2000–2010年中国退牧还草工程区 土地利用/覆被变化

张海燕^{1,2}, 樊江文^{1*}, 邵全琴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. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要:在3S技术支持下,结合景观格局定量分析方法,基于30 m分辨率的土地利用/覆被数据,对中国退牧还草工程区2000–2010年土地利用/覆被时空分布特征进行研究。通过利用土地利用转移矩阵和动态度来判定土地利用变化的速度和区域差异,并在斑块类型和景观水平上分析研究区景观格局特征,探讨土地利用格局变化的生态效应。结果表明:①近10年来,研究区土地利用/覆被类型以草地和其他类用地为主,整体内部结构稳定少动。草地变化面积仅占2000年草地总面积的0.37%;林地、湿地、耕地和人工表面的面积均有所增加;其他类用地面积有所减少。②全区土地综合动态度均小于0.1%,土地利用/覆被变幅较小,除人工表面较活跃外,其他各类型变化相对缓慢,且各省土地利用区域差异较小。③研究区内景观基质未发生改变,区域景观破碎度递减,景观多样性水平上升,景观聚集度和连续性微弱下降,景观整体保持较完整态势。退牧还草工程的实施使土地利用/覆被结构和景观格局均得以优化。

关 键 词:土地利用/覆被;景观格局;动态变化;退牧还草工程;中国

1 引言

中国拥有各类天然草地近4亿 hm^2 ,居世界第二位,占国土面积的41.7%(苏大学,1996)。草地是中国面积最大的陆地生态系统和绿色生态屏障,具有重要的生态服务功能,起着调节气候、涵养水源、防风固沙、保持水土、改良土壤、增肥地力、净化空气、美化环境等作用(张苏琼等,2006)。草地也是畜牧业发展的重要物质基础和牧区农牧民赖以生存和发展的基本生活生产资料(孙启忠等,2011),对中国畜牧业生产和经济社会可持续发展都具有重要作用。

长期以来,在自然因素和人为因素的综合作用下,中国的草地资源遭受到了严重的破坏,有90%的草地存在着不同程度的退化,严重退化面积达

480万 hm^2 之多(何昌茂,2000),特别是近几十年因人类活动的强烈影响,草地超载、草地退化、沙漠化尤为明显,且每年以草地可利用面积2%的速度加速退化,半干旱地区天然草地退化面积已占75%~95%(王庆锁等,2004)。由于草地生态环境的不断恶化,草地生产力下降,草地生态危机引发的生态问题已经影响到中国的可持续发展及生态安全。为遏制西部地区天然草地加速退化的趋势,促进草地生态修复,党中央、国务院作出重大决策,于2003年正式启动退牧还草工程。退牧还草工程实施后,工程区内草地植被较工程区外和实施前均有明显改善。根据2010年农业部监测结果,工程区平均植被盖度为71%,比非工程区高出12%;草群高度、产草量和可食鲜草产量分别比非工程区高出37.9%、43.9%、49.1%(朱军强,2011)。生物多样性、群落均

收稿日期:2015-03;修订日期:2015-05。

基金项目:国家十二五科技支撑计划项目(2013BAC03B0412);中国科学院西部行动计划项目课题(KZCX2-XB3-08-01)。

作者简介:张海燕(1987-),女,山东潍坊人,博士生,主要研究方向生态遥感与模型应用,E-mail: zhanghy.13b@igsnrr.ac.cn。

通讯作者:樊江文(1961-),男,甘肃陇西人,研究员,博士生导师,主要从事草地生态学研究,E-mail: fanjw@igsnrr.ac.cn。

引用格式:张海燕,樊江文,邵全琴. 2015. 2000-2010年中国退牧还草工程区土地利用/覆被变化[J]. 地理科学进展, 34(7): 840-853. [Zhang H Y, Fan J W, Shao Q Q. 2015. Land use/land cover change in the grassland restoration program areas in China, 2000-2010[J]. Progress in Geography, 34(7): 840-853.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2015.07.006

匀性、饱和持水量、土壤有机质含量具有提高,草地水源涵养、水土保持、防风固沙等生态系统服务功能增强,牲畜超载率大幅下降,草地生态出现积极性变化,草地生态系统呈恢复趋势,退牧还草工程实施的生态效益显著(徐斌等, 2007; 王孝发等, 2012; 罗旭, 2013)。

土地利用/覆被和景观格局反映了土地利用的宏观空间分布规律和各覆被类型之间的空间结构,不仅是决定生态系统服务功能整体状况及其空间差异的重要因素,而且也是人类针对不同区域特征实施生态系统服务功能保护和利用的重要依据(肖笃宁等, 1997; 王仰麟等, 1999; 徐新良等, 2008)。此外,景观格局的生境破碎化还与生物多样性之间存在密切的关系(武晶等, 2014)。长期以来,大多数研究聚焦于退牧还草工程的部分年份局部区域的实施成效,但对全国退牧还草工程综合治理区的土地利用和景观格局动态的定量研究鲜有报道。尤其是近年来,随着中国草地保护和建设力度逐渐加大,人类活动对草地的干预逐步加深,因此对中国退牧还草工程综合治理区的土地利用/覆被空间结构及其景观格局的动态变化深入了解尤为重要。退牧还草工程实施已有10余年,本文以工程区的土地利用/覆被变化及其生态环境效应问题为主要切入点,揭示其景观格局变化规律,并进行影响因子的分析,为退牧还草工程的效果、存在问题及遏制天然草地的退化提供科学建议。

本文以多期多源遥感数据为基础,以3S技术为支撑,结合景观格局量化分析方法,对中国退牧还草工程综合治理区的土地利用/覆被宏观结构和景观格局的时空动态变化进行分析,拟揭示在人类活动和气候变化的共同影响下近10年中国退牧还草工程综合治理区的土地利用/覆被动态变化规律,及土地利用对景观格局和动植物生境产生的影响,以期进一步探讨其产生的生态过程,为评价退牧还草工程生态成效提供科学基础,为区域生态安全、生态恢复、草地可持续发展和草地保护建设工程的实施提供理论和技术支持,具有重要的现实意义。

2 研究区及退牧还草工程概况

自2003年起,中国在内蒙古、四川、云南、西藏、甘肃、青海、宁夏、新疆等8个省区及新疆生产建设兵团启动退牧还草工程。2003–2010年,中国退牧

还草工程区实施范围包括190余县/旗(团场),总面积达319.21万 km^2 ,空间分布如图1所示(部分区县因实施范围太短或中途退出,未包括在内)。根据《全国草原保护建设利用总体规划》中对“全国退牧还草工程”的划分,将全国退牧还草工程综合治理区(以下简称为退牧还草工程区)共分为内蒙古东部退化草原治理区、蒙甘宁西部退化草原治理区、新疆退化草原治理区和青藏高原江河源退化草原治理区4个亚区。退牧还草工程区主要分布在西部的干旱、半干旱和高寒地区,大部分区域年降水量在400 mm以下,包含高寒草甸类、温性荒漠类、高寒草原类等18类天然草地类型,所辖天然草地面积约占中国天然草地总面积的60%。

截至2010年,中央累计投入退牧还草工程资金185.2亿元,共计完成围栏建设任务5158.3万 hm^2 ,其中禁牧围栏2606.5万 hm^2 ,休牧围栏2466.2万 hm^2 ,划区轮牧围栏85.6万 hm^2 ;退化草原补播改良1240.9万 hm^2 ;同时,对工程区实施围栏封育的牧民给予饲料粮补贴。工程实行围栏封育,推行禁牧、休牧、划区轮牧(俗称“三牧”)措施,实现禁牧与休牧相结合、舍饲与半舍饲相结合的生产方式,适当建设人工草地和饲草基地,大力推行舍饲棚圈,使天然草地获得休养生息的机会,促进草原植被的恢复和草原生产力的提高。退牧还草工程的实施,不仅有利于恢复草地植被,改善草地生态环境,而且加快牧区畜牧业生产方式转变,提高畜牧业综合生产能力和生产效益,促进农牧民增收,推动草原承包经营制和各项草原保护建设制度的落实和完善(农

图1 退牧还草工程区空间分布

Fig.1 Spatial distribution of the grassland restoration program areas in China

业部, 2007; 缪冬梅等, 2013)。

3 数据与方法

3.1 数据来源与分类系统

本文所使用的土地利用/覆被分类系统数据来源于全国生态环境十年变化(2000-2010年)遥感调查与评估项目组, 共分为2000、2005和2010年三期数据, 空间分辨率为30 m。该数据基于经大气校正、辐射校正、正射校正和影像镶嵌等处理的季相一致的低、中、中高、高分辨率多源卫星遥感数据解译而成。其中, 遥感影像主要包括覆盖中国退牧还草工程区的2000-2010年的MODIS、2000年和2005年的Landsat TM/ETM数据以及2010年的HJ-1卫星CCD等数据, 并选择受人为干扰影响较小的相应年份1、11、12月份数据。该数据采用高分辨率遥感影像和野外实地调查数据进行解译的精度判定与修正, 并按照“全过程、多层次”的规范化质量控制流程, 利用全国31675个独立地面调查样点, 进行精度独立验证和评估, 全国平均一级分类精度为94%, 二级分类精度达86%以上, 确保了土地利用/覆被数据的精确度(欧阳志云等, 2014; 吴炳方等, 2014)。

本文所采用的土地利用/覆被分类系统主要分为两级: 一级为联合国政府间气候变化框架(IPCC)土地利用/覆被类型, 共6大类; 二级为基于碳收支的LCCS土地利用/覆被类型, 共38类(张磊等, 2014)。该类型的划分主要考虑植被的覆盖、水的覆盖、人类活动、植被生活型等4个划分指标。本文

主要从一级分类对土地利用/覆被进行分析。中国退牧还草工程区所包含的土地利用/覆被类型如下表1所示。

3.2 土地利用变化

运用ArcGIS 10.2软件对研究区2000、2005和2010年三期土地利用/覆被数据, 经空间分析和统计计算得到各类型的面积和构成。运用ENVI 5.1软件对三期土地利用/覆被数据分别作转移矩阵分析(宋翔等, 2009), 得到不同时期之间的土地利用转移矩阵。基于此, 本文采用土地利用转移矩阵、单一土地利用类型动态度和综合土地利用动态度等指数来分析退牧还草工程区土地利用的变化过程。

3.2.1 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵不仅能具体刻画区域某一时间点静态的土地利用结构, 而且还能定量描述初期和末期土地利用各类型相互转化的动态过程信息, 揭示各类型转入转出信息(乔伟峰等, 2013)。土地利用转移矩阵的数学形式为(朱会义等, 2003):

$$S_{ij} = \begin{Bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \cdots & S_{2n} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & \cdots & S_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & \cdots & S_{nn} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

式中: S_{ij} 表示转移前*i*类转换成转移后*j*类的面积; *n*为转移前后的土地利用类型数; *i*和*j*(*i, j*=1, 2, 3, ..., *n*)分别为转移前与转移后的土地利用类型。

3.2.2 土地利用动态度

土地利用动态度不仅可以定量描述区域土地利用变化的速度和区域差异, 而且对未来土地利用

表1 土地利用/覆被分类系统

Tab.1 Lookup table of land use and land cover types in the area of the grassland restoration programs in China

代码	I 级分类	类型含义
1	林地	木本为主的植物群落, 其郁闭度不低于20%, 高度在0.3 m以上, 包括自然、半自然植被, 及集约化经营和管理的人工木本植被。二级分类包括常绿阔叶林、落叶阔叶林、常绿针叶林、落叶针叶林、针阔混交林、常绿阔叶灌木林、落叶阔叶灌木林、常绿针叶灌木林、乔木园地、灌木园地、乔木绿地和灌木绿地。
2	草地	一年或多年生的草本植被为主的植物群落, 在气候不适应季节地面植被全部死亡; 草地覆盖度大于20%以上, 高度在3 m以下; 乔木林和灌木林的覆盖度分别在20%以下, 包括人类对草原保护、放牧、收割等管理状态的土地。二级分类包括草甸、草原、草丛和草本绿地。
3	湿地	一年中水面覆盖在植被区超过2个月或长期在饱和水状态下、在非植被区超过1个月的表面, 包括人工的、自然的表面; 永久性的、季节性的水面; 植被覆盖与非植被覆盖的表面。二级分类包括森林湿地、灌丛湿地、草本湿地、湖泊、水库/坑塘、河流和运河/水渠。
4	耕地	人工种植草本植物, 1年内至少播种一次, 以收获为目的植被覆盖表面。二级分类包括水田和旱地。
5	人工表面	人工建造的陆地表面, 用于城乡居民点、工矿、交通等, 不包括期间的水面和植被; 由于人工表面常与绿地交叉, 在制图单元内, 人工表面占到50%以上面积属于该类。二级分类包括居住地、工业用地、交通用地和采矿场。
6	其他	一年最大植被覆盖度小于20%的地表、冰雪。二级分类包括稀疏林、稀疏灌木林、稀疏草地、苔藓/地衣、裸岩、裸土、沙漠/沙地、盐碱地和冰川/永久积雪。

变化趋势具有预测作用(蔡为民等, 2006)。单一土地利用动态度表达的是某研究区一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况,其表达式为:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: K 为研究时段内某一土地利用类型动态度; U_a 、 U_b 分别为研究初期及研究末期某一土地利用类型的面积; T 为研究时段长, 本文将 T 的时段设定为年, 即 K 表示研究区土地利用类型的年变化率。

研究区的综合土地利用动态度反映区域土地利用变化剧烈程度, 便于在不同空间尺度上找出土地利用变化的热点区域, 其表达式为(朱会义等, 2003):

$$LC = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \right] \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (3)$$

式中: LU_i 为研究初期第 i 类土地利用类型面积; ΔLU_{i-j} 为研究时段内第 i 类土地利用类型转为非 i 类土地利用类型面积的绝对值; T 为研究时段长, 本文将 T 的时段设定为年, 即 LC 表示研究区该时间段内土地利用的年综合变化率。

3.3 景观格局

景观格局研究内容主要集中在空间异质性和时间异质性(张秋菊等, 2003)。景观指数高度浓缩了景观格局信息, 定量反映了景观结构的组成、空间配置和动态变化等特征(邬建国, 2007)。前人已经提出和运用许多指标来进行景观格局分析(布仁仓等, 1999; 张金屯等, 2000; 李秀珍等, 2004; 肖笃宁等, 2010), 用景观指数描述景观格局及变化, 建立土地利用格局与景观过程之间的联系, 也是景观生态学最常用的定量化研究方法(王宪礼等, 1997)。景观指数选择依赖于研究目标、分析尺度和指数所表达的生态学意义等(李秀珍等, 2004), 对土地利用/覆被构成、格局、类型转化特征的评估具有重要的作用, 大部分景观指数之间的相关性高、表征信息重叠(布仁仓等, 2005)。本文根据研究区特点、地理环境因素和研究需要, 结合各指标的生态学涵义, 选取具有代表性且相对敏感度较大的指标, 在斑块类型水平和景观水平上分别选取斑块数目、平均斑块面积、最大斑块指数、边缘密度、平均斑块形状指数、蔓延度指数、香农多样性指数和聚集度指数等指数, 各指数的表达式、生态学意义

及描述见表 2(McGarigal et al, 2002; 陈文波等, 2002)。本文基于上述景观指数, 对研究区 2000-2010 年土地利用景观格局进行分析。首先应用 ArcGIS 10.2 软件将土地利用/覆被数据转化为 GRID 格式的栅格数据, 再运用景观格局分析软件 Fragstats 4.1 逐个计算景观指数。

4 结果与分析

4.1 土地利用/覆被的分布与动态变化特征

4.1.1 土地利用/覆被的构成特征和空间分布

2000-2010 年期间, 退牧还草工程区的土地利用/覆被类型(表 3、图 2)以草地和其他类用地为主, 其次为林地、耕地和湿地, 人工表面的面积所占比例较小。

2010 年其他类用地面积为 153.28 万 km^2 , 占退牧还草工程区总面积的 48.02%。从图 2 可见, 其他类用地以稀疏草地、裸土和沙漠/沙地居多, 其中, 稀疏草地占工程区总面积的 21.25%, 在新疆、西藏、甘肃和内蒙古均有分布; 裸土占工程区总面积的 10.47%, 主要分布在新疆南部与西藏相邻的区域, 新疆、甘肃与内蒙古的交界处也有较多分布; 沙漠/沙地占工程区总面积的 6.65%, 主要分布在新疆境内的塔里木盆地及其周边, 内蒙古西南部的西鄂尔多斯、贺兰山和阴山地区也有大片分布。2010 年草地面积为 104.85 万 km^2 , 占退牧还草工程区总面积的 32.85%。草地包含草甸、草原和草丛三种, 其中草原面积最大, 占草地面积的 69.56%, 主要分布在西藏、内蒙古的西部和北部。2010 年林地面积为 33.19 万 km^2 , 占退牧还草工程区总面积的 10.40%, 主要分布在四川西北部、内蒙古东部地区和西藏南部错那县等。湿地和耕地的面积较小, 分别占退牧还草工程区总面积的 4.00% 和 4.31%, 零散地分布在工程区各县内。人工面积的面积最少, 仅占退牧还草工程区总面积的 0.43%, 且以居住地为主。2000 年与 2005 年各类型的空间分布特征(图 2)与 2010 年相似, 在此不再赘述。

4.1.2 土地利用/覆被的时空变化分析

土地利用/覆被的结构变化可以反映出土地利用动态变化趋势, 各类型间的转化过程分析可应用叠加分析方法, 并以土地利用转移矩阵表达(图 3、表 4-6)。

从表 4 可知, 2000-2005 年, 草地面积略有增加,

表2 景观指数的公式及描述

Tab.2 Formulas and description of the landscape pattern indices

景观指数	公式	公式参变量及描述
斑块数目	$NP = \sum_{i=1}^n n_i$	n_i 为景观类型 i 的斑块数; NP 反映景观格局, 用于描述景观异质性和破碎度, 衡量目标景观的复杂程度; NP 值与景观破碎度成正比, 即 NP 越大, 景观破碎度越高, 反之景观破碎度越小。
平均斑块面积	$MPS = \frac{A}{NP}$	NP 为斑块数量; A 为评价区域总面积。当 MPS 值越大时, 说明斑块面积越大、斑块个数越少, 景观类型的连接性越好。
最大斑块指数	$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} \times 100$	a_{ij} 为第 i 类景观要素第 j 个斑块的面积; LPI 值大小决定了景观的优势类型, 可显示各个类型中最大斑块占研究区总面积的百分比, 同时也说明某景观中能容纳物种数的多少。
边界密度	$ED = \frac{E}{A} \times 10^6$	E 为景观中边界总长度; ED 反映了各景观类型间相互镶嵌的情况, 揭示景观或斑块类型被边界分割的程度; 并从边形特征描述景观破碎化程度, 边界密度越高说明斑块破碎化程度越高。
平均斑块形状指数	$MSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\frac{0.25P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}})}{N}$	当景观中所有斑块均为正方形时, $MSI=1$; MSI 值越大表示斑块的形状越复杂。
蔓延度指数	$CONTAG = 1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[(P_i) \left(\frac{g_{ij}}{\sum_{j=1}^m g_{ij}} \right) \right] [\ln(P_i) (\frac{g_{ij}}{\sum_{j=1}^m g_{ij}})]}{2 \ln(m)}$	P_i 为类型 i 景观类型占总面积的百分比; g_{ij} : 斑块类型 i 与类型 j 之间相邻格网单元数目的比例, 下同。用于测量景观是否由多种要素聚集分布, 反映景观组分的空间配置特征, 当某一个单一类型在景观中占较大比例时, 蔓延度指数就大, 说明同类型的斑块连接性较高。
香农多样性指数	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$	P_i 为类型为 i 景观类型占总面积的百分比; m 为除景观边界出现的, 研究区斑块类型的总数, 下同。 $SHDI$ 值越大, 说明斑块类型增加或各斑块类型所占面积比例趋于相似, 则景观破碎化程度越高。在比较不同时间、空间景观时, 该指数能够直观表达景观格局的差异。
香农均匀度指数	$SHEI = \frac{- \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)}{\ln m}$	$SHEI$ 值越趋于 1, 说明景观中斑块分布越均匀; 值越小, 则说明景观中少数几种斑块类型占优势。
连接度指数	$CONNECT = \frac{\sum_{j=k} C_{ijk}}{n_i(n_i-1)} \times 100$	C_{ijk} 为斑块类 i 中斑块 j 与斑块 k 在用户给定阈值距离内的连接值(连接为 1, 不连接为 0), n_i 为景观中斑块类 i 的斑块数。连接度指数记录了给定斑块数下的最大可能连接的百分数。
聚集度指数	$AI = [\sum_{i=1}^m (\frac{g_{ij}}{g_{ij\max}}) \times P_i] \times 100$	$g_{ij\max}$ 为同种斑块类型 i 的所有像元之间最大邻接数, $g_{ij\max} = Ai - n^2$, 式中, A_i 为第 i 类斑块的总面积, n 为正方形的边长。反映不同斑块类型的随机性或聚集程度, 其值越大表示同类斑块的聚集度越高。

表3 退牧还草工程区土地利用/覆被一级类型构成

Tab.3 Level I category of the land use/land cover in the area of the grassland restoration programs in China

年份	统计参数	林地	草地	湿地	耕地	人工表面	其他
2000	面积/万 km ²	33.06	105.24	12.25	13.04	1.07	154.55
	比例/%	10.36	32.97	3.84	4.09	0.34	48.42
2005	面积/万 km ²	33.12	105.40	12.40	13.40	1.20	153.71
	比例/%	10.37	33.02	3.88	4.20	0.38	48.15
2010	面积/万 km ²	33.19	104.85	12.77	13.75	1.37	153.28
	比例/%	10.40	32.85	4.00	4.31	0.43	48.02

其中其他类用地转变为草地的面积最大, 占转变为草地总面积的 68.79%; 耕地转变为草地的面积次之, 占转变为草地总面积的 19.48%; 湿地转变为草

地的面积第三, 占转变为草地总面积的 8.46%。同时, 2000-2005 年间, 仍有部分草地向其他各类土地利用/覆被类型转变, 其中, 草地转为耕地的面积最

图2 2000、2005、2010年退牧还草工程区土地利用/覆被二级类型空间分布图

Fig.2 Land use/land cover in the area of the grassland restoration programs in China in 2000, 2005, and 2010

图3 2000-2010年退牧还草工程区土地利用/覆被一级类型变化空间分布图

Fig.3 Dynamic change of land use/land cover in the area of the grassland restoration programs in China, 2000-2010

表4 2000-2005年退牧还草工程区土地利用/覆被一级类型转移矩阵/km²

Tab.4 Transfer matrix of land use / land cover in the area of the grassland restoration programs in China/km², 2000-2005

土地利用/覆被类型	林地	草地	湿地	耕地	人工表面	其他	2005年合计
林地	329405	444	56	521	8	723	331157
草地	262	1045398	727	1675	19	5914	1053995
湿地	31	1129	120705	167	3	1923	123958
耕地	742	3801	287	126887	76	2197	133990
人工表面	51	527	72	438	10599	308	11995
其他	103	1127	625	741	4	1534483	1537083
2000年合计	330594	1052426	122472	130429	10709	1545548	3192178

表5 2005-2010年退牧还草工程区土地利用/覆被一级类型转移矩阵/km²

Tab.5 Transfer matrix of land use/land cover in the area of the grassland restoration programs in China/km², 2005-2010

土地利用/覆被类型	林地	草地	湿地	耕地	人工表面	其他	2010年合计
林地	329817	527	15	522	9	1054	331944
草地	68	1043977	1141	840	27	2481	1048534
湿地	165	3977	122040	187	1	1332	127702
耕地	558	3203	210	131528	135	1826	137460
人工表面	74	695	54	544	11815	508	13690
其他	475	1616	498	369	8	1529882	1532848
2005年合计	331157	1053995	123958	133990	11995	1537083	3192178

表6 2000-2010年退牧还草工程区土地利用/覆被一级类型转移矩阵/km²

Tab.6 Transfer matrix of land use/land cover in the area of the grassland restoration programs in China/km², 2000-2010

土地利用/覆被类型	林地	草地	湿地	耕地	人工表面	其他	2010年合计
林地	328607	794	50	980	15	1498	331944
草地	131	1037537	1527	2063	34	7242	1048534
湿地	173	4728	119405	333	4	3059	127702
耕地	1249	6552	445	125265	169	3780	137460
人工表面	123	1225	129	915	10480	818	13690
其他	311	1590	916	873	7	1529151	1532848
2000年合计	330594	1052426	122472	130429	10709	1545548	3192178

大,占草地转出总面积的54.08%;其次是草地转为湿地和其他类用地,分别占草地转出总面积的16.06%和16.04%。

从表5可知,2005-2010年间,草地面积略有减少,其中其他类用地转变为草地的面积仍为最大,占转变为草地总面积的54.44%;湿地转变为草地的面积次之,占转变为草地总面积的25.04%;耕地转变为草地的面积第三,占转变为草地总面积的18.43%。同时,在2005-2010年期间,仍有部分草地向其他各类土地利用/覆被类型转变,其中,草地转为湿地的面积最大,占草地转出总面积的39.70%;其次是草地转为耕地,占草地转出总面积的31.97%。

从表6可知,2000-2010年期间,退牧还草工程区其他类用地呈现减少趋势,减少12700 km²;草地

面积基本保持不变,变化面积仅占2000年草地总面积的0.37%;湿地、林地、耕地和人工表面总体持衡,略有增加。其中,耕地增加面积最大,增加7031 km²,占2000年耕地总面积的5.39%;人工表面增幅最大,增加2981 km²,占2000年人工表面总面积的27.84%。其他类用地转出面积为16397 km²,以转变为草地、湿地和耕地为主,转为草地的面积为7242 km²,占转出总面积的44.17%;其他类用地转入面积为3697 km²,以草地类型转入为主,转入面积为1590 km²,占转入总面积的43.01%。草地减少面积为3892 km²,仅占2000年草地总面积的0.37%,其中由其他各类用地转为草地面积为10997 km²,草地转出为其他各类用地的面积为14889 km²。湿地面积共增加5230 km²,增幅为4.27%,转出总面积为3067 km²,主要转为草地;转

入总面积为8297 km²,以草地和其他类用地转入为主。林地面积略有增加,由其他各类用地转变为林地的总面积为3337 km²,主要来源于其他类用地,而由林地转变为其他各类用地的总面积为1987 km²,主要是林地转变为耕地,因此林地面积净增加1350 km²。

从土地利用/覆被一级类型变化空间分布上看(图3),2000-2005年类型变化较大的区域主要集中在新疆北部的准噶尔盆地西南边缘、阿尔泰山西南部和塔里木河流域,内蒙古东北部的呼伦贝尔草原及其周边区域。新疆北部的草地面积增加1633 km²,比全区草地净增加总面积1569 km²还要高,其主要由其他类用地转化而来;内蒙古自治区的耕地面积增加4727 km²,占全区耕地增加总面积的66.55%,主要由草地转化而来。2005-2010年类型变化较大的区域仍主要集中在新疆北部地区和内蒙古东北部。新疆北部草地面积减少2334 km²,占全区草地减少总面积的42.74%,主要转为耕地;内蒙古自治区草地减少402 km²,占全区草地减少总面积的7.36%,主要转为人工表面。

4.1.3 土地利用动态变化分析

为更好地反映退牧还草工程区土地利用/覆被总体变化状况和空间差异,本文利用土地利用动态度分别以土地利用/覆被各一级类型、各省和全区为分析单元,计算退牧还草工程区2000-2005、2005-2010和2000-2010年3个时段内的土地利用年动态度。研究区内的土地利用动态度用单一土地利用动态度(年变化率)和综合土地利用动态度(年综合变化率)来表示。单一土地利用动态度为正值时表示某类型面积增加,为负值时表示该类型面积减少;用单一土地利用动态度的绝对值可以衡量某种土地利用类型的变化幅度。应用综合土地利用动态度除了可描述区域的土地利用变化程度外,并可进一步对比分析区域和各省的变化情况。

从表7可见,近10年来,研究区内各类型的年变化率均小于3%。从单一土地利用类型动态度来看,自2000-2010年,人工表面的动态度最高,年变化率接近3%;草地的年变化率为-0.037%,绝对值最低,且呈现先增加后减少的轻微变化趋势,面积总体持衡;林地呈轻微增加趋势,变化值较少;湿地呈现增加趋势,且后5年增幅大于前5年;耕地一直平稳增加,年增长率在0.5%上下浮动;其他类用地逐年减少,年变化率为-0.082%。

从各区综合土地利用动态度来看(表8),云南、宁夏和新疆三省区所辖退牧还草工程区的综合土地利用动态度较高,其中宁夏退牧还草工程区的年综合变化率最高,2000-2005年年综合变化率达到0.469%,后5年逐渐变低。内蒙古、四川、西藏、甘肃和青海五省退牧还草工程区的综合土地利用动态度较小,均小于0.1%。总体而言,退牧还草工程区所辖各省区的土地利用呈现较稳定的态势。

从全区来看,退牧还草工程区域年综合变化率均小于0.1%,说明研究区的土地利用各类型变化相对缓慢,宏观结构稳定少动。

4.2 景观格局分析

4.2.1 斑块类型水平上的景观指数

2000-2010年,退牧还草工程区土地利用/覆被在斑块类型水平上的景观指数(表9)呈现如下特征:

表7 2000-2010年退牧还草工程区各类型土地利用变化动态度

Tab.7 Land use dynamic degree of different types in the area of the grassland restoration programs in China, 2000-2010

土地利用类型	不同时期土地利用年动态度/%		
	2000-2005	2005-2010	2000-2010
林地	0.034	0.048	0.041
草地	0.030	-0.104	-0.037
湿地	0.243	0.604	0.427
耕地	0.546	0.518	0.539
人工表面	2.402	2.826	2.784
其他	-0.110	-0.055	-0.082

表8 2000-2010年退牧还草工程区各区域土地利用变化动态度

Tab.8 Land use dynamic degree of various regions in the area of the the grassland restoration programs in China, 2000-2010

区域	不同时期土地利用年动态度/%		
	2000-2005	2005-2010	2000-2010
内蒙古	0.051	0.063	0.047
四川	0.016	0.026	0.021
云南	0.005	0.761	0.402
西藏	0.024	0.016	0.019
甘肃	0.047	0.056	0.047
青海	0.017	0.013	0.014
宁夏	0.469	0.178	0.294
新疆	0.188	0.154	0.147
区域综合	0.077	0.072	0.065

表9 2000-2010年退牧还草工程区斑块类型水平上的景观指数

Tab.9 Class level pattern index in the area of the grassland restoration programs in China, 2000-2010

景观指数	年份	林地	草地	湿地	耕地	人工表面	其他
斑块个数/个	2000	24766	34308	28476	11207	6898	28076
	2005	24831	34172	28362	11109	7536	28072
	2010	24900	33726	29095	10971	8180	28198
平均斑块面积/hm ²	2000	1334.87	3067.58	430.09	1163.82	155.25	5504.87
	2005	1333.64	3084.38	437.06	1206.14	159.17	5475.50
	2010	1333.11	3108.98	438.91	3108.98	167.36	5436.02
最大斑块指数/%	2000	0.6585	2.4478	0.0286	0.0767	0.0009	4.3782
	2005	0.6588	2.4468	0.0286	0.0769	0.0011	4.3462
	2010	0.6587	2.4373	0.0288	0.0743	0.0013	4.3166
边缘密度	2000	0.2916	0.7784	0.1605	0.1308	0.0235	0.5474
	2005	0.2923	0.7772	0.1606	0.1316	0.026	0.5493
	2010	0.2935	0.7726	0.1656	0.1317	0.029	0.5511
平均斑块形状指数	2000	1.2153	1.2574	1.1302	1.2334	1.0463	1.2370
	2005	1.2155	1.2567	1.1313	1.233	1.0481	1.2381
	2010	1.2163	1.2566	1.1333	1.2338	1.0528	1.2383

(1) 分布特征。从平均斑块面积来看,数值较高的类型是草地和其他类用地,说明研究区域内这两种类型的连接性优于其他各类覆被类型。从最大斑块指数上来看,其他类用地数值最高,草地数值次之,说明该研究区域内土地利用/覆被类型分布最多的是其他类用地和草地。从边缘密度来看,草地最高,人工表面最低,但各土地利用/覆被类型数值均小于1,说明该研究区域内各类型之间镶嵌程度较好。从平均斑块形状指数来看,各类型的值均接近于1,其中人工表面的值最接近于1,说明研究区内各类型的斑块形状都较简单。

(2) 变化特征。草地和耕地的斑块数目减少,林地、湿地、人工表面和其他类用地的斑块数据增加,其中人工表面的斑块数量增幅最大,10年间增加1282个,占2000年数量的18.59%,其他各覆被类型的斑块数量变化幅度不大。草地在斑块数目减少的同时,平均斑块面积和边缘密度增大,表明草地破碎程度减少,斑块之间连接性变好,景观趋向于完整。各类型的最大斑块指数均无明显变化。边缘密度除草地呈减少趋势,其他各类覆被类型均呈现增加趋势,且人工表面增幅最高。各类型平均斑块形状指数变化均不明显,说明各类斑块的形状复杂程度并未改变。

4.2.2 景观水平上的景观指数

2000-2010年,退牧还草工程区土地利用/覆被

在景观水平上的景观指数(表10)呈现如下特征:

(1) 景观向着破碎化的方向发展,但破碎化程度较低。最大斑块指数值较低,且逐年下降,说明单一景观的优势度减弱,景观中所容纳的物种数会相应增多。边缘密度呈轻微上升趋势,研究区内各类型斑块有被改造成较小斑块的现象。

(2) 景观多样性呈增长趋势。香农多样性指数可用于描述斑块类型的多少和各类型在空间上分布的均匀程度,表征景观中斑块的复杂性、类型的齐全程度或多样性状况(曾加芹等,2008)。从表10可见,2000-2010年,研究区香农多样性指数呈增加趋势,从1.2267增加到1.2409,说明景观由一个和几个主要因素控制的程度在降低,景观的异质性在逐渐提高,景观向着多样化发展;香农均匀度指数逐年增大,且逐渐趋向于1,表明该区各类型分配更

表10 2000-2010年退牧还草工程区景观水平上的景观指数

Tab.10 Landscape level pattern index in the area of the grassland restoration programs in China, 2000-2010

景观指数	2000年	2005年	2010年
最大斑块指数/%	4.3782	4.3462	4.3166
边缘密度	0.9661	0.9685	0.9718
蔓延度/%	44.9433	44.6799	44.3283
香农多样性指数	1.2267	1.2331	1.2409
香农均匀度指数	0.6846	0.6882	0.6926
聚集度指数/%	76.5996	76.5422	76.4653

加均匀,景观多样性水平上升,较好实现了景观类型的演替。

(3) 景观聚集度和连续性下降趋势较微弱。本文主要应用蔓延度指数和聚集度指数(AI)来测定景观各类型之间的聚集性和连续性。2000-2010年,研究区的蔓延度指数和聚集度指数均表现下降趋势,表明研究区景观相同类型斑块间聚集程度越来越低,而不同类型斑块团聚程度越来越高。

5 讨论

土地利用/覆被类型的空间格局与演变受气候因素和人类活动的双重影响。在空间尺度上,水热因子等气候因素决定了景观格局,其改变也就不可避免地会引起相应区域的景观格局改变(吴健生等, 2012);人类活动则会直接或者间接地对景观格局产生深刻影响(Lambin, 1997)。本文主要选取了气温、降水、生态工程、人类扰动指数、人口和经济因素等方面进行了分析。

5.1 气候暖湿化趋势有利于土地利用格局转好

利用国家气象台站的数据进行空间插值,分析研究区近10年来的气温和降水变化,如图4所示。近10年来,研究区年均温为1.89℃,年降水量为341.01 mm。年均温呈上升趋势,倾斜率为0.063℃/a;年降水量呈上升趋势,倾斜率为0.726 mm/a。气候暖湿化的变化趋势,不仅直接给予草地植被水热因子的补充,促进植被的生长,而且扩大了湿地的面积,有利于区域水分条件的好转。

5.2 人类活动阶段性地影响局部景观格局

近期土地利用动态度呈现降低趋势,景观也呈

现完整态势,草地被大范围侵占的现象得到遏制。除环境因子外,人类的生态保护与建设工程可能对研究区景观格局产生了积极的影响。例如,退牧还草工程中的围栏封育建设,禁牧、休牧和划区轮牧等措施不仅有效提高了草地产草量,减轻了草地草畜压力,同时遏制草地进一步遭到破坏,有利于土地利用/覆被结构的优化发展和景观格局的合理分布。此外,生态建设用地占用耕地使局部区域耕地减少,以林、草为主的植被恢复工程,如2000年以来实施的退耕还林还草工程等,促进部分区域耕地向草地的转化,这与20世纪80年代以来中国耕地总体变化规律一致(Liu et al, 2014)。

但是土地利用/覆被的某些类型和局部区域仍有变化,主要发生在草地、耕地、湿地和其他类用地四类的相互转化上;区域变化主要集中新疆、内蒙古和宁夏所属的退牧还草工程区内。基于土地利用程度模型,前人运用人类扰动指数反映区域的人类扰动程度(Zhao et al, 2015),从2000-2010年中国生态系统综合人类扰动指数分布可见,研究区人类扰动指数集中在0.2~0.4之间,多年均值约为0.34;人类指数高值主要集中在新疆塔里木盆地周边、内蒙古东部呼伦贝尔草原及中部和宁夏的中东部地区,与土地利用/覆被动态变化大的区域相吻合。

根据全国分县统计年鉴,研究区总人口从2000年的2514.11万增至2010年的2777.43万,增幅为10.47%;10年间研究区的经济强度有了大幅增长,从2000年的3.79万元/km²增至2010年的25.55万元/km²,增长部分是2000年经济强度的5.74倍。受经济效益驱使,农牧民可能在荒地、盐碱地及河漫滩地进行农业开垦,这也导致了其他类用地向耕地

图4 2000-2010年退牧还草工程区气温和降水的变化图

Fig.4 Spatial pattern of change of the mean annual temperature and precipitation in the study area, 2000-2010

的转变。人口的增长,经济的发展,农业投入增加,土地利用程度逐步提高,产生的农田弃耕、草地开垦、人口增长等人类活动的影响,导致局部地区仍有草地开垦或耕地撂荒,草地被侵占为建设用地,进而导致草地退化为裸土地、沙地、盐碱地等,从而使局部地区土地利用/覆被结构发生变化。如新疆阿克苏河流域2000-2010年间土地利用类型发生较大变化的是耕地和建设用地的急剧增加,草地面积下降趋势也较明显(王生霞等,2012)。耕地开垦速度的加快,不仅破坏草地和植被,而且还造成草地植被分散与农田镶嵌分布的格局,造成草地格局连接度小、形状复杂、聚集程度降低。同时,草地被开垦为农田,农耕活动破坏了草地的原生植被组成,使草地表层土壤产生松散,极易被风侵蚀;同时由于开垦使得草地面积缩小,也间接增加草地载畜压力,这种连锁反应会加重草地沙化。随着人口的增长和经济的发展,人为对景观的干预能力将不断加强,但对生态脆弱区需谨慎对待。

6 结论

退牧还草工程是国家改善草地生态环境和促进牧区社会经济持续发展的重大战略举措,其核心是提高工程区的生态效益,遏制草地退化。本文应用3S技术,通过对中国退牧还草综合治理工程区2000-2010年的土地利用/覆被和景观格局进行分析,定量地展示了土地利用/覆被与景观格局的变化特征,探讨研究区土地利用/覆被的动态变化规律,主要结论如下:

(1) 2000-2010年,研究区的土地利用/覆被类型以草地和其他类用地为主,其中草地以草原面积最大,主要分布在西藏、内蒙古的西部和北部;其他类用地以稀疏草地为主,在新疆、西藏、甘肃和内蒙古均有分布。近10年,从整体上看,研究区土地利用/覆被宏观结构稳定少动,各土地利用/覆被类型变化相对缓慢,草地面积总体保持不变,局部地区存在着相互转类过程,减少的草地主要转向耕地,增加的草地主要来源于其他类用地和湿地;林地、耕地、湿地和人工表面面积略有增加;其他类用地面积有所减少,主要转向草地、耕地和湿地。全区各类型转化幅度较小,但局部地区转换仍较大,主要集中在新疆北部其他类用地向草地和草地向耕地的转化,内蒙古东部草地向耕地和人工表面的转化。

(2) 研究区内土地利用各类型年变化率均小于3%,所辖八省区土地利用年综合变化率均小于0.8%,全区土地利用年综合变化率均小于0.1%,区域结构较稳定,土地利用/覆被类型变化相对缓慢,其中人工表面的利用动态度最高,草地的年变化率较低,且呈现先增加后减少的轻微变化;虽整体变化缓慢,但局部地区如云南、宁夏和新疆的部分区域综合土地利用动态度较高。

(3) 2000-2010年,研究区景观基质未发生改变,始终以其他类用地和草地为主导类型,且两者的平均斑块面积和最大斑块指数都较高。全区景观破碎化程度减缓,景观聚集度和连续性下降但不明显,景观多样性更加丰富,景观整体保持较完整态势。

本文定量地揭示了退牧还草工程区的土地利用和景观格局变化规律,在气候变化和人类活动的双重影响下,分析土地利用格局特征的生态效应,为退牧还草工程的继续实施提供理论支持,对草地资源的保护提供指导意义。今后,可以结合全国主体功能区划和“十三五”规划,更好地确定草地的功能定位,因地制宜地实施和巩固退牧还草工程,并与草地生态保护补助奖励政策有效衔接,合理确定载畜量,保护天然草地,遏制草地退化,改良已退化草地,提高草地生产力,着力发展生态牧业,促进草地畜牧业的可持续发展,强化草地生态系统的服务功能。

参考文献(References)

- 布仁仓, 胡远满, 常禹, 等. 2005. 景观指数之间的相关分析[J]. 生态学报, 25(10): 2764-2775. [Bu R C, Hu Y M, Chang Y, et al. 2005. A correlation analysis on landscape metrics[J]. Acta Ecologica Sinica, 25(10): 2764-2775.]
- 布仁仓, 王礼宪, 肖笃宁. 1999. 黄河三角洲景观组分判定与景观破碎化分析[J]. 应用生态学报, 10(3): 321-324. [Bu R C, Wang L X, Xiao D N. 1999. Analysis on landscape elements and fragmentation of Yellow River Delta[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 10(3): 321-324.]
- 蔡为民, 唐华俊, 吕钢, 等. 2006. 景观格局分析法与土地利用转换矩阵在土地利用特征研究中的应用[J]. 中国土地科学, 20(1): 39-44. [Cai W M, Tang H J, Lv G, et al. 2006. Application of approach of landscape pattern analysis and land use conversion matrix in research of land use characteristics[J]. China Land Science, 20(1): 39-44.]

- 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 2002. 景观指数分类、应用及构建研究[J]. 应用生态学报, 13(1): 121-125. [Chen W B, Xiao D N, Li X Z. 2002. Classification, application, and creation of landscape indices[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 13(1): 121-125.]
- 何昌茂. 2000. 面向新世纪牧区畜牧业要大发展: 关于加快发展我国草原畜牧业几个问题的探讨[J]. 四川草地, (2): 1-6. [He C M. 2000. Investigate some questions on speeding up the process of developing the animal husbandry of grassland in China[J]. Journal of Sichuan Grassland, (2): 1-6.]
- 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 等. 2004. 景观格局指标对不同景观格局的反应[J]. 生态学报, 24(1): 123-134. [Li X Z, Bu R C, Chang Y, et al. 2004. The response of landscape metrics against pattern scenarios[J]. Acta Ecologica Sinica, 24(1): 123-134.]
- 罗旭. 2013. 农业部: 退牧还草等生态工程效果显著[J]. 农业环境与发展, (2): 109. [Luo X. 2013. Ministry of Agriculture: remarkable effect of the grassland restoration programs[J]. Agro-Environment and Development, (2): 109.]
- 缪冬梅, 刘源. 2013. 2012年全国草原监测报告[J]. 中国畜牧业, (8): 14-29. [Miu D M, Liu Y. 2013. The grassland monitoring report in 2012[J]. China Animal Industry, (8): 14-29.]
- 农业部. 2007. 农业部全国草原监测报告[J]. 中国畜牧业通讯, (9): 28-33. [Ministry of Agriculture. 2007. The grassland monitoring report in China[J]. China Animal Husbandry Bulletin: (9): 28-33.]
- 欧阳志云, 王桥, 郑华, 等. 2014. 全国生态环境十年变化(2000-2010年)遥感调查评估[J]. 中国科学院院刊, 29(4): 462-466. [Ouyang Z Y, Wang Q, Zheng H, et al. 2014. National ecosystem survey and assessment of China (2000-2010)[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 29(4): 462-466.]
- 乔伟峰, 盛业华, 方斌, 等. 2013. 基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘: 以江苏省苏州市为例[J]. 地理研究, 32(8): 1497-1507. [Qiao W F, Sheng Y H, Fang B, et al. 2013. Land use change information mining in highly urbanized area based on transfer matrix: a case study of Suzhou, Jiangsu Province[J]. Geographical Research, 32(8): 1497-1507.]
- 宋翔, 颜长珍, 朱艳玲, 等. 2009. 黄河源区土地利用/覆被变化及其生态环境效应[J]. 中国沙漠, 29(6): 1049-1055. [Song X, Yan C Z, Zhu Y L, et al. 2009. Land use/cover change and associated effects on eco-environment in source region of Yellow River[J]. Journal of Desert Research, 29(6): 1049-1055.]
- 苏大学. 1996. 1: 1000000 中国草地资源图的编制与研究[J]. 自然资源学报, 11(1): 75-83. [Su D X. 1996. The compilation and study of the grassland resource map of China on the scale of 1: 1000000[J]. Journal of Natural Resources, 11(1): 75-83.]
- 孙启忠, 玉柱, 徐春城. 2011. 我国草业新世纪10年取得的成就和未来10年发展的重点[J]. 草业科学, 28(12): 2215-2220. [Sun Q Z, Yu Z, Xu C C. 2011. The pratacultural achievements in last decade and pratacultural perspectives in next decade in China[J]. Pratacultural Science, 28(12): 2215-2220.]
- 王庆锁, 李梦先, 李春和. 2004. 我国草地退化及治理对策[J]. 中国农业气象, 25(3): 41-44. [Wang Q S, Li M X, Li C H. 2004. Grassland degradation and management measures in China[J]. Agricultural Meteorology, 25(3): 41-44.]
- 王生霞, 丁永建, 叶柏生, 等. 2012. 基于气候变化和人类活动影响的土地利用分析: 以新疆阿克苏河流域绿洲为例[J]. 冰川冻土, 34(4): 828-835. [Wang S X, Ding Y J, Ye B S, et al. 2012. A land use analysis based on the influences of climate change and human activities: a case study in the Aksu River Basin Oasis[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 34(4): 825-835.]
- 王宪礼, 肖笃宁, 布仁仓, 等. 1997. 辽河三角洲湿地的景观格局分析[J]. 生态学报, 17(3): 317-323. [Wang X L, Xiao D N, Bu R C, et al. 1997. Analysis on landscape patterns of Liaohe delta wetland[J]. Acta Ecologica Sinica, 17(3): 317-323.]
- 王孝发, 容旭翔. 2012. 青海省退牧还草工程与思考[J]. 青海草业, 21(2): 32-36. [Wang X F, Rong X X. 2012. Carried out and thinking the project of giving up grazing to return grass and in Qinghai[J]. Qinghai Prataculture, 21(2): 32-36.]
- 王仰麟, 赵一斌, 韩荡. 1999. 景观生态系统的空间结构: 概念、指标与案例[J]. 地球科学进展, 14(3): 235-241. [Wang Y L, Zhao Y B, Han D. 1999. The spatial structure of landscape eco systems: concept, indices and case studies[J]. Advances in Earth Science, 14(3): 235-241.]
- 吴炳方, 苑全治, 颜长珍, 等. 2014. 21世纪前十年的中国土地覆盖变化[J]. 第四纪研究, 34(4): 723-731. [Wu B F, Yuan Q Z, Yan C Z, et al. 2014. Land cover changes of

- China from 2000 to 2010[J]. *Quaternary Sciences*, 34(4): 723-731.]
- 邬建国. 2007. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社. [Wu J G. 2007. *Landscape ecology: pattern, process, scale and hierarchy* (2nd ed.) [M]. Beijing, China: Higher Education Press.]
- 吴健生, 王政, 张理卿, 等. 2012. 景观格局变化驱动力研究进展[J]. *地理科学进展*, 31(12): 1739-1746. [Wu J S, Wang Z, Zhang L Q, et al. 2012. Research progresses on driving forces of the changes of landscape pattern[J]. *Progress in Geography*, 31(12): 1739-1746.]
- 武晶, 刘志民. 2014. 生境破碎化对生物多样性的影响研究综述[J]. *生态学杂志*, 33(7): 1946-1952. [Wu J, Liu Z M. 2014. Effect of habitat fragmentation on biodiversity: a review[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 33(7): 1946-1952.]
- 肖笃宁, 布仁仓, 李秀珍. 1997. 生态空间理论与景观异质性[J]. *生态学报*, 17(5): 453-461. [Xiao D N, Bu R C, Li X Z. 1997. Spatial ecology and landscape heterogeneity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 17(5): 453-461.]
- 肖笃宁, 李秀珍, 高俊, 等. 2010. 景观生态学(第二版)[M]. 北京: 科学出版社. [Xiao D N, Li X Z, Gao J, et al. 2010. *Landscape ecology* (2nd ed.) [M]. Beijing, China: Science Press.]
- 徐斌, 陶伟国, 杨秀春, 等. 2007. 我国退牧还草工程重点县草原植被长势遥感监测[J]. *草业学报*, 16(5): 13-21. [Xu B, Tao W G, Yang X C, et al. 2007. Monitoring by remote sensing of vegetation growth in the project of grassland withdrawn from grazing in counties of China[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 16(5): 13-21.]
- 徐新良, 刘纪远, 邵全琴, 等. 2008. 30年来青海三江源生态系统格局和空间结构动态变化[J]. *地理研究*, 27(4): 829-839. [Xu X L, Liu J Y, Shao Q Q, Fan J W. 2008. The dynamic changes of ecosystem spatial pattern and structure in the Three-River Headwaters region in Qinghai Province during recent 30 years[J]. *Geographical Research*, 27(4): 829-839.]
- 曾加芹, 欧阳华, 牛树奎, 等. 2008. 1985年-2000年西藏地区景观格局变化及影响因子分析[J]. *干旱区资源与环境*, 22(1): 137-143. [Zeng J Q, Ouyang H, Niu S K, et al. 2008. The analysis of the landscape pattern and impact factors in the Tibet region between 1985 and 2000[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 22(1): 137-143.]
- 张金屯, 邱扬, 郑凤英. 2000. 景观格局的数量研究方法[J]. *山地学报*, 18(4): 346-352. [Zhang J T, Qiu Y, Zheng F Y. 2000. Quantitative methods in landscape pattern analysis [J]. *Journal of Mountain Science*, 18(4): 346-352.]
- 张磊, 吴炳方, 李晓松, 等. 2014. 基于碳收支的中国土地覆被分类系统[J]. *生态学报*, 34(24): 7158-7166. [Zhang L, Wu B F, Li X S, et al. 2014. Classification system of China land cover for carbon budget[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 34(24): 7158-7166.]
- 张秋菊, 傅伯杰, 陈利顶. 2003. 关于景观格局演变研究的几个问题[J]. *地理科学*, 23(3): 264-270. [Zhang Q J, Fu B J, Chen L D. 2003. Several Problems about landscape pattern change research[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 23(3): 264-270.]
- 张苏琼, 阎万贵. 2006. 中国西部草原生态环境问题及其控制措施[J]. *草业学报*, 15(5): 11-18. [Zhang S Q, Yan W G. 2006. Problems of grassland ecosystems and their countermeasures in western China[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 15(5): 11-18.]
- 朱会义, 李秀彬. 2003. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. *地理学报*, 58(5): 643-650. [Zhu H Y, Li X B. 2003. Discussion on the index method of regional land use change[J]. *Acta Geographica Sinica*, 58(5): 643-650.]
- 朱军强. 2011. 国家退牧还草工程出台新政策[J]. *中国产业*, (10): 18-19. [Zhu J Q. 2011. Guojia tuimuhuancao gongcheng chutai xin zhengce[J]. *Industry of China*, (10): 18-19.]
- Lambin E F. 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions[J]. *Progress in Physical Geography*, 21(3): 375-393.
- McGarigal K, Cushman S A, Neel M C et al. 2002. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps[EB/OL]. 2003-09-12[2015-05-02]. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- Zhao G S, Liu J Y, Kuang W H, et al. 2015. Disturbance impacts of land use change on biodiversity conservation priority areas across China: 1990-2010[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 25(5): 515-529.

Land use/land cover change in the grassland restoration program areas in China, 2000–2010

ZHANG Haiyan^{1,2}, FAN Jiangwen^{1*}, SHAO Quanqin¹

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Using the 3S (RS, GIS, GPS) technologies, quantitative analysis method of landscape patterns, and the 30 m resolution land use/land cover data, this study examines the spatiotemporal characteristics of land use/land cover change in the grassland restoration areas in China from 2000 to 2010. We apply two parameters land use transfer matrix and land use dynamic degree to explore the speed and regional differentiation of land use change. This study analyzes the characteristics of landscape patterns at the class and landscape levels in the study area and explores the ecological effect of land use pattern and regional ecological processes. The results show that: (1) Grassland, woodland, wetland, farmland, tificial surface, and others were the main landscape types in the study area in the past decade. The ecosystem structure was stable. About 0.37% of the total grassland area in 2000 experienced change in land use/land cover types. The area of woodlands, wetlands, farmlands, and tificial surface expanded. The area of "others" has declined. (2) The dynamic degree of regional land use was less than one percent in the recent ten years. The speed of land use and land cover change was low, and regional differentiation of change between the provinces was small. (3) The matrix of the landscape did not change in the study area. Landscape fragmentation index values decreased progressively; landscape diversity rose continuously; landscape aggregation and continuity decreased slightly; the landscape maintained relative integrity. The grassland restoration program implementation evidently improved the structure and stability of the land use / land cover.

Key words: land use/land cover; landscape pattern; dynamic change; grassland restoration programs; China