



西藏近半个世纪以来人类活动的生态环境效应

樊杰^{①②}, 徐勇^{①②}, 王传胜^{①②*}, 牛亚菲^{①②}, 陈东^{①②}, 孙威^{①②}

① 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;

② 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

* 联系人, E-mail: wangcs@igsrr.ac.cn

2015-02-12 收稿, 2015-04-14 接受, 2015-06-04 网络版发表

中国科学院科技服务网络计划(STS 计划)(KFJ-EW-STS-074)资助

摘要 西藏自然景观独特、生态环境脆弱、文化特色鲜明, 其人类活动及其生态环境影响一直受到国内外的高度关注. 从人类活动的总量、结构和过程的角度, 分析了近半个世纪以来西藏人类活动及生态环境效应的时空特征. 结果表明: 西藏社会经济总规模较小, 经济增长速度较快, 但发展水平依然偏低; 城镇化及农牧业、旅游和交通发展是构成西藏人类活动的主体, 人类活动生态环境效应的阶段性和地域性特征显著. 阶段性表现为, 1990 年以前人类活动总体规模较小, GDP 总量不超过 20 亿元, 城镇化率 17% 以下, 人类活动对生态环境的影响程度较小; 1990~2000 年人类活动和生态环境负效应同步发生且增强, 单位第二产业产值的废水排放和人均的生活污水排放分别达到 467.9 t/万元和 16.3 t/人的历史最高值; 2000 年后人类活动规模加大, 但人类活动方式的调整, 促使生态环境逐步向良性方向转型. 地域性表现为“点、线、面”的影响格局, 城镇化区域的生态环境影响呈现为“点状”集聚, 旅游业和交通业使生态环境问题“由点到线(带)”扩散, 而农牧业则呈现“面状”影响. 总体而言, 近半个世纪以来西藏人类活动对生态环境的扰动有限, 2000 年以来的生态环境负效应基本得到遏制, 呈现良性发展的态势.

关键词

西藏
人类活动
生态环境
效应

近半个世纪以来, 随着西藏人口和经济总量迅速增长, 人类活动对生态环境的扰动显著增强. 由于西藏生态环境脆弱性强、抗扰性弱^[1], 尽管目前西藏人类活动规模依然不大, 但生态环境问题却受到普遍关注. 在西藏问题研究中, 长期偏重于自然系统的结构、功能及其格局演变, 而着眼于西藏可持续发展、探讨自然系统与人类系统相互作用的成果很少. 国际组织新近推出“未来地球计划(Future Earth)”(2014~2023)倡导从地球系统整体视角研究地球可持续性. 西藏作为地球上具有鲜明特色的自然和文化景观的地域单元, 应该成为“未来地球计划”开展地球系统研究的典型区域.

本文拟基于人类活动生态环境效应的一般规律

认识, 从解析西藏人类活动特征入手, 分别从时间尺度和空间维度上, 讨论西藏人类活动对生态环境的影响. 研究采用的数据主要来源于实地调研数据、政府相关业务部门统计数据、科研部门的科研成果数据等. 通过对近半个世纪以来西藏人口和经济变动、城镇化和乡村发展、国土开发强度演变所引起的污染物排放和环境质量变化、资源开发和生态保护状况等问题的剖析, 揭示西藏人类活动的生态环境效应, 为拓展地球系统科学在西藏地区的全面研究、推动西藏可持续发展开展探索性的尝试.

1 人类活动的基本特征

人类活动的变化主要表现为规模变化和结构变

引用格式: 樊杰, 徐勇, 王传胜, 等. 西藏近半个世纪以来人类活动的生态环境效应. 科学通报, 2015, 60: 3057–3066

Fan J, Xu Y, Wang C S, et al. The effects of human activities on the ecological environment of Tibet over the past half century (in Chinese). Chin Sci Bull, 2015, 60: 3057–3066, doi: 10.1360/N972014-01311

化两个方面. 其中, 规模变化可以分为人口规模的变化和经济规模的变化, 结构变化可以分为城乡人口结构的变化和产业结构的变化.

1.1 规模变化

人口规模主要受人口自然增长和机械增长的影响. 图1是1965~2013年西藏自治区人口规模的变化, 图中显示, 人口规模变化大体可以分为3个阶段: 1965~1983年是人口规模加速增长阶段, 人口自然增长率到1983年达到峰值的18.4‰. 1983~1996年是人口规模快速增长阶段, 年均人口自然增长率高达16.0‰. 1996~2013年是人口规模减速增长阶段, 人口自然增长率逐年下降, 但仍高于全国水平. 截至2013年, 西藏自治区的人口规模已达312万人, 占全国总量的0.23%.

经济规模反映了一个地区创造财富的总体水平. 图2是1978~2013年西藏自治区GDP、财政支出、农牧民人均纯收入的变化, 20世纪90年代中期以来, 西藏自治区的经济规模进入持续快速发展时期^[2,3], 经济增长速度始终保持在10%以上. 2013年GDP达到807.7亿元, 分别是1951年和1980年的161.2倍(按不变价计算)和25.5倍(按不变价计算). 人均GDP从1990年的1358元/人增加到2013年的2.6万元.

1.2 结构变化

图3是西藏自治区城乡人口结构的变化, 1970年

以来, 西藏自治区城镇人口增长速度一直快于乡村, 这一方面受城镇化快速推进的影响, 另一方面也与乡村人口基数较大有关. 从城乡人口占比看, 乡村人口一直占总人口的75%以上, 在很大程度上反映出西藏自治区仍属于城镇化的初期阶段.

产业结构标志着一个地区的经济发展水平和发展阶段. 图4是西藏自治区三次产业结构的变化, 图中显示, 从农业社会向非农业社会转型过程中, 西藏并未遵循传统的工业化模式, 而呈现服务业主导的状态. 1951年三次产业结构为97.6:0.1:2.3, 2013年转变为10.8:36.3:53.0, 第三产业占比在全国各省市自治区中仅低于北京和上海. 第二产业中工业占GDP的比重仅为9.4%, 处于全国最低水平. 依托西藏草场资源, 牧业一直位居大农业之首, 2013年的比重为50.1%. 此外, 旅游业也是依托西藏特色景观资源, 延伸地域范围广、开发利用程度深的产业领域, 现已成为西藏自治区经济发展的重要引擎和主导产业. 资源依赖性强的产业结构特征势必对污染物排放规律产生直接的影响^[4,5].

2 人类活动生态环境效应的时序过程

近半个世纪以来, 西藏人类活动表现出鲜明的时序特征, 其生态环境效应也呈现时序性特征. 因西藏产业结构主要为轻型结构, 故环境污染主要表现为水污染和生活垃圾污染. 以废水排放为例, 图5显示, 西藏自治区废水排放量的人均值从1990年开始

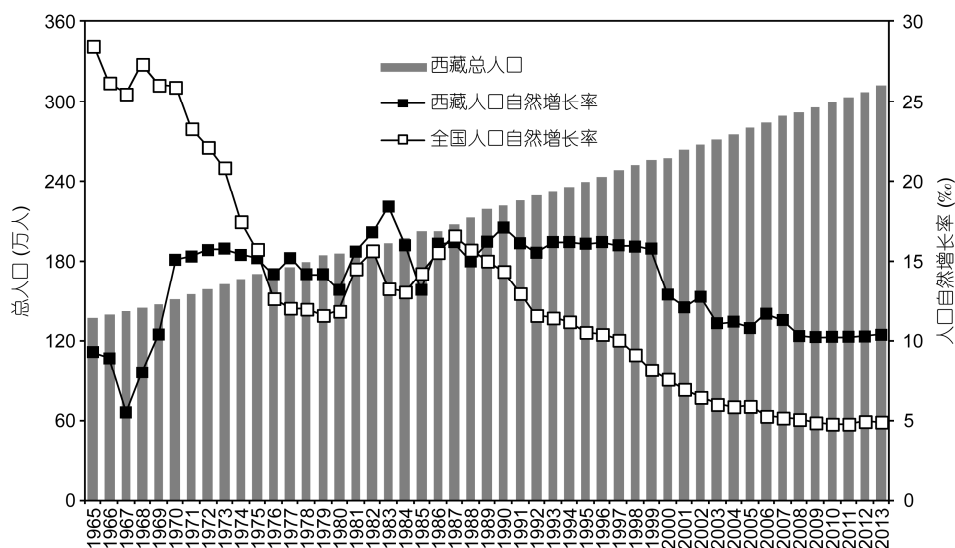


图1 西藏自治区人口规模的变化

Figure 1 Population growth in Tibet

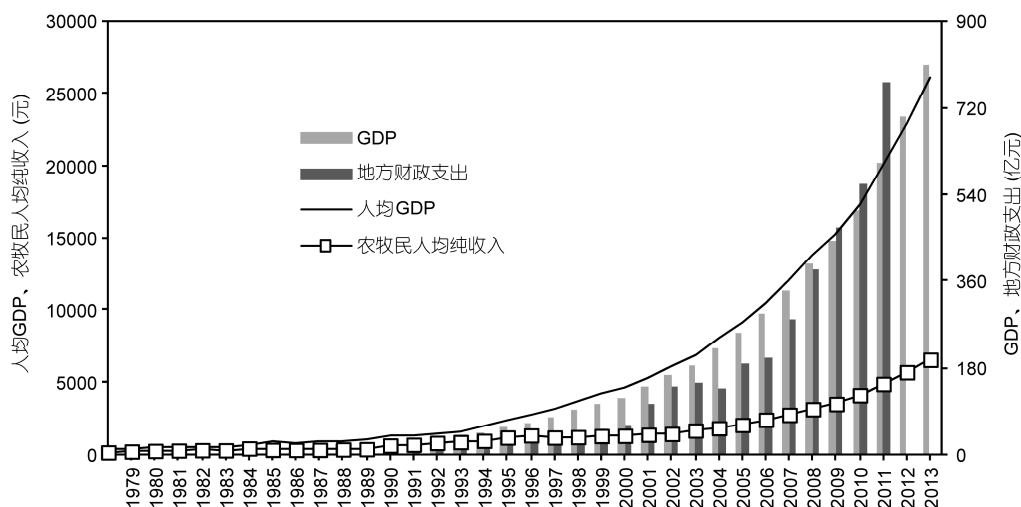


图2 西藏自治区 GDP、人均 GDP、地方财政支出、农牧民人均纯收入的变化

Figure 2 Changes of GDP, per capita GDP, local fiscal spending, per capita net income of farmers and herdsmen in Tibet

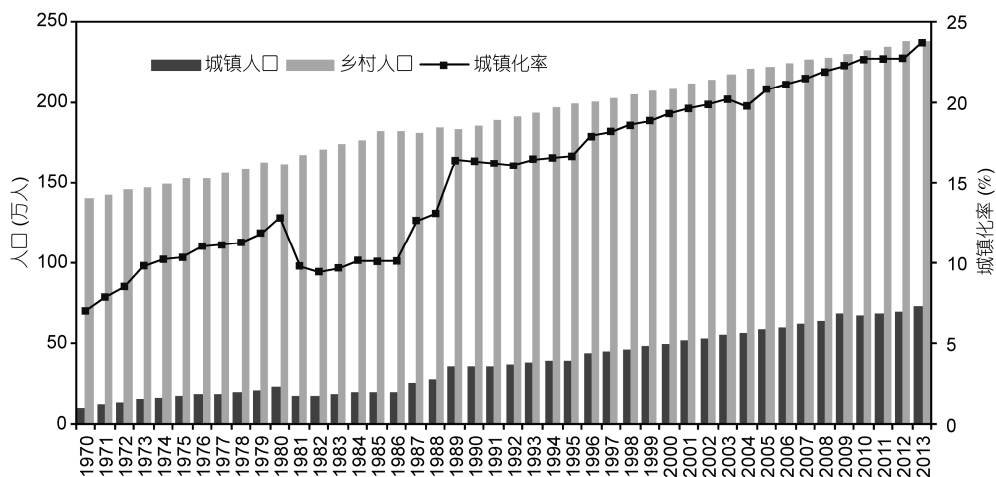


图3 西藏自治区城乡人口结构的变化

Figure 3 Changes of the urban and rural population in Tibet

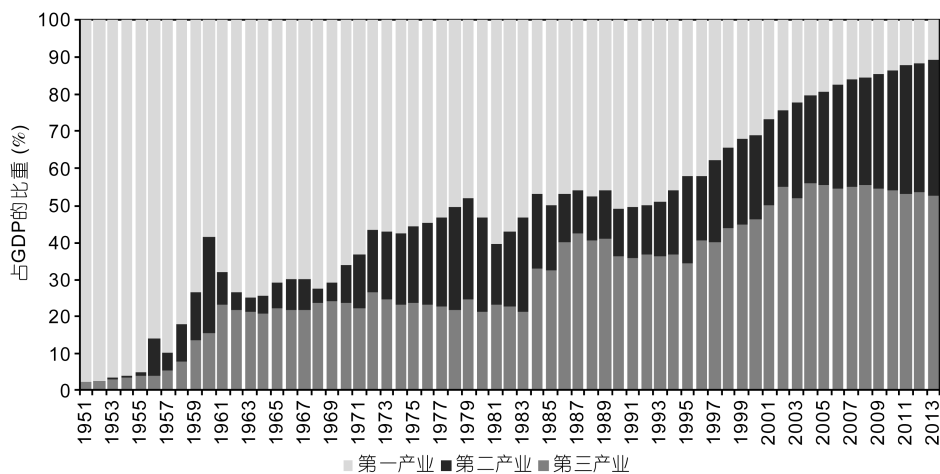


图4 西藏自治区三次产业结构的变化

Figure 4 The change of industrial structure in Tibet

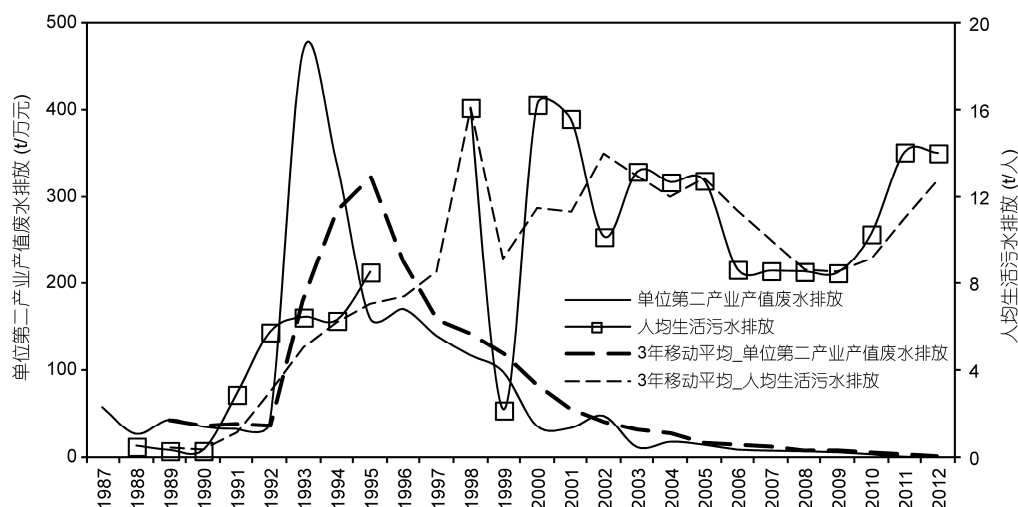


图5 西藏单位产值工业废水排放和人均生活污水排放的变化

Figure 5 Changes of per unit GDP industrial waste discharge and per capita living sewage in Tibet

急剧上升,单位第二产业产值的量值也在1992年急剧上升;20世纪90年代,人均值表现为上下大幅波动,单位第二产业产值的量值表现为急剧下降.2000年后,人类活动规模增强,但人类活动的方式进行了调整,生态环境逐步向良性的、可持续方向转型.从2002年开始,废水排放量人均值的波幅减小,单位第二产业产值的量值变为缓慢下降趋势.

在人类活动的环境效应中,工业活动对环境效应的贡献较大,故本文以单位第二产业产值废水排放量的3年移动平均为环境效应时序划分的主要依据.另外,考虑到环境效应的滞后性特征,将西藏人类活动的环境效应划分为3个时段:1990年以前,1990~2000年和2000年以后.

2.1 1990年以前

1990年以前,西藏人口规模相对较小,城镇化处于起步阶段,农牧业为主的生产方式、改善生产生活条件的基础设施建设成为影响生态环境的主要方面.这一时期,西藏人口占全国比重长期在0.19%的水平,GDP总量不超过20亿元,城镇人口多年维持在25万人以下,城镇化率17%以下,长期处于低水平经济和社会发展的状态,人类活动对生态环境的影响较小.20世纪80年代中期,西藏人口超过200万人,城镇人口仅20万人左右.中央政府援助的43个基础设施重点项目中,市政建设以及文教卫生体育方面的投资占70.5%,达3.4亿元,对改善主要城镇的居住条件起到了推进作用.但由于农牧业人口比重过高,对土

地和脆弱的草场形成了压力,同时草场退化引起农牧民收入得不到提高,生活质量下降,甚至陷入贫困^[6].

2.2 1990~2000年

1990年以后,随着基础设施的改善,外来人口大量涌入,城镇人口快速集聚,推进了西藏经济的快速发展,城乡居民收入得到显著提高.但生态环境累积的负效应也突显出来,城乡环境质量呈下降态势.1993年单位第二产业产值的废水排放达到467.9 t/万元的历史最高值,2000年人均生活污水排放达到16.3 t/人的历史最高值(图5).另外,由于有200万的农牧民仍然滞留在农村,农牧区的土地过垦、过牧以及草场退化等生态环境问题仍未得到有效缓解^[1,35].以公路为主的基础设施建设工程,对生态环境、特别是冻土环境的保护不力,导致公路两侧的水土流失和冻融侵蚀加重^[7-9]、沙漠化趋势扩大^[10,11]、以及植被退化^[12].

2.3 2000年以后

2000以后,人类活动开始向生态环境友好型方式转变,中央政府援藏的重点开始突出了生态环境建设的目标,通过产业结构调整、农牧民定居安居工程实施、城乡基础设施的生态化建设、生态环境综合治理等一系列措施,使生态环境呈现显著的良性趋势.2005~2010年,西藏用于环境保护和生态建设的资金达到 106×10^8 元,是“十五”时期的3倍多.2010年,

保护区面积已超过 $41 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占土地面积的比达到33.9%。2000~2010年, 西藏居民使用清洁能源(燃气、电)的家庭户占比从18.1%增加至30.0%, 废水排放量从 $4160.5 \times 10^4 \text{ t/a}$ 降至 $3825.1 \times 10^4 \text{ t/a}$, 工业粉尘从 2106.8 t/a 降至 844.6 t/a , 工业固体废物产生量也从 $17.6 \times 10^4 \text{ t/a}$ 降至 $11.1 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。草地、林地面积得以恢复, 草-畜矛盾有所缓解。旅游景点、线路及交通基础设施带来的生态环境问题得到有效遏制^[13-21]。青藏铁路运营5年(2011年)后铁路两侧生态环境得到有效恢复^[22]。

目前, 西藏总体生态环境优良, 2012年主要城镇大气环境质量优良率在97.5%以上; 主要江河水质98%以上达到Ⅲ类水域标准, 主要湖泊总体达到Ⅰ类水域标准; 127个水源地的水质监测结果中达到饮水安全的水源地有123个, 占96.9%; 县城以上城镇集中式饮用水水源地水质达标率98%, 基本不存在饮水安全方面的隐患。

3 人类活动的生态环境空间效应

人类活动对生态环境的影响主要表现在对资源的过度开发利用、环境污染以及由此导致的生态系统退化等方面。在西藏, 影响生态环境变化的人类活动主要包括城镇化、农牧业、旅游和交通^[23], 城镇化主要产生了局部区域“点上”的生态环境问题, 农牧业主要对“面上”的生态环境产生影响, 旅游业和交通业使得生态环境负效应“由点及线(带)”扩散。上述空间效应在土地利用方式的变化上得到反映^[24,25]。

3.1 城镇化及对生态环境的“点状”影响

1952年, 西藏城镇人口7.5万人, 城镇化率6.5%^[26], 2013年城镇人口增加到74.0万人, 城镇化率达到23.7%。1981~1983年城镇化率出现下降趋势, 1983~1987年处于低水平增长状态, 1987~1990年出现快速增长, 1990年以后进入平稳增长时期。1978~2013年城镇人口增加了54万人, 城镇化率增加了12.4%。生态环境的“点上”效应主要表现为重要城镇人类活动强度大, 对环境污染的贡献大, 城镇周围多是生态环境问题突出区域。“一江两河”地区(雅鲁藏布江、拉萨河与年楚河)土地面积 $6.65 \times 10^4 \text{ km}^2$, 只占西藏土地总面积的5.41%, 却集聚了西藏36%的总人口、61.3%的非农人口、54.9%的城镇人口, 非农化程度和城镇化率分别高于西藏平均水平的10.2%和

11.9%; 拉萨城区人口密度高达500人/ km^2 以上, 拉萨和日喀则周边区域人口密度达20人/ km^2 以上。这里成为西藏人类活动对生态环境影响最大的区域, 也是西藏生态环境压力最大、污染物排放最多的区域。据调查统计, 城镇生活污水是水污染物的主要来源, 2012年占各类废水排放源的92.4%, 占各类COD (chemical oxygen demand, 化学需氧量)排放源的80.8%, 占各类氨氮排放源的82.7%(图6)。拉萨、日喀则、山南3地市废污水排放量占西藏总量的60%以上。城镇扩张及居民点生活垃圾的无序排放, 导致城镇周边湿地面积减少和湿地污染^[27,28]。

3.2 农牧业发展及对生态环境“面状”影响

“面状”影响一是表现在农区的面源污染和水土流失。解决粮食自给问题一直是西藏农业发展的重要任务之一^[29], 西藏粮食总产量1984年以前徘徊在 $10 \times 10^4 \text{ t}$ 以下, 2001年达到 $98.3 \times 10^4 \text{ t}$ 的历史高峰, 之后一直维持在 $90 \times 10^4 \text{ t}$ 以上(图7)。1984年以前, 西藏提高粮食产量主要依靠扩大耕地面积, 1959~1984年西藏耕地面积扩大了约2000 km^2 , 耕地的过度垦垦不仅增加了水土流失, 也形成了局部区域的面源污染^[30,31]。为有效遏制耕地过度垦垦和改善局部区域已恶化的生态环境, 1991年开始国家投资9亿元在西藏实施了“一江两河”农业综合开发治理工程, 走的是粮食生产——农业综合开发——生态保护的路子, 在改善农业生产条件和提高粮食产出水平的同时, 生态环境也得到了有效恢复。工程累计改造中低产田256 km^2 , 增加灌溉面积107 km^2 , 增加人工植被224 km^2 , 恢复荒滩植被283 km^2 ^[32,33], 取得了农业发

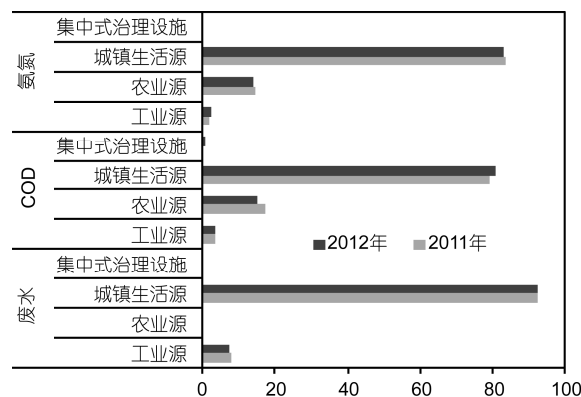


图6 西藏自治区废水污染物来源比例(%)
Figure 6 Wastewater pollutant sources in Tibet (%)

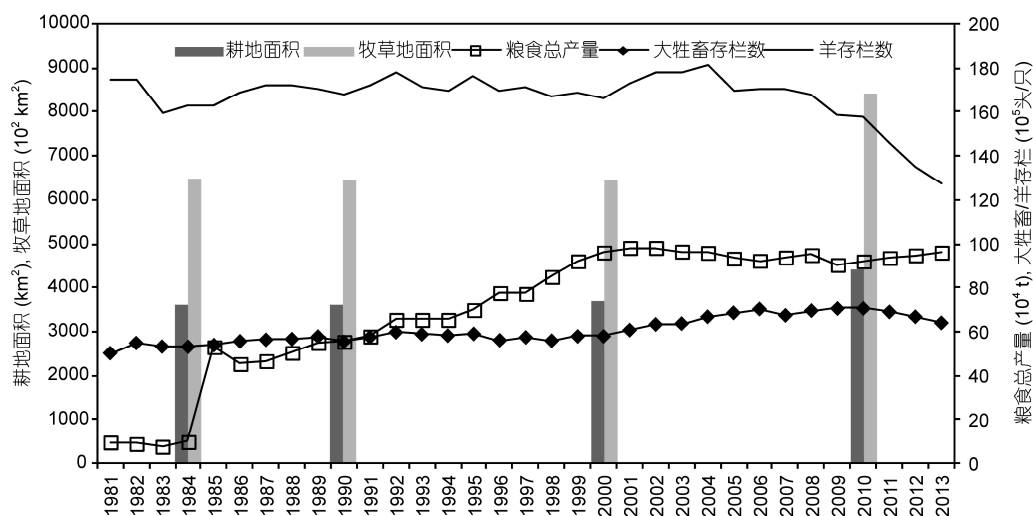


图7 西藏农牧业主要指标的变化

Figure 7 Changes of main indicators of farming and animal husbandry in Tibet

展和生态保护的双效成果。

“面状”影响二是表现在牧区超载引起的草场退化。西藏牧业发展的历程表现为牲畜数量增加、高位波动和开始下降3个阶段性特征。1952年西藏牲畜数量为974.24万头(只), 20世纪90年代和21世纪初一直维持在2300万头(只)左右的规模(图7)。牧区牲畜数量的持续增加对草地生态系统的影响主要表现为草地长期过牧得不到生息、牧草生长发育受阻、进而导致局部草场出现退化。草场超载问题大致出现在20世纪70年代中后期, 超载率接近24%^[34], 到2012年全区的超载程度已下降到18%。草地的过牧和退化以冬春草场最为严重, 鲜草产量减少20%~75%, 可食牧草所占比例已下降到30%以下。20世纪90年代推行的“草原围栏”轮牧、改良天然草场、扩大人工草地面积等措施, 一定程度上缓解了冬春季节的草畜矛盾^[35]。2004年开始实施的“退牧还草”工程, 到2010年总投资19.29亿元, 实现还草面积达45607 km²。典型地区监测显示, 1~2年的“退牧还草”地, 植被覆盖率平均提高了18.21%, 产草量提高35.45%, 生态效益显著。

3.3 旅游和交通发展及对生态环境的“线状”影响

(i) 旅游业。2006年青藏铁路开通以来西藏旅游业得到快速发展, 旅游总人数和总收入从92.9万人次、10.4亿元增至2012年的1058.4万人次和126.5亿元, 分别增长了10.4和11.2倍。西藏年旅游人次与当地常

住人口之比远超出我国东部地区, 2012年达到352.4%。旅游者在西藏停留天数一般在5~10 d, 也远超出我国其他省区。不同区域、不同季节的旅游者数量差异很大。2012年国庆和中秋, 西藏7个地市接待过夜游客23.67万人次, 其中拉萨占80%以上。近年来, 通过铁路和航空进入拉萨的日平均游客数量达5000人左右, 高峰期, 拉萨日游客量达到13×10⁴人左右, 规模相当于拉萨50%的常住人口。游客大量涌入增加了西藏生活污水和垃圾的排放量, 使得按照常住人口统计的污染物排放强度明显高于全国平均水平。2010年, 西藏人均污水排放量为全国平均值的8.2倍。水资源、能源消耗、污染物的产生量在旅游旺季大幅增加。一方面, 游客的区域性使得各种消耗和污染在空间上相对集中; 另一方面, 旅游设施的快速建设忽视了对周边环境的影响, 垃圾处理设施等与旅游间接相关的领域投入也相对不足。诸如神山、圣湖为代表的稀缺、易损大尺度旅游景观资源, 因局部区域不能融入大环境的建筑破坏了整体的景观特质。此外, 自驾、探险、科考等新型旅游方式和目的地通常由游客自行决定, 可选余地非常大, 其对生态环境的扰动在空间上是分散的, 游客沿途抛洒的废弃物收集难度大, 不可降解的塑料制品、毒性电池等废弃物不断积累, 对生态环境的影响程度低, 但累积效应大。

(ii) 交通运输业。西藏自治区政府成立以来, 现代交通运输设施从无到有, 目前已经形成了以公路为主体、多种运输方式协同发展的网络体系。2012

年公路通车里程达 6.52×10^4 km, 是西藏民主改革初期的32.8倍, 是改革开放初期的4.1倍; 青藏铁路西藏段长度达588 km. 拥有拉萨贡嘎、日喀则和平、昌都邦达、林芝米林、阿里昆莎5个民用机场, 开辟了多条国内国际航线, 航空客运量占客运总量的5.47%; 建成1080 km、世界上海拔最高的格尔木至拉萨输油管道。

一方面, 交通线路增加了景观破碎度, 降低野生动植物栖息地质量, 易导致生物多样性发生变化, 并影响生态系统的结构和功能^[36,37], 特别在公路两侧50~100 m范围内影响较为严重^[38]。另一方面, 交通业的发展也成为近年温室气体排放量增加的主要来源^[39]。西藏汽车拥有量近年来增长速度很快, 2012年汽车拥有量已达 23×10^4 辆。因西藏地域辽阔, 居民点布局分散, 每人每年的出行距离较大, 2012年西藏每个游客的出行距离为62.1 km, 是全国平均水平的1.20倍, 故而加大了每辆汽车每年的运行距离, 加剧了汽车碳排放强度。但因单位土地面积的汽车密度小, 仅为全国平均水平的1.6%, 从而又利于稀释温室气体, 降低对当地环境的直接影响。

从目前来看, 交通基础设施还仅限于局部地区, 如加以特别的修复工程, 生态系统的恢复还是可能的。如青藏铁路沿线两侧植被经过多年来的自然恢复, 高寒草原基本得以恢复, 局部恢复到接近甚至高于自然未干扰草原前的水平; 高寒草甸生态系统恢复较困难, 但先锋物种恢复并形成较高的盖度, 只是优势建群物种尚未出现^[40]。此外, 同没有修建公路、在高原面上随意行车的数条车道相比, 公路建设在节约土地和保护草地方面的效果是明显的。一般情况下, 草原上一次车行留下的车道要恢复到破坏前的水平至少需要1~2年, 若多次行驶碾压造成草地破坏、土地固化, 其恢复难度更大。研究表明: 原始土壤受破坏程度较严重的区域植被覆盖度要恢复到破坏前的水平至少需要45~60年时间^[41]。

3.4 土地利用变化

城镇化、农牧业发展、交通基础设施建设, 使西藏土地利用结构发生了较大的变化。同1990年相比, 西藏2010年包括城镇村及工矿用地、交通运输用地以及水利设施用地在内的建设用地增长了102.6%, 建设用地占国土面积的0.13%; 耕地比重从0.3%增至0.4%, 牧草地比重从54.4%增至70.2%, 林地从10.6%

增至13.3%, 水域从3.6%增至5.8%, 包括未利用土地在内的其他土地从31.1%降至10.2%(图8)。“一江两河”地区是建设用地扩张的主要区域, 1990~2010年, 拉萨、日喀则和山南3地市城镇村及工矿用地增长量占西藏总增长量的50.4%, 2010年3地市城镇村及工矿用地占西藏的56.2%; 交通运输用地增长量占西藏的28.5%。耕地以日喀则、山南和林芝增长规模较大, 牧草地以那曲和阿里的增长规模较大, 林地以昌都、山南和日喀则的增加规模较大, 水域面积扩张主要在那曲、阿里、拉萨、日喀则。总体上, 国土点状城镇开发、面状生态保护的基本格局并未发生实质性变化^[1], 且呈现出土地利用结构向生态友好型转变的态势。

4 结论与建议

西藏经济社会发展路径独特, 由此产生的生态环境效应具有鲜明的特点。一是自然资源开发和生态环境扰动总体有限; 二是西藏产业结构以服务业为主、旅游者以外来游客为主、运输结构以公路长途运输为主, 对旅游城市、景点及交通沿线等局部区域生态环境产生了影响; 三是西藏经济社会发展和生态环境改善主要依靠以中央政府为主的外来投资和援助, 中央政府援助重点不同, 其生态环境效应就有所差异; 四是2000年以来, 西藏经济社会发展的生态环境负效应得到遏制、环境质量呈现逐步改善的趋势, 目前总体良好。

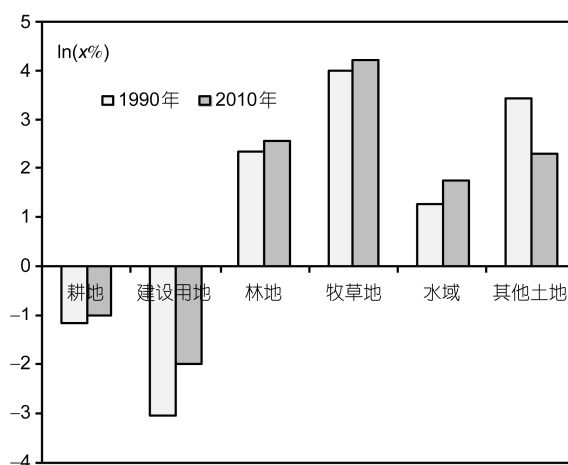


图8 西藏土地利用结构的变化。数据根据1990年、2010年西藏第一次和第二次土地利用现状调查数据整理, 纵坐标为地类占土地面积百分比的自然对数

Figure 8 Changes of land use structure in Tibet

西藏经济社会的发展水平相对较低, 促进社会经济发展仍将是长期的任务. 人类活动对生态环境的影响还存在许多亟待解决的问题: (1) 环境治理设施的欠账较多, 城镇人均废水治理设施数量不到全国平均水平的一半, 17 个县城缺少垃圾处理设施; (2) 现代化建设中伴生的生态环境问题依然存在, 如农牧区定居安居的环境污染集中治理、汽车数量增加带来的尾气污染等; (3) 城镇污染季节性变动大, 夏季环境质量问题突出; (4) 生态旅游比较粗放, 自驾和探险等活动对大尺度的自然景观扰动较大.

今后, 中央政府在继续加大以民生和生态环境为主要方向的援助和投资的同时, 应根据西藏经济

社会发展阶段特征, 以及资源环境承载能力和生态环境特点, 确定功能定位, 控制开发强度, 严守生态红线和开发建设边界线. 在新型城市化进程中, 推广能源利用清洁化, 提高污染物无害化处理能力, 主要城镇建设和运营实现生态化. 在现代化新农村建设中, 8°以上的坡耕地实现全部退耕还林还草^[42], 适度减少冬春草场的载畜量, 完善游牧民定居点的垃圾回收、运输和处理设施. 不断强化外来游客和本地居民的生态环境意识, 实现旅游业低排放. 加强生态环境的保护规划, 各类开发建设工程必须通过生态环境影响评估, 并将生态环境质量纳入政府绩效考核中.

参考文献

- 1 Fan J, Wang H. Spatial analysis of population development and discussion of sustainable urbanization in Tibet (in Chinese). *J Geogr Sci*, 2005, 25: 385–392 [樊杰, 王海. 西藏人口发展的空间解析与可持续城镇化探讨. *地理科学*, 2005, 25: 385–392]
- 2 CPC Tibet Autonomous Regional Committee of Party History Research. 60 Years of New China's Tibet (in Chinese). Lhasa: Tibet People Press, 2011 [中共西藏自治区委员会党史研究室. 新中国的西藏60年. 拉萨: 西藏人民出版社, 2011]
- 3 Liu G, Shen L. Characteristics and mechanism of Tibet's industrial structure evolution from 1951 to 2004 (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2007, 62: 364–376 [刘刚, 沈镭. 1951~2004年西藏产业结构的演进特征与机理. *地理学报*, 2007, 62: 364–376]
- 4 Jha R, Murthy K V B. An inverse globe environmental Kuznets curve. *J Comp Econ*, 2003, 31: 352–368
- 5 Chen D, Wang L J. Summary of environmental Kuznets curve (in Chinese). *Econ Perspect*, 2005, 3: 104–108 [陈东, 王良健. 环境库兹涅茨曲线研究综述. *经济学动态*, 2005, 3: 104–108]
- 6 Jian N M. Tibet's population and ecological protection analysis (in Chinese). *Tibet's Sci Technol*, 2012, 10: 17–21 [洁安娜姆. 西藏人口与生态保护问题分析. *西藏科技*, 2012, 10: 17–21]
- 7 Li G Y, Zhang T Z. Highway construction on ecological environment and countermeasures (in Chinese). *J Qinghai Environ*, 2002, 12: 169–171 [李光英, 张同作. 浅谈公路建设对生态环境的影响及其对策. *青海环境*, 2002, 12: 169–171]
- 8 Wu J M, Wang S J, Zhang J Z. Permafrost area highway engineering (in Chinese). Beijing: People's Traffic Press, 2005 [武懋民, 汪双杰, 章金钊. 多年冻土地区公路工程. 北京: 人民交通出版社, 2005]
- 9 Wu Q B, Liu Y Z, Tong C J, et al. Interaction between frozen soil environment and engineering environment in cold regions (in Chinese). *J Engin Geol*, 2000, 8: 281–287 [吴青柏, 刘永智, 童长江, 等. 寒区冻土环境与工程环境间的相互作用. *工程地质*, 2000, 8: 281–287]
- 10 Zhang Y L, Yan J Z, Liu L S, et al. Impact of Qinghai-Xizang highway on land use and landscape pattern change: From Golmud to Tanggula Shan pass (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2002, 57: 253–266 [张懿锂, 阎建忠, 刘林山, 等. 青藏公路对区域土地利用和景观格局的影响. *地理学报*, 2002, 57: 253–266]
- 11 Chen H, Li S C, Zhen D. Features of ecosystems alongside Qinghai-Xizang highway and railway and the impacts of road construction on them (in Chinese). *J Mountain Sci*, 2003, 21: 559–567 [陈辉, 李双成, 郑度. 青藏公路铁路沿线生态系统特征及道路修建对其影响. *山地学报*, 2003, 21: 559–567]
- 12 Chang D H, Chen J D, Kong Y P. Key ecological environmental impact factors of highway projects in permafrost areas of Qinghai-Tibet Plateau (in Chinese). *Highway*, 2005, 6: 130–134 [昌敦虎, 陈济丁, 孔亚平. 青藏高原多年冻土地区公路建设生态环境影响关键因子. *公路*, 2005, 6: 130–134]
- 13 Jiayang D P, Yang G H. SWOT analysis of developing ecotourism on nature reserve in Tibet (in Chinese). *J Northwest Forestry Univ*, 2011, 26: 225–231 [加央旦培, 杨改河. 西藏自然保护区生态旅游开发SWOT分析与开发对策. *西北林学院学报*, 2011, 26: 225–231]
- 14 Chen H D, Liu X B, Yu L. Ecological and environmental protection measures of the Qinghai-Tibet Highway Rebuilding Project (in Chinese). *Environ Sustain Develop*, 2007, 3: 16–18 [陈会东, 刘宪斌, 余乐. 青藏公路改建完善工程的生态环境保护措施. *环境与可持续发展*, 2007, 3: 16–18]
- 15 Peng C, Ouyang H, Gao Q, et al. Building a “green” railway in China. *Science*, 2007, 316: 546–547

- 16 Wu Q B, Shi B. Discussion on the environmental protection of frozen soil during the Qinghai-Tibet railway construction (in Chinese). *Hydrogeol Eng Geol*, 2002, 24: 10–15 [吴青柏, 施斌. 论青藏铁路修筑中的冻土环境保护问题. *水文地质工程地质*, 2002, 24: 10–15]
- 17 Wang M Z, Xu Z Y, Yang C Y, et al. Effect of Qinghai-Tibet railway construction on plateau eco-environment (in Chinese). *Environ Protect Transport*, 2002, 23: 2–11 [王美芝, 许兆义, 杨成永, 等. 青藏铁路工程对高原生态环境的影响. *交通环保*, 2002, 23: 2–11]
- 18 Sun S Y. Characteristics of ecological environment and its protection along the Qinghai-Tibet railway (in Chinese). *Railway Occup Safety, Health Environ Prot*, 2002, 29: 121–124 [孙士云. 青藏铁路沿线的生态环境特点及保护对策. *铁道劳动安全卫生与环保*, 2002, 29: 121–124]
- 19 Wang Z J, Zhao X Y, Da Z H. Management on environment protection during construction of Qinghai-Tibet railway (in Chinese). *J Railway Eng Soc*, 2003, 2: 79–81 [王志坚, 赵新宇, 答治华. 青藏铁路施工期的环境保护管理. *铁道工程学报*, 2003, 2: 79–81]
- 20 Xi X L, Xu Z Y. Ecological environment protection in the construction of Qinghai-Tibet railway (in Chinese). *Environ Sci Technol*, 2005, 28(Suppl): 119–121 [席新林, 许兆义. 青藏铁路建设中生态环境保护措施. *环境科学与技术*, 2005, 28(增刊): 119–121]
- 21 Zhao Y Z, Xue C X, Yang Y H. Research on ecological restoration of alpine steppe along Qinghai-Tibet railway (in Chinese). *J Railway Eng Soc*, 2013, 7: 90–94 [赵燕洲, 薛春晓, 杨印海. 青藏铁路路域高寒草原生态修复技术研究. *铁道工程学报*, 2013, 7: 90–94]
- 22 Bu Q S, Dong G Q, He C S, et al. Eco-environmental impact post-assessment of Qinghai-Tibet railway from Golmud to Lhasa in operation (in Chinese). *Railway Energy Saving Environ Prot Occup Safety Health*, 2013, 3: 111–115 [步青松, 董贵奇, 河财松, 等. 青藏铁路格尔木至拉萨段运营期生态环境影响后评价. *铁路节能环保与安全卫生*, 2013, 3: 111–115]
- 23 Fan J, Wang H Y, Chen D, et al. Discussion on sustainable urbanization in Tibet. *Chin Geogr Sci*, 2010, 20: 258–268
- 24 Turner B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land-use and land-cover change science/research plan. IGBP Report No.35 and HDP Report No.7 Stockholm: IGBP, 1995
- 25 Riebsame W E, Meyer W B, Turner B L. Modeling land use and cover as part of global environmental change. *Clim Change*, 1994, 28: 45–64
- 26 Fu X F. An analysis of urbanization and its dynamical mechanism in Qinghai-Tibet Plateau (in Chinese). *J Nat Resour*, 2000, 15: 369–374 [傅小峰. 青藏高原城镇化及其动力机制分析. *自然资源学报*, 2000, 15: 369–374]
- 27 Zhang C, Zhang X X, Zhu G Y, et al. Lalu wetland area change trend and cause of formation analysis (in Chinese). *Water Conserv Sci Tech Economy*, 2013, 19: 35–36 [张程, 张潇潇, 朱国宇, 等. 拉鲁湿地面积变化趋势及成因分析. *水利科技与经济*, 2013, 19: 35–36]
- 28 Li K M, Zong G, Tang X Z, et al. Wetland conservation and development strategy in Tibet (in Chinese). *Central South Forest Invent Plan*, 2010, 29: 64–67 [李矿明, 宗嘎, 汤晓珍, 等. 西藏湿地保护现状及发展策略探讨. *中南林业调查规划*, 2010, 29: 64–67]
- 29 Hu S J. Tibet's basic experience in food production and development strategies (in Chinese). *Tibet J Agr Sci*, 1990, 1: 2–8 [胡颂杰. 西藏粮食生产的基本经验及发展战略. *西藏农业科技*, 1990, 1: 2–8]
- 30 Zhou C L. Historic leap of Tibet agriculture and animal husbandry, pastoral areas development (in Chinese). *Tibet's Sci Technol*, 2003, 4: 4–12 [周春来. 西藏农牧业和农牧区经济发展实现历史性跨越. *西藏科技*, 2003, 4: 4–12]
- 31 Luo L. After the reforms implementation and impact of agricultural policies in Tibet (in Chinese). *J Southwest Univ Nationalities (Human Soc Sci)*, 2009, 2: 170–175 [罗莉. 改革开放后西藏农牧业政策的实施及影响. *西南民族大学学报(人文社科版)*, 2009, 2: 170–175]
- 32 Shang Z H, Ji Q M, Duoji D Z, et al. Discussion on the development of crop-grass system in the “Three Rivers” region of Tibet (in Chinese). *Pratacult Sci*, 2009, 26: 141–146 [尚占环, 姬秋梅, 多吉顿珠, 等. 西藏“一江两河”农区草业发展探讨. *草业科学*, 2009, 26: 141–146]
- 33 Gu S Z. On food security situation and countermeasures in Tibet autonomous region (in Chinese). *J Nat Resour*, 2000, 15: 305–314 [谷树忠. 西藏食物保障度分析及对策. *自然资源学报*, 2000, 15: 305–314]
- 34 Min Q W, Chen S K. Poverty, ecology and development in Tibet (in Chinese). *Resour Sci*, 2001, 23: 62–67 [闵庆文, 成升魁. 西藏的贫困、生态与发展探讨. *资源科学*, 2001, 23: 62–67]
- 35 Cheng S K, Min Q W. Strategies of agriculture and animal husbandry development in Tibet autonomous region (in Chinese). *Resour Sci*, 2002, 24: 1–7 [成升魁, 闵庆文. 西藏农牧业发展若干战略问题探讨. *资源科学*, 2002, 24: 1–7]
- 36 Trombulak S C, Frissel C A. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conserv Biol*, 2000, 14: 18–30
- 37 Rhim S J, Hur W H, Park Y S, et al. Differences in animal's abundance in different distance areas from road. *Acta Theriol Sin*, 2003, 23: 193–197
- 38 Kong Y P, Chen J D, Xin Y J. Vegetation and changes along Qinghai-Tibet highway in permafrost region (in Chinese). *Highway*, 2008, 3: 179–184 [孔亚平, 陈济丁, 辛有俊. 青藏公路多年冻土路段沿线植被及其变化. *公路*, 2008, 3: 179–184]
- 39 Huang Q Z, Huang J Y. Automobile exhaust hazards and control measures (in Chinese). *Tibet's Sci Technol*, 2005, 146: 38–39 [黄琼中, 黄景义. 汽车尾气的危害及其治理措施. *西藏科技*, 2005, 146: 38–39]

- 40 Wang G X, Yao J Z, Guo Z G, et al. Ecosystems changes with human engineering activities in frozen soil area and revelation for the railway construction (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2004, 49: 1556–1564 [王根绪, 姚进忠, 郭正刚, 等. 人类工程活动影响下冻土生态系统的变化及其对铁路建设的启示. *科学通报*, 2004, 49: 1556–1564]
- 41 Zhen D. Qinghai-Tibet Railway Ecological and Environmental security (in Chinese). Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2009 [郑度. 青藏铁路沿线生态与环境安全. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2009]
- 42 Yong X, Qing T, Jie F, et al. Assessing construction land potential and its spatial pattern in China. *Landscape Urban Plan*, 2011, 103: 207–216

The effects of human activities on the ecological environment of Tibet over the past half century

FAN Jie^{1,2}, XU Yong^{1,2}, WANG ChuanSheng^{1,2}, NIU YaFei^{1,2}, CHEN Dong^{1,2} & SUN Wei^{1,2}

¹ Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

² Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

The effects of human activities on Tibet's fragile ecological environment, with its unique natural landscape and distinctive cultural characteristics, have caused considerable concern. We analyzed the spatial and temporal characteristics of the effects of human activities on the ecological environment based on activity structures, processes, and total amounts. The results show that the developmental level of Tibetan society remains low, with a relatively small-scale economy and a high economic growth rate. Urbanization, agriculture and animal husbandry, tourism, and transportation development are the main areas of human activity with significant spatial and temporal characteristics in Tibet. Prior to 1990, the total scale of human activities was relatively small. The GDP was no more than 2 billion yuan and urbanization rate below 17%. The influence of human activities on the ecological environment had been smaller. From 1990 to 2000, human activities and their negative effects on the ecological environment were synchronized and accelerated when pollution per GDP and capita peaked. Since 2000, while the scale of human activities has expanded, their course has changed, gradually transforming the ecological environment in a positive direction. The regional pattern of ecological-environmental effects presents a complex of points, lines, and planes aggregated in urbanized areas. Points indicate tourism effects, lines indicate transportation, and plains indicate the effects of farming and animal husbandry. In sum, human activities have had limited effects on Tibet's ecological environment, and since 2000, their negative effects have been restricted and transformed in a positive direction.

Tibet, human activities, ecological environment, effects

doi: 10.1360/N972014-01311