

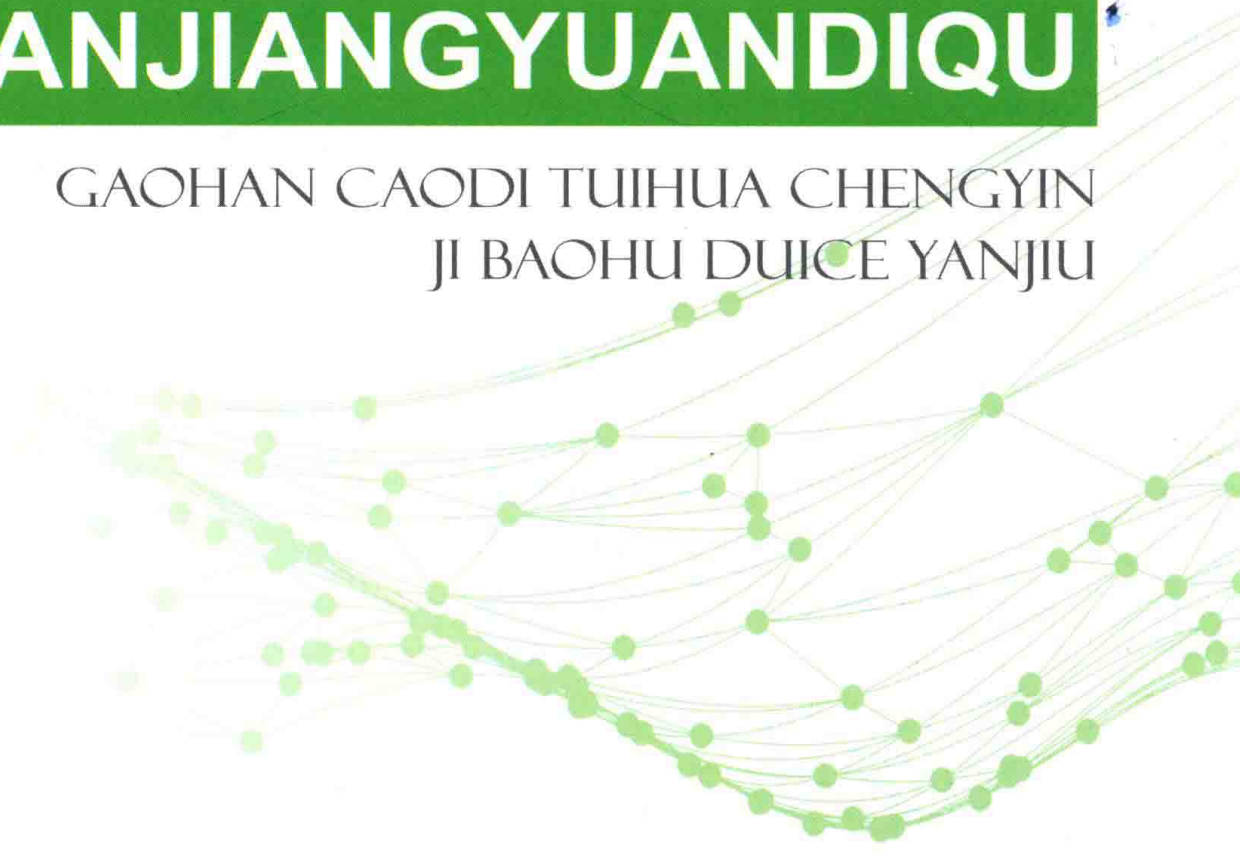
# 三江源地区

## 高寒草地退化 成因及保护对策研究

赵志平 李俊生 翟俊 关潇 肖能文 汉瑞英 / 著

**SANJIANGYUANDIQU**

GAOHAN CAODI TUIHUA CHENGYIN  
JI BAOHU DUICE YANJIU



非外借

中国环境出版集团

# 三江源地区高寒草地 退化成因及保护对策研究

赵志平 李俊生 翟俊 关潇 肖能文 汉瑞英 著

中国环境出版集团·北京

## 图书在版编目（CIP）数据

三江源地区高寒草地退化成因及保护对策研究 / 赵志平等著. —  
北京：中国环境出版集团，2018.7  
ISBN 978-7-5111-2834-8

I. ①三… II. ①赵… III. ①寒冷地区—退化草地—研究—青海②寒冷地区—草原生态系统—保护—研究—青海 IV. ① S812.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 312838 号

出版人 武德凯  
策划编辑 王素娟  
责任编辑 赵 艳  
责任校对 任 丽  
封面设计 岳 帅

---

出版发行 中国环境出版集团（100062 北京市东城区广渠门内大街16号）  
网 址：<http://www.cesp.com.cn>  
电子邮箱：[bjgl@cesp.com.cn](mailto:bjgl@cesp.com.cn)  
联系电话：010-67112765 编辑管理部  
010-67162011 生态分社  
发行热线：010-67125803 010-67113405（传真）

印 刷 北京建宏印刷有限公司  
经 销 各地新华书店  
版 次 2018年7月第1版  
印 次 2018年7月第1次印刷  
开 本 787×1092 1/16  
印 张 7.5  
字 数 210千字  
定 价 36.00元

---

【版权所有。未经许可，请勿翻印、转载，违者必究。】  
如有缺页、破损、倒装等印装质量，请寄回本社更换。

## 前 言

近几十年来在气候变化和人类活动的影响下，青海三江源地区草地呈现全面退化的态势，高寒草甸退化与高寒草原沙化现象十分普遍。本书基于三江源气候变化和草地实际载畜量变化两个因素，结合气候湿润程度变化、气候生产力模型、遥感植被指数、野外调查，分析近30年来三江源高寒草地退化主要驱动因子，并针对三江源高寒草地生态系统保护与综合治理、资源可持续利用、区域可持续发展的理念，核定三江源高寒草地载畜量格局，为该地区高寒草地保护和以草定畜的实现提供科学指导和依据。

高尔基曾说过：“在科学上没有平坦的大道，只有不畏劳苦沿着陡峭山路攀登的人，才有希望达到光辉的顶点。”既然选择了远方，便只顾风雨兼程。不管前面是荆棘，还是坦途，我都要义无反顾，奋勇向前。但在前进的过程中，我不是一个人，“一个人的成长，离不开一个团队”，这句话放在这里是再恰当不过的了。人生道路上点滴的进步都离不开导师、亲人、朋友们的帮助和关怀。

感谢我的导师李俊生老师对我的知遇之恩。我就像茫茫大海中随波逐流的小船，随时都有可能消失在天际，是李老师热情地接纳了我，引导我继续从事科学研究工作。感谢我所至爱的家人及亲朋好友，他们不仅是我心灵的港湾，更是我奋斗的精神支柱。衷心感谢帮助过我的所有人！对于人生旅途，我只是到达了一个临时驿站，未来还有很长的探索的路途。相信师恩、亲情、友爱将永远伴随我，继续支持我大步前行！

全书共包括7章内容，主要由赵志平撰写、李俊生指导撰写。翟俊、关潇、肖能文、汉瑞英参与了数据分析和辅助撰写工作。

本书参考了国内外大量研究著作和文献以及统计年鉴，在此对参考文献的作者表示感谢！

本书的出版得到了“三江源区退化高寒生态系统恢复技术及示范”项目“高寒草地综合利用关键技术及适应性管理研究与示范”（2016YFC0501904）的资助，以及环

保公益性行业科研专项(201209031)“气候变化下我国生物多样性保护优先区脆弱性评估与保护对策研究”的资助,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免出现疏漏和错误,恳请读者提出宝贵意见,以便我们进一步修订与完善。

作者

2017年6月

# 目 录

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论.....                     | 1  |
| 1.1 研究现状 .....                    | 1  |
| 1.1.1 三江源地区生态环境变化 .....           | 2  |
| 1.1.2 三江源地区草地退化状况 .....           | 3  |
| 1.1.3 三江源草地退化驱动力 .....            | 5  |
| 1.1.4 草地生产力估算 .....               | 6  |
| 1.1.5 草地产草量计算 .....               | 8  |
| 1.2 研究目的和内容 .....                 | 8  |
| 1.2.1 研究区概况 .....                 | 8  |
| 1.2.2 研究目的和意义 .....               | 15 |
| 1.2.3 研究内容 .....                  | 15 |
| 1.2.4 技术路线 .....                  | 16 |
| 第 2 章 三江源高寒草地生态系统状况和变化分析 .....    | 17 |
| 2.1 基于遥感的近 30 年来三江源高寒草地退化态势 ..... | 17 |
| 2.2 三江源高寒草甸典型坡面草地退化特征 .....       | 18 |
| 2.2.1 植被群落特征 .....                | 18 |
| 2.2.2 不同退化程度坡面土壤呼吸测定 .....        | 20 |
| 2.2.3 结论 .....                    | 22 |
| 2.3 黄河源区高寒草地 NDVI 格局与梯度变化 .....   | 23 |
| 2.3.1 数据和方法 .....                 | 23 |
| 2.3.2 环境梯度变化 .....                | 25 |
| 2.3.3 NDVI 梯度变化 .....             | 26 |
| 2.3.4 NDVI 变化率 .....              | 27 |
| 2.3.5 NDVI 变异系数 .....             | 28 |
| 2.3.6 结论 .....                    | 30 |

|              |                                  |           |
|--------------|----------------------------------|-----------|
| <b>第 3 章</b> | <b>近 45 年来三江源地区气候变化分析</b>        | <b>31</b> |
| 3.1          | 数据和方法                            | 31        |
| 3.2          | 年际变化                             | 32        |
| 3.3          | 年代变化                             | 35        |
| 3.4          | 年内变化                             | 36        |
| 3.5          | 本章结论                             | 37        |
| <b>第 4 章</b> | <b>基于 GLOPEM 模型的三江源植被 NPP 模拟</b> | <b>39</b> |
| 4.1          | 数据和方法                            | 39        |
| 4.2          | 年总辐射现状和变化                        | 42        |
| 4.2.1        | 年总辐射现状                           | 42        |
| 4.2.2        | 总辐射变化                            | 42        |
| 4.3          | NPP 空间格局现状和变化                    | 43        |
| 4.3.1        | NPP 空间格局现状                       | 43        |
| 4.3.2        | NPP 年际变化                         | 45        |
| 4.4          | 本章结论                             | 46        |
| <b>第 5 章</b> | <b>三江源地区人类活动强度分析</b>             | <b>47</b> |
| 5.1          | 土地利用变化分析                         | 47        |
| 5.1.1        | 数据与方法                            | 48        |
| 5.1.2        | 土地覆被现状                           | 50        |
| 5.1.3        | 土地覆被转类途径与幅度                      | 50        |
| 5.1.4        | 土地覆被状况指数                         | 52        |
| 5.1.5        | 土地覆被转类指数                         | 54        |
| 5.1.6        | 土地利用变化驱动力分析                      | 55        |
| 5.1.7        | 结论                               | 56        |
| 5.2          | 三江源地区草地产草量变化                     | 57        |
| 5.2.1        | 数据和方法                            | 58        |
| 5.2.2        | 草地产草量空间格局                        | 58        |
| 5.2.3        | 草地产草量年际变化                        | 59        |
| 5.2.4        | 结论                               | 60        |
| 5.3          | 三江源地区草地载畜压力变化                    | 60        |
| 5.3.1        | 数据和方法                            | 60        |
| 5.3.2        | 2001—2011 年三江源地区草地理论载畜量          | 61        |
| 5.3.3        | 2001—2011 年三江源地区草地家畜年末存栏数变化      | 65        |

|              |                                      |           |
|--------------|--------------------------------------|-----------|
| 5.3.4        | 2001—2011 年三江源地区草地载畜压力变化 .....       | 66        |
| 5.3.5        | 结 论 .....                            | 70        |
| 5.4          | 三江源国家公园黄河源园区气候变化未来情景研究 .....         | 71        |
| 5.4.1        | 研究方法 .....                           | 71        |
| 5.4.2        | 研究结果 .....                           | 72        |
| <b>第 6 章</b> | <b>三江源草地退化成因分析及保护对策 .....</b>        | <b>77</b> |
| 6.1          | 近 15 年来三江源高寒草地 NDVI 变化趋势 .....       | 77        |
| 6.1.1        | 数据与方法 .....                          | 77        |
| 6.1.2        | NDVI <sub>max</sub> 空间格局 .....       | 78        |
| 6.1.3        | NDVI <sub>max</sub> 变化趋势 .....       | 79        |
| 6.1.4        | NDVI <sub>max</sub> 的 CV 值空间格局 ..... | 81        |
| 6.1.5        | 结 论 .....                            | 82        |
| 6.2          | 三江源草地退化成因分析 .....                    | 82        |
| 6.2.1        | 基于气象数据的植被净初级生产力计算 .....              | 82        |
| 6.2.2        | 气候变化导致的植被净初级生产力变化 .....              | 83        |
| 6.2.3        | 草地实际载畜量变化 .....                      | 84        |
| 6.2.4        | 退化草地 NDVI 变化 .....                   | 85        |
| 6.2.5        | 退化草地 NDVI 变化与环境因子相关性分析 .....         | 86        |
| 6.2.6        | 退化草地驱动因素影响力分析 .....                  | 87        |
| 6.2.7        | 结 论 .....                            | 88        |
| 6.3          | 果洛藏族自治州草地退化成因分析 .....                | 89        |
| 6.3.1        | 气候变化导致的植被净初级生产力变化 .....              | 90        |
| 6.3.2        | 草地实际载畜量变化 .....                      | 91        |
| 6.3.3        | 退化草地 NDVI 变化及其成因分析 .....             | 92        |
| 6.3.4        | 退化草地 NDVI 变化与环境因子相关性分析 .....         | 92        |
| 6.3.5        | 退化草地驱动因素影响力分析 .....                  | 94        |
| 6.4          | 三江源地区高寒草地保护方案 and 对策分析 .....         | 95        |
| 6.4.1        | 以草定畜 .....                           | 95        |
| 6.4.2        | 其他辅助政策和措施 .....                      | 96        |
| <b>第 7 章</b> | <b>研究结论与展望 .....</b>                 | <b>98</b> |
| 7.1          | 主要结论 .....                           | 98        |
| 7.2          | 研究展望 .....                           | 100       |
|              | 参考文献 .....                           | 102       |

# 第1章 绪论

## 1.1 研究现状

随着气候变化、人口增长、环境污染、能源短缺等诸多全球性问题的日益突出，人类活动与陆地生态系统之间相互作用的研究越来越受到重视（刘纪远，2009）。全球气候变化是当今科学界研究的热点，气温和降水是气候系统的两个主要组成成分和研究对象。IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change, 政府间气候变化专门委员会）《第四次综合报告》指出：全球温度普遍升高，最近100年（1906—2005年）的增温趋势为 $0.74^{\circ}\text{C}$ （IPCC, 2007）。气候变暖及由此引起的干旱化问题应当引起重视（符淙斌等，2008；马柱国等，2007；Piao等，2010）。气候变化对中国的生态系统与生物多样性产生了可以辨识的影响，如温度带北移，物候期提前，林线上升，部分草原产量和质量有所下降，局部湿地面积萎缩，荒漠生态系统脆弱性增加，物种分布改变等（《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会，2011）。

青藏高原被称为“世界屋脊”，平均海拔在4 000m以上。由于严酷而独特的高原自然环境，导致该地区生态环境十分脆弱，但同时也是生物多样性最为丰富的地区之一，栖息着许多珍稀物种，如藏羚羊（*Pantholops hodgsoni*）、野牦牛（*Bos mutus*）、藏野驴（*Equus kiang*）、藏原羚（*Procapra picticaudata*）等，已经成为物种和生态系统保护研究的热点区域（赵新全，2005；George, 2007）。三江源地区位于青藏高原腹地、青海省南部，是长江、黄河、澜沧江三大河流的发源地，素有“中华水塔”之称。其中黄河、长江、澜沧江地表径流的49%、25%和2%分别来源于此（赵新全，2011）。由于青藏高原独有的热力和动力作用，导致三江源地区是气候变化的敏感区和生态环境的脆弱区，同时也是我国最重要的生态功能区之一。该区域对于维持典型高原生态系统、江河源头和高原湖泊等高原湿地生态系统，以及对藏羚羊、野牦牛、普氏原羚（*Procapra przewalskii*）、马麝（*Moschus sifanicus*）、黑颈鹤（*Grus nigricollis*）、青海湖裸鲤（*Gymnocypris przewalskii*）等特有珍稀物种种群及其栖息地的保护具有重要意义。

### 1.1.1 三江源地区生态环境变化

近几十年来受全球变暖的影响,三江源地区气候总体上呈现暖干化趋势,再加上不合理的人类活动,由此带来草场退化、土壤沙化、盐渍化和水土流失等一系列生态环境问题(赵新全等,2005;张镱铨等,2006)。

国内学者们对三江源地区气候变化及其对生态环境的影响做了大量的研究。三江源地区气温普遍升高(李林等,2006),近50年来年降水量和降水日数呈减少趋势(唐红玉等,2007),干旱化趋势明显(李林等,2004),对植被生长起重要作用的夏季降水量呈明显减少趋势(王根绪等,2001),极端气候事件频发(李林等,2007)。降水量变化与区域地理环境显著相关,潜在蒸散是表征大气蒸发能力的一个度量,因此区域的干湿状况可以用降水量与潜在蒸散比值表征(王菱,2004;吴绍洪等,2005;尹云鹤,2005;Wu,2006;Yin,2008;Zhang,2009;王懿贤,1981;谢贤群,2007)。近40年来三江源地区气温升高引起潜在蒸发量增加,再加上降水量减少,从而导致径流量下降(张士锋,2011)。未来三江源地区气候变化的总体趋势是暖干化(许吟隆,2007)。其中2001—2050年气温显著增高,极端高温时间发生频次显著增多,极端低温时间显著减少,干燥和暴雨时间发生频次均显著增多(李红梅,2012)。

在此背景下,三江源地区自然生态环境对气候变化响应强烈,冰川退缩(杨建平等,2003,2007)、永久冻土消融加剧(杨建平等,2004),土壤侵蚀强度较大(吴万贞,2009),中等侵蚀程度以上的地区占全区面积的1/2以上(陈琼,2010),土地荒漠化、沙化情况严重(王根绪等,2004;郗妍飞等,2008;曾永年等,2007;陈琼,2011;朱宝文,2012),大范围高寒草甸与草原植被发生退化(徐新良等,2008)。

三江源地区土地利用/覆被变化中,湿地主要转变为草地,沼泽几乎全部转为草地,河流和河滩地转换频率较高(赵峰,2012),进一步分析显示,河流和河滩湿地变化的主要驱动因子是年均温度、年蒸发量、年均相对湿度和年奶产量,湖泊湿地变化的主要驱动因子是年蒸发量、年均相对湿度、年人口数量和年奶产量,沼泽和全部湿地变化的主要驱动因子是年降水量、年人口数量和年人均收入(陈永富,2012)。三江源地区1982年以来植被指数整体呈弱的增加趋势,2004年以来草地植被变好趋势明显(钱拴,2010)。在10年时间尺度上,气候变化是影响三江源地区植被生长的决定性因素,但人类活动可在短期内加快植被变化速率(李辉霞,2011)。王素慧等(2012)研究发现,三江源地区居民点主要分布在NDVI[归一化植被指数(NDVI)是反映地表植被覆盖状况、生长状况以及生物量的重要参数](王维,2010;Hua,2008;Han,2006;王蕊,2011;张宏斌,2009)。条件好的区域,NDVI条件差的区域居民点分布较少;距居民点2km范围内,由于人类的放牧活动造成了植被的退化,NDVI较低。此外,冬虫夏草采挖使草地物种多样性、盖度和地上生物量降低(徐延达,2013)。

2005年国务院批准了《青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划》。该规划实施以退牧还草、恶化退化草场治理、森林草原防火、草地鼠害治理、水土保持、生

态移民等为主要内容的生态环境保护与建设项目，旨在降低人类活动对草地生态系统的影响，恢复已经退化的草地。

### 1.1.2 三江源地区草地退化状况

草地退化是草地生态系统在其演化过程中结构特征和能流与物质循环等功能过程的恶化（陈佐忠，1990），是由于人为活动或不利自然因素所引起的草地（包括植物及土壤）质量衰退，生产力、经济潜力及服务功能降低，环境变劣以及生物多样性或复杂程度降低，恢复功能减弱或失去恢复功能的过程（李博，1997）。

在三江源地区，赵新全等（2011）基于多年野外观测实验，提出了以下高寒草地野外观测退化分级标准（见表 1-1）。

表 1-1 草地退化分级

| 退化等级 | 退化程度 | 群落种类组成                     | 盖度 /%           | 凋落物  | 产草量比例 /% | 可食牧草比例 /% | 可食牧草高度变化 / cm | 鼠类变化           | 土壤状况                  | 草场质量       |
|------|------|----------------------------|-----------------|------|----------|-----------|---------------|----------------|-----------------------|------------|
| 1    | 原生植被 |                            |                 |      | 100      | 70        | 25            |                |                       | 标准         |
| 2    | 轻度退化 | 种类组成无明显变化，优势种个体数量减少        | 优势种盖度下降 20      | 明显减少 | 50 ~ 75  | 50 ~ 70   | 下降 3 ~ 5      | 相适应种无大变化       | 无明显变化                 | 下降 1 等     |
| 3    | 中度退化 | 优势种与次优势种明显更替               | 优势种盖度下降 20 ~ 50 | 大量消失 | 30 ~ 50  | 30 ~ 50   | 下降 5 ~ 10     | 顶极群落相适应的鼠种明显更替 | 土壤硬度增加，轻度侵蚀，有机质降低 30% | 下降 1 等     |
| 4    | 重度退化 | 优势种主要为退化草地指示植物，并伴有大量有毒有害植物 | 优势种盖度下降 50 ~ 90 | 基本消失 | 15 ~ 30  | 15 ~ 30   | 下降 10 ~ 15    | 退化草原相适应的鼠种     |                       | 下降 1 或 2 等 |
| 5    | 极度退化 |                            |                 |      |          |           |               |                |                       |            |

据调查，三江源地区的草地已呈现全面退化的趋势，其中中度以上退化草场面

积达 0.12 亿  $\text{hm}^2$ ，占本区可利用草场面积的 58%。同 20 世纪 50 年代相比，单位面积产草量下降 30% ~ 50%，优质牧草比例下降 20% ~ 30%，有毒有害类杂草增加 70% ~ 80%，草地植被盖度减少 15% ~ 25%，优势牧草高度下降了 30% ~ 50%，其中黄河源头 20 世纪 80—90 年代平均草场退化速率比 70 年代增加了 1 倍以上（赵新全等，2005）。陈国明等（2005）研究发现中度退化草地面积为  $5.7 \times 10^6 \text{hm}^2$ ，占可利用草地面积的 55.4%，其中，“黑土滩”（重度退化草地）面积为  $1.8 \times 10^6 \text{hm}^2$ ，占退化草地面积的 32.1%；王根绪等（2001）研究发现江河源区 6 县（达日、玛多、玛沁、治多、曲麻莱、杂多）草地退化面积占草地总面积的 34.34%，其中重度退化草地面积占退化草地面积的 26.79%，退化草地以及重度退化草地主要发生在达日、玛多、曲麻莱等县，表明黄河源区草地退化比较严重。黄河源区高寒草甸退化与高寒草原沙化现象十分普遍（李林，2006；芦清水，2008，2009）。同时该区草原鼠害猖獗，沼泽和湿地面积减少，生物多样性急剧萎缩（王根绪，2004，2007；杨建平，2005；曾永年，2007；郟妍飞，2008；周华坤，2005a，2005b）。达日县作为三江源地区草地退化最严重的一个县，草地覆盖度下降、沙化和荒漠化是该县草地退化的典型特征（刘林山，2006），从 20 世纪 70 年代中期到 2000 年该县高寒草甸的质量持续下降，发生退化的草地总面积约 42.9 万  $\text{hm}^2$ ，占全县面积的 29.39%（刘林山，2006）。

草地生态系统作为三江源地区的主体生态系统，对区域水土保持、水源涵养、生物多样性保护等功能的保持具有决定性作用，因此对于草地退化面积、程度的准确而快速的把握，成为认识该区草地退化宏观格局的关键。近年来，学者普遍采用遥感技术手段对三江源地区的草地退化进行了研究（陈全功，1998a，1998b；涂军，1999；钟诚，2003；李辉霞，2003），取得了许多丰硕的成果。刘纪远等（2008）通过卫星遥感资料发现该区草地退化的格局在 20 世纪 70 年代中后期已基本形成，70 年代中后期至 2004 年草地退化过程一直在继续发生，总体上不存在 90 年代至今的草地退化急剧加强现象。同时由于研究范围、方法以及对草地退化等级划分标准的不同，所获得的草地退化结论存在一定的差异。这主要是由于研究工作采用的遥感数据的来源、时相和分辨率不同而造成的。

草地退化对生态系统具有破坏性影响。草毡表层剥蚀是三江源地区高寒草甸退化的主要特征之一。该区退化高寒草甸草毡层具有两种剥蚀动力：一是鼠类的挖掘与冻融交替作用，剥蚀发生时地表草皮处于死亡或半死亡状态；二是水分冲蚀和重力作用，剥蚀时草毡表层牧草生长良好（梁东营，2012）。未退化的矮嵩草草甸比退化草地生长季蒸散量大，而非生长季蒸散量小（李婧梅，2012）。随着高寒草甸退化程度的加剧，莎草科植物的盖度、生物量及重要值都明显降低，杂类草各指标均随着退化程度的加剧而升高，毒草占群落的比例呈显著上升趋势（孙海群，2013）。此外，不仅草地群落组成出现明显变化，地上/地下生物量显著下降，而且土壤各理化性质也受到不同程度的影响。人工草地的建植可明显增加地上/地下生物量，但短期内对土壤的改良效果并不显著，极度退化草地的土壤恢复将是一个缓慢的过程（伍星，2013）。对三江源地区

玛多县鄂邻湖畔北岸和称多县珍秦乡的研究也表明土壤中有有机质含量随着退化程度的增加呈下降趋势(张静, 2009)。

从宏观上来看,三江源部分地区由于牧场超载而退化严重,同时家畜规模持续增加使得草场保护的目标难以实现(周伟, 2006)。许多牧民的草场进入超载过牧—植被退化—水位下降—鼠虫危害—草地退化—草畜矛盾的恶性循环(王海, 2010)。三江源地区生态建设工程实施后,各自然保护区的土地覆被转类指数明显增加,生态系统宏观状况好转;保护区内草地生产力皆呈增加趋势,水域面积增加,食物供给能力提高,栖息地生境好转。森林类保护区的森林面积减少趋势得到遏制;湿地类保护区的湿地面积多呈增加趋势;草地类保护区的草地减少趋势缓解,荒漠化明显遏制,草地植被覆盖度有所增加;冰川类保护区多条冰川出现明显退缩导致冰川融水增多,有利于雪线以下草地净初级生产力的增加(邵全琴, 2013)。

### 1.1.3 三江源草地退化驱动力

关于三江源地区草地退化的原因和主要驱动力,目前学术界普遍存在气候变化、人类放牧活动和鼠害三种观点(Zhou, 2005)。气候变暖可能会导致物种多样性改变(Klein, 2004)。Panario等(1997)研究南美潘帕斯草原发现该地草原退化经历了三个阶段:牲畜的啃食导致草原硬化,火烧和牲畜超载导致进一步的草地硬化,喜热草类比例的增加。Adler等(2001)通过对比研究后发现:放牧造成的草地退化空间特征取决于牲畜啃食的格局和草地植被分布格局相对作用的强弱。

国内有学者早在1998年就提出退化草地的成因主要是不合理的放牧制度导致草地长期超载以及鼠类危害(马玉寿, 1998);而张镱铨等(2006)认为黄河源地区草地退化有自然因素的影响,但人类活动起主导作用;严作良等(2003)认为季节性过牧等人类活动是造成江河源区近期草地迅速退化的主导因素,从而促使气候、鼠害等自然因子作用加剧。王景升(2010)认为超载过牧是羌塘高原东、中部草地退化的主要原因,中部是草地保护恢复工程的最佳实施区域。周华坤等(2005a)以三江源退化高寒草甸为对象,利用层次分析法,探讨了高寒草地的退化原因,结果表明长期超载过牧和暖干化气候是导致高寒草甸退化的主导因子,其贡献率为65.99%;伴随草地初始退化出现的鼠虫和毒杂草泛滥危害是加速高寒草甸退化的重要因子,贡献率为15.03%;人类不合理干扰造成的高寒草甸退化贡献率为9.64%。曾明明(2008)的研究表明,草地退化的原因主要是自然因素和人为因素的双重作用,影响草地沙化的自然因素主要是温度升高,特别是大于 $0^{\circ}\text{C}$ 积温的增加,人为因素主要是超载过牧,温度升高对草地沙化的影响占34.39%,超载过牧占65.61%。草地沙化是过牧的累加效应达到一定程度时才出现的,累加超载量每增加1万个羊单位会造成 $3.14\text{hm}^2$ 草地沙化。在气候变化对草地退化影响研究的方面,汪诗平等(2003)认为,从气候变化对草地退化的影响程度来看,如果该地区20世纪80年代温度升高和降水增加的有利一面及90年代温度升高和降水

降低的不利一面处于一种动态平衡的话, 则从较短的时期看, 气候变化可能对草地退化的影响程度不是很大。因此, 草地退化的主要原因是过牧造成的。在总体上, 气候变化对草地植被的影响是长期的、缓慢的、大面积的, 但如果没有过牧的影响, 在短期内很难造成大面积的草地退化。崔庆虎等(2007)的研究也有类似的结论, 认为在青藏高原地区短期内气候的变化不会成为草地退化的主导因素。人类活动因素中主要以家畜过度放牧为主, 在一定程度上, 家畜放牧强度的高低直接决定草地的退化程度。草地退化是多种因素综合作用的结果, 不同地区导致草地退化的主要因素不尽相同, 导致青藏高原草地退化最主要的因子是过度放牧和植食性小哺乳动物种群爆发。边多等(2008)认为在气候呈暖干化的变化趋势下, 高寒地区草地风蚀、水蚀和冻融侵蚀、鼠害虫害等次生自然灾害频繁发生, 是导致草地沙化的直接原因。虽然近期内一些地区气候呈暖湿化的趋势, 并对草地的退化起了一定的缓解作用, 但降水分配不均也对草地退化产生了重要影响。

Fan 等(2009)、樊江文等(2010)认为年际间的气候波动也是造成草地退化的原因之一。较脆弱或在干旱地区的草地的生产力受年际间气候变化的影响相对较大, 更容易受年际间气候变化的影响而发生牧草供给矛盾, 从而进一步导致草地退化。兰玉蓉(2004)、陈国明(2005)、李穗英等(2007)、李志昆等(2008)均认为在青藏高原特殊的地理气候背景下, 经过长期自然演化形成的三江源地区脆弱的草地生态系统, 对外界环境条件反应极其敏感, 季节性过牧等人类活动是造成该区草地退化的主导因素, 从而促使气候、鼠害等自然因子作用加剧。三江源地区的草地退化, 是人为因素和自然因素共同作用下人为加速加剧的结果。

草地退化是长期的气候变化与不合理人类放牧活动共同作用的结果(孙鸿烈, 2011), 国内学者对三江源地区草地退化成因开展研究始于 20 世纪 90 年代末, 且多基于 3~6 年的增温实验和样地放牧强度对比试验, 以及利用短期、瞬时遥感资料进行分析, 缺乏从宏观方面对草地退化原因的深入研究。

#### 1.1.4 草地生产力估算

草地生态系统是世界陆地生态系统的主体类型, 占陆地生态系统总面积的 16.4%, 天然草地植被是地球陆地表面最大的绿色植被层, 总面积占地球陆地表面积的 41% (世界资源报告, 2000)。草地生物量约占全球植被生物量的 36%, 是地球上重要的绿色光合物质来源之一(张新时, 2000)。20 世纪 80 年代初期, 国外就开始利用遥感资料(NOAA/AVHRR)进行草地遥感监测研究(Taylor, 1985)。Anderson(1993)估算了科罗拉多州东部的地上生物量。Todd(1998)利用 TM 图像提取的植被指数研究了美国科罗拉多州东部地区的牧草生物量。Weiss 等(2001)利用 AVHRR 获取了 NDVI, 然后再将月平均 NDVI 转化成变化系数, 从而将植被指数转化为生物量。Gao 等(2004)分析了 1981—2000 年新疆草地的生产力与气候变化之间的关系。Gao 等(2008)研究了

在不同放牧强度下, 内蒙古地区草地生态系统的地下部分的生产力以及生物量的分配。目前随着全球变暖趋势的加剧, 许多发达国家对草地资源的动态及生态环境的变化开始重视 (Del Grosso 等, 2008; Weng 和 Luo, 2008; Chou 等, 2008)。

我国现有不同类型草地面积约 4 亿  $\text{hm}^2$ , 约占我国土地总面积的 40% 以上, 是我国陆地最大的生态系统, 其面积约为我国耕地面积的 4 倍, 森林面积的 3.6 倍 (李博, 1990)。据估算, 2001 年我国的草地生态系统产干草 1.44 亿 t, 理论载畜量为 1.08 亿个羊单位。李刚等 (2007) 估算了 2003 年内蒙古草地生产力, 内蒙古草地生长季的总第一性生产力为  $28.59 \times 10^{12} \text{g}$ 。郝璐等 (2006) 则认为 2000—2003 年与 1981—1985 年相比, 内蒙古地区草地生物单产及可食牧草产量均明显减少, 可食牧草比例也明显降低; 生物单产、可食牧草产量以及可食牧草比例高值区与次高值区均明显减少。在我国的南疆以及青海、甘肃等地区也有大量的草地, 有很多学者以这些地区为研究区开展草地生产力的研究 (孙建光等, 2005; 韩国栋等, 2007; 张芳, 2008; 俞联平, 2008)。

估算生态系统生产力的模型主要分为三类: 统计模型、光能利用率模型和机理模型。统计模型参数简单, 操作容易, 但是模拟精度不高。机理模型比较复杂, 参数众多, 模拟精度高, 但多为站点尺度上的 NPP 模拟, 模型参数扩展到面上时存在尺度转化问题, 且不能充分考虑地理要素的空间异质性。光能利用率模型在利用遥感数据作为输入时可以充分考虑地理要素的空间异质性 (Zhao, 2010)。通常光能利用率模型利用 NDVI 估算冠层吸收的光合有效辐射 APAR, 计算光能利用率 LUE, 从而计算出总初级生产力 GPP, 并利用其他限制光合作用的环境因子进一步修正潜在的生产力 (彭长辉, 2000)。光能利用率模型主要基于资源平衡观点 (Field 等, 1995), 认为植物的生长是各种可用资源组合的结果, 在其生理、生长和进化的过程中, 所有资源趋于对植物生长具有平等的限制作用。极端条件下, NPP 则受最紧缺资源的限制。这类模型可在大尺度上将卫星遥感资料与生产力的估算结合起来。在快速更新的遥感信息的支持下, 模型可以提供生产力的季节动态变化的检测。与其他类型的 NPP 模型相比, 光能利用率模型有如下优点 (李贵才, 2004): ①利用遥感数据获得 FPAR, 获得空间上连续的植被有效光合辐射吸收系数; ②利用遥感数据进行现实植被分类, 可及时地反映植被变化; ③遥感数据覆盖范围大, 可实现区域尺度上的 NPP 估算; ④模型简单, 所需要的输入参数少, 易于掌握和计算。

GLOPEM 模型属于光能利用率模型, 它主要通过植被冠层对太阳辐射的有效利用率来提取 NPP, 因此光合有效辐射估算的准确度成为影响 GLOPEM 模型精度的一个主要因素 (杨磊, 2005)。估算陆地光合有效辐射的方法可以分为两类: 一是利用地面站点的观测数据 (日照时数、云量、辐射等) 通过计算 (孙睿, 2001) 来获取区域内连续的光合有效辐射; 二是在卫星观测数据的支持下, 以辐射传输模型为理论基础, 发展适应各种传感器的光合有效辐射估算方法 (刘荣高, 2004; liu, 2007; Laake 等, 2004, 2005; Olofsson, 2007a, 2007b; Chen 等, 2008; 杨磊, 2005)。

GLOPEM 模型是唯一全部使用卫星遥感数据测定 APAR 以及环境变量的模型, 是

实现了 NPP 全遥感化计算的模型, 并且在全球范围内得到了广泛的应用 (Running, 1988; Goetz 等, 2000; Wang 等, 2011)。Prince 和 Goward (1995) 首次利用 GLOPEM 模型对全球 NPP 进行了模拟。Goetz 等 (1999) 对 GLOPEM 模型进行修改, 并利用 12 个站点数据对模型进行验证。Cao 等 (2004) 利用 GLOPEM 模型计算了 1981—2000 年全球生态系统 NPP, 认为 1980—2000 年 NPP 有上升的趋势, 且发现 NPP 在厄尔尼诺事件时出现减少的趋势。Gao 等 (2008) 等研究了在不同放牧强度下, 内蒙古地区草地生态系统的地下部分的生产力以及生物量的分配。此外, 陈利军等 (2001) 认为 1981—1994 年中国陆地植被 NPP 大致在  $5.88 \sim 6.66 \times 10^9 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$  之间。其中, 1994 年的 NPP 总量最大, 为  $6.66 \times 10^9 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ ; 1993 年的最小, 为  $5.88 \times 10^9 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ , 中国陆地植被的碳密度在  $597.35 \sim 684.42 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

### 1.1.5 草地产草量计算

草地产草量是天然草地生产力高低的重要衡量指标, 同时也是制订畜牧业生产和管理规划的基础。及时准确地掌握草地产量资料, 对计算草地载畜量和安排草畜生产、提高草地畜牧业生产力具有十分重要的意义。然而目前草地生产力的测定, 主要沿用传统的测产方法, 测点控制面窄, 测定周期长, 费用高, 不能及时反映大面积的草地产量。我国最后一次全面的草地资源普查是在 20 世纪 80 年代进行的, 现在草地条件已发生了很大变化, 草地植被及其群落、草地生产力也都发生了相应变化, 出现了不同程度的减少。如受气候变化的影响及长期超载过牧、乱垦、乱挖和鼠虫危害, 果洛藏族自治州草地面积不断萎缩, 草地产草量不断下降, 天然草原的生态功能减弱, 草地质量整体下降 (俞联平等, 2008)。因此在大面积的草地产草量预测实践中, 需要从宏观角度出发采用快速、简便的手段实现草原生产力的估测。樊江文等 (2010) 对三江源地区 1988—2005 年的草地产草量和载畜压力变化进行了分析, 结果表明, 该地区草地平均超载 1.5 倍, 其中冬春草场超载 2 倍以上, 同时, 草地载畜压力具有逐年下降的趋势, 特别以冬春场的下降趋势更为明显, 说明三江源地区草地利用逐年向合理的方向发展。

## 1.2 研究目的和内容

### 1.2.1 研究区概况

#### (1) 地理位置

青海三江源地区位于我国西部、青藏高原腹地、青海省南部, 为长江、黄河和澜沧江的源头汇水区。地理位置为北纬  $31^{\circ}39' \sim 36^{\circ}12'$ , 东经  $89^{\circ}45' \sim 102^{\circ}23'$ , 行政区域涉及玉树、果洛、海南、黄南四个藏族自治州的 16 个县和格尔木市的唐古拉乡, 总面

积 36.3 万 km<sup>2</sup> (见图 1-1)。

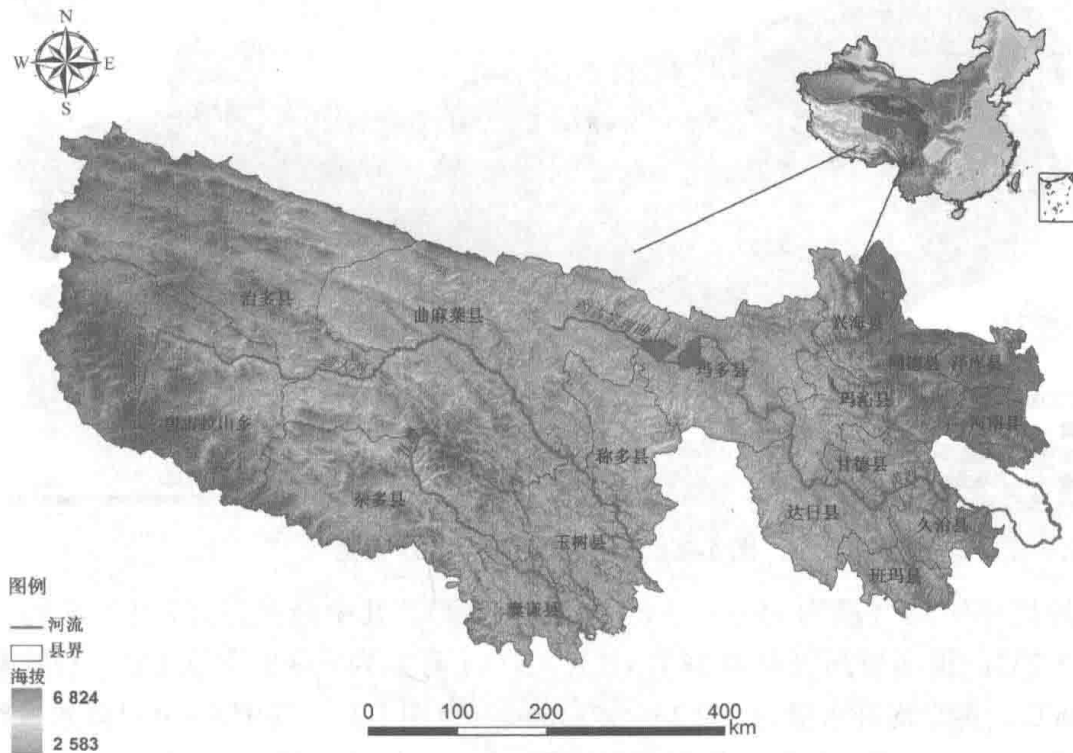


图 1-1 青海三江源地区海拔高程和行政区划

区内有 3 个国家级自然保护区：可可西里国家级自然保护区、三江源国家级自然保护区、隆宝国家级自然保护区。其保护重点为高原高寒草甸、湿地生态系统以及藏野驴、野牦牛、藏羚、藏原羚等重要物种及其栖息地。

### (2) 人口和经济

青海三江源区地广人稀，据 2015 年统计资料，区内总人口为 59 万人（其中，牧业人口 40.89 万人，占总人口的 69.3%），牧业户数 83 531 户，民族构成以藏族为主，占 90% 左右，其他为汉、回、撒拉、蒙古族等民族。

青海三江源区经济以草地畜牧业为主，有牲畜 2 224.03 万羊单位，超载 60% 左右。2015 年全区国民生产总值 23.04 亿元（其中，农牧业产值 13.05 亿元，占总产值的 56.6%）。牧民人均可支配收入 1 549.96 元。

源区现有中小学 403 所，适龄儿童入学率 32.6%；有医院卫生所 202 座，病床 2 041 张，每千人占有病床为 3.41 张。

### (3) 气候特征

三江源地区气候属青藏高原气候系统，为典型的高原大陆性气候，表现为冷热两季交替、干湿两季分明，年温差小、日温差大、日照时间长、辐射强烈，无四季区分的气候特征。冷季为青藏冷高压控制，长达 7 个月，热量低、降水少、风沙大；暖季受西南季风影响产生热气压，水汽丰富、降水量多。由于海拔高，绝大部分地区空气稀薄，植物生长期短，无绝对无霜期（邵全琴，2012）。