太空总署 (NASA) 和国防部国家测绘局联合测量的 SRTM3 数据, 空间分辨率为 90 m。

2.3 测评模型

2.3.1 净第一性生产力计算模型 净第一性生产力 (NPP) 是指在单位时间和单位面积上, 绿色植物通过光合作用产生的全部有机物同化量, 同时扣除自养呼吸消耗量, 而得到的有机物累积量, 反映了绿色植物在自然条件下生产有机物的能力, 并受自身特性、降水、气温以及太阳总辐射等气候因子的影响^[20-22]。目前计算 NPP 的模型主要有三类, 即气候生产力模型、生理生态过程模型和光能利用率模型。其中光能利用率模型可直接利用遥感手段获得所需数据, 且该模型在估算中考虑了 NPP 和植被覆盖度等生态参数的差异, 使得测算结果能更真实的反应实际情况, 适合全球及区域尺度上的 NPP 估算。因此, 本文在对比各模型优缺点的基础上, 选用光能利用率模型对青藏高原净第一性生产力进行估算。

具体模型如下^[23]:

$$NPP(x,t) = APAR(x,t) \times \varepsilon(x,t) \quad (1)$$

式中: $APAR(x,t)$ 和 $\varepsilon(x,t)$ 分别表示 t 月份像元 x 处的光合有效辐射 (MJ/m^2) 和实际光能利用率 (gC/MJ)。

$$APAR(x,t) = SOL(x,t) \times FPAR(x,t) \times 0.5 \quad (2)$$

$$FPAR(x,t) = (FPAR(x,t)_{NDVI} + FPAR(x,t)_{SR})/2 \quad (3)$$

$$FPAR(x,t)_{NDVI} = (NDVI(x,t) - NDVI_{i,\min}) \times (FPAR_{\max} - FPAR_{\min}) / (NDVI_{i,\max} - NDVI_{i,\min}) + FPAR_{\min} \quad (4)$$

$$FPAR(x,t)_{SR} = (SR(x,t) - SR_{i,\min}) \times (FPAR_{\max} - FPAR_{\min}) / (SR_{i,\max} - SR_{i,\min}) + FPAR_{\min} \quad (5)$$

$$SR(x,t) = \frac{(1 + NDVI(x,t))}{(1 - NDVI(x,t))} \quad (6)$$

式中: $SOL(x,t)$ 和 $FPAR(x,t)$ 分别表示 t 月份像元 x 的太阳总辐射 (MJ/m^2) 和光合有效辐射的吸收比例; 而常数 0.5 表示植被所利用的太阳有效辐射占总辐射的比例; $FPAR(x,t)_{NDVI}$ 和 $FPAR(x,t)_{SR}$ 分别为由归一化植被指数和比值植被指数计算得到的光合有效辐射吸收比例; $FPAR_{\max}$ 和 $FPAR_{\min}$ 的取值分别为 0.95 和 0.001; $NDVI_{i,\max}$ 和 $NDVI_{i,\min}$ 表示 NDVI 在第 i 种植被类型中的最大值和最小值; $SR_{i,\max}$ 和 $SR_{i,\min}$ 分别为第 i 种植被类型 NDVI 的 95% 和 5% 下侧百分位数; $NDVI(x,t)$ 和 $SR(x,t)$ 分别表示像元 x 在 t 月份的归一化植被指数和比值植被指数。

Potter 等研究表明植被只有在理想条件下才能达到最大光能利用率, 而在现实条件下光能利用率会受到温度和水分的限制^[24], 即:

$$\varepsilon(x,t) = f_1(x,t) \times f_2(x,t) \times w(x,t) \times \varepsilon_{\max} \quad (7)$$

$$f_1(x,t) = 0.8 + 0.02 \times T_{opt}(x) - 0.0005 \times [T_{opt}(x)]^2 \quad (8)$$

$$f_2 = 1.184 / \{1 + \exp[0.2 \times (T_{opt}(x) - 10 - T(x,t))]\} \times \quad (9)$$

$$1 / \{1 + \exp[0.3 \times (-T_{opt}(x) - 10 + T(x,t))]\} \\ W_e(x,t) = 0.5 + 0.5 \times E(x,t) / E_p(x,t) \quad (10)$$

式中: ε_{\max} 表示最大光能利用率 (gC/MJ); $f_1(x,t)$ 、 $f_2(x,t)$ 和 $w(x,t)$ 分别表示最大光能利用率在低温、高温和水分时的胁迫系数; 采用朱文泉等^[23]研究的不同植被类型最大光能利用率的模拟值。 $T_{opt}(x)$ 为植物生长的最适温度, 被定义为某一区域一年内 NDVI 取得最大值时对应的当月平均气温 ($^{\circ}\text{C}$); 而当某一月平均温度 $\leq -10^{\circ}\text{C}$ 时, f_1 的值取 0; 若月平均温度 $T(x,t)$ 比最适温度 $T_{opt}(x)$ 低 13°C 或高 10°C 时, 那么该月的 f_2 值就等于月平均温度 $T(x,t)$ 为最适温度 $T_{opt}(x)$ 时 f_2 值的一半^[23]; $E(x,t)$ 和 $E_p(x,t)$ 分别表示实际蒸散量 (mm) 和潜在蒸散量 (mm)。

2.3.2 固碳释氧测评模型 本文固碳释氧价值量测算以净第一性生产物质量为基础, 由光合作用方程式可知, 植被每生产 1.00 kg 有机物能固定 1.63 kg CO_2 , 同时释放 1.2 kg O_2 。基于此原理, 根据净第一性生产物质量计算结果可以计算出青藏高原生态系统固定 CO_2 和释放 O_2 的物质质量, 然后分别使用造林成本法和工业制氧法进行价值估算, 继而得出青藏高原各植被类型固定 CO_2 和释放 O_2 的价值。为保持研究的连续性及与已有研究成果的可对比性, 本研究采用的 CO_2 造林成本为 260.90 元/t, O_2 的造林成本和工业制氧成本分别为 352.93 元/t 和 0.4 元/kg^[1,5,8,25]。

3 结果分析

3.1 青藏高原生态系统净第一性生产力测评

利用基于遥感数据的光能利用率模型对青藏高原2000年、2005年和2010年的NPP物质质量进行估算。首先将植被类型进行合并处理,分成森林、草原、草甸、灌丛、农田和其他类型6个大类,采用不同植被类型逐月计算NPP方法,然后将计算结果进行加和处理,得出青藏高原各年份净第一性生产力物质质量(表1)。由表可见,2000年、2005年和2010年的NPP物质质量分别是 9.04×10^8 t、 9.25×10^8 t和 8.38×10^8 t。2000-2010年NPP物质质量呈现出先增后减的趋势,10年内NPP物质质量下降7.87%,其中2000-2005年NPP总量增加2.32%,除草原NPP物质质量下降外,其余植被类型NPP均增加;而2005-2010年NPP物质质量减少了10.38%,出现了较明显的退化,各种植被类型NPP物质质量均呈下降趋势。另外,不同植被类型NPP差别较大,从平均值来看,2005年各植被类型平均值最大,2000年次之,2010年平均值最小。各植被类型平均值排序是:森林>农田>草甸>灌丛>草原>其他类型。

表1 青藏高原生态系统各植被类型NPP物质质量

Tab. 1 The amount of NPP by different vegetation types in Qinghai-Tibet Plateau ecosystem

植被类型	2000		2005		2010	
	平均值(t· hm ⁻² ·a ⁻¹)	合计(t/a)	平均值(t· hm ⁻² ·a ⁻¹)	合计(t/a)	平均值(t· hm ⁻² ·a ⁻¹)	合计(t/a)
森林	8.16	218830000	8.71	233586000	8.18	219543000
草原	2.84	300449000	2.54	268205000	2.33	246707000
草甸	3.67	217055000	4.08	240853000	3.47	204946000
灌丛	3.74	83225600	3.88	86374800	3.61	80517200
农田	4.25	2019550	5.85	2777700	4.95	2349600
其他类型	1.68	82229000	1.90	92862600	1.72	84018500
总计		903808150		924659100		838081300

3.2 青藏高原生态系统固碳释氧物质质量测评

由表2,2000年、2005年和2010年青藏高原生态系统固定CO₂的物质质量分别为 14.74×10^8 t、 15.08×10^8 t和 13.66×10^8 t,释放O₂物质质量分别为 10.85×10^8 t、 11.09×10^8 t和 10.06×10^8 t,与鲁春霞等^[9]估算的2000年青藏高原固碳释氧物质质量(分别为 15×10^8 t和 11×10^8 t)非常接近,说明本文所采用的模型具有一定的可靠性。2000-2005年固碳释氧物质质量分别增加2.3%和2.2%,2005-2010年固碳释氧物质质量分别减少10.39%和10.24%。从整体来看,2000-2010年固碳释氧物质质量分别减少7.91%和7.85%。不同植被类型固碳释氧物质质量排序为:草原>森林>草甸>灌丛>其他类型>农田。

3.3 青藏高原生态系统固碳释氧价值量测评

由表3,采用造林成本法估算2000年、2005年和2010年各植被类型固定CO₂价值分别为 384.36×10^9 元、 393.23×10^9 元和 356.41×10^9 元;采用造林成本法和工业制氧法分别估算释放O₂价值,取其平均值,得出2000年、2005年和2010年各植被类型释放O₂价值分别为 408.31×10^9 元、 415.02×10^9 元和 378.61×10^9 元。2000-2005年固碳释氧价值增加了 15.58×10^9 元,2005-2010年固碳释氧价值下降了 73.23×10^9 元,2000-2010年下降了 57.65×10^9 元。从

表2 青藏高原各植被类型固定CO₂和释放O₂物质质量变化表

Tab. 2 The amount of fixing CO₂ and releasing O₂ in Qsinghai-Tibet Plateau ecosystem

植被类型	固定CO ₂ 物质质量(×10 ⁸ t/a)			释放O ₂ 物质质量(×10 ⁸ t/a)		
	2000	2005	2010	2000	2005	2010
森林	3.57	3.81	3.58	2.63	2.80	2.63
草原	4.90	4.37	4.02	3.61	3.22	2.96
草甸	3.54	3.93	3.34	2.60	2.89	2.46
灌丛	1.36	1.41	1.31	1.00	1.04	0.97
农田	0.033	0.045	0.038	0.024	0.033	0.028
其他类型	1.34	1.51	1.37	0.99	1.11	1.01
总计	14.74	15.08	13.66	10.85	11.09	10.06

表3 青藏高原各植被类型固定CO₂和释放O₂价值量变化表

Tab. 3 The values of fixing CO₂ and releasing O₂ in Qinghai-Tibet Plateau ecosystem

植被类型	固定CO ₂ 价值量(×10 ⁹ 元)			释放O ₂ 价值量(×10 ⁹ 元)		
	2000	2005	2010	2000	2005	2010
森林	93.06	99.34	93.36	98.86	105.52	99.18
草原	127.77	114.06	104.92	135.73	121.16	111.45
草甸	92.31	102.43	87.16	98.06	108.81	92.59
灌丛	35.39	36.73	34.24	37.60	39.02	36.37
农田	0.86	1.18	1.00	0.91	1.18	1.06
其他类型	34.97	39.49	35.73	37.15	39.33	37.96
总计	384.36	393.23	356.41	408.31	415.02	378.61

不同植被类型来看，价值量排序依次为：草原>森林>草甸>其他类型>灌丛>农田。在青藏高原生态系统中，草原的面积最大，其固碳释氧价值的贡献率也最大。而单位面积固碳释氧价值较高的有森林、农田和灌丛，其中森林单位面积价值最高，较低的有草原和草甸，其它类型固碳释氧价值最低。但近年来过度放牧和乱砍滥伐造成草原面积和森林面积不断减少，固碳释氧总价值也在下降。

3.4 青藏高原生态系统固碳释氧价值量的时空变化

从时间上来看（图1），2000-2010年除草原固碳释氧价值持续下降外，其余各植被类型固碳释氧价值均出现了先增后减的趋势。在固碳释氧价值构成中，草原>森林>草甸>其它类型>灌丛>农田。从空间上来看（图2），整体上呈现出从东南向西北方向递减趋势，这与青藏高原水热条件的分布基本一致。固碳释氧价值低值区主要分布在植被覆盖率较低的干旱、半干旱地区，包括柴达木盆地和西藏的西北部地区。高值区主要在青藏高原的

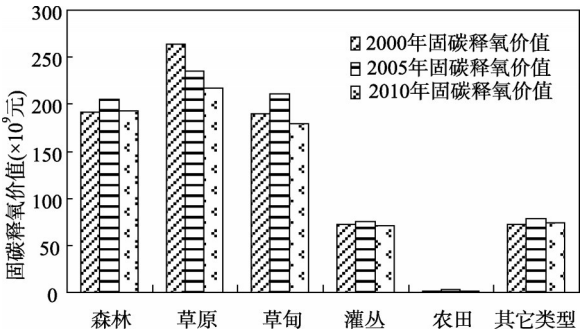


图1 青藏高原生态系统固定CO₂和释放O₂价值构成
Fig. 1 The values of fixing CO₂ and releasing O₂ of different land use types in 2000, 2005 and 2010

东南部, 这里水热条件充沛, 植被覆盖率较高, 主要分布着阔叶林和针叶林, 固碳释氧价值较高。2000-2005 年固碳释氧价值高值区增加比较明显的区域分布在高原的东北部及西藏的东南部; 2005-2010 年低值区开始增加, 主要分布在高原的东北部和东南部。东南部地区局部恶化的原因可能是人们乱砍滥伐森林造成生态服务价值的明显下降; 而东北部减少的原因可能是近年来城市化造成的城市用地大量增加, 破坏了原有的植被覆盖。

4 结论与讨论

主要结论为: ① 2000-2010 年青藏高原生态系统固碳释氧价值发生了较大变化, 呈现出先增后减的趋势, 在固碳释氧价值构成中, 草原>森林>草甸>其它类型>灌丛>农田。② 2000 年、2005 年和 2010 年固定 CO_2 价值量分别为 384.36×10^9 元、 393.23×10^9 元和 356.41×10^9 元, 释放 O_2 价值量分别为 408.31×10^9 元、 415.02×10^9 元和 378.61×10^9 元。③ 2000-2005 年固碳释氧价值增加了 15.58×10^9 元, 2005-2010 年固碳释氧价值下降了 73.23×10^9 元, 2000-2010 年固碳释氧价值下降了 57.65×10^9 元。④ 从空间上看, 固碳释氧价值整体上呈现出从东南向西北方向递减趋势, 这与青藏高原的水热条件分布基本一致。

本文采用改进的 CASA 模型估算了青藏高原生态系统净初级生产力。其中 2000 年、2005 年和 2010 年青藏高原 NPP 平均值分别为 $4.06 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、 $4.49 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $4.04 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 高于青海高原净初级生产力平均值 $3.41 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ [26], 而低于西藏植被净初级生产力平均值 $7.068 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ [27], 与东北地区净初级生产力 $4.45 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ [28] 相近, 存在以上差异的主要原因是不同区域自然条件和植被的差异。

通过分析显示, 2000-2010 年青藏高原 33°N 以南地区植被 NDVI 下降区域明显多于 33°N 以北地区, 但下降趋势均不显著。青藏高原是气候变化的敏感区, 气温、降水的变化会对植被生长造成显著影响。近 10 年高原气温增速为 $0.873^\circ\text{C}/10\text{a}$, 通过显著水平为 0.01 的检验, 而降速为 $3.383 \text{ mm}/10\text{a}$, 未通过显著性检验。气温升高延长了植被生长的时间, 同时也增加了地表蒸散量, 而降水减少对植被生长起到抑制作用, 两者综合作用下造成植被覆盖有一定程度的下降。另外, 2000-2005 年祁连山东段植被明显改善, 与张戈丽等 [14] 研究结果一致, 主要原因是祁连山地区近年降水增多及生态保护区工程的实施 [29]。值

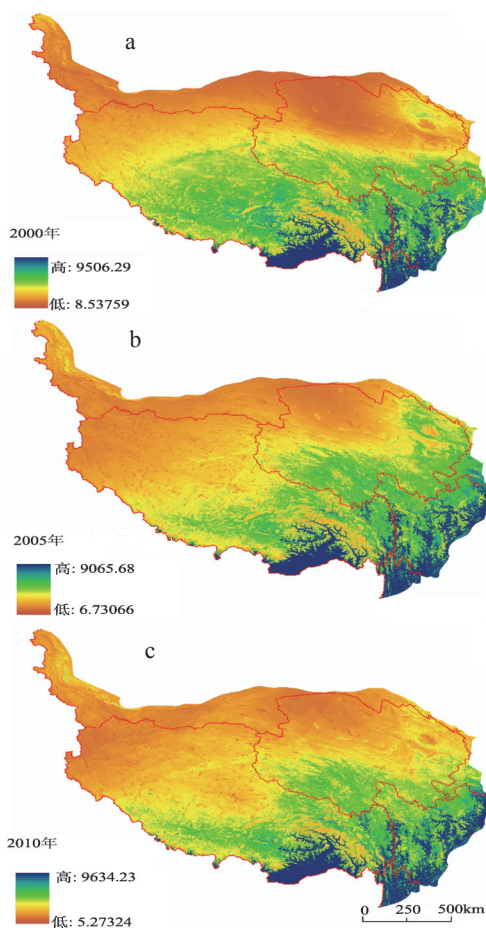


图2 2000年、2005年和2010年青藏高原固碳释氧价值空间分布图 (单位: 元 $\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)

Fig. 2 The spatial distribution of the values of fixing CO_2 and releasing O_2 in 2000, 2005 and 2010

得注意的是, 青藏高原近 10 年固碳释氧价值下降趋势明显大于植被变化趋势, 究其原因可能是近十年高原太阳辐射下降趋势明显, 降速为 $-23.04 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 通过显著水平 0.05 的检验, 与 Stanhill 等研究的近 50 年全球区域太阳总辐射呈下降趋势一致^[30]。可见, 气候变化对植被生态系统及其服务功能的影响具有复杂性, 如何将其定量化仍需进一步探索。

青藏高原是中国最大的生态脆弱区^[31], 近年来, 局部地区植被仍呈现下降趋势, 究其原因, 不是生态工程效果不明显, 主要还是人为因素(过度放牧、乱砍滥伐、管理不善等)没有得到有效控制, 比如四川诺尔盖地区, 已由 20 世纪 30 年代的大片湿地变成如今的草地和沙地。过度放牧是人类引起草地退化的主要原因, 其中藏北高原放牧超载率达 59.18%^[32]。因此, 人类活动是导致青藏高原生态系统服务功能下降的重要原因。

本文探讨了青藏高原气候调节功能中的固碳释氧价值变化情况, 今后应对其它生态服务功能进行定量测评, 全面研究青藏高原生态环境的变化趋势。青藏高原生态系统服务功能的变化是气候变化和人类活动共同作用的结果, 而如何区分各自的贡献量, 从而定量描述气候变化和人类活动对青藏高原生态系统的影响是今后生态系统研究的重要方向。

参考文献(References)

- [1] 任志远, 李晶. 秦巴山区植被固定 CO_2 释放 O_2 生态价值测评. 地理研究, 2004, 23(6): 769-775.
- [2] Costanza R, d'Arge R, R.S. de Groot R et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [3] Ren Zhiyuan, Zhang Yanfang, Li Jing et al. The value of vegetation ecosystem service: A case of Qinling-Daba Mountains. Journal of Geographical Sciences, 2003, 13(2): 238-243.
- [4] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [5] 李晶, 任志远. 基于 GIS 的陕北黄土高原生态系统固碳释氧价值评价. 中国农业科学, 2011, 44(14): 2943-2950.
- [6] 李晶, 任志远. 陕北黄土高原土地利用生态服务价值时空研究. 中国农业科学, 2006, 39(12): 2538-2544.
- [7] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
- [8] 任志远, 李晶. 陕南秦巴山区植被生态功能的价值测评. 地理学报, 2003, 58(4): 503-511.
- [9] 鲁春霞, 谢高地, 肖玉, 等. 青藏高原生态系统服务功能的价值评估. 生态学报, 2004, 24(12): 2749-2756.
- [10] 孙睿, 朱启疆. 中国陆地植被净第一性生产力及季节变化研究. 地理学报, 2000, 55(1): 36-45.
- [11] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 等. 1981-2000 年中国陆地植被碳汇的估算. 中国科学(D 辑), 2007, 37(6): 804-812.
- [12] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491.
- [13] 郑度. 青藏高原自然地域系统研究. 中国科学(D 辑), 1996, 26(4): 336-341.
- [14] 张戈丽, 欧阳华, 张宪洲, 等. 基于生态地理分区的青藏高原植被覆盖变化及其对气候变化的响应. 地理研究, 2010, 29(11): 2004-2016.
- [15] 丁明军, 张德铨, 刘林山, 等. 青藏高原植被覆盖对水热条件年内变化的响应及其空间特征. 地理科学进展, 2010, 29(4): 507-512.
- [16] 张德铨, 李炳元, 郑度. 论青藏高原范围与面积. 地理研究, 2002, 21(1): 1-8.
- [17] 肖玉, 谢高地, 安凯. 青藏高原生态系统土壤保持功能及其价值. 生态学报, 2003, 23(11): 2367-2378.
- [18] 周才平, 欧阳华, 王勤学, 等. 青藏高原主要生态系统净初级生产力的估算. 地理学报, 2004, 59(1): 74-79.
- [19] 中国科学院中国植被图编辑委员会. 中国植被图集 1: 1000000. 北京: 科学出版社, 2001.
- [20] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington D.C: Island Press, 1997. 1-10.
- [21] 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态系统服务与自然资本价值评估. 生态学报, 2001, 21(11): 1919-1926.
- [22] 朱志辉. 自然植被净第一性生产力估计模式. 科学通报, 1993, 38(15): 1422-1426.
- [23] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算. 植物生态学报, 2007, 31(3): 413-424.
- [24] Potter C S, Randerson J T, Field C B et al. Terrestrial ecosystem production: A process model based on global satellite and surface data. Global Biogeochemical Cycles, 1993, 7: 811-841.

- [25] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640.
- [26] 李红梅, 周秉荣, 李林, 等. 青海高原植被净初级生产力变化规律及其未来变化趋势. 生态学杂志, 2011, 30(2): 215-220.
- [27] 杜军, 胡军, 张勇, 等. 西藏植被净初级生产力对气候变化的响应. 南京气象学院学报, 2008, 31(5): 738-743.
- [28] 赵国帅, 王军邦, 范文义, 等. 2000-2008 年中国东北地区植被净初级生产力的模拟及季节变化. 应用生态学报, 2011, 22(3): 621-630.
- [29] 贾文雄, 何元庆, 李宗省, 等. 祁连山区气候变化的区域差异特征及突变分析. 地理学报, 2008, 63(3): 257-269.
- [30] Stanhill G, Cohen S. Global dimming: A review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. Agricultural and Forest Meteorology, 2001, 107: 255-278.
- [31] 于伯华, 吕昌河. 青藏高原高寒区生态脆弱性评价. 地理研究, 2011, 30(12): 2289-2295.
- [32] 边多, 李春, 杨秀海, 等. 藏西北高寒牧区草地退化现状与机理分析. 自然资源学报, 2008, 23(2): 254-262.

Dynamic assessment of the values of CO₂ fixation and O₂ release in Qinghai-Tibet Plateau ecosystem

LIU Xianfeng, REN Zhiyuan, LIN Zhihui

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: This article aims to quantitatively evaluate the values of fixing CO₂ and releasing O₂, and their dynamic changes in Qinghai-Tibet Plateau ecosystem. Light energy utilization model was used to estimate Net Primary Productivity (NPP) based on MODIS/NDVI data, and through photosynthesis equation we converted NPP to amount of CO₂ fixation and O₂ releasing. Based on this, forestation cost method and industrial oxygen generation method were used to compute the values of CO₂ fixation and O₂ releasing in Qinghai-Tibet Plateau ecosystem. The results show that the values of CO₂ fixation were 384.36×10^9 yuan, 393.23×10^9 yuan and 356.41×10^9 yuan in 2000, 2005 and 2010, respectively, while those of O₂ releasing were 408.31×10^9 yuan, 415.02×10^9 yuan and 378.61×10^9 yuan in 2000, 2005 and 2010, respectively. The values of fixing CO₂ and releasing O₂ increased by 15.58×10^9 yuan from 2000 to 2005, while they decreased by 73.23×10^9 yuan between 2005 and 2010. The values of fixing CO₂ and releasing O₂ reduced by 57.65×10^9 yuan from 2000 to 2010. In terms of spatial distribution, the values of fixing CO₂ and releasing O₂ present a decreasing trend from southeast to northwest, which is consistent with the distribution of heat and water conditions. The values of CO₂ fixation and O₂ releasing are listed in the order of grassland > forest > meadow > other types > shrub > farmland. The values of fixing CO₂ and releasing O₂ in the Qinghai-Tibet Plateau ecosystem present a decreasing trend from 2000 to 2010, which shows that the climate change and human activities lead to a worsening eco-environment in the Qinghai-Tibet Plateau.

Key words: Qinghai-Tibet Plateau; NPP; values of CO₂ fixation and O₂ release; dynamic assessment