

• 研究报告 •

# 生态工程实施对羌塘和三江源国家级自然保护区植被净初级生产力的影响

祁 威<sup>1,2</sup> 摆万奇<sup>1</sup> 张饒铨<sup>1,2\*</sup> 吴 雪<sup>1,2</sup> 李兰晖<sup>1,2</sup> 丁明军<sup>1,3</sup> 周才平<sup>1</sup>

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 (江西师范大学地理与环境学院鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 南昌 330022)

**摘要:** 为了有效评估生态工程建设对青藏高原典型国家级自然保护区的影响, 基于表征生态系统功能状况的植被净初级生产力变化系列数据, 采用样区对比法系统分析了羌塘和三江源两个国家级自然保护区建立及2004/2005年实施的新生态工程的效果。研究表明: (1) 1982–2009年间, 在10组对比样区中有9组保护区内样区的草地净初级生产力呈波动上升的趋势; (2) 2004年后新生态工程的实施效果良好, 有8组对比样区生态状况转好; (3) 在所有高寒草地类型中, 新生态工程对高寒草甸类型样区的保护效果最为显著。

**关键词:** 生态工程; 自然保护区; 净初级生产力; 三江源; 羌塘; 样区对比法

## Effects of ecological engineering on net primary production in the Chang Tang and Sanjiangyuan national nature reserves on the Tibetan Plateau

Wei Qi<sup>1,2</sup>, Wanqi Bai<sup>1</sup>, Yili Zhang<sup>1,2\*</sup>, Xue Wu<sup>1,2</sup>, Lanhui Li<sup>1,2</sup>, Mingjun Ding<sup>1,3</sup>, Caiping Zhou<sup>1</sup>

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

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research of Ministry of Education, School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022

**Abstract:** Long term series of remotely sensed imagery of net primary production (NPP) data could reflect ecosystem health. In this study, we employed NPP to evaluate the effects of ecological engineering (nature reserve and new ecological engineering in 2004 or 2005 techniques) by the sampling area comparison method in the Chang Tang and Sanjiangyuan national nature reserves on the Tibetan Plateau. The results showed that: (1) among the 10 pairs of sampling areas, annual NPP of 9 pairs tended to increase between 1982 and 2009; (2) the new ecological engineering techniques improved the effectiveness of ecosystem conservation, with NPP in 8 pairs of sampling areas increasing faster than before; and (3) among all alpine grassland types, the new ecological engineering techniques remarkably improved the effectiveness of conserving the meadows.

**Key words:** ecological engineering; nature reserve; net primary production; Sanjiangyuan; Chang Tang; sampling area comparison method

生态工程是开展生态保护和建设的有效途径之一。我国已有数千年的生态工程应用历史(颜京松和王如松, 2001), 如“垄稻沟鱼”、“桑基鱼塘”、“轮套种制度”等许多朴素的自发的生态工程。近代以来, 国际上著名的大型生态工程实践有美国“罗斯

福工程”、前苏联的“斯大林改造大自然计划”和北非五国的“绿色坝工程”等(李世东, 1993, 2001)。我国也实施了防护林体系建设、京津风沙源治理、野生动植物保护及自然保护区建设等工程, 以恢复或提升各类生态系统的服务功能, 保护生物多样性(Liu

收稿日期: 2015-04-01; 接受日期: 2015-09-29

基金项目: 国家自然科学基金(41171080)、中国科学院战略性先导科技专项(XDB03030500)、国家科技基础性工作专项(2012FY114000)和国家科技支撑项目(2013BAC04B02)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zhangyl@igsrr.ac.cn

et al, 2008a)。青藏高原实施的生态工程主要包括国家级自然保护区建设、退牧还草和退耕还林、天然林资源保护和重要湿地保护与恢复等4类([http://www.gov.cn/gzdt/2011-07/29/content\\_1916219.htm](http://www.gov.cn/gzdt/2011-07/29/content_1916219.htm))。1963年以来, 青藏高原已建立各类自然保护区155个, 保护区面积达 $8.22 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 其中国家级和省级自然保护区分别为41个和64个(张镱锂等, 2015b)。近年来, 为有效进行青藏高原生态安全屏障的保护与建设, 国家批准并实施了一系列的规划、保护与建设项目(孙鸿烈等, 2012)。例如, 青海省从2004年开始实施的退牧还草工程和自2005年开始实施的三江源生态保护和建设工程, 西藏自治区从2004年开始在那曲、改则和比如3县实施退牧还草工程试点等, 这些“新生态工程”主要集中在羌塘和三江源两个国家级自然保护区内。

已有研究表明, 生态工程建设有效地改善了工程区的生态状况, 并取得了明显的社会效益(颜京松和王如松, 2001; 罗添元等, 2010; 张立, 2012; 郑姚闽等, 2012)。然而, 传统的评价方法如专家打分、模糊赋值、层次分析和主成分分析等, 在描述工程区的长时间序列动态变化, 以及评价大尺度空间范围内多个保护区的成效差异等方面, 难以满足生态工程成效的监测与评估需求(邵全琴等, 2013)。

植被净初级生产力(net primary production, NPP)是指示生态系统功能状况的重要指标, 由于具有连续的时间序列和空间属性, 在大尺度的生态系统变化研究中已得到较多应用(Shvidenko et al, 2008; Crabtree et al, 2009), 为区域生态系统功能变化状况的评估提供了数据基础。本文在羌塘和三江源两个国家级自然保护区利用样区对比法, 分别从自然保护区角度和样区角度分析了典型自然保护区实施生态工程前后NPP的变化状况, 以探讨生态工程的实施效果, 为国家制订生态系统恢复、管理和利用战略提供科学数据。

## 1 方法

### 1.1 数据来源和研究方法

羌塘和三江源国家级自然保护区草地占比分别为78.31%和84.42%(张镱锂等, 2015a)。草地逐年NPP数据源自张镱锂等(2013), 数据时段为

1982–2009年, 空间分辨率为 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 。该数据已结合实地观测对遥感模拟的结果进行了修订, 可较好地反映区域草地NPP状况。青藏高原范围引自张镱锂等(2002); 高寒草地(高寒草甸、高寒草原、草本湿地、高寒荒漠和高山稀疏植被)范围引自张玮(2007); 羌塘和三江源国家级自然保护区范围引自张荣祖等(2012)。所有空间数据均采用WGS84坐标系, 并将栅格数据的空间分辨率统一为 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 。

本文主要采用样区对比法(张镱锂等, 2015a)分析保护区的保护效果。样区对比法即在保护区内部与外部生态与地理环境条件相对一致的相邻区域, 选取代表性的等面积样区, 进行同时期同类型植被生态变化的比较分析。该方法假设自然保护区外样区(简称“样区区外”)是未实施生态工程条件下自然与人类活动综合作用的结果, 自然保护区内样区(简称“样区区内”)是保护区建立后建设和新生态工程实施的结果, 并遵循以下几个选区要求: (1)样区内外的生态系统与气候条件基本相同; (2)样区内外的面积近似相等, 且区域内有效像元(每个像元的面积为 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$  (约 $5.5 \text{ km} \times 5.5 \text{ km}$ ))达到地统计学的样本量要求; (3)仅对样区内外典型植被(高寒草甸、高寒草原、高寒荒漠)类型进行比较, 排除非典型植被类型。

### 1.2 时段划分与样区选择

研究发现, 在青藏高原建立保护区后, 国家级保护区内82%以上的样区NPP增加幅度明显高于保护区外对应样区(张镱锂等, 2015a)。这表明建立自然保护区有助于保护区整体生态状况的良性发展。但后续新实施的生态工程能否进一步提升自然保护区的保护成效还不清楚。本文根据生态工程建设规模较大的两个时间节点(自然保护区建设和“新生态工程”实施), 将研究时段划分为1982年至建立自然保护区、建立自然保护区至实施新生态工程前、实施新生态工程后3个阶段进行分析。三江源自然保护区的相应研究时段为: 1982–2000年、2001–2004年、2005–2009年; 羌塘自然保护区为1982–1993年、1994–2004年、2005–2009年。

考虑到植被类型与自然环境条件的差异, 根据样区对比法的假设与选区要求, 结合各草地类型及其在自然保护区内外的分布状况, 确定了符合条件

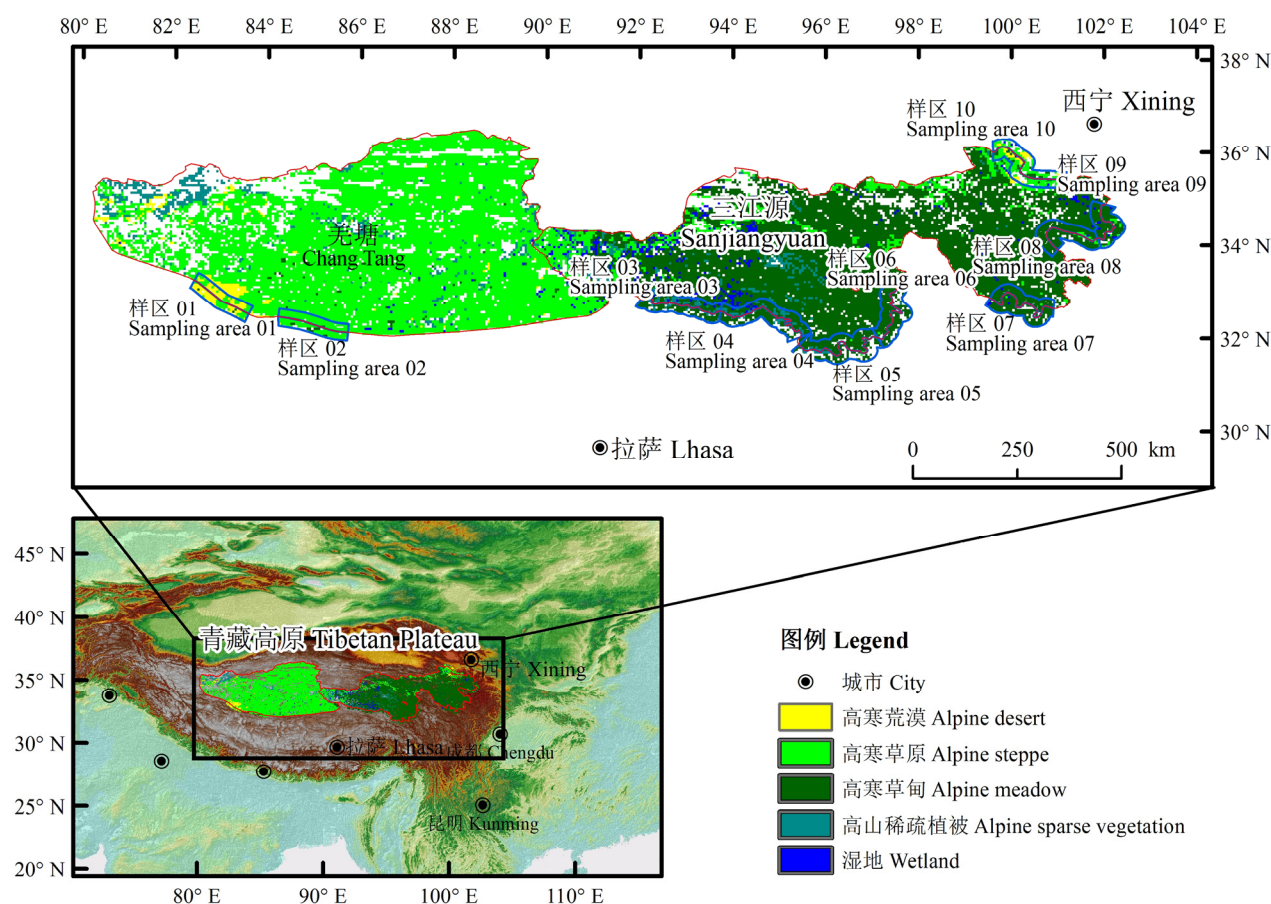


图1 羌塘和三江源国家级自然保护区及10组对比样区分布示意图

Fig. 1 Distribution of Chang Tang and Sanjiangyuan National Nature Reserves and 10 pairs of sampling areas

的全部研究样区组(图1) (部分样区与张镱锂等(2015a)相同)。各类对比样区共10组(20个), 其中三江源自然保护区内有8组, 羌塘自然保护区内有2组; 按类型而言, 以高寒草甸、高寒草原、高寒荒漠等类型为主的样区数分别为7组、2组和1组(表1)。样区涉及的保护区内、外面积分别为 $3.54 \times 10^4$ 和 $3.67 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

## 2 结果

### 2.1 保护区内生态工程实施前后的NPP变化

受自然和人类活动的双重影响, 研究时段内三江源与羌塘自然保护区高寒草地年均NPP均呈现不同程度的增加, 年增加量分别为 $0.45$ 和 $0.07 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 。1982年以来, 研究区的空间统计分析显示: 在 $P < 0.1$ 水平上, 三江源自然保护区NPP增加的区域约占41.09% (3,991/9,713个像元), 减少的

区域约占7.91%, 其余51.00%的区域无显著变化。羌塘自然保护区NPP增加的区域约占42.62% (4,325/10,148个像元), 减少的区域约占6.76%, 其余50.62%的区域无显著变化。综合NPP的变化趋势及其均值可知, 三江源和羌塘自然保护区的草地净初级生产力呈波动上升的增长趋势。

从各阶段的年均NPP变化趋势来看(图2), 三江源和羌塘自然保护区在第一阶段的总体增幅均高于第二、三阶段, 且第二阶段(建立保护区后)均呈降低趋势。其中三江源自然保护区在第二、三阶段NPP总体呈下降趋势, 但在第三阶段(新生态工程实施后)下降趋势有所减缓; 羌塘自然保护区虽然在第二阶段呈下降趋势, 但在第二、三阶段的NPP总体呈增加趋势, 且第三阶段的增幅最大。

鉴于三江源自然保护区和羌塘自然保护区系特大型保护区, 地域广、生境类型多样, 前者植被

表1 10组代表性对比样区信息(修改自张镜铨等, 2015a)  
Table 1 Data for 10 pairs of sampling areas (adopted from Zhang et al, 2015a)

样区编号 No. of sampling area	自然保护区 Nature reserve	高寒草地类型 Type of alpine grassland	样区内/外有效像元 数(个) Number of effective pixels of sampling areas (in- side/outside)	样区编号 No. of sam- pling area	自然保护区 Nature reserve	高寒草地类型 Type of alpine grassland	样区内/外有效像元 数(个) Number of effective pixels of 1 sampling areas (in- side/outside)
01	羌塘 Chang Tang	高寒荒漠 desert	Alpine 62/66	06	三江源 Sanjiangyuan	高寒草甸 meadow	Alpine 115/106
02	羌塘 Chang Tang	高寒草原 steppe	Alpine 102/84	07	三江源 Sanjiangyuan	高寒草甸 meadow	Alpine 115/145
03	三江源 Sanjiangyuan	高寒草甸 meadow	Alpine 70/95	08	三江源 Sanjiangyuan	高寒草甸 meadow	Alpine 125/94
04	三江源 Sanjiangyuan	高寒草甸 meadow	Alpine 132/98	09	三江源 Sanjiangyuan	高寒草甸 meadow	Alpine 77/80
05	三江源 Sanjiangyuan	高寒草甸 meadow	Alpine 148/95	10	三江源 Sanjiangyuan	高寒草原 steppe	Alpine 70/70

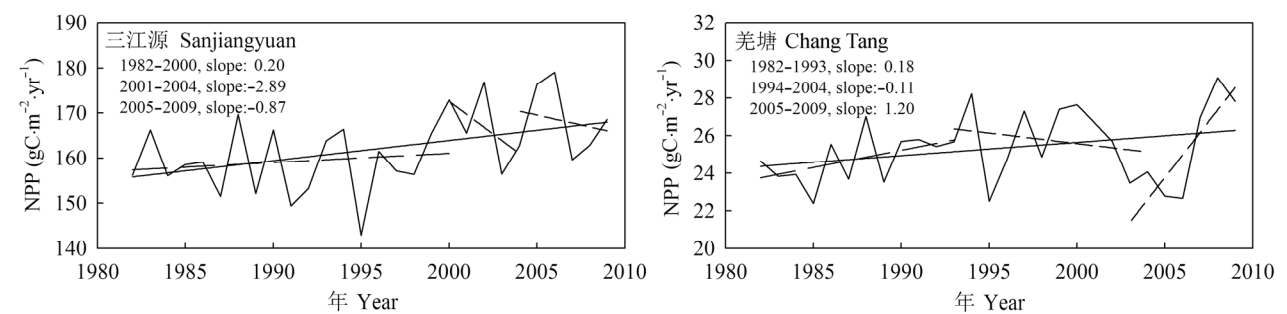


图2 三江源和羌塘国家级自然保护区分阶段年均植被净初级生产力(NPP)的变化  
Fig. 2 Inter-annual changes of net primary production (NPP) at three stages in Chang Tang and Sanjiangyuan national nature re-  
serves

以高寒草甸为主, 后者植被以高寒草原为主, 两个保护区内还同时分布有高寒荒漠等植被类型, 各类型间的NPP差异显著, 即便是同类型不同区域因环境条件不同其分布也存在差异。为避免使用短时间序列数据统计NPP变化速率带来的不确定性, 本文通过比较不同时期的NPP年均值的平均值进行分析。三江源自然保护区第一至第三阶段NPP均值依次递增, 分别为159.23、165.40和169.33  $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ ; 羌塘自然保护区第三阶段NPP均值最高, 为25.86  $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ , 第二阶段NPP均值(24.98  $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ )略低于第一阶段(25.25  $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ )。

2.2 样区尺度生态工程实施前后的NPP变化

2.2.1 1982–2009年样区内、外NPP的时间序列变化

由于自然保护区及其主要植被类型的不同, 各研究样区内的植被状况差异明显。在10组样区中, 1982–2009年间的年均NPP各不相同, 值域为29.90 (高寒荒漠样区)至441.59  $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$  (高寒草甸类

型样区) (图3)。研究时段内, 有4组对比样区区外的NPP年均值高于区内, 4组区外低于区内, 其余2组样区内外差异不明显。

从1982–2009年间年均NPP的变化趋势来看, 20个样区中仅有2个样区NPP出现了轻微降低的趋势, 其余均呈波动上升的趋势; 有4组对比样区区内的NPP增长趋势略高于区外(表2, 图3)。

2.2.2 保护区建立与生态工程实施各阶段样区内、外NPP年均值的变化

根据10组对比样区内、外NPP在生态工程实施前后的变化趋势, 将其分成3类: (1)趋势相同型。样区内、外在同一阶段趋势相同, 如01、03、04、06、07、10等6组样区; (2)中反前后同型。样区内、外在3个阶段中只有第二阶段的趋势相反, 前后两阶段的趋势相同, 如02、08、09等3组样区; (3)前反中后同型。样区内、外在3个阶段中只有在生态工程实施前的第一阶段趋势相反, 第二、三阶段的趋势相

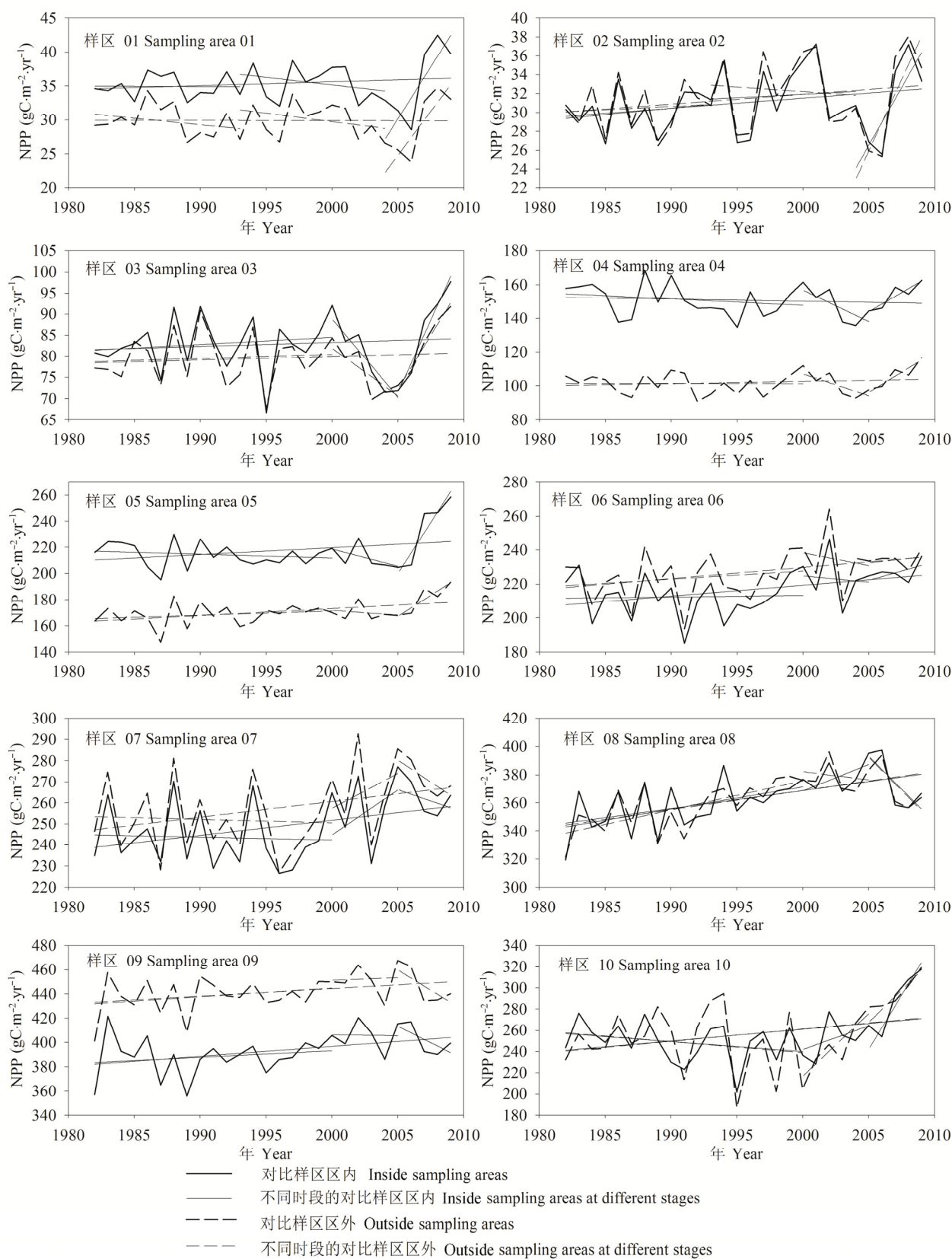


图3 10组代表性样区不同研究阶段(自然保护区建立及新生态工程实施前、后)年均植被净初级生产力(NPP)的变化

Fig. 3 Inter-annual changes of net primary production (NPP) in 10 pairs of sampling areas at different stages (before and after the establishment of nature reserve and implementation of new ecological engineering in 2004 or 2005)



表2 自然保护区建立及新生态工程实施前后代表性对比样区净初级生产力(NPP)的变化速率及其差值  
Table 2 Change rate of net primary production (NPP) and its difference in 10 pairs of sampling areas before and after the establishment of nature reserve and implement of new ecological engineering in 2004 or 2005

样区 Sampling area		分析时段 Analysis period				第二阶段与第一阶	第三阶段与第一阶
编号 No.	样区组 Sampling area pair	全时段* (1982–2009) Whole period (1982–2009)	第一阶段(K <sub>1</sub> )** (1982年至建立自然保护区) First stage (K <sub>1</sub> )** (1982 to implementation of nature reserve)	第二阶段(K <sub>2</sub> ) (建立自然保护区至实施新生态工程) Second stage (K <sub>2</sub> ) (implementation of nature reserve to new ecological engineering in 2000s)	第三阶段(K <sub>3</sub> ) (实施新生态工程至2009年) Third stage (K <sub>3</sub> ) (implementation of new ecological engineering in 2000s to 2009)	段的NPP变化速率差值(P <sub>2-1</sub> )* The difference of NPP change rate between the second stage and the first stage (P <sub>2-1</sub> )*	段的NPP变化速率差值(P <sub>3-1</sub> )* The difference of NPP change rate between the third stage and the first stage (P <sub>3-1</sub> )*
01	区内 Inside	0.057	-0.005	-0.222	3.067	-0.163	0.288
	区外 Outside	-0.004	-0.194	-0.248	2.591		
02	区内 Inside	0.108	0.134	0.073	2.454	0.108	-0.640
	区外 Outside	0.104	0.072	-0.097	3.032		
03	区内 Inside	0.095	0.170	-3.709	6.896	-1.529	1.700
	区外 Outside	0.085	0.096	-2.253	5.122		
04	区内 Inside	-0.131	-0.382	-3.768	4.561	-0.872	0.170
	区外 Outside	0.130	-0.012	-2.527	4.761		
05	区内 Inside	0.524	-0.287	-2.619	15.643	-1.303	9.778
	区外 Outside	0.537	0.320	-0.709	6.472		
06	区内 Inside	0.643	0.094	-0.750	2.200	1.119	1.717
	区外 Outside	0.654	0.479	-1.485	0.868		
07	区内 Inside	0.721	-0.134	4.287	-2.174	0.934	1.951
	区外 Outside	0.742	-0.167	3.321	-4.158		
08	区内 Inside	1.291	1.588	3.770	-9.409	5.422	0.587
	区外 Outside	1.370	2.075	-1.165	-9.509		
09	区内 Inside	0.813	0.533	-0.138	-5.442	-0.346	1.390
	区外 Outside	0.621	0.716	0.390	-6.649		
10	区内 Inside	1.104	-0.943	4.482	20.468	-7.384	8.197
	区外 Outside	1.157	-1.050	11.759	12.165		

\* 该时段部分数据修改自张镱锂等(2015a); \*\* K<sub>i</sub>指单位时间和单位面积上, 第i阶段对比样区区内外的NPP变化速率的差值; \*\*\* P<sub>i-j</sub> = K<sub>i</sub> - K<sub>j</sub>.  
\* Part of the data used here from Zhang et al (2015a); \*\* K<sub>i</sub> is the difference of NPP change rate between the inside and outside sampling area per unit time and per unit area; \*\*\* P<sub>i-j</sub> = K<sub>i</sub> - K<sub>j</sub>.

同, 如05样区。

由于10组样区中趋势相反的阶段只有4个, 而趋势均相同的阶段有26个, 故通过探讨NPP变幅的差异来比较其变化趋势更能展现生态工程的保护效果。第二阶段与第一阶段的NPP变化速率差值(P<sub>2-1</sub>)有4组样区为正, 其中样区08的P<sub>2-1</sub>最大, 约为5.42 (表2), 其余6组样区的P<sub>2-1</sub>为负, 其中样区10的P<sub>2-1</sub>最小, 约-7.38, 说明保护区建立后的开始阶段, 保护效果并不明显; 而第三阶段与第一阶段的NPP变化速率差值(P<sub>3-1</sub>)约有9组样区为正, 其中样区05的P<sub>3-1</sub>最大, 约9.78, 只有样区02的P<sub>3-1</sub>为负, 约-0.64, 表明实施新生态工程后保护效果较好。此外, 除样区02和08外, 其余8组样区的P<sub>3-1</sub>均比P<sub>2-1</sub>高, 说明实施新生态工程后的保护效果优于单纯建立自然保护区后的保护效果。

10组样区中处于三江源的8组(03–10)样区P<sub>3-1</sub>全部为正, P<sub>2-1</sub>仅有3组样区为正, 可知三江源样区在实施新生态工程后保护效果显著改善。

### 3 讨论

本研究中, 三江源自然保护区第三阶段NPP年均值较第一、第二阶段有所增加的情况与三江源地区2004–2008年间NPP均值总体好于1988–2004年间NPP均值的结果(肖桐等, 2009)基本相符, 也与三江源自然保护区在新生态工程实施后的好转趋势明显高于周边区域的结果(刘纪远等, 2013)基本相符, 而且8组样区中有7组样区对应的植被类型为高寒草甸, 说明高寒草甸类型的样区保护效果较好。羌塘自然保护区同区域的已有研究数据表明, 1981–2004年间藏北地区草地植被NPP呈波动下降的趋势(高清竹等, 2007; 王景升等, 2010), 而2006–2009年间则呈显著上升的趋势(张镱锂等, 2013)。本

研究中羌塘自然保护区NPP经历了“上升-下降-上升”的趋势,与前述结果基本吻合。

生态本底调查结果表明,三江源草地的退化格局形成于20世纪70年代末期,此后至2004年期间退化过程一直持续发生,发生退化的草地面积占草地总面积的40.1% (Liu et al, 2008b)。2004–2009年间退化过程整体减缓,局部严重退化区的生态恢复明显,草地植被覆盖度呈增加趋势(邵全琴等, 2013)。近期关于三江源地区生长季气候变化趋势与草地植被响应的研究发现,该区气候朝着有利于草地植被生长的方向变化(钱拴等, 2010; 刘纪远等, 2013)。同时,羌塘自然保护区所处的羌塘高原西部地区气候向着暖干化发展,对草地植被生长不利,而羌塘高原中东部地区气候朝着暖湿化发展,有利于生态状况的良性发展(王景升等, 2008; 张核真等, 2013)。因此,三江源与羌塘自然保护区的生态状况逐渐好转可归因于气候因素和生态工程实施的双重影响。

由于基于保护区尺度的NPP变化过程无法区分气候要素和生态工程措施的影响,本文采用了样区对比法剥离自然因素。对基于样区对比法选取的10组样区NPP进行自然要素分析,一方面,由于植被类型的差异,各对比样区间的年均NPP差异仍然很大,但各组对比样区内差异较小;另一方面,各组对比样区NPP的变化趋势基本相同,并且受降水影响,10组样区的NPP在1987、1995和2003年分别降到了波谷,在2003年尤为突出(图3),这一现象与张镱锂等(2013)的结论基本相符。上述分析表明各组对比样区的自然因素基本相同,这为采取样区对比分析生态工程(人类活动)的影响提供了前提。

然而,由于羌塘自然保护区2004年仅在那曲、改则、比如3县开展新生态工程试点,限于样区对比法的选取条件,羌塘自然保护区只能选取2组样区(高寒荒漠样区与高寒草原样区各1组),但两种植被类型内外样区有效像元个数分别为62/66和102/84(表1),已超过地统计学的基本样本量(30个)的要求。此外,由于每个像元的空间分辨率为 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$  (约 $5.5 \text{ km} \times 5.5 \text{ km}$ ),高寒荒漠与高寒草地样区空间抽样面积占比较高,特别是高寒荒漠的空间抽样面积占比已达到50%以上,因此可以认为两种草地类型样区的选取具有很好的代表性。

在剔除自然要素影响并合理选择样区的基础上,基于2.2节的分析,通过对比不同时间段自然保

护区内外的生态变化,比较工程实施前后生态功能的差异发现,三江源所在样区在实施新生态工程后保护效果显著改善,这与赖敏等(2013)通过对比2000年与2008年三江源自然保护区生态系统服务价值,发现保护区草地生态系统的整体质量状况大幅度提升的结论基本相符,也与邵全琴等(2013)关于2005–2009年三江源保护区内草地生产力皆呈增加趋势的结论吻合。所不同的是,上述两项研究是基于生态建设和气候因子变化的共同作用,本研究剔除了气候因子,可更加凸显生态工程实施的成效。

然而,样区组02与08在实施新生态工程后没有表现出较明显的改善效果。这是因为改则县在1985–2009年间牲畜量增幅达到40.00%,且2010年放牧超载率达到11.04% (畅慧勤等, 2012);而02样区绝大部分区域位于改则县,受放牧压力增大的影响,改善效果并不明显。08样区区内处于青海省甘德县、玛沁县与河南蒙古族自治县3县交界处,相对于绝大部分区域位于甘肃省玛曲县的08样区区外,退牧还草、生态移民等生态工程政策效果有限,放牧活动的干扰一定程度上影响了生态工程的效果。

综合保护区和样区尺度的分析可知,受气候因素和生态工程实施的影响,三江源和羌塘自然保护区的生态状况正在逐渐好转。在剔除气候要素的影响后,选取的10组样区在生态工程实施后,特别是实施新的生态工程后保护效果明显,这也验证了生态工程的实施对于青藏高原生态环境的改善起到积极作用(秦海蓉, 2012; 邵全琴和樊江文, 2012; 刘宪锋等, 2013; Chen et al, 2014)的结果。

## 4 结论

本文基于遥感数据反演获得的植被净初级生产力数据,采用样区对比法分析了1982–2009年间青藏高原羌塘和三江源自然保护区的生态状况,并以自然保护区建立和生态工程实施为时间节点,利用不同阶段NPP变化速率的差值和NPP趋势变化的特点分析了自然保护区内外选取的10组对比样区,主要研究结论如下:

(1)在气候因素和生态工程实施的双重影响下,1982年以来三江源和羌塘自然保护区内草地净初级生产力呈波动上升的增长趋势,其中三江源自然保护区的增长趋势较为显著,约为 $0.45 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ ,

是羌塘自然保护区的6.43倍。

(2)样区研究表明: (i) 9组对比样区区内的草地净初级生产力均呈波动上升的趋势, 这与自然保护区的变化趋势基本吻合; (ii)在气象要素一致的情况下, 6组对比样区在3个阶段的NPP变化趋势均相同, 其余4组只在其中2个阶段NPP变化趋势相同, 但受生态工程的影响NPP变化速率略有不同; (iii)在保护区建立至新生态工程实施前, 保护效果并不明显, 而在新生态工程实施后, 8组对比样区保护效果好转; (iv)在实施新生态工程后, 三江源所在样区的保护效果显著, 8组样区中有7组样区对应的植被类型为高寒草甸, 说明基于高寒草甸类型的样区保护效果较好。

(3)本研究利用样区对比法探讨长时间序列遥感衍生数据评估大区域生态建设等人类活动的影响程度, 具有有效排除自然因素影响干扰的优点。但本研究中按照工程实施划分的数据序列较短, 只在一定程度上阐明了保护措施的效果, 对研究区NPP变化的长期趋势解释能力有限。此外, 受客观条件限制, 羌塘自然保护区高寒草原或高寒荒漠的样区数量较少, 生态工程对羌塘自然保护区的作用效果评估需要结合未来该区域的生态工程做进一步的研究。

## 参考文献

- Chang HQ, Xu WY, Yuan J, Lü JZ, Zhang SX (2012) Current situation of grassland resources and grazing capacity in Ali, Tibet. *Pratacultural Science*, 29, 1660–1664. (in Chinese with English abstract) [畅慧勤, 徐文勇, 袁杰, 吕继照, 张硕新 (2012) 西藏阿里草地资源现状及载畜量. *草业科学*, 29, 1660–1664.]
- Chen BX, Zhang XZ, Tao J, Wu JS, Wang JS, Shi PL, Zhang YJ, Yu CQ (2014) The impact of climate change and anthropogenic activities on alpine grassland over the Qinghai-Tibet Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 189, 11–18.
- Crabtree R, Potter C, Mullen R, Sheldon J, Huang S, Harmsen J, Rodman A, Jean C (2009) A modeling and spatio-temporal analysis framework for monitoring environmental change using NPP as an ecosystem indicator. *Remote Sensing of Environment*, 113, 1486–1496.
- Gao QZ, Wan YF, Li YE, Lin ED, Yang K, Jiangcun WZ, Wang BS, Li WF (2007) Grassland net primary productivity and its spatio-temporal distribution in northern Tibet: a study with CASA model. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18, 2526–2532. (in Chinese with English abstract) [高清竹, 万运帆, 李玉娥, 林而达, 杨凯, 江村旺扎, 王宝山, 李文福 (2007) 基于CASA模型的藏北地区草地植被净第一性生产力及其时空格局. *应用生态学报*, 18, 2526–2532.]
- Lai M, Wu SH, Dai EF, Yin YH, Pan T, Zhao DS (2013) Dynamic valuation on ecosystem services to ecological construction in the Three-River Headwaters Nature Reserve, China. *Journal of Mountain Science*, 31, 8–17. (in Chinese with English abstract) [赖敏, 吴绍洪, 戴尔阜, 尹云鹤, 潘韬, 赵东升 (2013) 生态建设背景下三江源自然保护区生态系统服务价值变化. *山地学报*, 31, 8–17.]
- Li SD (1993) The ecological projects in the world. *World Environment*, 11, 31–35. (in Chinese with English abstract) [李世东 (1993) 世界生态工程建设综述. *世界环境*, 11, 31–35.]
- Li SD (2001) The construction progress and implications of major forest ecological projects in the world. *Forestry Economics*, 23(12), 46–50. (in Chinese) [李世东 (2001) 世界重点林业生态工程建设进展及其启示. *林业经济*, 23(12), 46–50.]
- Liu JG, Li SX, Ouyang ZY, Tam C, Chen XD (2008a) Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 105, 9477–9482.
- Liu JY, Shao QQ, Fan JW (2013) Ecological construction achievements assessment and its revelation of ecological project in Three Rivers Headwaters Region. *Chinese Journal of Nature*, 35(1), 40–46. (in Chinese with English abstract) [刘纪远, 邵全琴, 樊江文 (2013) 三江源生态工程的生态成效评估与启示. *自然杂志*, 35(1), 40–46.]
- Liu JY, Xu XL, Shao QQ (2008b) Grassland degradation in the “Three-River Headwaters” region, Qinghai Province. *Journal of Geographical Sciences*, 18, 259–273.
- Liu XF, Ren ZY, Lin ZH, Liu YX, Zhang DH (2013) The spatial-temporal changes of vegetation coverage in the Three-River Headwater Region in recent 12 years. *Acta Geographica Sinica*, 68, 897–908. (in Chinese with English abstract) [刘宪锋, 任志远, 林志慧, 刘焱序, 张东海 (2013) 2000–2011年三江源区植被覆盖时空变化特征. *地理学报*, 68, 897–908.]
- Luo TY, Long SB, Ren R, He Z (2010) Problems and countermeasures of the wind erosion with desertification control project in Beijing. *Soil and Water Conservation in China*, 31(7), 30–32. (in Chinese) [罗添元, 龙少波, 任认, 何政 (2010) 北京市风沙治理生态工程存在的问题与对策. *中国水土保持*, 31(7), 30–32.]
- Qian S, Fu Y, Pan FF (2010) Climate change tendency and grassland vegetation response during the growth season in Three-River Source Region. *Science China: Earth Sciences*, 53, 1506–1512.
- Qin HR (2012) Stronge implement grazing grass and fully implement the strategy for establishing province by ecological. *Qinghai Prataculture*, 21(1), 34–36. (in Chinese with English abstract) [秦海蓉 (2012) 认真实施退牧还草,



- 全面落实生态立省战略. 青海草业, 21(1), 34–36.]
- Shao QQ, Fan JW (2012) Integrated Monitoring and Assessment of Ecosystem in the Three River Source Region. Science Press, Beijing. (in Chinese) [邵全琴, 樊江文 (2012) 三江源区生态系统综合监测与评估. 科学出版社, 北京]
- Shao QQ, Liu JY, Huang L, Fan JW, Xu XL, Wang JB (2013) Integrated assessment on the effectiveness of ecological conservation in Sanjiangyuan National Nature Reserve. Geographical Research, 32, 1645–1656. (in Chinese with English abstract) [邵全琴, 刘纪远, 黄麟, 樊江文, 徐新良, 王军邦 (2013) 2005–2009年三江源自然保护区生态保护和建设工程生态成效综合评估. 地理研究, 32, 1645–1656.]
- Shvidenko AZ, Schepashchenko DG, Vaganov EA, Nilsson S (2008) Net primary production of forest ecosystems of Russia: a new estimate. Doklady Earth Science, 421, 1009–1012.
- Sun HL, Zheng D, Yao TD, Zhang YL (2012) Protection and construction of the national ecological security shelter zone on Tibetan Plateau. Acta Geographica Sinica, 67, 3–12. (in Chinese with English abstract) [孙鸿烈, 郑度, 姚檀栋, 张镜铨 (2012) 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设. 地理学报, 67, 3–12.]
- Wang JS, Zhang XZ, Zhao YP, Qin SG, Wu JS (2010) Spatio-temporal pattern of alpine grassland productivity in Qiangtang Plateau. Chinese Journal of Applied Ecology, 21, 1400–1404. (in Chinese with English abstract) [王景升, 张宪洲, 赵玉萍, 秦泗国, 武建双 (2010) 羌塘高原高寒草地生态系统生产力动态. 应用生态学报, 21, 1400–1404.]
- Wang JS, Zhang XZ, Zhao YP, Shen ZX, Shi PL, Yu CQ (2008) Spatio-temporal pattern of climate changes in northern Tibet's Qiangtang Plateau. Resources Science, 30, 1852–1859. (in Chinese with English abstract) [王景升, 张宪洲, 赵玉萍, 沈振西, 石培礼, 余成群 (2008) 藏北羌塘高原气候变化的时空格局. 资源科学, 30, 1852–1859.]
- Xiao T, Liu JY, Shao QQ (2009) A simulation on changes in vegetation productivity in “Three River Sources” Nature Reserve, Qinghai Province over past 20 years. Journal of Geo-information Science, 11, 557–565. (in Chinese with English abstract) [肖桐, 刘纪远, 邵全琴 (2009) 近20年青海三江源自然保护区植被生产力变化模拟. 地球信息科学学报, 11, 557–565.]
- Yan JS, Wang RS (2001) Advances of ecological engineering in China in the past decade. Rural Eco-Environment, 17(1), 1–8, 20. (in Chinese with English abstract) [颜京松, 王如松 (2001) 近十年生态工程在中国的进展. 农村生态环境, 17(1), 1–8, 20.]
- Zhang HZ, Lu HY, Hong JC, Ma PF (2013) Climate change and its effect on steppe animal husbandry in northwest Tibet. Arid Zone Research, 30, 308–314. (in Chinese with English abstract) [张核真, 路红亚, 洪健昌, 马鹏飞 (2013) 藏西北地区气候变化及其对草地畜牧业的影响. 干旱区研究, 30, 308–314.]
- Zhang L (2012) One of excellent ecological engineering models of Florida, USA—Freedom Park. Wetland Science & Management, 8(4), 56–57. (in Chinese) [张立 (2012) 美国佛罗里达生态工程典范之一——佛州西南的湿地公园. 湿地科学与管理, 8(4), 56–57.]
- Zhang RZ, Li BY, Zhang HX, Liu LS (2012) Regional System of Nature Reserves in China. China Environmental Science Press, Beijing. (in Chinese) [张荣祖, 李炳元, 张豪禧, 刘林山 (2012) 中国自然保护区区划系统研究. 中国环境科学出版社, 北京.]
- Zhang W (2007) Research of Land Use/Cover Classification and Carbon Stocks—A Case Study on Tibetan Plateau. PhD dissertation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing. (in Chinese with English abstract) [张玮 (2007) 土地利用/覆被分类与碳储量研究——以青藏高原为例. 博士学位论文, 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京.]
- Zhang YL, Li BY, Zheng D (2002) A discussion on the boundary and area of the Tibetan Plateau in China. Geographical Research, 21, 1–8. (in Chinese with English abstract) [张镜铨, 李炳元, 郑度 (2002) 论青藏高原范围与面积. 地理研究, 21, 1–8.]
- Zhang YL, Hu ZJ, Qi W, Wu X, Bai WQ, Li LH, Ding MJ, Liu LS, Wang ZF, Zheng D (2015a) Assessment of protection effectiveness of nature reserves on the Tibetan Plateau based on net primary production and the large-sample-comparison method. Acta Geographica Sinica, 70, 1027–1040. (in Chinese with English abstract) [张镜铨, 胡忠俊, 祁威, 吴雪, 摆万奇, 李兰晖, 丁明军, 刘林山, 王兆锋, 郑度 (2015a) 基于NPP数据和样区对比法的青藏高原自然保护区保护成效分析. 地理学报, 70, 1027–1040.]
- Zhang YL, Qi W, Zhou CP, Ding MJ, Liu LS, Gao JG, Bai WQ, Wang ZF, Zheng D (2013) Spatial and temporal variability in the net primary production (NPP) of alpine grassland on Tibetan Plateau from 1982 to 2009. Acta Geographica Sinica, 68, 1197–1211. (in Chinese with English abstract) [张镜铨, 祁威, 周才平, 丁明军, 刘林山, 高俊刚, 摆万奇, 王兆锋, 郑度 (2013) 青藏高原高寒草地净初级生产力(NPP)时空分异. 地理学报, 68, 1197–1211.]
- Zhang YL, Wu X, Qi W, Li SC, Bai WQ (2015b) Characteristics and protection effects of the nature reserves in Tibetan Plateau, China. Resources Science, 37, 1455–1464. (in Chinese with English abstract) [张镜铨, 吴雪, 祁威, 李士成, 摆万奇 (2015b) 青藏高原自然保护区特征与保护成效简析. 资源科学, 37, 1455–1464.]
- Zheng YM, Zhang HY, Niu ZG, Gong P (2012) Protection efficacy of national wetland reserves in China. Chinese Science Bulletin, 57, 1116–1134.

(责任编辑: 唐志尧 责任编辑: 黄祥忠)