

doi: 10.13866/j.azr.2018.03.24

近40 a三江源地区土地利用变化动态分析及预测^①

许茜^{1,2}, 李奇¹, 陈懂懂¹, 罗彩云¹, 赵新全^{1,3}, 赵亮¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 中国科学院成都生物研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 针对三江源草地退化、水土流失及环境恶化等问题, 根据三江源1980—2015年7期1:100 000土地利用数据集, 运用ArcGIS 10.0空间统计分析工具, 定性定量相结合的方法分析了该区土地利用时空动态变化及未来变化趋势。结果表明: ①研究期土地利用变化显著, 分为3个时期: 前15 a(1980—1995年)草地退化, 中间5 a(1995—2000年)土地利用变化缓慢, 后15 a(2000—2015年)退化草地恢复。②从土地利用结构看, 1980—2015年, 低、高覆盖度草地、水域、建设用地波动上升, 未利用地明显减少, 减少了17.61%, 中覆盖度草地和林地基本不变, 草地总面积增加了13.45%, 主要由未利用土地转化而来。③从土地利用类型转化看, 以低中高覆盖度草地、未利用土地与水域之间的转化为主。④据CA-Markov模型预测: 水域基本保持不变, 高、低覆盖度草地、未利用土地、耕地和建设用地面积不断增加, 林地面积减少。⑤人口、经济结构变化及政策的实施是土地利用变化的主要原因, 生态资产的供需平衡是驱动因子。因此提出加强基础文化建设、保护天然草地、优化土地利用生产模式, 使土地得到合理利用, 促进该区可持续发展。

关键词: 土地利用/土地覆被变化; CA-Markov模型; 趋势预测; 供需平衡; 利用类型; 三江源

土地利用/土地覆被变化(LUCC)是全球关注的一个重要环境问题^[1-2], 它主要包括结构变化和类型转化, 前者为各土地类型面积的增减, 后者表示不同的土地利用类型在空间和位置上的转化^[3]。LUCC对土地利用适宜性评价具有重要意义, 同时对气候、自然植被覆盖、生物多样性、社会经济稳定和食品安全有一定的影响^[4-5]。这些变化是生物物理因素和人为因素(包括森林砍伐、城市化、农田扩张、过度放牧等)在时间和空间上相互作用的结果^[6-7]。在全球生态环境问题日益严峻以及可持续发展观提出的背景下, LUCC的研究在全球范围得到了快速发展, 在相关理论、方法和应用的广度与深度上取得了前所未有的进展。国外学者多注重驱动力的多因素综合研究, 在其作用机制、模拟和预测等方面做了大量研究, 从人口增长、政策、市场经济、社会变革及城镇化等方面对区域土地利用结构、土地覆被变化、水土流失、森林砍伐、草场退化等的影响机理进行了系统分析^[8-9]。国内, 刘纪远等^[10]从全国尺度研究了20世纪80年代以来, 全国土地利用变化的基本特征和空间格局, 并对土地利用动态变

化进行了分区。巩杰等^[11]对疏勒河1977—2013年土地利用变化过程及生态环境响应进行了定量研究。其中环境脆弱区、人类扰动密集区和生态脆弱区成为研究的重点和热点区域^[12]。

青藏高原因其独特的高海拔、地表特征和气候环境, 不仅影响本区域气候变化, 而且影响全球气候及我国经济可持续发展, 是全球气候变化的敏感区, 成为全球变化研究中重要的组成部分^[13-15]。三江源位于青藏高原内部, 是长江、黄河、澜沧江的源头, 以“中华水塔”而闻名, 是中国江河中下游和东南亚国家环境保障以及区域可持续发展的生态保证^[16], 该区也是世界高海拔地区生物多样性比较丰富的地区。近年来, 由于受气候变化和人类活动的影响, 三江源生态系统不断恶化, 对青藏高原产生重要影响。为了保护三江源脆弱的生态气候环境, 有效遏制草地退化, 保持物种多样性^[17], 国务院于2005年发起“青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划”, 实施了退耕还林(草)等一系列生态保护建设项目, 旨在保护和恢复生态功能, 改善区域生态环境, 促进人与自然和谐发展^[18]。目前, 对三江源的

① 收稿日期: 2017-07-26; 修订日期: 2017-12-03

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0501905, 2016YFC0501805); 青海省自然科学基金(2017-ZJ-939Q)资助

作者简介: 许茜(1992-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为区域可持续发展。E-mail: xq1042843853@163.com

通讯作者: 赵亮。E-mail: lzhaol@nwipb.cas.cn

研究主要集中在草地退化、气候变化、生物多样性等方面，LUC C 的研究则体现在青藏高原整个大区中，缺乏对三江源核心区深入研究。王敏⁽¹⁹⁾对青藏高原青海湖和纳木错流域 2001—2013 年土地利用动态变化分析中发现，13 a 研究区草地退化严重。邵全琴等⁽²⁰⁻²¹⁾先后对三江源一期工程实施前后草地退化与修复情况进行评估，但对其他土地类型的变化未进行详细分析。尤其在三江源重新规划(新增共和、贵德、尖扎、同仁 4 县)及二期工程(2014 年)实施后，有关 LUC C 的研究更少。因此，本文以三江源 LUC C 为研究主题，分析了 1980—2015 年及二期工程后三江源土地利用类型结构、变化规律及趋势，探讨了 LUC C 与生态资源供需平衡关系及发展中存在的问题并提出相应的整改建议，以期为三江源社会、经济发展提供科学依据。

1 研究区域和研究方法

1.1 研究区域概况

三江源位于青海省境内，处于 89° 24' ~ 102° 23' E, 31° 39' ~ 36° 16' N 之间，面积超过 3.0 × 10⁵ km²，行政区包括黄南、果洛、玉树、海南 4 个自治州的 16 县及唐古拉乡。三江源自然地理环境独特，地形地貌复杂，以冰川、冰缘、高山、高地平原、丘陵地貌为主，海拔在 2 800 ~ 6 564 m。植被的空间分布具有明显的高原地带性，垂直和水平带谱尤为显著，自东南向西北依次为高寒灌丛草甸、高寒草原、沼泽⁽²²⁾，主要以高寒草甸和高寒草地为主(图 1)。三江源总的气候特征是辐射强烈、日照时间长、年温差小及日温差大，属于典型的高原大陆性气

候。该区降水量十分集中，雨热同期，年平均降水量在 262.2 ~ 772.8 mm，年平均气温在 -5.6 ~ -3.8 °C。由于受地质构造运动的影响，三江源海拔差异大，高山地居多。随着海拔由低到高，土壤类型分别为山地森林土、栗钙土、山地草甸土、高山草原、草甸土、高山寒漠土，以高山草甸土为主，其次为沼泽化草甸土，冻土层极为发育⁽²³⁾。

1.2 研究方法

土地利用资料来源于青海省 1980、1990、1995、2000、2005、2010、2015 年 1:100 000 土地利用数据集⁽²³⁾，该数据集由中国科学院资源环境科学数据中心提供。该数据集基于 Landsat MSS、TM 和 ETM 遥感图像，参考中国科学院土地分类系统，结合研究区自然地理环境和社会经济特征，将 LUC C 划分为耕地、林地、草地(高中低覆盖度草地)、水域、建设用地(包括城市、居民建设及工矿用地)和未利用地等 6 个类型，通过对图像光谱、纹理、色调等的认知，结合地形图目视解译而成，并利用野外定点数据进行精度验证，精度达 95%，符合研究要求⁽²⁴⁾。在 Arc-GIS 10.0 下对 7 期土地分类结果进行对比统计分析，得出该区土地利用变化监测结果，然后进行叠加和属性查询，建立土地利用转移矩阵，由于 LUC C 受多种自然和人为因素驱动，内部机制复杂，具有很大不确定性、随机性及时间的动态性，Markov 模型可较好地分析这个过程和预测短期的变化。但由于 Markov 模型的无后效性，只能对景观变化做时间上的定量化预测，而不能进行景观变化的空间预测。因此，本研究将具有模拟复杂系统空间变化能力的元胞自动机 (cellular automata, CA) 与 Markov 模型

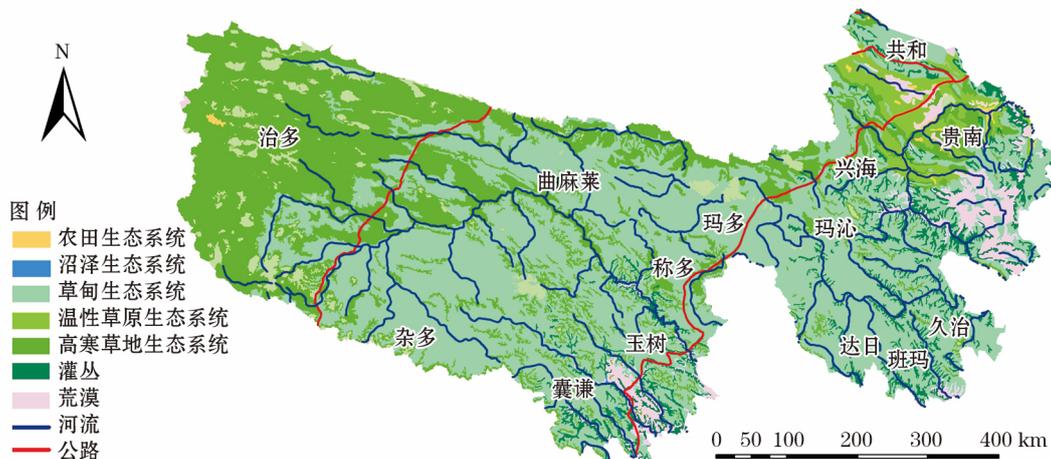


图 1 研究区位置及植被类型

Fig. 1 Geographical location of the study area and the distribution of vegetation types

有机结合与其他 LUCC 模型相比,CA-Markov 模型综合了 CA 模型模拟复杂系统空间能力和 Markov 模型长期预测的优势,能够提高土地利用类型转化的预测精度以及有效模拟土地利用格局的空间变化⁽²⁵⁾。CA-Markov 模型实现过程如下:根据研究区 1980—2015 年土地利用分类图,利用 IDRISI 软件的 Markov 模块获取相邻时间段的土地利用转移面积矩阵、转移概率矩阵及转移适宜性图集;以土地利用转移概率矩阵、各年土地利用类型图为输入要素,用 IDRISI 软件的 CA-Markov 模块模拟 1980—2015 年各年土地利用变化图,并与原数据对比进行精度评价,通常用 Kappa 指数来评价其精度;以 2015 年土地利用变化图为初始影像,预测 2030 年土地利用空间分布。

2 结果与分析

2.1 土地利用类型空间分布

从图 2 可知,三江源土地利用类型主要以草地、林地和水域为主,对该图做进一步分析可得:① 整个研究区除西北地区治多县内的一些未利用土地和水域外,都以草地为主。低覆盖度草地居多,集中分布在水资源短缺的西北部,如玛多、治多西部、曲麻莱等地区。其次为中覆盖度草地,分布在杂多、久治、达日县局部地区,这些区域人类活动强烈且水资

源稀缺。高覆盖度草地主要分布在东部和中南部地区,由于水热条件较好,草地生长茂密,草地覆盖度高达 50% 以上。② 林地主要分布在东南部的囊谦、玉树、班玛、久治等地区,这些地区位于黄河流域和澜沧江流域,为植被的生长提供了有利条件。③ 水域主要以湖泊、冰川积雪及河流为主,包括长江、黄河、澜沧江 3 大源区,主要流经共和、玛多、兴海、治多、唐古拉乡等地区。④ 通过比较 1980—2015 年 7 期土地利用图可以看出,整个研究期内,未利用土地得到合理开发利用,较为明显的是曲麻莱和称多 2 县的未利用土地在 1995 年和 2015 年都不同程度的转化为草地。此外,随着城市化规模的不断扩大,建设用地有增加趋势。

2.2 土地利用变化

2.2.1 土地利用结构变化 用 ArcGIS 10.0 地理信息系统软件统计分析,得三江源 1980、1990、1995、2000、2005、2010 年及 2015 年各土地利用类型及比例表(1)。从表 1 得知,三江源总土地面积为 387 424.85 km²。以 2015 年为例,草地、未利用土地、水域和林地分别占研究区总面积的 71.2%、18.32%、5.47%、4.28%,未利用土地包括沙地、沼泽、荒漠、盐碱地等无植被覆盖区,占有很大比例。为了更清晰地反映三江源地区 7 个时间段不同土地利用类型的变化特征,本文绘制了土地利用类型在

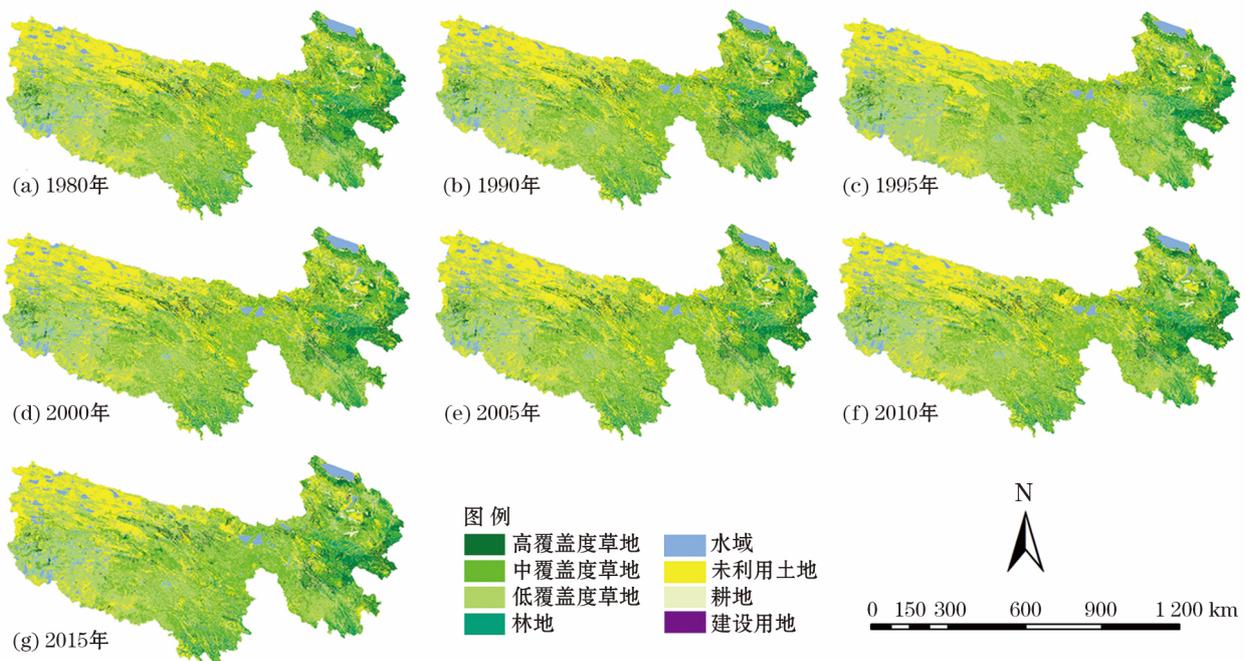


图 2 1980—2015 年三江源地区土地利用类型空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of land use types in the three-river headwaters during the period from 1980 to 2015

表 1 1980—2015 年三江源土地利用类型及比例

Tab. 1 Land use types and their proportions in the three-river headwaters during the period from 1980 to 2015

土地类型	1980 年		1990 年		1995 年		2000 年		2005 年		2010 年		2015 年	
	面积 /km ²	比例 /%												
林地	16 693.35	4.31	16 695.73	4.31	15 190.84	3.92	16 696.04	4.31	16 690.33	4.31	16 581.65	4.28	16 579.75	4.28
耕地	2 167.00	0.56	2 232.63	0.58	2 386.78	0.62	2 351.02	0.61	2 329.98	0.60	2 567.42	0.66	2 551.99	0.66
水域	20 695.12	5.34	19 958.94	5.15	18 204.79	4.70	19 877.07	5.13	19 984.64	5.16	20 711.22	5.35	21 191.20	5.47
建设用地	150.56	0.04	151.42	0.04	152.49	0.04	161.96	0.04	163.66	0.04	171.73	0.04	285.37	0.07
未利用土地	86 141.25	22.23	88 342.22	22.80	77 516.16	20.01	88 508.74	22.85	89 077.90	22.99	86 566.36	22.34	70 969.09	18.32
低覆盖度草地	142 507.94	36.78	142 304.25	36.73	166 499.03	42.98	141 764.50	36.59	141 365.11	36.49	143 241.55	36.97	157 237.29	40.59
中覆盖度草地	98 011.59	25.30	96 540.47	24.92	92 691.04	23.92	96 896.02	25.01	96 568.18	24.93	95 621.52	24.68	96 591.98	24.93
高覆盖度草地	21 058.04	5.44	21 199.19	5.47	14 783.71	3.82	21 169.51	5.46	21 245.05	5.48	21 963.40	5.67	22 018.17	5.68

研究时间段的趋势图(图 3)。从图 3 可以看出: ① 从 1980—2015 年, 低覆盖度草地、耕地、建设用地面积增加, 水域、高覆盖度草地波动上升, 未利用土地面积明显减少, 中覆盖度草地和林地基本不变。② 整个研究期, 低覆盖度草地面积在 1995 年达到最大, 为 166 499.03 km², 占总面积的 42.98%, 1995 年后的 5 a 又呈降低趋势, 2000 年减少到 141 764.50 km²。1990—1995 年及 2010—2015 年, 低覆盖度草地面积增加较快, 增加速率分别为 17% 和 9.77%。与三江源地区社会经济发展的要求相适应, 建设用地面积不断增加, 从 1980 年的 150.56 km² 增加到 2015 年的 285.37 km²。一些地区开始种植蔬菜瓜果等农产品, 相应的耕地面积呈现出缓慢增加趋势。③ 未利用土地面积减少的趋势, 正好

与低覆盖度草地面积增加的趋势相对应, 极有可能是减少的未利用土地转化为低覆盖度草地, 这将在土地利用类型转化部分进行详细描述。④ 高中覆盖度草地、林地及水域面积在 1990—2000 年呈现微小变化, 并且这 4 种土地利用变化趋势高度一致。从图 3 可以看出, 1980—1990 年, 这 4 种土地利用类型基本保持不变, 1990—1995 年有下降趋势, 1995 年达到最低分别为 14 783.71 km²、92 691.04 km²、15 190.84 km²、18 204.79 km², 1995—2000 年, 又逐渐增加, 2000 年后基本保持不变, 由此得出当植被生长所需的水资源短缺时, 草地和林地的面积也会同时减少。⑤ 总体来看, 中覆盖度草地面积基本不变, 而低高覆盖度草地增加, 所以草地呈增加趋势。

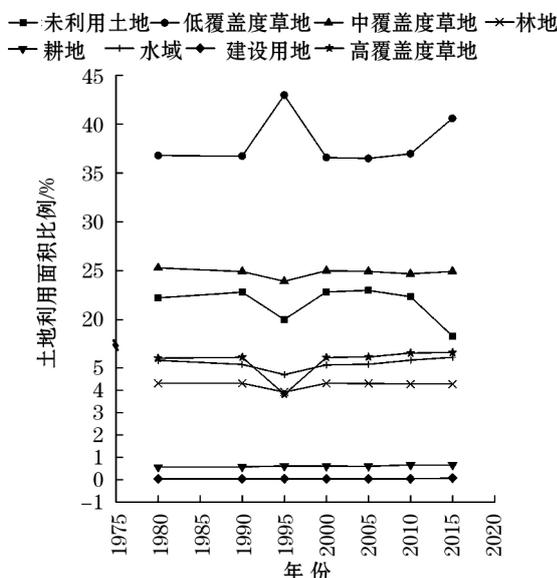


图 3 1980—2015 年三江源土地利用覆盖变化

Fig. 3 Land use/cover change in the three-river headwaters during the period from 1980 to 2015

2.2.2 土地利用类型转化 根据土地利用变化重要性指数(C_i) 公式计算出各变化类型的重要性, 再将 C_i 值降序排列, 提取 C_i 值累计之和大于 70% 的变化类型, 筛选出三江源 1980—2015 年各时间段土地利用变化的主要类型。结果表明三江源土地利用变化主要以高、中、低覆盖度草地以及未利用土地和水域之间的转化为主。另外, 由图 2 可知, 1995 年和 2015 年末利用土地面积减少显著, 变化明显, 因此, 笔者将研究期分为 1980—1995 年和 2000—2015 年两个阶段, 与 ArcGIS 空间叠加分析得到这 2 个时间段及整个研究期的土地利用变化图(图 4)。由图 4 可见 ① 土地利用变化主要发生在黄河长江流域东部, 未变化土地面积占较大比例。② 1980—1995 年突出特征是未利用土地向低覆盖度草地转化, 面积达 19 257.53 km², C_i 值达 32.39%, 其次为中向低覆盖度草地转化, 面积达 14 699.96 km², 除此之外, 还有低覆盖度草地向未利用土地以及高向中覆盖度草地

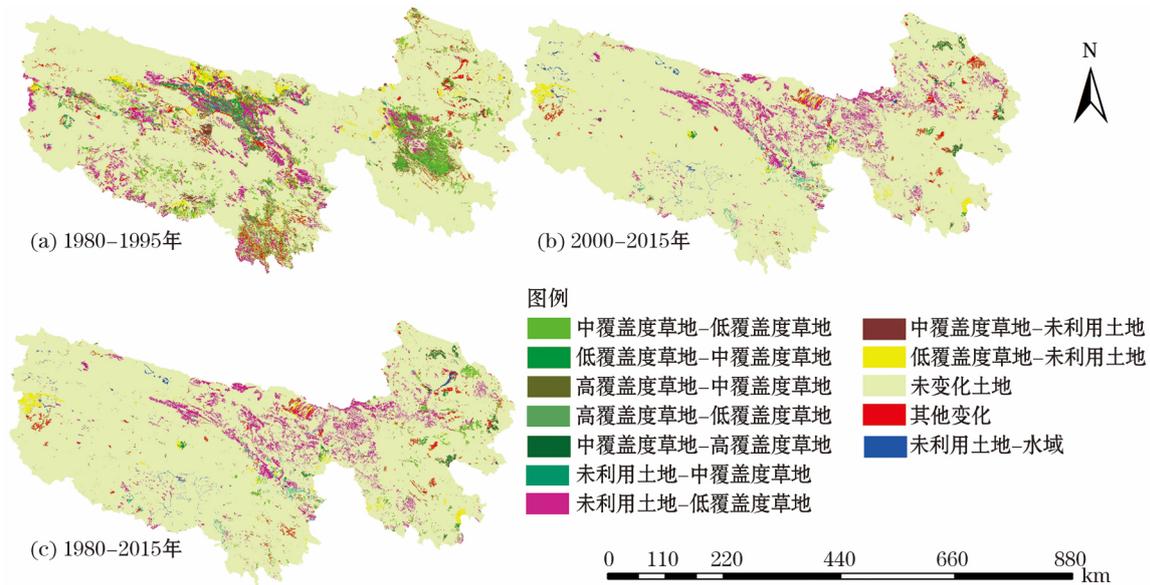


图 4 三江源主要土地利用类型变化

Fig. 4 Change of the main land use types in the three-river headwaters

转化,分别为 7 293. 87 km² 和 4 937. 20 km²,虽然未利用土地向低覆盖度草地转化占主导地位,但转化的主要方向是高向中覆盖度草地,中向低覆盖度草地以及低覆盖度草地向未利用土地,植被盖度降低。③ 2000—2015 年,未利用土地向低覆盖度草地转化占主导,面积为 18 973. 89 km²,同时,低一级草地向较高一级草地转化的面积也不断增加,如未利用土地向中覆盖度草地、中向高覆盖度草地以及低向中覆盖度草地转化面积分别是 1 377. 02 km²、1 055. 81 km² 和 981. 92 km²。说明土地利用类型主要转化方向是未利用土地向中低覆盖度草地,低向中覆盖度草地,中向高覆盖度草地,草地面积增加,植被盖度增加。④ 1980—2015 年,最显著的变化是未利用土地向低覆盖度草地的转化,面积为 17 546. 01 km²,整个时间段,草地面积增加,植被盖度也增加。

2.3 三江源土地利用变化模拟及预测

假设三江源土地利用变化符合 Markov 条件,用 χ^2 检验的方法检验 3 个典型年份 1980、1995 年和 2015 年土地利用面积向量之间是否存在较强的相关性,如果 $\chi^2 > \chi^2_{0.05}(49)$,说明之间不存在很强的相关性,即土地利用变化无后效性的随机过程^[26]。本文研究表明 1980 年和 1990 年间的 χ^2 和 Kappa 系数分别为 257 603 360 和 0.974 6; 1990 年和 1995 年间的 χ^2 和 Kappa 系数分别为 192 023 984 和 0.841 5; 1995 年和 2015 年间的 χ^2 和 Kappa 系数分

别为 160 088 320 和 0.768 3。3 个向量之间的值都大于 $\chi^2 > \chi^2_{0.05}(49) = 66.34$ 。由此说明 3 个向量之间有很强的独立性,而三者的 Kappa 指数也都大于 0.75,说明这 3 期图之间的整体变化较小,符合 Markov 模型平稳性的要求,所以三江源土地利用变化符合 CA-Markov 模型条件。

2.3.1 三江源土地利用变化模拟 为了检验 CA-Markov 模型预测三江源土地利用变化的准确度,本文以 1980—2015 年 7 期土地利用变化图作为基础数据,模拟了 1990—2015 年土地利用变化,然后对模拟值与真实值做 Kappa 精度分析,以检验模型的整体精度,并对 2015 年各个土地利用类型的模拟精度进行了检验。由表 2 看出,研究区土地利用面积模拟值与真实值的总体 Kappa 指数均大于 0.80。从表 3 看出,除低覆盖度草地及建设用地,其他土地利用类型 Kappa 指数都在 0.84 以上,而低覆盖度草地与建设用地的 Kappa 指数稍低,分别为 0.793 4、0.515 7,从而降低了模型的预测精度。这是由于低覆盖度草地分布较广,会随着季节及放牧强度变化而出现周期性波动,另外,随着城镇化扩张及相关政策的提出,建设用地开发受到一定限制。

2.3.2 三江源土地利用变化预测 以 2000—2015 年为基础,以 2015 年为起始状态预测 2030 年土地利用变化空间分布,如图 5 所示,与图 2 中 2015 年土地利用面积相比,高、低覆盖度草地、未利用土地、耕地和建设用地面积都在不同程度的增加,其中高

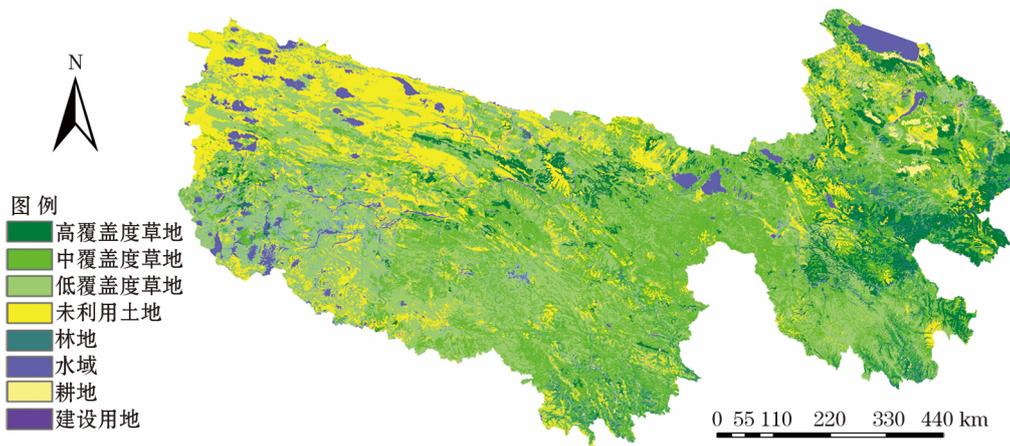


图5 2030年三江源土地利用类型预测结果

Fig. 5 Predicted land use types in the three-river headwaters in 2030

表2 1990—2015年三江源土地利用类型 Kappa 指数

Tab. 2 Kappa indexes of land use types in the three-river headwaters during the period from 1990 to 2015

年份	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Kappa 指数	0.868	0.841	0.831	0.867	0.924	0.859

表3 2015年三江源各土地利用类型 Kappa 指数

Tab. 3 Kappa coefficients of the Sanjiangyuan Region in 2015

土地利用类型	高覆盖度草地	中覆盖度草地	低覆盖度草地	未利用土地	林地	水域	耕地	建设用地
Kappa 指数	0.889 5	0.858 2	0.793 4	0.955 6	0.840 5	0.900 1	0.977 2	0.515 7

覆盖度草地增加幅度最大,由2015年22 018.17 km²增加到29 226.67 km²,这种变化趋势与退耕还草政策及三江源畜牧业发展的政策导向有极其紧密的关系;水域面积基本没变,与草地的增长有一定的关系,因为草地增长能有效减少水土流失,提高草地生态系统水源涵养功能,水体面积增加同样说明土地资源得到合理利用,生态环境逐渐改善。建设用地随着城镇化的加速,面积在不断增大;中覆盖度草地与林地呈降低趋势,基本都转为高覆盖度草地。

3 讨论

3.1 三江源地区土地利用变化状况

对于三江源的研究大多集中于生态系统服务功能、气候变化、生物多样性保护等领域,有关土地利用动态变化方面的研究较少。王根绪等⁽²⁷⁾在近30 a 黄河源区景观格局动态变化的研究中发现,由于杂草类草地和沙化草地的发展,使草地退化在20世纪80年代后显著增加。另外,潘竟虎等⁽²⁸⁾在黄河源区的研究中也发现,1986—2000年黄河源区林地、湿地、草地和冰川面积减少。从本文的研究结果

可知,1980—1995年,草地退化明显,植被盖度较低,建设用地增加,尤其是1990—1995年林地、未利用土地和中低高覆盖度草地的开发程度和耗减程度都达到最大值,可见,这段时间草地生态系统的退化最严重。邵全琴⁽²¹⁾在三江源生态系统综合检测与评估研究中发现,20世纪70年代末到2004年草地持续退化,直到2005年,三江源生态保护建设工程的实施,人类活动减少、生态移民、减畜等措施,使该区土地利用程度降低,退耕还草与生态修复效果显著,草地退化在一定程度上得到了缓解。这与本文2000—2015年土地利用变化从未利用土地到低覆盖度草地以及低一级向高一一级草地转化方向是一致的。尤其是在二期工程实施后,总结一期工程经验,开展绿色发展工作,林地、水域、草地面积不断增加,未利用土地减少,三江源逐步走向可持续发展道路。总体来看,由于人类活动及国家政策的影响,三江源土地利用变化经历了3个阶段,从图6看出,前15 a (1980—1995年),由于过度放牧、矿产开采等导致土地过度利用;1995—2000年,各项工程措施开展的初期,环境恶化处于波动阶段;后15 a (2000—2015年),由于三江源生态保护项目等工程实施,退

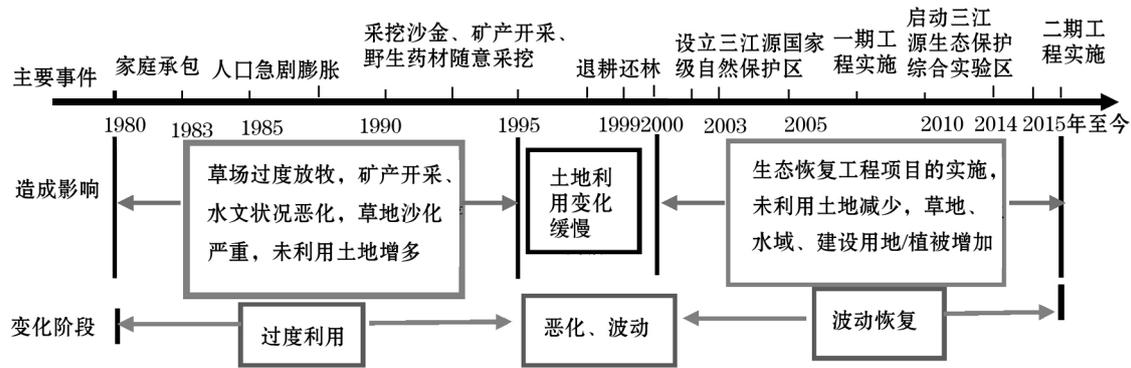


图 6 三江源人类活动时间轴

Fig. 6 Timeline of human activities in the three-river headwaters

化草地逐渐恢复,植被盖度增加,土地利用波动恢复。

3.2 土地利用变化原因

引起土地利用变化的因素复杂多样,概括为自然因素和人类活动。自然因素的变化周期漫长且幅度较小,短期内对土地利用变化的影响较小。社会经济因素才是土地利用变化的主要原因。包括对土地资源的认识、开发及管理。在实际研究中,需结合当地自然和社会经济因素,综合考虑土地利用变化的主要原因,从人为角度出发对三江源土地利用变化原因做具体分析,主要有 3 方面:首先,人口与土地利用之间的关系一直是土地利用变化机制研究的重点,人口在较大程度上驱动一个地区的土地利用变化⁽²⁹⁾。其次,经济结构变化,随着市场经济的发展,牧民重视畜牧业的发展,大范围的放牧、随意开垦未利用土地等,使草地承载力过大,承受力较弱的草地开始退化。最后,国家政策的实施,2005 年以前,三江源地区林地和草地破坏严重,国家实施退耕还林(草)工程,林地有了大幅增加,草地退化有所缓解⁽³⁰⁻³¹⁾。另外,随着农牧耦合系统的推广,牧民从游牧转为农牧业兼营,种植业在该区也发挥了一定的作用,耕地增加的同时,草地减少⁽³²⁾。

表 4 青海省典型年份生态资源供需平衡

Tab. 4 Supply-demand balance of ecological resources in Qinghai Province in typical years

年份	生态足迹 /hm ²	生态承载力 /hm ²	供需状况	文献来源
1985	1.61	1.52	供 < 求	
1992	1.77	1.50	供 < 求	(33)
2001	1.71	1.42	供 < 求	
2005	1.66	1.64	供 < 求	(34)
2012	0.61	1.74	生态盈余	(35)

综合以上 3 方面原因可知,土地利用变化的本质是生态资源的供需平衡被打破,根据不同学者对青海省生态足迹的研究(表 4),当生态足迹大于生态承载力时,该地资源供不应求,表现为生态赤字,如 1985、1992、2001 年及 2005 年,虽然 2005 年生态足迹大于承载力,但是相比其他赤字年份,已近于平衡状态,正好与结果中 2005 年土地利用状况好转相符,2012 年,生态承载力大于生态足迹,表现为生态盈余,退化草地得到恢复,促进了生态经济与环境协调发展。

4 三江源土地利用变化中存在问题及对策

(1) 传统文化及保护生态意识的局限性限制土地利用结构调整:当地牧民缺乏对草地演替、适应规律的认识,过度放牧等使资源未得到合理配置。

(2) 草地退化影响农牧民经济收入:不科学的管理和经营,导致草地承载力减弱,抗御风雪雹灾能力下降,出现不同程度退化,影响畜牧业发展。

(3) 草畜矛盾不断加剧,草畜平衡机制难以建立:严重的草畜矛盾已成为三江源畜牧业发展的最大问题,也是经济、生态和社会问题⁽³⁶⁾。

针对这些问题,提出合理利用土地建议:

(1) 加强文化基础设施建设,加大文化宣传力度:在藏区扩建学校,引进专业人才,鼓励农牧民接受保护生态环境专题教育,理解环境保护与经济协调发展的重要性。

(2) 合理利用开发、保护天然草地,并按照各地气候条件和草原类型建立相应饲草生产基地⁽¹⁹⁾。

(3) 优化土地利用生产模式,促进产业升级和

结构优化: 农牧结合, 合理分配耕地和草地, 使土地利用效率达到最佳, 同时, 延伸农村—乡镇—城市产业链, 增强市场竞争力, 带动区域经济发展⁽³²⁾。

5 结论

(1) 三江源土地利用类型空间分布除治多北部的部分是未利用土地外, 其他地区都有相应的土地利用类型, 低覆盖度草地主要分布在研究区西北部, 中高覆盖度草地和林地分布在东南部, 水域在三大源区都有分布, 耕地主要在三江源东北部。

(2) 土地利用变化 1980—2015 年, 低、高覆盖度草地、水域、建设用地波动上升, 未利用土地有明显的减少趋势, 35 a 减少了 17.61%, 中覆盖度草地和林地基本保持不变, 草地面积总体增加了 13.45%。1980—1995 年, 草地退化明显, 植被盖度较低, 1995—2000 年, 各项工程实施初期, 土地利用变化不明显。2000—2015 年, 土地利用类型的主要转化方向是未利用土地向中低覆盖度草地转化, 低一级向高一等级草地转化, 植被盖度增加。整个研究期前 15 a (1980—1995 年) 草地退化明显, 主要是由于当地牧民教育资源缺乏, 未意识到草地演替规律, 过度放牧造成草地退化, 后 15 a (2000—2015 年), 由于退耕还林(草)工程及三江源生态保护建设项目的实施, 当地政府组织农牧民合理开发利用土地, 退化草地得到恢复。

(3) 采用 CA-Markov 模型预测三江源土地利用变化趋势, 得出水域基本保持不变, 高、低覆盖度草地、未利用土地、耕地和建设用地面积不断增加, 林地面积减少。

参考文献(References):

- (1) Halmy M W A, Gesser P E, Hicke J F, et al. Land use/land cover change detection and prediction in the North-Western coastal desert of Egypt using Markov-CA (J). *Applied Geography*, 2015, 63: 101–112.
- (2) Guan D J, Li H F, Inohae T, et al. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model (J). *Ecological Modelling*, 2011, 222(20/22): 3 761–3 772.
- (3) Cao Y G, Zhou W, Wang J, et al. Spatial-temporal pattern and differences of land use changes in the Three Gorges Reservoir Area of China during 1975–2005 (J). *Journal of Mountain Science*, 2011, 8(4): 551–563.
- (4) Kamwi J M, Kaetsch C, Graz F P, et al. Trends in land use and land cover change in the protected and communal areas of the Zambezi Region, Namibia (J). *Environmental Monitoring and Assessment*, 2017, 189(5): 242.
- (5) 罗格平, 张爱娟, 尹昌应, 等. 土地变化多尺度研究进展与展望 (J). *干旱区研究*, 2009, 26(2): 187–193. (Luo Geping, Zhang Aijuan, Yin Changying, et al. Progress and prospects of multi-scale evaluation of land change (J). *Arid Zone Research*, 2009, 26(2): 187–193.)
- (6) Veldkamp A, Verburg P H, Kok K, et al. The need for multi-scale approaches in spatial specific land use change modelling (J). *Environmental Modelling and Assessment*, 2001, 6: 111–121.
- (7) Verburg P H, Schot P P, Dijst M J, et al. Land use change modelling: Current practice and research priorities (J). *Geo Journal*, 2004, 61(4): 309–324.
- (8) Brown D G, Pijanowski B C, Duh J D. Modeling the relationships between land use land cover on private lands in the Upper Midwest USA (J). *Journal of Environmental Management*, 2000, 59(4): 247–263.
- (9) Walsh S J, Erlén C M, Holt F L, et al. Pressure on the cuyabeno wildlife reserve: Development and land use/cover change in the Northern Ecuadorian Amazon (J). *World Development*, 2006, 34(10): 1 831–1 809.
- (10) 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局 (J). *地理学报*, 2014, 69(1): 3–14. (Liu Jiyuan, Kuang Wenhui, Zhang Zengxiang, et al. The basic characteristics and spatial pattern of land use change in China since the late 1980s (J). *Journal of Geography*, 2014, 69(1): 3–14.)
- (11) 巩杰, 钱彩云, 钱大文. 1977—2013 年疏勒河中下游土地利用变化与环境响应 (J). *干旱区研究*, 2017, 34(4): 776–781. (Gong Jie, Qian Caiyun, Qian Dawen. Land use change and response of environment in the middle-lower reaches of the Shule River basin during the period of 1977–2013 (J). *Arid Zone Research*, 2017, 34(4): 776–781.)
- (12) 胡蒙蒙, 张军民, 徐丽萍, 等. 基于生态绿当量的玛纳斯河流域土地利用生态效益研究 (J). *干旱区研究*, 2016, 33(5): 996–1 002. (Hu Mengmeng, Zhang Junmin, Xu Liping, et al. Eco-efficient of land use based on ecological green equivalent in Manas River Basin (J). *Arid Zone Research*, 2016, 33(5): 996–1 002.)
- (13) Alley R B, Meese D A, Shuman C A, et al. Abrupt increase in Greenland snow accumulation at the end of the Younger Dryas event (J). *Nature*, 1993, 62: 527–529.
- (14) 范广州, 程国栋. 青藏高原隆升对西北干旱气候形成影响的模拟 (I) 收支及高原动力、热力作用的影响 (J). *高原气象*, 2003, 22(10): 58–66. (Fan Guangzhou, Chen Guodong. Reason analysis of the influence of Qinhai-Xizang Plateau uplifting on arid climate forming in Northwest China (I) Influence on general circulation of atmosphere (J). *Plateau Meteorology*, 2003, 22(10): 58–66.)
- (15) 李凡, 侯光亮, 鄂崇毅, 等. 青藏高原全新世气温序列的集成重建 (J). *干旱区研究*, 2015, 32(4): 717–725. (Li Fan, Hou Guangliang, E Chongyi, et al. Integrated reconstruction of the Holocene temperature series of Qinghai-Tibet Plateau (J). *Arid Zone Research*, 2015, 32(4): 717–725.)
- (16) 焦亮, 赵成章, 祁连山自然保护区山丹马场草地生态系统服务功能价值分析及评价 (J). *干旱区资源与环境*, 2013, 27(12): 47–52. (Jiao Liang, Zhao Chengzhang. The analysis and evaluation on grassland ecosystem service function value of Shandan

- Horse Field in Qilian Mountain National Nature Reserve (J). *Journal of Arid Land Resources and Environment* 2013, 27(12): 47 - 52.)
- (17) Chen J, Sun M B, Chen D, et al. Land use changes and their effects on the value of ecosystem services in the small Sanjiang Plain in China (J). *The Scientific World Journal* 2014: 1 - 7.
- (18) 何晓蕾. 内蒙古新巴尔虎右旗草地生态系统服务功能评价 (D). 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014. (He Xiaolei. Assessment of Grassland Ecosystem Services of Xinbaerhu (D). Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University 2014.)
- (19) 王敏. 青藏高原地区土地利用变化动态监测研究 (D). 兰州: 兰州大学, 2015. (Wang Min. Dynamic Monitoring of Land Use Change on Tibetan Plateau (D). Lanzhou: Lanzhou University, 2015.)
- (20) 邵全琴, 樊江文, 刘纪元, 等. 三江源生态保护和建设一期工程生态成效评估 (J). *地理学报*, 2016, 71(1): 4 - 20. (Shao Quanqin, Fan Jiangwen, Liu Jiuyan, et al. Ecological effect evaluation of ecological rehabilitation and construction phase I project in Sanjiangyuan Nature Reserve (J). *Journal of Geography* 2016, 71(1): 4 - 20.)
- (21) 邵全琴. 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 (J). *地理研究*, 2013, 32(9): 1 646 - 1 656. (Shao Quanqin. Integrated assessment on the effectiveness of ecological conservation in Sanjiangyuan National Nature Reserve (J). *Geographical Research* 2013, 32(9): 1 646 - 1 656.)
- (22) 何玲. 玛沁县天然草地生态系统服务功能价值评价 (J). *安徽农业科学*, 2011, 39(10): 6 045 - 6 047. (He Ling. The evaluation on ecosystem services value of natural meadow in Maqin County (J). *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(10): 6 045 - 6 047.)
- (23) 辛玉春, 杜铁瑛, 辛有俊. 青海天然草地生态系统服务功能价值评价 (J). *中国草地学报*, 2012, 34(5): 5 - 9. (Xin Yuchun, Du Tiejing, Xin Youjun. Evaluation of the natural grassland ecosystem service function value in Qinghai Province (J). *Chinese Journal of Grassland* 2012, 34(5): 5 - 9.)
- (24) 陈春阳, 戴君虎, 王焕桐, 等. 基于土地利用数据集的三江源地区生态系统服务价值变化 (J). *地理科学进展*, 2012, 31(7): 971 - 977. (Chen Chunyang, Dai Junhu, Wang Huantong, et al. Changes of the value of ecosystem services in the Sanjiangyuan region based on land use data (J). *Progress in Geography* 2012, 31(7): 971 - 977.)
- (25) Luo G P, Amuti T, Zhu L, et al. Dynamics of landscape patterns in an inland river delta of Central Asia based on a cellular automata-Markov model (J). *Region Environment Change*, 2015, 2: 277 - 289.
- (26) 郑青华, 罗格平, 朱磊, 等. 基于 CA-Markov 模型的伊犁河三角洲景观格局预测 (J). *应用生态学报*, 2010, 21(4): 873 - 882. (Zheng Qinghua, Luo Geping, Zhu Lei, et al. Prediction of landscape patterns in Ili River Delta based on CA-Markov model (J). *Chinese Journal of Applied Ecology* 2010, 21(4): 873 - 882.)
- (27) 王根绪, 郭晓寅, 程国栋. 黄河源区景观格局与生态功能的动态变化 (J). *生态学报*, 2002, 22(10): 1 588 - 1 598. (Wang Genxu, Guo Xiaoyin, Cheng Guodong. Dynamic variations of landscape pattern and the landscape ecological functions in the source area of the Yellow River (J). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(10): 1 588 - 1 598.)
- (28) 潘竟虎, 刘菊玲. 黄河源区土地利用和景观格局变化及其生态环境效应 (J). *干旱区资源与环境*, 2005, 19(4): 70 - 74. (Pan Jinghu, Liu Juling. Land use change and its impact in the eco-environment on the Yellow River source region during the past 15 years (J). *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2005, 19(4): 70 - 74.)
- (29) 修丽娜, 刘湘南. 天津市土地利用变化及其影响因素分析 (J). *贵州农业科学*, 2011, 39(3): 131 - 134. (Xiu Lina, Liu Xiangnan. Analysis on land utilization variation and influencing factors in Tianjin (J). *Guizhou Agricultural Sciences*, 2011, 39(3): 131 - 134.)
- (30) 赵丰钰, 冯俊义. 青藏高原退耕还林(草) 地鼠害防治技术研究 (J). *中国森林病虫*, 2003, 22(5): 17 - 19. (Zhao Fengyu, Feng Junyi. Control techniques against rats on the cropland closed for forest or grass in Qinghai-Xizang Plateau (J). *Forest Pest and Disease* 2003, 22(5): 17 - 19.)
- (31) 王闰平, 陈凯. 中国退耕还林还草现状及问题分析 (J). *中国农学通报*, 2006, 22(2): 405 - 409. (Wang Runping, Chen Kai. Analysis of the situation and problems in reverting farmland to forests and grassland in China (J). *Chinese Agricultural Science Bulletin* 2006, 22(2): 405 - 409.)
- (32) 杨殿林, 王农, 乌云格日勒. 农牧耦合生态农业发展对策与建议 (J). *黑龙江畜牧兽医*, 2007(11): 1 - 3. (Yang Dianlin, Wang Nong, Wuyun Gerile. Countermeasures and suggestions on development of ecological agriculture in convergence of farming and animal husbandry (J). *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine* 2007(11): 1 - 3.)
- (33) 张源, 张忠孝, 马青. 基于生态足迹的青海省生态可持续发展测度与评价 (J). *经济论坛*, 2011(8): 132 - 133. (Zhang Yuan, Zhang Zhongxiao, Ma Qing. Measurement and evaluation of ecological sustainable development in Qinghai Province based on ecological footprint (J). *Economy Forum* 2011(8): 132 - 133.)
- (34) 马丽. 基于生态足迹模型的青海省可持续发展能力定量研究 (D). 兰州: 西北民族大学, 2007. (Ma Li. Quantitative Study on Sustainable Development Capacity of Qinghai Province Based on Ecological Footprint Model (D). Lanzhou: Northwest Minzu University 2007.)
- (35) 钟荣凤. 青海省生态足迹演变动态及驱动力研究 (D). 西宁: 青海师范大学, 2014. (Zhong Rongfeng. Study on the Dynamic and Driving Forces of Ecological Footprint in Qinghai Province (D). Xining: Qinghai Normal University 2014.)
- (36) 丁恒杰, 缙永芳. 青藏高原牧区发展现代草原畜牧业存在的问题与对策 (J). *草业与畜牧*, 2011(5): 53 - 55. (Ding Hengjie, Zhan Yongfang. The development of modern grassland animal husbandry in pastoral areas of Qinghai-Tibet problem (J). *Prataculture & Animal Husbandry* 2011(5): 53 - 55.)

Land Use Change in the Three-River Headwaters in Recent 40 Years

XU Qian^{1,2}, LI Qi¹, CHEN Dong-dong¹, LUO Cai-yuan¹, ZHAO Xin-quan^{1,3}, ZHAO Liang¹

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, Qinghai, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: In this study, the ArcGIS 10.0 spatial statistical analysis and the qualitative and quantitative methods were used to analyze the spatial distribution, dynamic change and future trend of land use/cover change in the three-river headwaters based on the 1:100 000 land use dataset from 1980 to 2015. The purposes of the study were to solve the problems of degeneration of grasslands, soil erosion and environment deterioration in the study area. The results are as follows: ① Land use change was significant during the whole research period. The main land use change was divided into three periods: a degeneration of grasslands occurred during the first 15-year period (1980–1995), the land use change was slow during the second 15-year one (1995–2000), and the degenerated grasslands were regenerated during the last 15-year one (2000–2015); ② During the period from 1980 to 2015, the areas of grasslands with low and high coverage, waters and construction land were enlarged in a fluctuation way, the area of unused land (sandy land, saline land, swamp, etc.) was reduced significantly, the areas of grasslands with moderate coverage and woodlands were basically unchanged, and the total area of grasslands was enlarged by 13.45% and mainly from the reduction of unused land; ③ The land use change was mainly caused by the conversion among grasslands, unused land and waters; ④ The CA-Markov model was used to predict that the total area of waters would be unchanged, the areas of grasslands with high and low coverage, unused land, cultivated land and construction land would be continuously enlarged, but the area of woodland would be reduced; ⑤ The change of population, economic structure and policy were the main reasons affecting land use change, and the supply-demand balance of ecological assets was the driving factor of land use/cover change. Therefore, it was proposed to strengthen the basic cultural construction, conserve the natural grasslands and optimize the land use and production modes so as to promote the sustainable development in the study area.

Key words: land use/cover change; CA-Markov model; trend prediction; supply-demand balance; use type; three-river headwaters