

引用格式:周书贵,邵全琴,曹巍.近20年黄土高原土地利用/覆被变化特征分析[J].地球信息科学学报,2016,18(2):190-199. [Zhou S G, Shao Q Q, Cao W. 2016. Characteristics of land use and land cover change in the Loess Plateau over the past 20 years. Journal of Geo-information Science, 18(2):190-199.] DOI:10.3724/SP.J.1047.2016.00190

近20年黄土高原土地利用/覆被变化特征分析

周书贵¹, 邵全琴^{2*}, 曹巍²

1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

Characteristics of Land Use and Land Cover Change in the Loess Plateau over the Past 20 Years

ZHOU Shugui¹, SHAO Quanqin^{2*}, CAO Wei²

1. College of Resource Environment and Tourism, CNU, Beijing 100048, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China

Abstract: Based on the three phases of land use and land cover change spatial data sets for the late 1980s, 2000 and 2008 in the Loess Plateau, we calculated the direction and amplitude of land cover change, land cover condition index and land cover change index, and analyzed the temporal and spatial characteristics of land cover and macro-ecological conditions changes in the Loess Plateau since the late 1980s. The results showed that the average land cover condition index of the Loess Plateau was 24.07 in the last 20 years. Land cover condition of the Rocky Mountain Area was the best, the Valley plain area took the second place, and the Agricultural Irrigation Area had the worst land cover condition. From the late 1980 s to 2000, the major land cover change was the conversion from forest and grassland to farmland, with the ecological grade transformed from the high grade to the low grade. From 2000 to 2008, the main land cover change was the conversion from cultivated land to forest and grassland, and the transition from low coverage grassland to high coverage grassland, with the ecological grade transformed from the low grade to the high grade. In the last 20 years, the land cover condition index and land cover change index indicated that the macro-ecological condition had experienced a slip period (1980 s to 2000 period LCCI-1.08), and then a meliorated period (2000 to 2008 period LCCI 2.66). This transformation was firstly driven by the climate change and population growth, and later was superimposed by the effect of ecological engineering.

Key words: Land use and land cover change index; direction of land cover change; Loess Plateau; land use and land cover change

***Corresponding author:** SHAO Quanqin, E-mail: shaoqq@lreis.ac.cn

摘要: 本文根据黄土高原地区20世纪80年代末、2000年、2008年3期土地利用/覆被空间数据集,计算2个时段(20世纪80年代末-2000年,2000-2008年)土地利用/覆被转类方向及其幅度、土地利用/覆被转类指数、土地利用/覆被状况指数及其变化率,分析黄土高原地区自20世纪80年代末以来土地利用/覆被时空变化特征以及宏观生态状况的变化趋势。结果显示:黄土高原地区近20年来平均土地利用/覆被状况指数为24.07,其中土石山区生态系统综合功能最好,其次为河谷平原区,最差的为农灌区。20世纪80年代末-2000年,黄土高原地区主要土地利用/覆被转类是森林和草地转为耕地,生态级别由高级向低级转移,2000-2008年主要土地利用/覆被转类是耕地转为林地和草地,低覆盖草地转为中高覆盖草地,生态级别由低级向高级转移。近20年来黄土高原地区地覆被状况指数变化以及土地利用/覆被转类指数表明,该区域的宏观生态状况总体上经历了转差(20世纪80年代末-2000年土地利用/覆被转类指数为-1.08),后转好(2000-2008年土地利用/覆被转类指数为2.66)2个过程。这一变化过程前期受区域气候变化以及人口增长共同驱动,后期则叠加了生态工程的影响。

关键词: 土地利用/覆被转类指数;转类方向;黄土高原;土地利用/覆被变化

收稿日期:2015-06-02;修回日期:2015-07-06.

基金项目:国家自然科学基金项目“土地利用/覆被及其对区域气温的影响”(41371409)。

作者简介:周书贵(1990-),男,江苏泰州,硕士,研究方向为土地利用/覆被变化。E-mail: zhoushugui1990@gmail.com

*通讯作者:邵全琴(1962-),女,研究员,研究方向为GIS应用与生态信息分析。E-mail: shaoqq@lreis.ac.cn

1 引言

黄土高原地处半干旱半湿润气候带,生态脆弱,且受地形破碎、土质松散且多空隙、夏季降水集中等自然因素以及过度放牧、滥垦乱伐等人为因素影响,其水土流失严重,荒漠化土地面积、草原退化沙化和碱化面积逐年增加^[1-5]。由于黄土高原地区生态系统的重要性和脆弱性,该地区备受国内研究人员的重视。自20世纪50年代初至80年代,学者们在黄土高原开展了大量水土保持工作,但黄土高原的自然侵蚀过程并没有发生显著变化,侵蚀量增加了近30%,主要是由于人口增长和不合理开垦,以及工矿交通等的建设^[5-7]。随着人口数量的增加,植被被大量破坏,进一步加剧了黄土高原地区的土壤侵蚀。同期黄土高原气温的升高以及降水的减少,导致土壤含水量下降,植被存活率低,地表土质更趋疏松,也是黄土高原生态环境区域恶化的重要原因之一^[8]。近年来,在气候变化和人类活动的共同影响下,黄土高原地区植被处于恢复状态,全区输沙量呈现减少趋势,各种水保措施对水土流失起到了抑制作用^[8-12]。随着植被的恢复,各生态系统土壤保持量呈增加的变化趋势^[13]。尽管如此,黄土高原地区的生态环境保护依旧面临严峻形势,2011年国务院批准了“黄土高原地区综合治理规划大纲(2010-2030年)”(简称“规划”),“规划”参考地形地貌和土壤侵蚀特点并结合区域内自然条件、治理途径等,将黄土高原分为6个分区(图1),针对各个分区因地制宜进行综合治理^[14]。

土地利用/覆被变化(Land-Use and Land-Cover Change, LUCC)是目前全球变化研究的一个前沿和热点领域^[15-17]。土地利用/覆被变化会对地球生物化学圈层的功能、结构和物质能量循环产生影响,与全球生态演变、生物多样性、气候变化等密切相关,关系到人类生存与发展的基础^[18-20]。目前,土地利用/覆被的动态变化过程及其对宏观生态结构影响的研究已成为LUCC的热点之一。土地利用/覆被相关的模型是当前研究LUCC的重要手段,目前常用的模型有动态度模型、邻接度模型、土地利用程度动态变化模型、重要度模型等^[21],但这些模型均不能体现生态系统功能变化的方向,即不能描述土地利用/覆被的转变会导致生态系统功能转好或者转差。为此,国内学者提出了土地利用/覆被指数,以及土地利用/覆被转类指数(Land Cover Change Index, LCCI)^[22]。其中土地利用/覆被指数可

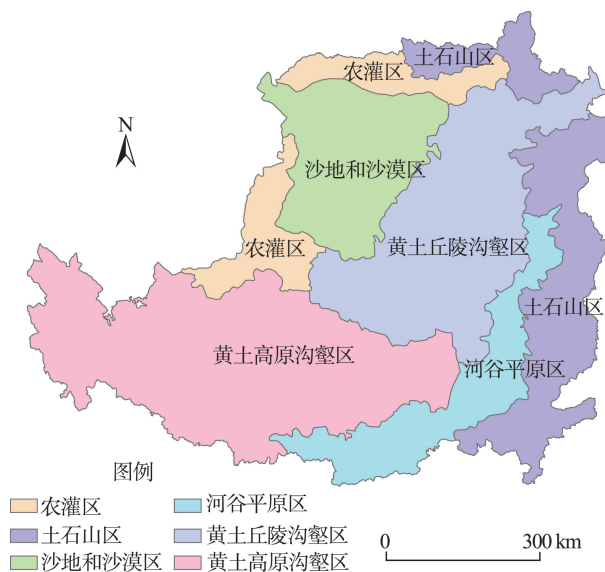


图1 黄土高原地区综合治理区分布

Fig. 1 Location of the integrated management area of the Loess Plateau

描述单期LUCC的生态系统服务功能,但该指数不能描述LUCC变化的生态意义。土地利用/覆被转类指数可刻画LUCC变化的生态意义,但该指数不能描述LUCC转类的幅度与速度以及评价单期LUCC的生态系统服务功能。

本文将利用3期土地利用/覆被数据集,使用转移矩阵的方法,定量描述近20年黄土高原土地利用/覆被的转类方向和幅度大小。通过计算3期LUCC的土地利用/覆被状况指数及其变化率和2个时段土地利用/覆被转类指数,分析黄土高原地区以及“规划”中的各个分区生态系统功能的演化方向和程度;同时,利用二元logistic回归方程,对近20年黄土高原地区土地利用/覆被变化的可能驱动因子进行逐步回归,揭示不同时段土地利用/覆被变化的主要驱动因素,从而对20世纪80年代末以来,黄土高原地区的土地利用/覆被变化情况,以及生态系统状况的变化及其驱动因素取得客观全面的认识,为黄土高原综合治理提供参考。

2 研究数据与方法

2.1 研究数据

2.1.1 土地利用/覆被数据

20世纪80年代末期、2000年以及2008年的3期土地利用/覆被数据由中国科学院地理科学与资源研究所中国科学院资源环境科学数据中心提供,分

分辨率为100 m×100 m。该数据是根据刘纪远等^[23-25]提出的中国土地利用/覆被分类体系,利用黄土高原地区20世纪80年代末期、2000年以及2008年3期TM遥感图像,采用人机交互解译生成,并利用野外调查数据进行验证和纠正,精度可靠。由于分类体系中的部分土地利用/覆被类型在本研究区中并不存在,所以将其剔除,对其余土地利用/覆被类型进行合并调整得到表1。

表1 黄土高原地区土地利用对照表

Tab. 1 Barometer of Land use types in the Loess Plateau

编码	名称	参考文献[23]~[26]中的类型
10	耕地	旱地
20	林地	有林地、疏林地、其他林地
22	灌丛	灌丛
31	高覆盖草地	高覆盖草地(覆盖度>50%)
32	中覆盖草地	中覆盖草地(覆盖度20%~50%)
33	低覆盖草地	低覆盖草地(覆盖度5%~20%)
40	水体和沼泽	河渠、湖、水库、永久冰川雪地、滩地、沼泽
50	居民地	城镇用地、农村居民地、其他
60	沙地、戈壁和裸地	沙地、戈壁、盐碱地、裸地、裸岩石质地
67	荒漠	其他未利用土地

2.1.2 气象数据及其他数据

气象数据来自于中国科学院地理科学与资源研究所中国科学院资源环境科学数据中心,该套数据采用ANUSPLIN对中国以及中国周边地区气象站点的气温和降水数据进行空间插值,得到500 m×500 m的日均温和日降水数据栅格数据集。通过对上述栅格数据集进行裁剪、栅格计算得到黄土高原地区1990~2008年年均温数据和年降水数据。

人口和GDP数据来自于人地系统主题数据库及全国分县统计年鉴。DEM数据采用30 m分辨率的GDEM V2。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用/覆被转类方向与幅度

土地利用/覆被转类方向与幅度主要通过转类矩阵描述。转移矩阵使用式(1)计算:

$$C_{ij} = \Delta S_{ij} / S_i \times 100\% \quad (1)$$

式中: i 和 j 表示矩阵的行和列,不同行列分别代表不同的土地利用/覆被类型; C_{ij} 表示土地利用/覆被类型 i 转变为类型 j 的幅度; ΔS_{ij} 表示2期土地利用/覆被数据中土地利用/覆被类型 i 转变为 j 的面积; S_i

表示前一期土地利用/覆被中 i 类土地利用/覆被类型面积。

2.2.2 土地利用/覆被状况指数

土地利用/覆被状况指数为生态系统服务功能较好的4种土地利用/覆被类型(水体、林地、高覆盖草地、灌丛)的面积占研究区总面积的百分比。该指数可以用来衡量区域生态系统综合功能^[27-28],值越高表明区域生态系统服务功能越好。土地利用/覆被状况指数的计算公式为式(2):

$$Z = \left(\sum_{i=1}^4 C_i / A \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中: Z 为土地利用/覆被状况指数; C_i 表示水体、林地、高覆盖草地、灌丛的面积; A 表示研究区的面积。对 Z 进行分级:[1,20]为5级,(20,40]为4级,(40,60]为3级,(60,80]为2级,(80,100]为1级。级别越接近1,表示生态系统服务功能越好。

土地利用/覆被状况指数变化率可以用来刻画生态系统状况的转变。其定义为式(3):

$$Z_{\text{ratio}} = \frac{(Z_2 - Z_1)}{Z_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中: Z_1 与 Z_2 分别表示前后2期LUCC的土地利用/覆被状况指数; Z_{ratio} 为2期LUCC的土地利用/覆被状况指数的变化率,正值表示生态系统服务功能变好,负值表示变差。

2.2.3 土地利用/覆被转类指数

土地利用/覆被转类指数(LCCI)可以刻画区域土地利用/覆被变化的生态意义。LCCI为正,表明宏观生态趋好,否则趋差。计算LCCI前需先对土地利用/覆被类型进行生态定级,在已合并土地利用/覆被类型的基础上,首先去除受人类活动影响并且变化较为剧烈的居民地,再根据土地利用/覆被类型的自然属性及转类后生态服务功能的升降,对剩余土地利用/覆被类型进行定级。黄土高原地区生态系统主要服务功能是水土保持,本文参考孙文义^[13]等应用修正通用土壤流失方程估算的不同生态系统水土保持服务功能,并考虑了水体对于该地区的植被生长的重要作用^[29],对该地区9种生态系统进行定级,土地利用/覆被的生态级别越接近9级,表明该类型的生态服务功能越好(表2)。

对9种LUCC赋予生态级别之后,将2期已经给定生态级别的LUCC进行相减。结果为负值则表明土地利用/覆被转差,反之表示转好^[28-29]。土地利用/覆被转类指数定义为式(4):

表2 不同LUCC的生态级别
Tab. 2 Ecological level of different LUCC

土地利用/覆被类型	生态级别
沙地、戈壁与裸地	1
荒漠	2
农田	3
低覆盖度草地	4
中等覆盖度草地	5
高覆盖度草地	6
灌丛	7
林地	8
水体和沼泽	9

$$LCCI = \frac{\sum_{k=1}^n A_k \times (D_b - D_a)}{A} \times 100\% \quad (4)$$

式中: $LCCI$ 为 LUCC 转类指数, 正值说明区域 LUCC 以及宏观生态状况趋好, 负值表示转差; k 表示不同的土地利用/覆被类型; A_k 为转类的面积; A 为区域总面积; D_a 、 D_b 为 LUCC 转类前后的生态级别。

2.2.4 Logistic 回归

该方法针对因变量是定性数据进行分析(适用于因变量不是连续变量的情况), 目前已广泛应用于森林砍伐研究^[30]、空间布局模拟^[31]、栖息地研究^[32]等。Logistic 又分为二元 logistic 回归和多元 logistic 回归。其中, 二元 logistic 回归的因变量 y 取值为 1 和 0, p 为事件发生的概率, 取值[0,1]。当 $y=1$ 时 p 为 1, 表示事件发生; $y=0$ 时 p 为 0, 表示事件不发生。将发生和不发生的概率的比值取自然对数, 得到式(5):

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = A + \sum_{i=1}^n B_i \times x_i \quad (5)$$

式中: A 为截距; n 表示解释变量个数; B_i 为变量系数, 表示其他所有自变量固定不变, 某一因素改变一个单位时, 事件发生与不发生的概率之比的对数变化值; x_i 表示变量。

Wald 卡方可用来衡量每个解释变量在模型中的相对重要性, 值越大表示越重要^[33]。本文以不同时段的主要土地利用/覆被变化为因变量, 驱动因子为解释变量, 通过逐步回归剔除不显著的变量, 拟合 logistic 方程, 利用 Wald 卡方值来判断各个驱动因子的重要性, 找出各时段土地利用/覆被变化的主要驱动因素。

3 黄土高原土地利用/覆被变化特征分析

3.1 土地利用/覆被现状

由 2008 年土地利用/覆被数据可知, 黄土高原土地利用/覆被类型以耕地和草地为主(图 2), 其中, 耕地占 32.6%, 中覆盖草地占 19.1%, 低覆盖草地占 14.65%, 三者面积分别为 21.17 万、12.39 万和 9.51 万 km^2 。此外林地、高覆盖草地、沙地戈壁和裸地、灌丛分别占 8.92%、7.58%、6.44%、6.22%。土地利用/覆被类型面积最小的是居民地、水体、沼泽以及荒漠, 总共占 4.49%。

3.2 土地利用/覆被转类方向与幅度

由表 3、4 可看出, 黄土高原地区 20 世纪 80 年代末-2000 年最主要的土地利用/覆被变化为林地和草地转变为耕地。其中, 9.05% 的中覆盖草地及 11.10% 的低覆盖草地转化为耕地, 面积达到 2.19 万 km^2 。9.1% 的耕地转为中覆盖草地和低覆盖草地, 面积为 1.96 万 km^2 。3.4% 的中覆盖草地转为低覆盖草地, 面积达到 0.43 万 km^2 。该时段内, 开垦与退耕同时存在, 全区开垦面积大于退耕面积。其中, 耕地面积净增 0.19 万 km^2 , 而高覆盖草地和中覆盖草地净减少 0.28 万 km^2 。此外, 居民地面积增加 0.12 万 km^2 , 水体面积减少 0.03 万 km^2 。

由表 5、6 可看出, 2000-2008 年土地利用/覆被的主要变化是耕地减少、林地和高覆盖草地面积增

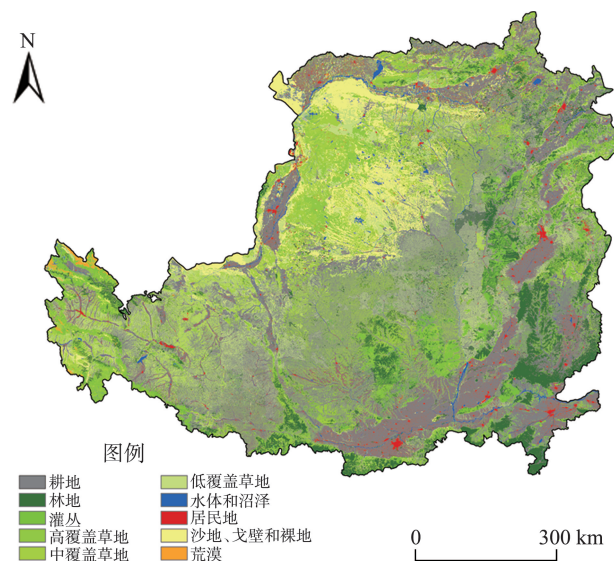


图2 2008年黄土高原地区土地利用/覆被类型图

Fig. 2 Land cover types of the Loess Plateau in 2008

加。其中,0.75%的耕地转变成林地,0.55%的耕地转变成高覆盖草地,面积分别为0.16、0.12万 km²,0.42%的耕地转变为中覆盖草地,面积达到0.09万 km²,0.65%的低覆盖草地转变成高覆盖草地,面积达到0.06万 km²。该时段内耕地面积净减少0.46万 km²,森林面积净增加0.24万 km²,高覆盖草地面积净增加0.12万 km²。

3.3 土地利用/覆被状况指数分析

20世纪80年代末、2000年、2008年整个黄土高原地区土地利用/覆被状况指数分别为24.05、23.65、24.32,近20年黄土高原区域生态系统功能先降低后回升。近20年黄土高原平均土地利用/覆被状况指数为24.07,各个分区的平均土地利用/覆被状况指数由低到高分别是农灌区(15.46)、沙地和沙漠区(19.22)、黄土高原沟壑区(20.59)、黄土丘陵沟壑区(21.08)、河谷平原区(28.07)、土石山区(40.32)(表7)。20世纪80年代末-2000年、2000-2008年2个时段内黄土高原地区土地利用/覆被状况指数变化率分别为-1.68、2.66,20世纪80年代末-2000年整个黄土高原地区生态状况呈转差趋势,2000年以后开始趋好。

从分区角度看(图3),该时段除了黄土丘陵沟壑区,其他分区土地利用/覆被状况指数变化率均为

负值,呈转差趋势。其中,河谷平原区主要土地利用/覆被变化是居民地的扩张,耕地、林地、草地和水体面积减少;农灌区、土石山区、黄土高原沟壑区主要土地利用/覆被变化是耕地面积增加,林地、草地和水体面积减少;沙地和沙漠区主要土地利用/覆被变化为高中覆盖草地、水体、耕地面积减少;黄土丘陵沟壑区主要土地利用/覆被变化是沙地、戈壁和裸地的面积减少,林地和草地面积增加。2000-2008年,所有分区都为正值,呈转好趋势。其中,除了沙地和沙漠区外,其他区域耕地面积减少。所有区域林地、草地、水体面积增加。20年间,土地利用/覆被状况指数变化最剧烈的地区为农灌区、沙地和沙漠区。

3.4 土地利用/覆被转类指数的变化

如图4所示,20世纪80年代末-2000年黄土高原区域整体LCCI为-1.08,主要土地利用/覆被变化为耕地扩张,高覆盖草地减少,宏观生态状况趋差。除了黄土丘陵沟壑区LCCI为正(2.45)外,其他分区LCCI均为负值,其中最低的区域为农灌区(-4.00)以及沙地和沙漠区(-3.58)。该时段内河谷平原区主要土地利用/覆被转类:耕地转居民地,以及草地、林地和水体转为耕地;农灌区、土石山区、黄土高原沟壑区主要土地利用/覆被转类:林地、草

表7 20世纪80年代末-2008年黄土高原地区土地利用/覆被状况指数

Tab. 7 Land use/cover condition index of the Loess Plateau from the late 1980s to 2008

时间	各分区土地利用/覆被状况指数					
	农灌区	沙地和沙漠区	黄土高原沟壑区	黄土丘陵沟壑区	河谷平原区	土石山区
20世纪80年代末	15.96	20.29	20.35	20.38	28.03	40.55
2000年	14.73	18.62	20.31	20.48	27.92	40.02
2008年	15.60	19.00	20.88	21.85	28.18	40.37

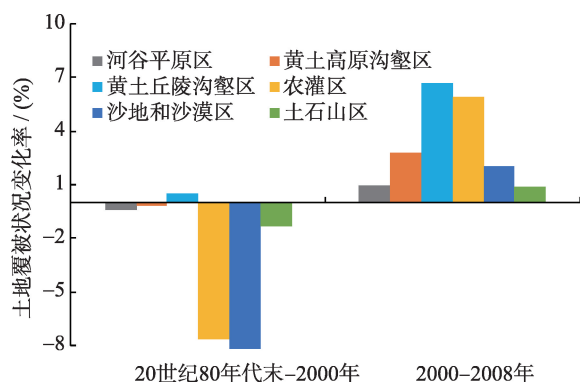


图3 近20年黄土高原各区域土地利用/覆被状况变化率
Fig. 3 The rate of change for land cover condition index of the Loess Plateau over the past 20 years

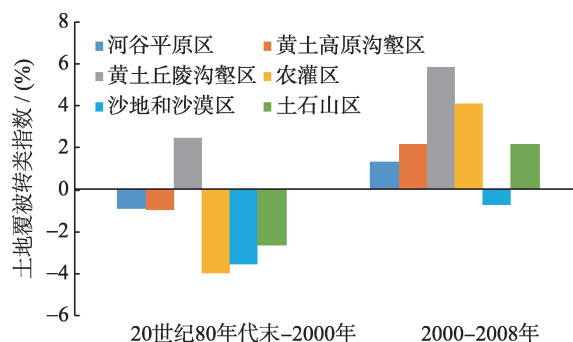


图4 近20年黄土高原各区域LCCI
Fig. 4 The LCCI of each region in the Loess Plateau over the past 20 years

地、水体转为耕地,以及高覆盖草地转为中低覆盖草地;沙地和沙漠区主要土地利用/覆被转类:高中覆盖草地转为低覆盖草地;黄土丘陵沟壑区主要土地利用/覆被转类:沙地、戈壁和裸地转为低覆盖草地。

2000–2008年,耕地面积减少,林地和草地增加,黄土高原地区整体LCCI为2.66,生态状况趋好,除沙地和沙漠区为负值(−0.77)外,其他地区LCCI均为正值。其中,LCCI最高的地区为黄土丘陵沟壑区(5.83),其次为农灌区(4.09)。该时段除了沙地和沙漠区,其他地区主要土地利用/覆被转类为耕地转为林地和草地,以及低中覆盖草地转为高覆盖草地。沙地和沙漠区主要土地利用/覆被转类为低覆盖草地转为沙地、戈壁和裸地。

近20年内,黄土高原地区生态状况在20世纪80年代末–2000年生态状况趋差,而2000–2008年期间迅速趋好,短时间内黄土高原地区宏观生态状况立即出现了一定的恢复趋势,这一方面反映了2000年后该地区退耕还林还草工程对生态恢复起到的巨大作用,也从另一方面说明了人类活动对黄土高原生态系统的深远影响。

4 黄土高原土地利用/覆被变化的主要驱动因素分析

近20年来黄土高原地区土地利用/覆被和宏观生态状况在80年代末–2000年内变差,2000–2008年转好。本文考虑了数据的可获取性和科学性,选择了多年平均气温以及降水、到最近水域的距离、到建设用地的距离、海拔、坡度、坡向、各县人均GDP、人口密度等与土地利用/覆被变化密切相关的因子来分析上述变化的驱动力。通过逐步回归,建立驱动因子与生态系统变化的二元logistic回归方程,揭示黄土高原土地利用/覆被变化的主要驱动因素。上述驱动因子中,坡度(0~90°)、坡向(0~360°)、海拔由30 m分辨率的DEM派生而来,并对坡向进行重新分类:45~135°、135~225°、225~315°、315~45°,分别赋值1–4;到最近水域的距离、到建设用地的距离则是利用ArcGIS空间分析模块从LUCC数据提取得到;各县人口密度及人均GDP数据则由统计年鉴得到;多年平均气温及降水由气象数据插值得到。

20世纪80年代末–2000年,黄土高原土地利用/覆被主要变化为林地和草地向耕地的转换,以及

高中覆盖草地退化为低覆盖草地,因此,将该时段内的林草生态系统的变化作为因变量,如果林地和草地在2个时期内不变值为0,生态级别减小(即林地和草地转为耕地以及草地的退化等)则为1。利用ArcGIS在整个黄土高原地区随机生成2000个满足因变量要求的点,确保0和1的数量大致相等,然后用这些点提取相应位置的驱动因子的值。利用SPSS进行logistic回归方程拟合,并根据Wald卡方统计量来判断各因子的重要性,结果如表8所示。

从表8可看出,20世纪80年代末–2000年人口密度是林地草地面积减少和草地退化的主要驱动因子,该因子的系数为正,说明人口密度每增加一个单位,会使土地利用/覆被生态级别降低的几率增加1倍。根据统计,该时段内黄土高原地区各县市平均人口密度由252人/km²增加到290人/km²^[34],居民地面积由20世纪80年代末期的1.47万km²增加至2000年的1.59万km²。其次重要的因子为降水量,该因子的系数为负值,说明降水量每增加一个单位,会使林地和草地的生态级别减小的机率降低。该时段黄土高原降水量呈降低趋势,斜率为−6.24 mm/a,气温呈上升趋势,斜率为0.045 °C/a(图5、6),气温的升高以及降水的减少,会使土壤含水量下降,从而导致植被存活率低。海拔的高低直接影响到人类活动的范围,由表8可知,海拔的升高、坡度的增加也使得林地和草地生态级别减小的机率降低,可能因为高海拔地区受人类活动的影响相对较小,坡度较缓的地方开垦和放牧相对容易。

2000–2008年,黄土高原土地利用/覆被主要变化为耕地转为林地和草地,其次是低中覆盖度的草地转为高覆盖度草地。其中,耕地转为林地和草地主要受退耕还林还草工程驱动,该工程始于1999年,截至2008年黄土高原地区有2.33万km²严重沙

表8 20世纪80年代末–2000年林地和草地变化
logistic方程(HL=7.610)

Tab. 8 Logistic equation of forest and grassland from the late 1980s to 2000 (HL=7.610)

因子	B	S.E.	Wald	自由度	显著性	Exp(B)
降水量	−0.157	0.036	30.017	1	0.000	0.855
人口密度	0.000	0.000	63.739	1	0.000	1.000
海拔	−0.008	0.001	23.739	1	0.000	0.992
坡度	−0.048	0.015	10.626	1	0.001	0.953
常量	−0.782	0.751	1.085	1	0.297	0.457

注:降水量为20世纪80年代末–2000年年降水量的均值;人口密度是基于各县人口数据计算,时间为20世纪80年代末

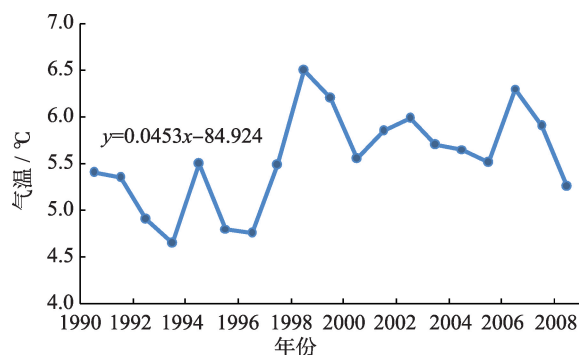


图5 20世纪80年代末-2008年黄土高原地区年平均温度变化

Fig. 5 The annual average temperature change in the Loess Plateau over the past 20 years

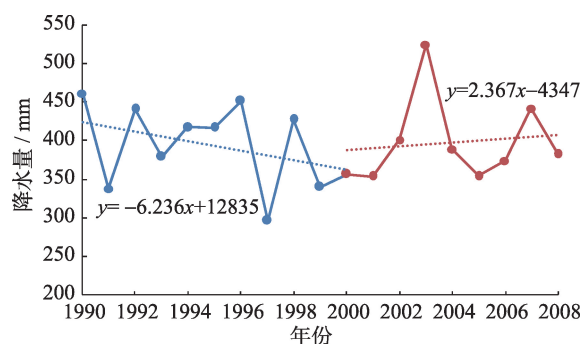


图6 20世纪80年代末-2008年黄土高原地区年平均降水量变化

Fig. 6 The annual mean precipitation in the Loess Plateau area over the past 20 years

化和水土流失严重的耕地还林还草,围栏种草面积达8.87万 km^2 ^[14]。非工程因素方面,本文将该时段内的中低覆盖度的草地变化作为因变量,如果草地在2期内不变值为0,生态级别增大(即由中低覆盖草地转为高覆盖草地)则为1。随机点的生成、驱动因子以及随机点所对应的驱动因子值的提取方式与80年代末-2000年一致。利用SPSS进行logistic回归方程拟合,得到如下结果:

从表9可以看出,降水和温度的系数为正,说明气温与降水量每增加一个单位,会使得草地的生态

表9 2000-2008年草地变化logistic方程(HL=12.171)

Tab. 9 Logistic equation of forest and grassland from 2000 to 2008 (HL=12.171)

因子	B	S.E.	Wald	自由度	显著性	Exp(B)
降水量	0.035	0.008	19.087	1	0.000	1.036
气温	0.410	0.119	11.826	1	0.001	1.507
常量	1.645	1.286	1.637	1	0.201	5.182

注:降水量为2000-2008年年降水量的平均值;气温是2000-2008年年平均温的均值

级别增大的机率增加1.507和1.036倍。该时段内气温和降水量呈上升趋势,斜率分别为 $0.045\text{ }^{\circ}\text{C/a}$, 2.37 mm/a (图5、6)。因此除了生态工程因素外,该时段内的暖湿的气候对植被的恢复起到了促进作用^[35]。

综上,20世纪80年代末-2000年,黄土高原地区降水减少,不利于植被生长,且随着人口增加,对粮食需求的增加,导致该时段内开垦面积增大、森林和草地面积减少,宏观生态状况变差。2000-2008年,黄土高原地区实施了退耕还林还草工程,该时段内耕地面积减少,林地和草地面积增大,并且气候的变化(气温升高、降水增加)有利于植被的恢复,该时段内宏观生态状况转好。

5 结论

本文基于黄土高原20世纪80年代末、2000年和2008年土地利用/覆被数据,分析了黄土高原近20年来土地利用/覆被变化状况及宏观生态变化状况,并结合统计数据分析了这些变化的驱动因素,得到如下主要结论:

(1)20世纪80年代末黄土高原地区土地利用/覆被以耕地为主,面积为21.4万 km^2 ,其次为中覆盖草地和低覆盖草地,面积为22.05万 km^2 ,耕地以及中覆盖草地、低覆盖草地面积占黄土高原地区面积的67.00%。相比20世纪80年代末,截至2008年,耕地面积减少2700 km^2 ,林地和灌丛增加2800 km^2 ,高覆盖草地、中覆盖草地、低覆盖草地面积分别减少1100、1300、200 km^2 。

(2)从分区角度看,20世纪80年代末-2008年黄土丘陵沟壑区生态状况一直趋好,沙地和沙漠区生态状况持续趋差,其他区域2000年之前生态状况趋差,而2000年以后生态状况持续趋好。从整个黄土高原地区看,20世纪80年代末、2000年、2008年土地整个黄土高原地区土地利用/覆被状况指数分别为24.05、23.65、24.32。20世纪80年代末-2000年,2000-2008年,土地利用/覆被转类指数分别为-1.08、2.66。整个黄土高原地区土地利用/覆被和生态状况经历了变差-逐渐转好的变化过程。这一结论与信忠保等^[36]的研究结果(2002年以后植被覆盖进入快速上升时期),以及张宝庆等^[37]的研究结果(1999年以后研究区NDVI年度平均值增加显著,夏、秋两季增长贡献最大)较为一致。

(3)近20年来,黄土高原地区的土地利用/覆被和宏观生态状况的变化过程前期主要由人类活动和气候变化共同驱动,后期则叠加了生态工程的影响。2000年前黄土高原人口迅速增长,导致耕地面积的快速扩张以及林地和草地的减少和退化,且同期的气候变化不利于植被的生长。2000年后,黄土高原地区实施退耕还林还草工程,耕地大幅度减少、林地和高覆盖草地面积增加,且该时段内气候变化对植被的恢复起到了积极作用。

致谢:中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院资源环境科学数据中心提供了黄土高原LUCC数据以及气象插值数据,在此表示衷心的感谢!

参考文献(References):

- [1] 李锐,杨文治,李壁成,等.中国黄土高原研究与展望[M].北京:科学出版社,2008. [Li R, Yang W Z, Li B C, *et al.* Research and prospect of China Loess Plateau [M]. Beijing: Science Publishing, 2008.]
- [2] Fu B J, Meng Q H, Qiu Y, *et al.* Effects of land use on soil erosion and nitrogen loss in the hilly area of the Loess Plateau, China[J]. Land Degradation & Development, 2004,15(1):87-96.
- [3] Guobin L. Soil conservation and sustainable agriculture on the Loess Plateau: challenges and prospects[J]. Ambio, 1999:663-668.
- [4] Liu Y, Fu B, Lü Y, *et al.* Hydrological responses and soil erosion potential of abandoned cropland in the Loess Plateau, China[J]. Geomorphology, 2012,138(1):404-414.
- [5] 中国科学院黄土高原综合科学考察队.黄土高原地区资源环境社会经济数据[M]北京:中国经济出版社,1992. [Loess Plateau comprehensive scientific expedition of Chinese Academy. Socio-economic data collection of resources and environment in the Loess Plateau[M]. Beijing: China Economy Press, 1992.]
- [6] 刘黎明,林培.黄土高原持续土地利用研究[J].资源科学, 1998,20(1):54-61. [Liu L M, Lin P. Research of the continued land use in the Loess Plateau[J]. Resources Science, 1998,20(1):54-61.]
- [7] 陈永宗.黄土高原现代侵蚀与治理[M].北京:科学出版社,1988. [Chen Y Z. Erosion and harnessing of the Loess Plateau[M]. Beijing: Science Publishing, 1988.]
- [8] 姚玉璧,王毅荣,李耀辉,等.中国黄土高原气候暖干化及其对生态环境的影响[J].资源科学,2005,27(5):146-152. [Yao Y B, Wang Y R, Li Y H. Loess Plateau climate warming and drying and its impact on the ecological environment[J]. Resources Science, 2005,27(5):146-152.]
- [9] 信忠保,许炯心,余新晓.近50年黄土高原水土流失的时空变化[J].生态学报,2009,29(3):1129-1139. [Xin Z B, Xu J X, Yu X X. Soil erosion temporal changes in the past 50 years of the Loess Plateau[J]. Journal of Ecology, 2009,29(3):1129-1139.]
- [10] 索安宁,赵文喆,王天明,等.近50年来黄土高原中部水土流失的时空演化特征[J].北京林业大学学报,2007,29(1):90-97. [Suo A N, Zhao W J, Wang T M. Space-Time evolution characters of the soil erosion in the center Loess Plateau in nearly 50 years[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2007,29(1):90-97.]
- [11] 高振纪,邬伦,马修军.黄土高原水土流失监测指标体系研究[J].水土保持研究,2005,12(4):53-55. [Gao Z J, Wu L, Ma X J. Research about soil and water loss index in Loess Plateau[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005,12(4):53-55.]
- [12] 侯军岐,张社梅.黄土高原地区退耕还林还草效果评价[J].水土保持通报,2002,22(6):29-31. [Hou J Q, Zhang S M. Loess Plateau area reforestation evaluation[J]. Bulletin of soil and water conservation, 2002,22(6):29-31.]
- [13] 孙文义,邵全琴,刘纪远.黄土高原不同生态系统水土保持服务功能评价[J].自然资源学报,2014,29(3):365-376. [Sun W Y, Shao Q Q, Liu J Y. Different ecosystems function evaluation of Loess Plateau water and soil conservation service[J]. Journal of Natural Resources, 2014,29(3):365-376.]
- [14] 国务院.“黄土高原地区综合治理规划大纲(2010-2030年)”[R].2010. [The State Department, “Comprehensive Plan outlines of the Loess Plateau (2010-2030)” [R]. 2010.]
- [15] Foley J A, DeFries R, Asner G P, *et al.* Global consequences of land use[J]. Science, 2005,309(5734):570-574.
- [16] Lambin E F, Turner B L, Geist H J, *et al.* The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths[J]. Global Environmental Change, 2001,11(4):261-269.
- [17] 张景华,封志明,姜鲁光.土地利用/覆被分类系统研究进展[J].资源科学,2011,33(6):1195-1203. [Zhang J H, Feng Z M, Jiang L G. Research progress of land use / cover classification system[J]. Resources Science, 2011,33(6):1195-1203.]
- [18] 陈佑启,杨鹏.国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展[J].经济地理,2001,21(1):95-100. [Chen Y Q, Yang P. New progress in the research on land use / land cover change in the world[J]. Economic Geography, 2001,21(1):95-100.]
- [19] Kalnay E, Cai M. Impact of urbanization and land-use change on climate[J]. Nature, 2003,423(6939):528-531.
- [20] Turner B L, Lambin E F, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability[J]. Proceedings of the National Academy of

- Sciences, 2007, 104(52): 20666-20671.
- [21] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 643-650. [Zhu H Y, Li X B. Discussion on the model of regional land use change [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(5): 643-650.]
- [22] 邵全琴, 赵志平, 刘纪远, 等. 近30年来三江源地区土地覆被与宏观生态变化特征[J]. 地理研究, 2010, 29(8): 1439-1451. [Shao Q Q, Zhao Z P, Liu J Y. Land use / cover and macro ecological change in Sanjiang area in recent 30 years[J]. *Geography Research*, 2010, 29(8): 1439-1451.]
- [23] 刘纪远, 张增祥, 庄大方. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12. [Liu J Y, Zhang Z X, Zhuang D F. Temporal and spatial characteristics of land use change in China in 1990s and its cause analysis[J]. *Geography Research*, 2003, 22(1): 1-12.]
- [24] 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1411-1420. [Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, *et al.* Spatial patterns and driving forces of land use change in China in twenty-first Century[J]. *Journal of Geography*, 2009, 64(12): 1411-1420.]
- [25] 刘纪远, 张增祥. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. 中国科学: D辑, 2002, 32(12): 1031-1040. [Liu J Y, Zhang Z X. Analysis of spatial pattern of land use change in China[J]. *Science in China: D*, 2002, 32(12): 1031-1040.]
- [26] 陈浩, 赵志平. 近30年来三江源自然保护区土地覆被变化分析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(3): 390-399. [Chen H, Zhao Z P. Analysis of land cover change in Sanjiang Nature Reserve in the last 30 years[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2009, 11(3): 390-399.]
- [27] 邴龙飞, 邵全琴, 刘纪远. 近30年黄河源头土地覆被变化特征分析[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(3): 289-296. [Bing L F, Shao Q Q, Liu J Y. Analysis on the characteristics of land cover change in the Yellow River in recent 30 years[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2011, 13(3): 289-296.]
- [28] 吴丹, 邵全琴. 近30年来长江源区土地覆被变化特征分析[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(1): 61-69. [Wu D, Shao Q Q. Characteristics of land cover change in the source region of the Yangtze River in the last 30 years[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2014, 16(1): 61-69.]
- [29] 何永涛, 李文华, 李贵才, 等. 黄土高原地区森林植被生态需水研究[J]. 环境科学, 2004(3): 35-39. [He Y T, Li W H, Li G C, *et al.* Study on ecological water demand of forest vegetation in the Loess Plateau[J]. *Environmental Science*, 2004, 3: 35-39.]
- [30] Ludeke A K, Maggio R C, Reid L M. An analysis of anthropogenic deforestation using logistic regression and GIS[J]. *Journal of Environmental Management*, 1990, 31(3): 247-259.
- [31] 王秀春, 黄秋昊, 蔡运龙, 等. 贵州省猫跳河流域耕地空间分布格局模拟[J]. 地理科学, 2007(2): 188-192. [Wang X C, Huang Q H, Cai Y L. Spatial distribution pattern of cultivated land in the Cat Jumping River basin in Guizhou province[J]. *Geography Science*, 2007, 2: 188-192.]
- [32] Pereira J, Itami R. GIS-based habitat modeling using logistic multiple regression- A study of the Mt. Graham red squirrel[J]. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 1991, 57(11): 1475-1486.
- [33] 谢花林. 基于Logistic回归模型的区域生态用地演变影响因素分析——以京津冀地区为例[J]. 资源科学, 2011, 11: 2063-2070. [Xie H L. Analysis of the factors affecting the evolution of regional ecological land based on Logistic regression model: a case study of Beijing Tianjin Hebei region[J]. *Resource Science*, 2011, 11: 2063-2070.]
- [34] 刘艳华, 徐勇, 刘毅. 2000年来黄土高原地区的人口增长及时空分异[J]. 地理科学进展, 2012, 31(2): 156-166. [Liu Y H, Xu Y, Liu Y. Population growth and spatial temporal differentiation of the Loess Plateau region from 2000[J]. *Progress in Geography*, 2012, 31(2): 156-166.]
- [35] 张金屯, 李斌. 黄土高原地区植被与气候的关系[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 82-89. [Zhang J T, Li B. Relationship between vegetation and climate in the Loess Plateau[J]. *Journal of ecology*, 2003, 23(1): 82-89.]
- [36] 信忠保, 许炯心, 郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J]. 中国科学: D辑, 2007, 37(11): 1504-1514. [Xin Z B, Xu J X, Zhen W. Impacts of climate change and human activities on vegetation cover changes in the Loess Plateau[J]. *Science in China: D*, 2007, 37(11): 1504-1514.]
- [37] 张宝庆, 吴普特, 赵西宁. 近30 a黄土高原植被覆盖时空演变监测与分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 287-293. [Zhang B Q, Wei P T, Zhao X N. Temporal and spatial evolution of vegetation cover in the loess plateau near 30 years[J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2011, 27(4): 287-293.]