科学通报 2019 年 第 64 卷 第 27 期: 2865 ~ 2875
专辑: 第二次青藏高原综合科学考察研究 评 述
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

青藏高原土地利用与覆被变化的时空特征

张镱锂[1,2,3*], 刘林山[1], 王兆锋[1,3], 摆万奇[1], 丁明军[4], 王秀红[1], 阎建忠[5], 许尔琪[1,3], 吴雪[1], 张炳华[1,3], 刘琼欢[1,3], 赵志龙[1], 刘峰贵[1,6], 郑度[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. 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心, 北京 100101;
3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049;
4. 江西师范大学地理与环境学院, 南昌 330022;
5. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716;
6. 青海师范大学地理科学学院, 西宁 810008
* 联系人, E-mail: zhangyl@igsnrr.ac.cn

2019-05-14 收稿, 2019-08-01 修回, 2019-08-02 接受, 2019-09-12 网络版发表
第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0600)、中国科学院A类战略性先导科技专项(XDA20040201)和国家自然科学基金(41671104)资助

摘要 青藏高原土地利用与土地覆被变化(LUCC)研究是区域土地科学与全球变化科学研究的重要内容, 也是保障高原生态安全屏障功能稳定与提升的科学基础. 本文通过对已有LUCC数据与成果的再分析, 研究了高原整体LUCC时空特征、典型区LUCC的时空过程及典型类型的变化过程与机制. 结果表明: 青藏高原土地利用与土地覆被结构稳定, 一级地类变化面积比例低于7%, 并以单次变化为主, 土地覆被状况总体改善. 近年来高寒草地覆被状况整体好转、局部退化, 林地恢复良好, 耕地基本稳定, 建设用地显著扩张, 裸地轻微减少. 人口较为密集的河湟谷地与"一江两河"地区, 建设用地、耕地、人工林地等增加明显; 藏北高原和三江源等牧区, 超载过牧和生态建设的作用均有体现; 珠穆朗玛峰国家级自然保护地区土地覆被类型多样、变化复杂, 并表现出对气候变化和人类活动有较强的敏感性. 高原土地变化研究中还存在现有数据产品数量不足、精度不高, 土地利用变化过程及其环境效应认识不够深入等问题, 需要加强野外监测和遥感技术的结合, 关注LULC在不同时空尺度下的变化特征, 同时注重土地利用与土地覆被类型转化和类内渐变, 使高原LUCC研究更好地服务于高原生态安全屏障建设和区域可持续发展.

关键词 青藏高原, 土地利用, 土地覆被, 土地利用与土地覆被变化, 时空特征

青藏高原被称为地球的第三极, 高寒、复杂的自然地理特征和独特的社会人文发展过程使其成为全球变化研究的热点区域. 土地利用与土地覆被变化(Land Use and Land Cover Change, LUCC)是全球变化研究的重要领域. 地球陆表覆被的1/3~1/2因土地利用而改变[1]. LUCC已成为全球环境变化的重要组成部分和主要驱动力. 青藏高原的土地利用与土地覆被(Land Use and Land Cover, LULC)格局是支撑高原生态屏障结构与功能的重要基础, 它不仅影响高原本身的生态环境状况和区域发展, 同时对区域和全球会产生巨大的环境效应[2,3].

青藏高原的LUCC研究包括LUCC格局、过

引用格式: 张镱锂, 刘林山, 王兆锋, 等. 青藏高原土地利用与覆被变化的时空特征. 科学通报, 2019, 64: 2865–2875
Zhang Y L, Liu L S, Wang Z F, et al. Spatial and temporal characteristics of land use and cover changes in the Tibetan Plateau (in Chinese). Chin Sci Bull, 2019, 64: 2865–2875, doi: 10.1360/TB-2019-0046

© 2019《中国科学》杂志社

程、机制、效应及适应等众多方面[4~8], 其中时空变化特征是LUCC研究的基础. 目前高原LUCC时空特征的研究多关注典型区域和典型类型, 高原尺度上的研究较为薄弱, 因而对LUCC时空特征的总体把握不够准确, 不能有效支撑生态过程和生态效应研究. 本文通过对青藏高原LUCC已有成果的梳理和数据的再分析, 综合分析高原LUCC整体结构, 典型类型的时空变化过程及其驱动力, 凝练高原LUCC新的研究方向, 为促进高原及毗邻地区社会经济与生态保护协调发展的现实需求服务.

1 主要构成与变化的特征

青藏高原全域的LUCC研究还十分缺乏. 本文基于1992~2015年间24期欧空局气候变化项目土地覆被数据集(Climate Change Initiative Land Cover, 简称CCI-LC, 分辨率300 m)和中国科学院资源环境科学数据中心提供的1995~2015年4期中国土地利用现状遥感监测数据(简称CAS-LULC30, 分辨率30 m), 结合Global Food Security Support Analysis Data (GFSAD) 30-m V001等数据对CCI-LC耕地进行辅助校正, 基于CCI-LC数据和CAS-LULC30探讨高原LUCC时空变化特征.

1.1 土地利用与覆被结构及现状

青藏高原土地利用与土地覆被包括耕地、林地(森林、灌木林地、其他林地)、草地、湿地(与水体)、建设用地、裸地、冰川与雪被等7个一级类型[2]; 其中草地、林地和裸地面积较大, 三者合计占高原总面积的93%~96%, 湿地、冰川与雪被面积占2%~5%, 而耕地和建设用地面积占比都在1%以下. 高原LULC空间分布由东南向西北依次为林地、草地、裸地. 草地是青藏高原的主体, 林地集中分布在高原南缘和东缘的高山峡谷区, 裸地主要分布在高原北部, 湿地(与水体)多分布在高原中西部, 耕地和建设用地集中于“一江两河”、河湟谷地等地区.

1.2 土地利用与覆被变化

1.2.1 土地利用与覆被类型变化

青藏高原LULC结构与组成主体稳定. 1992~2015年, 高原共有约8.54万~19.69万km^2的一级地类发生改变, 占高原总面积的3.31%~6.64%, 高原主体区域一级类型变化以单次变化为主, 多次变化面积仅占发生变化总面积的1.85%. 变化面积占比虽然不高, 但类型转化对局地生态环境有较大影响, 可改变局地气候甚至气候系统[9], 影响生态系统的服务功能.

高原LUCC主要表现为耕地、林地、草地、湿地和建设用地面积增加, 而裸地和冰川与雪被的面积减少. 林地中森林增加主要发生在川西和一江两河等地区; 耕地和建设用地面积小但扩张明显; 裸地减少主要发生在青海西北部、阿尔金保护区、三江源区、日喀则和阿里地区. 从土地利用与覆被类型变化过程看, 草地与裸地的相互转换面积也是各转换类型中占比最大的, 主要发生在高原的北部, 裸地是草地增加的主要来源, 而草地是耕地、林地、湿地和建设用地的主要来源, 耕地也是建设用地的主要来源之一.

1.2.2 高原主体土地覆被的质量变化

高原LULC类型未发生变化的区域, 地表覆被质量仍会有所改变. 据遥感监测数据分析显示, 2000~2017年间, 各LULC类型稳定区域中NDVI无显著变化的区域占54%~87%, 显著增加的区域占8.64%~44.77%, 各类型显著减少的区域平均占1.31%(表1). 其中裸地的NDVI增加面积占比最高, 主要发生在高原北部地区, 气候变化是这些区域NDVI变化的主因, 自然保护区内生态保护与建设起到了积极作用[10]. 25.83%的城镇建设用地NDVI呈上升趋势, 12.74%呈减少趋势, 体现了城市绿化在改善地表覆被状况, 同时建设用地扩展与调整影响地表植被. 80%左右的耕地、林地、草地NDVI值相对稳定, 增长的区域均超过17%; 其中, 林地

表 1 青藏高原未变化的各土地利用和土地覆被类型2000~2017年NDVI变化趋势(P< 0.05)[a)]

Table 1 Trends of NDVI in different type of land use and land cover of no change dynamic in theTibetan Plateau from 2000 to 2017 (P<0.05)

类型	NDVI减少趋势面积占比(%)	稳定区域面积占比(%)	NDVI增加趋势面积占比(%)
耕地	2.22	79.83	17.95
森林	1.20	80.27	18.53
灌木林地	1.64	78.48	19.88
其他林地	2.11	80.39	17.50
草地	1.38	76.98	21.64
湿地	4.04	87.32	8.64
建设用地	12.74	61.43	25.83
裸地	0.71	54.52	44.77
总计	1.31	74.24	24.45

a) 以上结果使用MODIS MOD13A2数据产品, 采用Theil-Sen’-slope计算NDVI年均值变化趋势

NDVI增加的区域主要分布在川西北和怒江流域, 减少区域分布在川西南和滇西北地区; 草地NDVI增加主要发生在青藏高原北部, 减少发生在柴达木盆地、三江源区、藏北高原、拉萨河流域, 以及山南地区和昌都地区. 总体而言, NDVI反映的高原地表覆被状况呈向好发展的态势.

1.3 高原典型区域土地利用与覆被变化特征

青藏高原地域辽阔, 垂直变化普遍并与水平地带紧密结合, 形成若干各具特色的自然地理区[11]. 在高原不同自然条件和人类活动强度区域, LUCC的格局、过程与动因及其影响有着明显的区域性特征.

(ⅰ) 河湟谷地和"一江两河"地区. 河湟谷地、"一江两河"地区是青藏高原人口最密集的地区, 是青藏高原耕地和建设用地的集中分布区. 河湟谷地人类活动加剧导致区域景观破碎度增加, 但地形和河流影响了城市扩展[12]. 退耕还林还草等生态工程与西部开发战略的实施, 使区域林地、建设用地和未利用地面积上升, 耕地面积减少[13]. 拉萨地区LUCC主要发生在拉萨河谷和城镇周边. 1976~2011年拉萨河流域耕地面积有所增加[8], 湿地减少[14]; 流域植被覆盖度和生物量提高[15], 整体生境质量上升[16]. 其中, 耕地增加主要来自草地[8]; 气候暖干化[17]和开垦等人类活动[14,18]导致湿地面积萎缩, 生态服务价值下降[19]; 但同期植树造林、草地恢复、居民定居等改善环境措施的实施[15], 使区域林地[15]、建设用地面积上升, 河谷植被增加[20].

(ⅱ) 藏北高原和三江源区. 藏北高原和三江源区是高原重要的畜牧业生产基地[21], 是青藏高原"亚洲水塔"功能的核心区, 是我国生态保护的优先区域[22], 主要土地覆被类型是高寒草地[23]. 2010年藏北地区退化草地的面积占全区面积的58.2%, 其中重度退化和极重度退化草地面积的比例分别为19.0%和6.5%, 区域草地退化接近中等退化水平, 退化草地主要分布在藏北地区中部、东部、北部[24]. 2000~2015年藏北高原植被整体上呈微弱退化趋势, 西北部的高寒草原植被变化趋于稳定, 而东南部的高寒草甸地区植被呈现出退化现象[25]. 在高海拔的稀疏植被或冰雪覆盖周边区域, 由于全球变暖且受人类活动影响较小的原因, 出现植被变好的状况; 而距离人类活动越近的地区则植被退化越严重[26]. 1980~2015年三江源区LUCC表现为, 草地、水域、建设用地面积波动增加, 裸地等未利用土地面积明显减少, 林地基本保持不变[27,28]. 草地和湿地(与水体)面积扩大使得土地覆被退化趋势得到遏制, 生态系统宏观状况好转.

(ⅲ) 珠穆朗玛峰国家级自然保护区. 珠穆朗玛峰(简称: 珠峰)地区海拔落差巨大、垂直地带性明显, 是全球气候变化的敏感区之一[29]. 珠峰近年来气温升高导致珠峰及周围高大山脉边缘的冰川和雪被积雪不断消融[30], 受冰川融水补给比较大的湖泊近期面积扩张[31]、水位上升明显[32]. 在年平均气温、年际气温变化趋势、年际降水变化趋势较高的缓坡地区以及靠近湖泊和远离道路的地区, 草地面积增长率较高; 大多数草地减少发生在缓坡和靠近溪流、湖泊和道路的地区, 主要是由人类活动所致[33]. 1992~2006年珠峰南坡, 海拔4000~5000 m之间灌木减少, 在海拔3000~4000 m之间的森林转化为灌木[34]. 2000~2008年, 珠穆朗玛峰国家级自然保护区1.8%的湿地出现退化现象, 过度放牧和连年的降水量偏少是造成研究区湿地退化的主要原因[35], 部分湖泊周边湿地的植被也出现了明显的退化[36]. 遥感监测分析表明, 2000~2018年间, 珠穆朗玛峰国家级自然保护区植被覆盖度整体呈现增加态势(总增幅达5%以上), 其中核心区和缓冲区的增幅均高于实验区; 核心区显著增加面积占比最大. 这一结果充分显示了同期自然保护措施的成效.

2 主要类型变化特征

2.1 草地变化

青藏高原草地是我国生态安全屏障的重要组成部分, 也是高原区域牧业发展的基础[37]; 包括高寒草甸、草原、荒漠草原等类型, 分布于高原主体部分. 沿水热梯度, 从东南向西北依次分布着高寒草甸、草原和荒漠草原. 基于CAS-LULC30多期数据的分析结果, 1980~2010年高原草地面积占青藏高原面积比重为58.55%±0.03%, 年际波动幅度小; 2015年草地的面积占比达59.16%, 与1980~2010年相比, 约增加了0.6%, 增加区域主要分布在三江源生态工程区域.

虽然草地面积变化比例不大, 但是草地质量变化不小. 已有研究表明, 1982~2009年间, 青藏高原草地年均NPP在112.6~129.9 gC m^{-2} a^{-1}间, 呈波动上升的趋势, 增幅为13.3%[38], 结合高原草地生长季和植被覆盖的时空变化结果显示, 高原草地生态系统健康状况呈总体改善的态势[39,40]. 本文基于1982~2000年$GIMMS_{3g}$-NDVI与2000~2017年MODIS-NDVI的融合数据分析得

出草地覆盖度呈现整体提高趋势, 也支持前述结论; 但在整体改善的背景下, 存在局部退化态势, 如: 1981~2004年藏北地区草地退化情况均较严重, 草地退化年际间波动较大; 1986~2000年间江河源区高寒草原与高寒草甸面积分别减少了15.82%与5.15%[41].

草地变化是一个相对复杂的过程, 草地植被对不同气候变化和人类活动的干扰存在着不同的响应[42~44]. 研究表明, 气候暖湿化和生态建设是近期青藏高原变绿的主要原因[10,45], 植被覆盖度由相关区域气候的暖湿化与暖干化格局控制, 而持续的自然保护区建设和多种生态保护建设工程促进了高原中东部地区覆盖度增加趋势, 并减缓了西部地区覆盖度下降态势. 然而, 居民点附近等局部区域人类活动强度增加以及气候暖干化导致的高寒草地植被退化也不容忽视[3,46].

2.2 耕地变化

青藏高原耕地面积约1.89×10^4 km^2(2015年), 主要分布在河湟谷地、"一江两河"以及川西、藏东和滇西北地区, 柴达木盆地也有部分耕地分布. 受气候的限制, 青藏高原耕地多为一年一熟制, 绝大部分为旱地或水浇地, 西藏水田仅占耕地的9.4%, 青海无水田分布. 82%的耕地分布在海拔2400~4400 m之间的河谷地区[1)]. 20世纪50年代以来, 青藏高原耕地面积整体呈波动上升趋势. 1950~1980年, 青海和西藏两省区耕地面积增加49.84%[47]. 1980~2015年耕地面积稍增2.45%, 其中西藏耕地增加3.56%, 青海仅增加0.20%[1)]. 新增耕地主要来自草地.

随着经济的发展, 耕地利用强度不断加大, 突出表现为单位面积的化肥、农药、农用塑料薄膜、农业能源等投入不断加大. 统计结果表明, 1990~2015年, 西藏单位耕地面积化肥使用量增加了2.66倍, 农药使用量增加了1.23倍. 2015年农业部推进实施化肥、农药零增长行动后, 化肥、农药的使用量开始下降. 青海省2017年比2015年减少使用化肥40.53 kg/hm^2, 减少农药0.14 kg/hm^2. 同时, 为提高劳动生产率, 河谷地带积极推广机耕、机收[48], 2017年西藏和青海单位耕地面积农用塑料薄膜使用量分别达到2000年相应用量的13.69倍和15.03倍.

同时, 高原设施农地明显增加. 2006~2015年拉萨市设施菜地面积总体呈增加趋势, 2016年拉萨设施菜地达到1.18×10^3 hm^2, 年生产蔬菜达拉萨蔬菜生产总量的46%. 设施菜地增加主要源于耕地, 减少多因建设用地扩张; 设施菜地重心逐渐向远离城区方向转移, 海拔3800~3900 m变化最快, 0°~2°坡度范围内为设施菜地净减少区, 2°~10°坡度内由净减少区逐渐转变为净增加区[2)].

在敏感脆弱的高寒环境下, 耕地及其利用强度变化对生态环境的影响日益显现. 有研究显示, 拉萨河下游经过耕地灌区后河水的N, P含量明显增加, 但重金属含量仍处于较低水平[2)]. 拉萨部分设施农地土壤已表现出酸化、盐化和营养失衡的迹象. 为稳定和提升高原生态安全屏障功能, 耕地利用的生态环境效应需引起重视.

2.3 林地变化

林地包括有林地、灌木林地和疏林地等类型, 主要分布在高原东南部和东部的高山峡谷区, 如藏东南、川西和滇西北地区等; 垂直分布集中在海拔3000~4000 m之间(上限达4600 m左右)[49]. 据2014年第八次全国森林资源清查结果, 西藏和青海两省区林地总面积达25.92×10^4 km^2, 森林覆盖率分别为11.98%和5.63%, 总活立木蓄积量为23.37×10^8 m^3.

青藏高原的林地变化具有明显的阶段性特征. 自20世纪50年代至今, 历经了大规模采伐(1950~1985年)、采伐与造林恢复并存(1986~1998年)到以保育和恢复为主(1998年~至今)的转变过程, 森林资源在面积、覆盖率、蓄积量、类型及空间分布格局等方面均发生了显著的变化. 在1950~1985年由于大规模采伐、农业用地和城镇扩张, 林地面积曾在短时间内迅速减少[50~52], 其中西藏自治区森林覆盖度下降了4%[50]. 1986~1998年高原林地面积和森林覆盖率未发生明显的变化. 21世纪末以来, 随着天然林保护工程、退耕还林政策和生态安全屏障建设工程的陆续实施, 青藏高原森林得以稳定恢复.

青藏高原林地变化的另一个重要方面是林种结构的变化, 由以用材林为主转变为以防护林为主, 实现了林地从生产功能到生态功能的转变. 如西藏自治区自1998年防护林工程实施以来, 防护林面积由1999年的

1) 吕昌河, 卢宏玮. 青藏高原农业发展与水土资源高效利用(XDA20040301)年度报告. 中国科学院地理科学与资源研究所. 2018-10-15
2) 宫殿清, 王兆锋, 张镱锂. 近10年拉萨市设施农地时空变化特征. 未发表资料

66.3 km^{2}增加到2016年的326.4 km^2.

2.4 建设用地变化

高原建设用地包括城镇用地、村庄用地、交通运输用地和采矿用地等, 城镇用地多分布于河谷地区; 村庄用地广泛分布于高原东部、东南部、南部海拔5100 m以下区域; 采矿用地主要分布于柴达木盆地等区域; 交通用地网状分布于东部、南部和西部地区, 羌塘高原罕有分布(图1(a)). 自然资源部第二次调查和年度全国土地变更调查结果显示, 按建设用地面积比, 青海、西藏两省区建设用地类型由高至低依次为: 交通运输用地、村庄用地、采矿用地和城镇用地. 1980~2015年间, 高原建设用地呈现增长趋势, 且在2000年后明显增速.

以西宁、拉萨、日喀则为代表的高原城镇建设用地经历了平稳发展(1966~1990年)、缓慢发展(1991~2000年)以及高速发展(2001年至今)3个阶段[53], 尤其在2010年后, 高原城镇扩张速度进一步提升. 2009年至今, 建制镇用地在所有类型中增速最快(5.03%), 其次为城市用地(3.38%), 建设用地中城镇用地占比上升3%(图1(b)). 青海城镇建设用地增加速度、增加量整体高于西藏(图2(a)), 城镇用地增加209.44 km^{2}中的77.07%位于青海湖环湖四州以及西宁市; 青海城市、建制镇增速最快的分别为海西州、海南州. 西藏分别为日喀则市以及阿里地区. 高原人口最为聚集的城镇往往也是高原生态资源最为丰富的地区, 城镇的扩展会占用周边

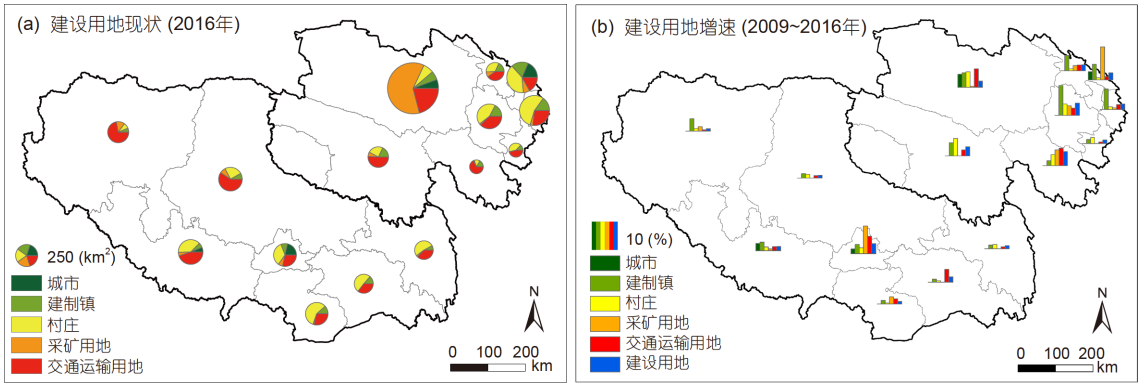

图 1 青海与西藏两省区各地区的建设用地现状(2016年)(a)及增速(2009~2016年)(b). 数据来源: http://tddc.mlr.gov.cn/to_Login

Figure 1 Characteristics of construction land in Tibet Autonomous Region and Qinghai Province. (a) The area in 2016; (b) the rate of expansion from 2009 to 2016. Data source: http://tddc.mlr.gov.cn/to_Login

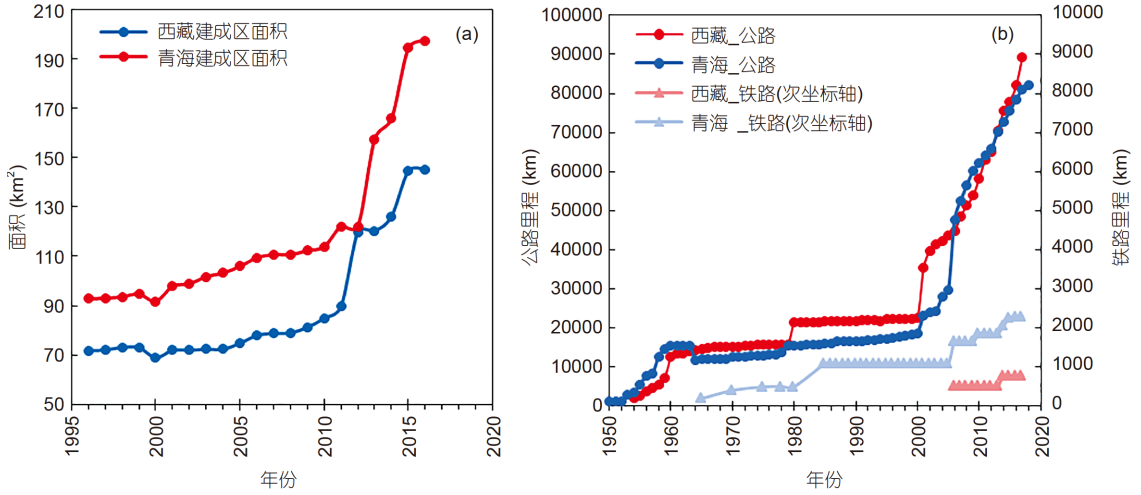

图 2 西藏自治区、青海省主要城市建成区(a)和交通道路(b)年变化

Figure 2 The annual change of built-up areas (a) and traffic roads (b) of major cities in Tibet Autonomous Region and Qinghai Province

的农田、湿地以及优质的草地，如拉萨城关区扩展过程中人均耕地面积下降近23%, 号称“拉萨之肺”的拉鲁湿地减少36.5%[18].

2009年至今，村庄用地增加区域以青海为主(占全部增加面积的71.70%)，主要分布在海南、玉树、海西和海东四州．青海省除西宁市、海东市以及海北州增速较慢以外, 其余各州均高于西藏; 西藏拉萨、日喀则和昌都三市的村庄用地增速、增量较高(图1(b)).

高原交通运输用地增长显著，至2017年底两省区的公路总里程数为1954年的30.6倍，铁路里程是1965年的15.6倍(图2(b))．2009年以来，作为连接青海、甘肃、内蒙古、新疆四地的中枢以及青藏铁路建设的重要节点, 海西州交通运输用地增量最大; 增速较快的有果洛州、海西州以及拉萨市、林芝市．交通运输用地的扩展使得环境问题由“点向线(带)”扩散[54], 铁路、公路的建设常常使得沿线的生态系统受到干扰，生物多样性受到威胁, 景观及动物栖息地的破碎化加剧[55], 区域水土流失和冻土消融加重；但同随意行车碾压草地形成车道相比，公路的修建可以节约和保护草地资源[54].

人口增长和社会经济发展是建设用地扩展的重要因素．1990~2010年，短短20年间青藏高原人类活动增加了28.43%, 远高于世界平均水平(9%)[56]. 青海和西藏的城镇化率分别由1950年初的18.59%和11.3%，增长至53.07%和30.89%, 促进了城镇用地的扩张, 但依旧低于全国平均水平(58.52%)，农村人口仍为主体．政策因素对于高原建设用地扩展具有重要导向作用．2006年农牧民安居工程的实施极大促进了高原地区建设用地的建设扩张，那曲地区在“十一五”期间农牧民群众的人均住房面积上升了115.47%．国家西部开发战略的实施, 使得大量资金流入高原地区, 推动了高原房地产、工业、商业以及交通运输业的发展[57]．交通运输用地的增加又促进了高原旅游业的发展[58]．市场经济作用下流动人口的涌入，在促进当地的经济发展的同时也加速了城镇化的进程[59].

2.5 裸地变化

裸地由沙地、戈壁、盐碱地、裸土地、裸岩砾石地等植被覆盖度小于10%的土地覆被类型组成, 主要分布在青藏高原的北部、西北部和南部，海拔范围在4000~6400 m(6700 m)之间．高原裸地面积仅次于草地，约61.84万km^2，其中面积最大的是裸岩砾石地，占裸地总面积的61.93%, 主要分布在高原的西北部和南部; 面积最小的是裸土地(占0.49%)，主要分布在青藏高原的东北部.

青藏高原裸地面积变化呈轻微减少趋势．据CAS-LULC30连续监测显示，1980~2015年，裸地面积减少1.5%, 其中高原东北部和中东部减少最明显. 三江源和柴达木盆地东缘地区，减少的裸地面积中有82.03%转为草地，这与青藏高原中东部地区植被绿度增加的趋势一致，是气候暖湿化和相应的保护措施共同作用的结果[3]．同期，裸地增加区域主要分布在高原中部、阿里西部和高原东部边缘等，其中高海拔区域裸地增加面积的60%主要来源于气温升高导致的冰川退缩[60]. 草地退化是裸地增加的另一主要来源，高原中西部植被绿度显著下降与裸地增加的空间区域基本一致[3].

3 问题与展望

经过不同时空尺度近几十年土地变化的探索研究, 基本阐明青藏高原, 特别是重点区域LUCC时空变化特征及其主要影响因素；但同时也存在数据量不足、精度不够、影响因素不明、LUCC效应不清等问题. 要解决这些问题，需要处理好LUCC研究中的几个重要问题.

3.1 数据量和数据精度问题

关于青藏高原LUCC时空变化的研究多侧重于重点区域和主要类型, 而对整个高原LUCC过程缺乏系统性认识; 本文中关于高原整体LUCC特征的内容也仅是基于CCI-LC和CAS-LULC30数据，仅对全高原土地利用与土地覆被(LULC)类型构成与基本变化特征做了简要分析．这其中主要限制因素就是数据的数量与精度问题. 目前覆盖全高原的LULC数据多是全球尺度的数据产品，缺乏对高原LULC类型的针对性，甚至出现错分现象．Liu等人[61]分析了Globeland30，CCI-LC, MCD12Q1等常用土地覆被数据在羌塘高原的可用性, 发现一级类型总体精度多在55%以下，只有Globeland30数据稍好，精度也仅在55.09%左右．而统计数据又缺乏详细的空间信息. 如本文的建设用地分析中, 主要基于2009~2016年统计数据, 仅可分析到地市级水平, 而且没有具体的空间信息，难以从地理空间属性的角度做出更深入的分析. 数据问题已成为制约高原LUCC时空变化特征研究的基础问题.

青藏高原面积大、自然环境复杂、LULC类型多

样、地面验证难度大是导致难以形成高精度LULC数据产品的主要原因; 同时缺乏既方便对接又具高原针对性的LULC分类系统, 也制约了LULC数据应用的科学性和可比性.

因此, 需要从数据源、分类体系、实地验证等方面提高LULC数据精度. (1) 综合应用多种遥感数据, 辅助基础地理信息和无人机、高光谱数据, 利用先进的处理平台和模型, 提高数据产品的准确度. (2) 综合现行的FAO等分类系统, 完善和细化高原LULC分类体系, 提高高原LULC数据与其他数据的对接性和可比性. (3) 加强地面核查验证, 采用样点、样线与样带相结合的方法, 验证修订LULC数据.

3.2 不同时空尺度的LUCC的统计规律与驱动机制问题

在LUCC时空变化研究中, 趋势预测更具指导意义, 准确的趋势预测有助于科学合理制定和调整土地利用政策; 而变化过程与规律的把握是趋势预测的基础. 将不同时空尺度的LUCC的统计规律与不同时空尺度的LUCC驱动机制要素密切结合, 是提高LUCC预测准确性的关键. 因此, 要综合分析LUCC变化过程, 深入研究变化机制需要: (1) 注意区分不同时空尺度下驱动因素, 强化驱动因素的时效性与空间特征的研究. 如研究人口增长导致的城市建设用地扩展, 需加强人口发展规模变化时空特征研究, 以更好地确定不同类型城市建设用地变化趋势. (2) 注重多种方法的综合应用. 统计相关分析必须与机理分析相结合. 如研究气候变化对草地和耕地的影响, 既要加强气候变化与草地盖度和作物产量在栅格尺度上的相关性分析, 也要加强气候变化对植物生理和生态过程影响的研究, 这样才有助于提升气候变化对土地覆被预测的准确度. 同时, 加强适用于高原地区的统计和机理性模型研发与应用.

4 结论

本文综合集成分析了高原LUCC研究进展. 通过研究, 明确了高原整体LUCC的基本特征, 阐述了高原典型区域与典型类型的LUCC时空过程与影响因素, 指出了当前LUCC研究存在的主要问题. 主要结论如下:

(1) 1992~2015年青藏高原一级地类变化面积小于7%, 类型变化以单次变化为主, 多次变化仅占变化面积的1.85%, LULC结构总体保持稳定. 高原耕地、森林、草地、湿地和建设用地增加, 裸地、冰川和雪被面积减少. 类型未发生变化的LULC中有24.45%的区域NDVI呈增加趋势, 仅有1.31%呈下降趋势.

(2) 从典型区域上看, 不同人类活动强度区域, LUCC的格局、过程与动因及其影响存在明显的区域差异. 在人口较为密集的河湟谷地与一江两河地区, 建设用地、耕地、人工林地等与人类活动强度高度相关的地类变化明显. 在藏北高原和三江源等典型牧区, 超载过牧和生态建设均影响草地变化. 而珠峰地区等高山峡谷地区, 景观复杂多样, 土地利用类型完整, 土地覆被变化对人类活动和气候因素均较为敏感.

(3) 从不同LULC类型来看, 高原主要LULC类型变化存在时空差异. 高寒草地生态质量状况“整体改善、局部退化”; 林地整体恢复良好; 耕地面积1980年前增加显著, 1980年后基本稳定, 但利用强度明显加大; 建设用地显著扩张, 尤其是2010年后增速明显加快, 青海省建设用地增加速度和量均高于西藏. 高原裸地总体呈轻微减少趋势.

(4) 数据量不足、数据精度不够、影响因素不明、LUCC效应不清等问题是当前高原LUCC研究中面临的主要问题. 需要采用多源数据, 构建具可比性的高原LULC分类系统, 建立LULC地面观测体系, 提升LULC数据质量; 同时, 从数理统计与机理分析的角度剖析LUCC驱动机制. 使青藏LUCC研究不仅丰富高寒区土地变化科学研究, 更重要的是要服务于高原及相关地区生态安全屏障建设和区域可持续发展.

参考文献

1 Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being—Our Human Planet Summary for Decision Makers. Washington DC: Island Press, 2005

2 Zhang Y L, Cheng S K, Bai W Q, et al. Land system change and regional development strategy on the Tibetan Plateau (in Chinese). In: the China Society on Tibet Plateau, ed. Report on Advances in Tibetan Plateau Research, 2012−2013. Beijing: China Science and Technology Press, 2014. 240−263, 278−279 [张镱锂, 成升魁, 摆万奇, 等. 青藏高原土地系统变化与区域发展战略研究. 见: 中国青藏高原研究会, 编. 2012~2013青藏

高原研究学科发展报告. 北京: 中国科学技术出版社, 2014. 240−263, 278−279]
3 Zhang Y L, Li L H, Ding M J, et al. Greening of the Tibetan Plateau and its drivers since 2000 (in Chinese). Chin J Nat, 2017, 9: 173−178 [张镱锂, 李兰晖, 丁明军, 等. 新世纪以来青藏高原绿度变化及动因. 自然杂志, 2017, 9: 173−178]
4 Yan J Z, Zhang Y L, Bai W Q, et al. Livelihood succession and land use/cover changein the Upper Reaches of Dadu River watershed (in Chinese). Trans Chin Soc Agric Eng, 2005, 21: 83−89 [阎建忠, 张镱锂, 摆万奇, 等. 大渡河上游生计方式的时空格局与土地利用/覆被变化. 农业工程学报, 2005, 21: 83−89]
5 Liu L S, Zhang Y L, Bai W Q, et al. Characteristics of grassland degradation and driving forces in the source region of the Yellow River from 1985 to 2000. J Geogr Sci, 2006, 16: 131−142
6 Song X, Yang G X, Yan C Z, et al. Driving forces behind land use and cover change in the Qinghai-Tibetan Plateau: A case study of the source region of the Yellow River, Qinghai Province, China. Environ Earth Sci, 2009, 59: 793–801
7 Bai W Q, Sun H S, Yan J Z. The scale effect of land cover dynamics in the upper reaches of the Dadu River (in Chinese). J Nat Resour, 2009, 24: 335−343 [摆万奇, 孙会首, 阎建忠. 大渡河上游地区土地覆被动态变化的尺度效应. 自然资源学报, 2009, 24: 335−343]
8 Bai W Q, Yao L N, Zhang Y L, et al. Spatial-temporal dynamics of cultivated land in recent 35 years in the Lhasa river basin of Tibet (in Chinese). J Nat Resour, 2014, 29: 623−632 [摆万奇, 姚丽娜, 张镱锂, 等. 近35 a西藏拉萨河流域耕地时空变化趋势. 自然资源学报, 2014, 29: 623−632]
9 Yang X C, Zhang Y L, Liu L S, et al. Sensitivity of surface air temperature change to land use/cover types in China. Sci China Ser D-Earth Sci, 2009, 52: 1207–1215
10 Zhang Y L, Hu Z J, Qi W, et al. Assessment of effectiveness of nature reserves on the Tibetan Plateau based on net primary production and the large sample comparison method. J Geogr Sci, 2016, 26: 27–44
11 Zheng D, Yang Q Y, Liu Y H. China's Tibetan Plateau (in Chinese). Beijing: Science Press, 1985. 267 [郑度, 杨勤业, 刘燕华. 中国的青藏高原. 北京: 科学出版社, 1985. 267]
12 Chen Q, Zhou Q, Liang S P, et al. An analysis of land use pattern change of Xining city based on GIS (in Chinese). Econ Geogr, 2010, 30: 244−248 [陈琼, 周强, 梁生甫, 等. 西宁市主城区城市土地利用格局变化分析. 经济地理, 2010, 30: 244−248]
13 Zeng Y N, Chen X L, Jin W P. Land use/cover change and its impact on soil carbon in eastern part of Qinghai Plateau in near 10 years (in Chinese). Trans Chin Soc Agric Eng, 2014, 30: 275−282, 344 [曾永年, 陈晓玲, 靳文凭. 近10 a青海高原东部土地利用/覆被变化及碳效应. 农业工程学报, 2014, 30: 275−282, 344]
14 Wang C L, Zhang Y L, Wang Z F, et al. Analysis of landscape characteristics of the wetland systems in the Lhasa river basin (in Chinese). Resour Sci, 2010, 32: 1634−1642 [王春连, 张镱锂, 王兆锋, 等. 拉萨河流域湿地系统景观格局多尺度分析. 资源科学, 2010, 32: 1634−1642]
15 Chu D, Zhang Y L, Bianba C, et al. Land use dynamics in Lhasa area, Tibetan Plateau. J Geogr Sci, 2010, 20: 899–912
16 Shui Y P, Lu H T, Wang H F, et al. Assessment of habitat quality on the basis of land cover and NDVI changes in Lhasa River Basin (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2018, 38: 8946−8954 [税燕萍, 卢慧婷, 王慧芳, 等. 基于土地覆盖和NDVI变化的拉萨河流域生境质量评估. 生态学报, 2018, 38: 8946−8954]
17 Li Y Y, Wang J S, Shui Y P, et al. Analysis of landscape pattern and ecological service function of the Mcdika wetland reserve (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2018, 38: 8700−8707 [李妍妍, 王景升, 税燕萍, 等. 拉萨河源头麦地卡湿地景观格局及功能动态分析. 生态学报, 2018, 38: 8700−8707]
18 Zhang Y L, Li X B, Fu X F, et al. Urban land use change in Lhasa (in Chinese). Acta Geogr Sin, 2000, 55: 395−406 [张镱锂, 李秀彬, 傅小锋, 等. 拉萨城市用地变化分析. 地理学报, 2000, 55: 395−406]
19 Wang C L, Zhang Y L, Wang Z F, et al. Changes of wetland ecosystem service value in the Lhasa river basin of Tibetan Plateau (in Chinese). Resour Sci, 2010, 32: 2038−2044 [王春连, 张镱锂, 王兆锋, 等. 拉萨河流域湿地生态系统服务功能价值变化. 资源科学, 2010, 32: 2038−2044]
20 Yang Z G, Niu X J, Zhang W H, et al. Vegetation change and its correlation with climatic factors in Yarlung Zangbo river, Nyangqu river and Lhasa river region of Tibet (in Chinese). Chin Agric Bull, 2018, 34: 141−146 [杨志刚, 牛晓俊, 张伟华, 等. 西藏一江两河地区植被变化及其与气候因子的相关性分析. 中国农学通报, 2018, 34: 141−146]
21 Xu Y, Chen T. Dynamic monitoring of grassland degradation on the Northern Tibetan Plateau and loss assessment of is ecological service value, by using Shenza County as a case study (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2016, 36: 5078−5087 [徐瑶, 陈涛. 藏北草地退化与生态服务功能价值损失评估——以申扎县为例. 生态学报, 2016, 36: 5078−5087]
22 Song R L, Wang H, Zhang D, et al. Conservation outcomes assessment of Sanjiangyuan alpine grassland with MODIS-EVI approach (in Chinese). Biodivers Sci, 2018, 26: 149–157 [宋瑞玲, 王昊, 张迪, 等. 基于MODIS-EVI评估三江源高寒草地的保护成效. 生物多样性, 2018, 26: 149−157]
23 Zhang Y, Zhang C B, Wang Z Q, et al. Spatiotemporal dynamics of grassland coverage in response to climate change from 1982 to 2012 in the Three Rivers Source Region, China (in Chinese). Pratacul Sci, 2017, 34: 1977−1990 [张颖, 章超斌, 王钊齐, 等. 三江源1982−2012年草地植被覆盖度动态及其对气候变化的响应. 草业科学, 2017, 34: 1977−1990]

24 Cao X J, Ganzhu Z B, Liang Y, et al. Temporal and spatial distribution of grassland degradation in northern Tibet based on NDVI (in Chinese). Acta Pratacul Sin, 2016, 25: 1−8 [曹旭娟, 干珠扎布, 梁艳, 等. 基于NDVI的藏北地区草地退化时空分布特征分析. 草业学报, 2016, 25: 1−8]
25 Li B. Dynamic change of grassland in northern Tibetan Plateau based on remote sensing and IBIS model (in Chinese). Master Dissertation. Lanzhou: Lanzhou University, 2018 [李博. 基于卫星遥感与IBIS模型的藏北高原草地动态变化研究. 硕士学位论文. 兰州: 兰州大学, 2018]
26 Song C Q, You S C, Liu G H, et al. Spatio-temporal pattern and change of Nagqu grassland and the influence of human factors (in Chinese). Acta Pratacul Sin, 2012, 21: 1−10 [宋春桥, 游松财, 刘高焕, 等. 那曲地区草地植被时空格局与变化及其人文因素影响研究. 草业学报, 2012, 21: 1−10]
27 Xu Q, Li Q, Chen D D, et al. The spatial-temporal characteristic of land use change in Sanjiangyuan region and its effect factors (in Chinese). Ecol Environ, 2017, 26: 1836−1843 [许茜, 李奇, 陈懂懂, 等. 三江源土地利用变化特征及因素分析. 生态环境学报, 2017, 26: 1836−1843]
28 Shao Q Q, Xiao T, Liu J Y, et al. Soil erosion rates and characteristics of typical alpine meadow using ^{137}Cs technique in Qinghai-Tibet Plateau (in Chinese). Chin Sci Bull, 2011, 56: 1019−1025 [邵全琴, 肖桐, 刘纪远, 等. 三江源区典型高寒草甸土壤侵蚀的^{137}Cs定量分析. 科学通报, 2011, 56: 1019−1025]
29 Wu X, Gao J G, Zhang Y L, et al. Land cover status in the Koshi river basin, central Himalayas. J Res Ecol, 2017, 8: 10−19
30 Chu D, Laba Z M, La B, et al. Link between perennial snow cover variations and climate change in Qomolangma nature preserve from 1975 to 2000 (in Chinese). Plat Meteorol, 2011, 30: 576−582 [除多, 拉巴卓玛, 拉巴, 等. 珠峰地区积雪变化与气候变化的关系. 高原气象, 2011, 30: 576−582]
31 Nie Y, Zhang Y L, Liu L S, et al. Glacial change in the vicinity of Mt. Qomolangma (Everest), central high Himalayas since 1976. J Geogr Sci, 2010, 20: 667−686
32 Wang Y, Li J J, Han Z J, et al. The dynamics of lakes in Mount Qomolangma Nature Reserve and their responses to regional climate change (in Chinese). J Glaciol Geocryol, 2018, 40: 378−387 [王毅, 李景吉, 韩子钧, 等. 珠穆朗玛峰自然保护区湖泊动态及对区域气候变化的响应. 冰川冻土, 2018, 40: 378−387]
33 Gao J G, Zhang Y L, Liu L S, et al. Climate change as the major driver of alpine grasslands expansion and contraction: A case study in the Mt. Qomolangma (Everest) National Nature Preserve, southern Tibetan Plateau. Quat Int, 2014, 336: 108–116
34 Bajracharya B, Uddin K, Chettri N, et al. Understanding land cover change using a harmonized classification system in the Himalaya. Mountain Res Dev, 2010, 30: 143–156
35 Li G Q, Kan A K, Wang X B, et al. Distribution of degraded wetlands and their influence national nature reserve (in Chinese). Wetland Sci, 2010, 8: 110−114 [李国庆, 阚瑗珂, 王绪本, 等. 珠穆朗玛峰国家级自然保护区退化湿地分布及影响因素研究. 湿地科学, 2010, 8: 110−114]
36 Nie Y, Li A N. Assessment of alpine wetland dynamics from 1976–2006 in the vicinity of mount everest. Wetlands, 2011, 31: 875–884
37 Shi Y, Ma Y L, Ma W H, et al. Large scale patterns of forage yield and quality across Chinese grasslands (in Chinese). Chin Sci Bull, 2013, 58: 226−239 [石岳, 马殷雷, 马文红, 等. 中国草地的产草量和牧草品质: 格局及其与环境因子之间的关系. 科学通报, 2013, 58: 226−239]
38 Zhang Y L, Qi W, Zhou C P, et al. Spatial and temporal variability in the net primary production of alpine grassland on the Tibetan Plateau since 1982. J Geogr Sci, 2014, 24: 269−287
39 Ding M J, Zhang Y L, Liu L S, et al. Temporal and spatial distribution of grassland coverage change in Tibetan Plateau since 1982 (in Chinese). J Nat Resour, 2010, 25: 2114−2122 [丁明军, 张镱锂, 刘林山, 等. 1982~2009年青藏高原草地覆盖度时空变化特征. 自然资源学报, 2010, 25: 2114−2122]
40 Liu J H, Gao J X, Wang W J. Variations of vegetation coverage and its relations to global climate changes on the Tibetan Plateau during 1981–2005 (in Chinese). J Mountain Sci, 2013, 31: 234−242 [刘军会, 高吉喜, 王文杰. 青藏高原植被覆盖变化及其与气候变化的关系. 山地学报, 2013, 31: 234−242]
41 Wang G X, Ding Y J, Wang J, et al. Land ecological change and evolutional patterns in the source regions of the Yangtze and Yellow rivers (in Chinese). Acta Geogr Sin, 2004, 59: 163−173 [王根绪, 丁永建, 王建, 等. 近15年来长江黄河源区的土地覆被变化. 地理学报, 2004, 59: 163−173]
42 Zhang X Z, Yang Y P, Piao S L, et al. Ecological change on the Tibetan Plateau (in Chinese). Chin Sci Bull, 2015, 60: 3048−3056 [张宪洲, 杨永平, 朴世龙, 等. 青藏高原生态变化. 科学通报, 2015, 60: 3048−3056]
43 Zhao W, Shen W S, Liu B, et al. Carrying capacity of grasslands and its spatiotemporal change in Tibet, China (in Chinese). Chin Sci Bull, 2015, 60: 2014–2028 [赵卫, 沈渭寿, 刘波, 等. 西藏地区草地承载力及其时空变化. 科学通报, 2015, 60: 2014−2028]
44 Ding M J, Zhang Y L, Sun X M, et al. Spatiotemporal variation in alpine grassland phenology in the Qinghai-Tibetan Plateau from 1999 to 2009 (in Chinese). Chin Sci Bull, 2012, 57: 3185−3194 [丁明军, 张镱锂, 孙晓敏, 等. 近10年青藏高原高寒草地物候时空变化特征分析. 科学通报, 2012, 57: 3185−3194]
45 Tang J, Cao H Q, Chen J. Effects of ecological conservation projects and climate variations on vegetation changes in the source region of the Yangtze River (in Chinese). Acta Geogr Sin, 2019, 74: 76−86 [唐见, 曹慧群, 陈进. 生态保护工程和气候变化对长江源区植被变化的影响量化. 地理学报, 2019, 74: 76−86]
46 Li C, de Jong R, Schmid B, et al. Spatial variation of human influences on grassland biomass on the Qinghai-Tibetan Plateau. Sci Total Environ,

2019, 665: 678–689
47 Li S C, Wang Z F, Zhang Y L. Crop cover reconstruction and its effects on sediment retention in the Tibetan Plateau for 1900–2000. J Geogr Sci, 2017, 27: 786–800
48 Yan J Z, Zhang Y L, Hua X B, et al. An explanation of labor migration and grain output growth: Findings of a case study in eastern Tibetan Plateau. J Geogr Sci, 2016, 26: 484–500
49 Zhong G. Tibet Forest (in Chinese). Beijing: Science Press, 1985 [中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏森林. 北京: 科学出版社, 1985]
50 Studley J. Forests and environmental degradation in SW China. Int For Rev, 1999, 1: 260−265
51 Houghton R A, Hackler J L. Sources and sinks of carbon from land-use change in China. Glob Biogeochem Cycle, 2003, 17: 1034
52 Bai W Q, Zhang Y L, Bao W K. Landscape patterns and dynamics in the upper reaches of the Dadu River (in Chinese). J Nat Resour, 2003, 18: 75−80 [摆万奇, 张镱锂, 包维楷. 大渡河上游地区景观格局与动态. 自然资源学报, 2003, 18: 75−80]
53 Zhang Z X, Zhao X L, Liu F, et al. Atlas of Urban Expansion by Remote Sensing in China (in Chinese). Beijing: Star Map Press, 2014 [张增祥, 赵晓丽, 刘芳, 等. 中国城市扩展遥感监测图集. 北京: 星球地图出版社, 2014]
54 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 [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]
55 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 Tanggulashan pass (in Chinese). Acta Geogr Sin, 2002, 57: 253−266 [张镱锂, 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——以格尔木至唐古拉山段为例. 地理学报, 2002, 57: 253−266]
56 Li S, Zhang Y, Wang Z, et al. Mapping human influence intensity in the Tibetan Plateau for conservation of ecological service functions. Ecosyst Serv, 2018, 30: 276–286
57 Feng S C, Gao X H, Kang J, et al. Research on land use/cover change and urban expansion in Xining city in recent 30 years (in Chinese). Arid Zone Res, 2012, 29: 129−136 [冯仕超, 高小红, 亢健, 等. 西宁市30多年来土地利用/土地覆被变化及城市扩展研究. 干旱区研究, 2012, 29: 129−136]
58 Chen T, Lang W, Chan E, et al. Lhasa: Urbanising China in the frontier regions. Cities, 2018, 74: 343–353
59 Fan J, Wang H, Chen D, et al. Discussion on sustainable urbanization in Tibet. Chin Geogr Sci, 2010, 20: 258–268
60 Nie Y, Zhang Y L, Liu L S, et al. Monitoring glacier change based on remote sensing in the Mt. Qomolangma national nature preserve, 1976−2006 (in Chinese). Acta Geogr Sin, 2010, 65: 13−28 [聂勇, 张镱锂, 刘林山, 等. 近30年珠穆朗玛峰国家自然保护区冰川变化的遥感监测. 地理学报, 2010, 65: 13−28]
61 Liu Q H, Zhang Y L, Liu L S, et al. Spatial local accuracy analysis of land cover datasets in Qiangtang Plateau, High Asia. J Geogr Sci, 2019, 29: 1841−1858

Summary for "青藏高原土地利用与覆被变化的时空特征"

Spatial and temporal characteristics of land use and cover changes in the Tibetan Plateau

Yili Zhang[1,2,3*], Linshan Liu[1], Zhaofeng Wang[1,3], Wanqi Bai[1], Mingjun Ding[4], Xiuhong Wang[1], Jianzhong Yan[5], Erqi Xu[1,3], Xue Wu[1],
Binghua Zhang[1,3], Qionghuan Liu[1,3], Zhilong Zhao[1] & Fenggui Liu[1,6]Du Zheng[1]

[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] *Center for Excellence in Tibetan Plateau Earth Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*
[3] *College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*
[4] *School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China;*
[5] *College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;*
[6] *College of Geographic Sciences, Qinghai Normal University, Xining 810008, China*
* Corresponding author, E-mail: zhangyl@igsnrr.ac.cn

The Tibetan Plateau (TP) is an important ecological security barrier for China and, indeed, for all Asia. Land use and land cover changes in the plateau not only affect the ecological environment and regional development of the plateau itself but also affect the stability and economic development of ecosystems in eastern China and other parts of Asia. This paper is based on an examination of the achievements of land use and cover change in the TP and a reanalysis of data including that of Climate Change Initiative Land Cover from 1992 to 2015; land use data provided by the Resource and Environmental Science Data Center of the Chinese Academy of Sciences for 1995, 2000, 2010 and 2015; and statistical data from Qinghai and Tibet. The paper analyzes the overall characteristics of land use and land cover changes in the TP and the spatial and temporal processes and their driving forces of land use and land cover change in typical regions and land types. This research is important not only for land change science and global change research but also for the promotion of the plateau and its adjacent areas. In recent decades, research has shown that the land use and land cover structure of the TP is stable, and the proportion of first-level land use type change was less than 7% from 1992 to 2015. Most of these changes are single time changes, with multiple land change occurring only in 1.85% of the total change area. The quality of land cover has been improved in areas where no land type change occurred. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) showed an increasing trend in 24.45% of the area and a decreasing trend in only 1.31% of the area. The area of cultivated land, forest, grassland, wetland, and construction land on the plateau has increased, whereas bare land, glacier, and snow cover area has decreased. In most parts of the TP, the quality of alpine grassland has improved; however, in some areas, it has degraded at a local scale. Most of the woodland has recovered well after phased changes. Prior to 1980, there was a rapid increase in cultivated land area, but this has since become stable with only minor increases. However, the utilization intensity of cultivated land has increased significantly in recent years. Construction land has expanded significantly, and the recent growth rate has accelerated since 2010. Both the increasing speed of change and the construction land area in Qinghai Province are higher than in Tibet. There has been a general trend of a slight decrease in bare land change. In densely populated areas in the Yellow River-Huangshui River Valley and the One-River-Two-Tributaries area, land types that are closely related to human utilization such as construction land, cultivated land, and artificial woodland have undergone obvious changes. In pastoral areas, such as the Northern Tibetan Plateau and the Source Regions of The Three Rivers, overgrazing and ecological construction have significantly affected land cover. In the Qomolangma National Nature Preserve, land use types are diverse; changes are complex; and land cover is more sensitive to both climate change and human activity. There are limitations to the study of land change in the plateau, such as the difficulty of meeting the needs of ecological construction with existing data and the lack of in-depth understanding of the process of land use change and its environmental effects. Field monitoring and remote sensing techniques must be strengthened in order to clarify the process of land use intensity change and its impact on the ecological environment of the TP. These improvements will better serve the construction of an ecological security barrier and the sustainable development of the region.

Tibetan Plateau, land use, land cover, land use and land cover change, temporal and spatial characteristics