

近 20 年黄土高原土地利用/植被覆盖变化特征及其成因

毛盛林, 上官周平

(西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:近 20 年来黄土高原土地利用结构发生了显著变化,生态环境取得举世瞩目的成效,揭示黄土高原土地利用/植被覆盖的变化特征及成因是促进区域土地利用空间格局优化的关键环节。运用 GIS 技术,对黄土高原 2000 年、2010 年、2017 年的遥感数据进行转移矩阵,系统研究了黄土高原地区、各省份和生态分区的变化特征并定性分析了造成土地利用变化的主要驱动力。结果表明:(1) 黄土高原的土地利用类型主要以耕地、林地和草地为主。2000—2017 年,耕地、草地和水域都呈减少趋势,分别减少了 19 860 km², 42 410 km² 和 5 630 km²,而林地、建设用地和未利用地面积有所增加,分别增加 30 650 km², 9 840 km² 和 27 410 km²;草地为主要的转入与转出地类。(2) 黄土高原 7 个省份主要土地类型与区域变化规律基本一致,草地退化现象在甘肃与宁夏的不同时间段较为严重,具体表现为甘肃省在 2000—2010 年有 7 830 km² 草地转移为未利用地,而宁夏在 2010—2017 年有 8 900 km² 草地转入未利用地。(3) 黄土高原沟壑区、丘陵沟壑区、风沙区和土石山区及河谷平原区水域面积持续减少,且主要向耕地发生转移,同时生态区土地利用主要发生耕地与草地的动态转移。(4) 黄土高原土地利用/植被覆盖变化的主要驱动力是社会因子,其中国家政策的实施起到了主要的推动和促进作用,而人类活动等的影响相对小一些。研究结果可为黄土高原土地利用规划提供科学支撑,也为该区生态保护和高质量发展服务。

关键词:土地利用; 覆盖变化; 驱动力; 转移矩阵; 黄土高原

中图分类号:F301.2; Q948

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)05-0213-07

Characteristics and Causes of Land Use/Vegetation Coverage of the Loess Plateau in the Past 20 Years

MAO Shenglin, SHANGGUAN Zhouping

(State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau,
Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract:In the past 20 years, the land utilization structure of the Loess Plateau has undergone significant changes, and the ecological environment has achieved remarkable results. Revealing the characteristics and causes of land utilization/vegetation coverage on the Loess Plateau are the key link to promote the optimization of the spatial pattern of regional land use. We used GIS technology to transfer matrix of remote sensing data in 2000, 2010 and 2017, systematically studied the land change/characteristics of vegetation coverage in Loess Plateau region, provinces and ecological zones and qualitatively analyzed the main driving force of land use changes. The results showed that: (1) the land use types in Loess Plateau were mainly cultivated land, woodland and grassland; between 2000 and 2017, farmland, grassland and water decreased by 19 860 km², 42 410 km², 5 630 km², while woodland, construction land and unused land area increased by 30 650 km², 9 840 km², 27 410 km², respectively; grassland was the main transfer-in or transfer-out category; (2) the main land types in the seven provinces of the Loess Plateau are basically consistent with the rules of regional changes; the grassland degradation was serious in different periods between Gansu and Ningxia, specifically 7 830 km² grassland was transferred to unused land in Gansu Province from 2000 to 2010, and 8 900 km² grassland to unused land in Ningxia from 2010 to 2017; (3) the water areas of each ecological area in

收稿日期:2021-08-11

修回日期:2021-08-22

资助项目:陕西省林业科学院科技创新计划专项“黄河流域生态空间评估及提质增效关键技术研究”(SXLK2020-0101)

第一作者:毛盛林(1997—),男,甘肃省张掖市人,硕士研究生,主要从事森林生态学研究。E-mail:1796779760@qq.com

通信作者:上官周平(1964—),男,陕西省扶风县人,研究员,博士生导师,主要从事旱地农业、植物生态研究。E-mail:shangguan@ms.iswc.ac.cn

Gaoyuan gully area, hilly gully area, wind sand area and earth-rock mountain area and valley plain area had been continuously reduced, and mainly transferred into cultivated land, while the land use in ecological area mainly occurred the dynamic transfer of cultivated land and grassland; (4) social factors were the main driving force for the change of land use/vegetation coverage on the Loess Plateau, among which the implementation of national policies had played a main role in pushing and promoting, while the impact of human activities was relatively small. The results of this research can provide scientific support for the land use planning of the Loess Plateau and serve the ecological protection and high-quality development of the Loess Plateau.

Keywords: land use; cover change; driving force; transition matrix; Loess Plateau

土地是人们赖以生存的资源,人类对土地利用的好坏影响着区域的环境,更影响着全球变化。国际地圈—生物圈计划(IGBP)和国际人文因素计划(IHDP)于 1995 年提出 LUCC(土地利用和覆被变化)研究计划^[1]。作为全球变化研究的重要内容,不仅影响着全球碳循环,而且对生物的多样性等都有重要的影响。因此,研究 LUCC 的时空变化规律对保障我国的食物、资源和生态安全尤为重要。

随着 GIS 技术的发展,卫星图像成为监测和分析土地利用时空变化的重要数据支撑,因而探究区域 LUCC 变化特征及其成因逐渐成为生态学和地理学研究的趋势。目前诸多学者利用遥感手段制作区域变化图揭示其变化特征^[2],并引入马尔科夫链等模型来表征不同时期土地时空变化^[3-4],直观地反映区域地类多时段的变化规律。而影响区域 LUCC 在不同时间尺度上的成因主要受自然(如气候)和社会因素(政策等)的共同影响。如 Kanianska 等^[5]对斯洛伐克的农村进行定性分析,指出政策和人口是主要驱动力;刘光旭等^[6]对赣江上中游 1980—2018 年土地采用主成分分析等方法做了定量分析,认为自然因素起主要作用。但是定量分析所采用的模型机制还不够成熟,政策等的定量化具有局限性,因此定性研究黄土高原土地变化成因显得十分必要。

黄土高原由于土质疏松、暴雨集中以及人类的不合理利用等^[7-8],成为我国水土流失最严重的区域之一^[9]。严重的水土流失给黄河下游带来了的诸多生态环境问题。1999 年以来,国家实施退耕还林(草)等政策,极大地改变了黄土高原时空格局,减缓了水土流失的严重程度。近年来学者对黄土高原植被覆盖变化和成因分析的关注度渐渐提高,认为影响区域 LUCC 变化的气候因子主要是温度与降雨^[10-11],社会因子为人类活动与政策^[12]。

因此,在退耕还林生态工程实施 20 a 之际,亟待深入、系统研究黄土高原地区、各省份和生态分区的土地利用/植被覆盖变化特征及其成因。本文采用单一动态度与综合动态度模型去表征土地变化情况,以

省份、生态分区为单位建立矩阵,结合自然和社会因素,揭示黄土高原 2000—2017 年植被变化在时空尺度上的变异规律及其成因,以期为黄河上中游流域生态保护和高质量发展服务。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

黄土高原位于黄河流域中游地区(33°41′—41°16′N, 100°52′—114°31′E),总面积达 $6.254 \times 10^5 \text{ km}^2$,横跨我国的甘肃、河南、内蒙古、宁夏、青海、山西和陕西等 7 个省份。研究区地势整体呈现西北部高而东南低的下降趋势,因六盘山与吕梁山分隔形成了西、中和东三部,且形成了塬、梁、峁 3 种奇特的地貌。黄土高原处在我国半湿润和半干旱区,有着典型的温带大陆性季风气候特征,多年平均气温 8℃ 左右,年均降雨量 400 mm 左右,降雨集中且区域差异大,加上蒸发量高、水系含沙量高,并且黄土土质疏松,使得该区土壤侵蚀严重,生态环境脆弱。

1.2 数据来源

本文采用的土地利用遥感数据共有三期,分别为 2000 年、2010 年、2017 年栅格数据(分辨率为 30 m),三期数据及黄土高原生态分区数据和 2000—2017 年逐月降雨量与逐月平均气温数据集(分辨率为 1 km)均来源于国家地球系统科学共享服务平台黄土高原科学数据中心(<http://loess.geodata.cn/>)。在 ArcGIS 10.7 软件下,结合实地 GPS 点进行验证,校正修改,解译精度达到 90.3%,满足研究需要。按照国家标准《土地利用现状分类》(GB/T21010-2017)将数据分成 6 类,分别为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地。2000 年、2005 年、2010 年、2015 年人口与 GDP 数据集均来自中科院资源环境与科学数据中心(<http://www.resdc.cn/DOD>)。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用数量和速度变化分析

(1) 单一土地利用的动态度。可以描述区域在特定时间段内某一地类面积变化的年均变化速率^[13],公式如下:

$$S_i=\frac{U_a-U_b}{U_a}\times\frac{1}{T}\times100\%$$

(1)

式中: S_i 表示研究时段内第*i*种土地利用类型的动态度(‰); U_b 和 U_a 分别表示研究区末期和初期某一土地类型的面积; T 为初末期变化的时间段。

(2) 综合土地利用动态度。能够反映研究区所有土地利用类型在某一时间段的变化趋势^[14],公式表示为:

$$LC=\sum_{i-j}^n\left(\frac{\Delta LU_{i-j}}{LU_i}\right)\times\frac{1}{T}\times100\%$$

(2)

式中:LC表示综合土地利用动态度; n 为土地利用类型的数量; ΔLU_{i-j} 为*T*时间内由某一*i*地类转变为其他*j*地类总面积的绝对值; LU_i 为初期*i*地类的面积; T 表示研究初末期时间段,本研究*T*以年为单位,即表示研究区土地利用的年变化率^[15]。

1.3.2 土地利用转移矩阵 针对三期土地利用数据,利用 ArcGIS 10.7 软件中叠加分析等处理,得到黄土高原区土地利用转移矩阵。该矩阵采用 n 阶矩阵结构,不但可以直观而简洁地展示研究初末期各地类的面积信息,而且能够详细的表示各地类在该时间段内转移的动态变化情况^[16]。

转移矩阵通用表达式为:

$$S_{ij}=\begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix}$$

(3)

式中: S 表示面积; S_{ij} 表示转移前的*i*类土地转换为转移后*j*类土地类型的面积; $i,j(i,j=1,2,\cdots,n)$ 表示转移前与后的土地类型; n 表示转移前后的土地利用类型数;特别地,当*i=j*时,表示该地类没有发生转移的面积。

1.3.3 驱动力分析 通过查阅文献和国家相关社会经济等资料进行定性分析,在 ArcGIS 10.7 软件中经过掩膜、代数运算等得出 2000—2017 年平均降雨量与温度、人口密度以及人均 GDP。

2 结果与分析

2.1 全区土地利用时空特征分析

黄土高原 2000—2017 年的土地利用类型主要以耕地、林地和草地为主,其面积之和占研究区总面积的比例都在 84% 以上,且各地类面积从大到小依次为草地、耕地、林地、未利用地、建设用地和水域。同时黄土高原森林覆盖度较低,且水资源呈零星分布(图 1)。

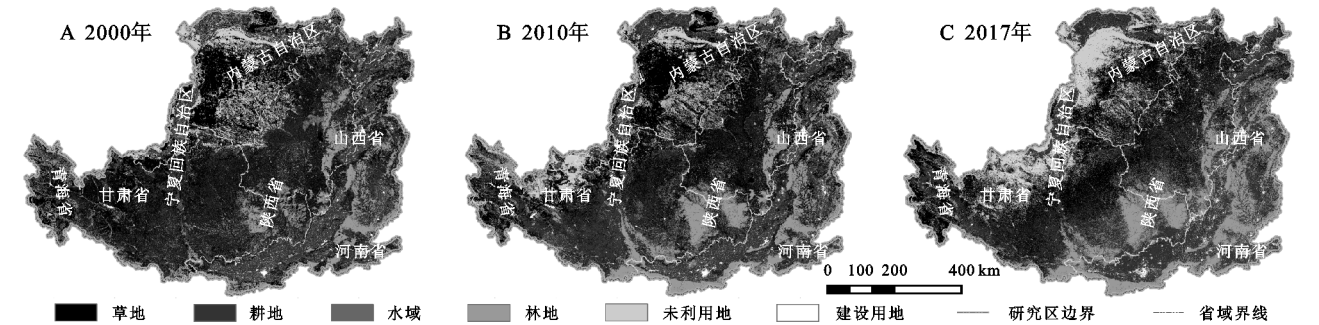


图 1 黄土高原不同时期土地类型

黄土高原植被覆盖在不同时期变化的程度也不尽相同。2000—2010 年林地和建设用地不断增加,年均增长速度分别为 3.4% 和 3.0%,说明 10 a 来退耕还林政策取得了显著成效(表 1)。2010—2017 年耕地和草地略有减少,其他地类有所增加,其中未利用地增幅最大,为 29 880 km² 和 10.6%,说明研究区生态环境仍然脆弱,这可能与过度的生态恢复导致土地退化有关^[17]。总体来看,2000—2017 年耕地、草地和水域面积都呈减少趋势,而林地、建设用地和未利用地都增加,其中草地减少面积最多,为 42 410 km²,而林地和未利用地增加面积分别为 30 650 km² 和 27 410 km²。

表 1 结果表明,2000—2017 年,变化速率最快的是水域、建设用地和未利用地(−3.8%,3.9%和 3.8%),耕地与草地变化不明显。前后期综合动态度分别为 31.0% 和 39.0%,表明近 17 a 来黄土高原区域全部土

地利用类型的变化速率都呈快速增加的趋势。

表 1 黄土高原不同时期土地利用动态度

土地利用动态度	类型	2000—2010 年	2010—2017 年	2000—2017 年
单一土地利用动态度/%	耕地	−0.4	−0.9	−0.6
	林地	3.4	−0.1	2.0
	草地	−0.8	−1.4	−1.0
	水域	−7.1	3.2	−3.8
	建设用地	3.0	3.9	3.9
	未利用地	−0.6	10.6	3.8
综合土地利用动态度/%		31.0	39.0	25.8

表 2 为黄土高原 2000 年、2017 年不同土地类型转移矩阵,结果表明,草地是主要转入和转出类型,转入面积为 92 260 km²,其中 58.7% 来自于耕地;转出面积为 134 670 km²,主要转出为耕地和未利用地,17 a 来草地净减少 42 410 km²,这说明草地在 17 a 间有所退化。

表 2 黄土高原不同时期土地利用转移矩阵 10³ km²

地类	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	2017 年总面积
耕地	117.14	8.81	47.64	2.91	6.50	3.51	186.52
林地	18.11	62.95	41.33	0.34	0.23	0.19	123.16
草地	54.11	18.72	125.20	1.50	2.38	15.54	217.46
水域	0.58	0.14	0.44	1.53	0.09	0.27	3.06
建设用地	9.20	0.99	7.83	0.87	4.86	1.11	24.85
未利用地	7.23	0.87	37.42	1.54	0.95	22.30	70.32
2000 年总面积	206.38	92.50	259.87	8.69	15.01	42.91	625.36

2.2 各省域土地利用时空特征分析

各省域除了内蒙古与宁夏自治区外,其他各省均以耕地、林地与草地为主。同时发现内蒙古与宁夏的林地资源呈现上升又下降的波动状态,这可能与 2010 年以后人类对两地过度放牧、开垦有关。

表 3 为黄土高原 7 个省域不同时期单一土地利

用动态度,以此来表征特定时间段内某一地类面积变化的年均变化速率,其结果表明,各省域地类变化既有统一又有差异。首先大部分省域地类变化比较平稳(因河南与山西该地类面积过小,不予考虑),而不同的是甘肃和宁夏的未利用地较其他地类变化更快一些。

表 3 不同时期单一土地利用动态度

省份	时间段	单一土地利用动态度/%					
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
甘肃省	2000—2010	1.4	6.7	−3.9	−7.3	−1.3	117.3
	2010—2017	−4.7	−0.6	5.4	4.5	18.3	1.5
	2000—2017	−1.4	3.6	−0.9	−3.8	5.8	76.9
河南省	2000—2010	−0.1	3.5	−4.5	−7.4	2.2	30.0
	2010—2017	0.0	1.9	−10.0	29.9	2.4	7.1
	2000—2017	−0.1	3.1	−4.9	−1.1	2.5	29.4
内蒙古自治区	2000—2010	1.6	16.1	0.4	−7.2	0.0	−3.6
	2010—2017	2.6	−12.2	−2.8	−1.7	2.4	14.8
	2000—2017	2.2	−3.7	−1.0	−4.4	1.0	1.8
宁夏回族自治区	2000—2010	−0.6	8.6	−0.7	−7.4	9.8	0.4
	2010—2017	−3.9	−11.2	−1.0	5.5	2.3	25.0
	2000—2017	−1.9	−3.5	−0.8	−3.7	7.7	11.0
青海省	2000—2010	2.4	0.2	−1.2	−4.9	3.1	4.0
	2010—2017	−0.6	−5.0	3.2	7.5	5.6	−5.7
	2000—2017	1.1	−2.0	0.5	−1.3	4.8	−0.9
山西省	2000—2010	−0.5	−0.1	0.5	−7.8	5.6	−0.6
	2010—2017	−0.2	3.8	−3.8	8.3	2.8	58.0
	2000—2017	−0.4	1.5	−1.4	−3.9	5.0	22.2
陕西省	2000—2010	−2.4	6.6	0.4	−6.8	3.9	−5.2
	2010—2017	1.8	1.9	−2.9	−0.3	0.4	−0.9
	2000—2017	−0.9	5.2	−1.0	−4.0	2.5	−3.2

为了更好地体现该区域时空变化特征,我们利用 ArcGIS 软件对黄土高原各省域 2000 年、2010 年、2017 年不同土地类型做了时空变化,并利用 Excel 统计分析,结果发现甘肃省在 2000—2010 年增长了 9 500 km²,其中 7 830 km² 来自于草地;而宁夏自治区 2010—2017 年增长迅速,为 9 620 km²,同样草地流入 8 900 km²,说明甘肃与宁夏草地的荒漠化较严重,这有可能与沙漠、绿洲的大面积分布以及人类不合理活动有关^[18-19]。

2.3 各生态分区土地利用时空特征分析

黄土高原各生态区面积由大到小依次为 A、D、C、B(图 2)。同时发现 4 个生态区的水资源都在持续减少,且主要集中在 2000—2010 年,截至 2017 年,面

积均降低在 1 000 km² 以下,且水域都主要向耕地发生转移,这有可能与 2000 年以来人类活动频繁以及人口的快速增长导致围湖造田有关。

A 区近 20 a 来耕地和草地面积转出大于转入(表 4),即分别净流失 16 480 km² 和 13 550 km²,耕地有 35.0%退化为草地;草地主要向耕地与林地转化,分别为 25.8%,18.1%。B 区耕地退化相对明显,为 10 560 km²,其中 47.0%向草地发生转移,主要集中在 2000—2010 年,说明 1999 年退耕还草工程在水土流失严重的丘陵沟壑区取得了良效。C 区草地退化较为严重,为 17 420 km²。D 区草地面积减少最多,为 17 670 km²,草地也向耕地与林地转移。

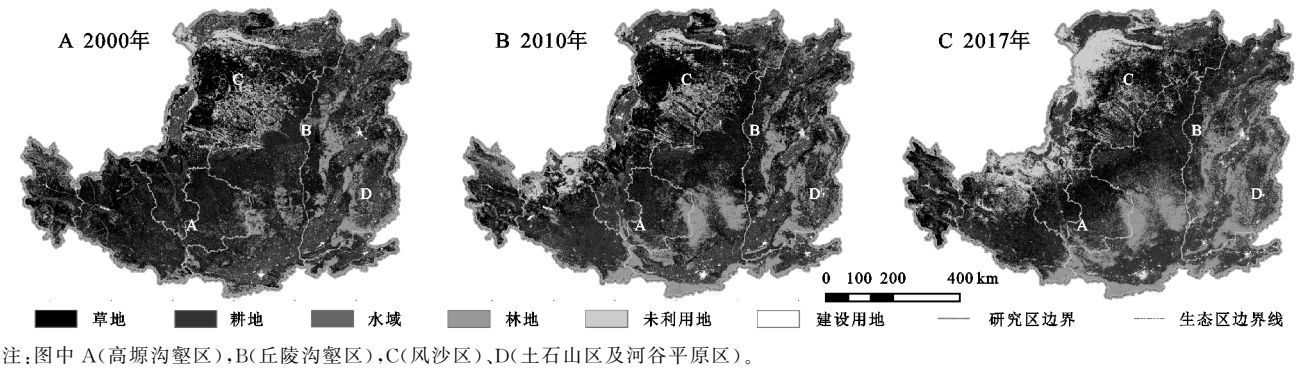


图 2 黄土高原生态区不同时期生态区变化

表 4 黄土高原生态区土地利用转移变化情况

		10 ³ km ²						
生态区	变化面积	时间段	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
高原沟壑区	转出面积	2000—2010	28.10	8.65	56.74	1.42	2.54	2.91
		2010—2017	35.59	13.60	28.61	0.39	2.81	7.64
		2000—2017	40.60	9.71	51.27	1.37	2.97	4.58
	初末变化面积	2000—2010	3.81	16.31	−29.22	−1.17	0.16	10.12
		2010—2017	−20.28	−3.48	15.66	0.13	2.46	5.52
		2000—2017	−16.48	12.82	−13.55	0.51	2.62	14.07
丘陵沟壑区	转出面积	2000—2010	26.16	9.01	18.33	1.20	0.86	3.83
		2010—2017	14.39	10.08	26.18	0.17	1.29	1.54
		2000—2017	25.86	9.25	22.29	1.17	0.85	5.40
	初末变化面积	2000—2010	−13.04	2.94	13.24	−1.09	0.93	−2.98
		2010—2017	2.49	1.82	−6.57	0.09	1.75	0.41
		2000—2017	−10.56	4.76	6.67	0.09	2.68	−3.64
风沙区	转出面积	2000—2010	5.36	2.19	18.00	2.98	2.12	17.05
		2010—2017	4.52	8.53	33.09	0.63	3.12	5.24
		2000—2017	5.03	3.39	33.34	3.08	2.74	31.66
	初末变化面积	2000—2010	3.55	5.33	2.13	−2.55	1.08	−9.54
		2010—2017	3.95	−7.99	−19.56	−0.06	0.31	23.36
		2000—2017	7.50	−2.67	−17.42	16.05	1.39	−4.84
土石山区及河谷平原区	转出面积	2000—2010	17.49	9.51	21.15	1.63	3.14	0.21
		2010—2017	14.20	6.82	21.19	0.35	4.73	0.20
		2000—2017	16.99	6.82	27.00	1.55	3.58	0.21
	初末变化面积	2000—2010	−1.52	6.23	−5.65	−1.44	2.37	0.01
		2010—2017	0.95	9.72	−12.03	0.39	0.63	0.34
		2000—2017	−0.57	15.95	−17.67	−1.05	2.99	0.35

2.4 土地利用变化成因分析

2.4.1 自然因素 从图 3A 中看黄土高原的年均降雨量在空间上分配不均,整体由东南向西北方向递减,最大降雨量达 883 mm,最小至 107 mm,多年平均降雨量约为 450 mm,且 17 a 来降雨量有增加趋势。图 3B 显示黄土高原年均气温与降雨分布一样,年均气温为 8.08℃,且气温多年来基本无变化。

黄土高原森林与耕地主要分布在温暖湿润的东南部,草地、未利用地分布在干旱少雨的西北部,这说明气温与降雨在空间的分布会影响植被覆盖变化与土地利用的时空格局分布。加上黄土高原大部分地区处于干旱区,温度与降雨表现出明显的季节性特征,如降雨量多的月份植被覆盖会明显增加^[20],2000 年以来降雨量明显增加,林草地在黄土高原区总面积

占比逐渐增大,耕地逐渐减少,说明 1999 年以来退耕还林(草)工程的实施对黄土高原植被恢复有一定成效。由于温度年际变化不大^[21-22],降水在近 20 a 植被恢复的过程中发挥了主导作用^[23-24],因而认为降雨是近 20 a 黄土高原 LUCC 变化的主要因素。

2.4.2 社会因素

(1) 人口变动与城市化。人类活动对土地结构变化有一定影响。2000 年、2005 年、2010 年、2015 年全区人口密度分别为 162.71 人/km²,164.04 人/km²,176.34 人/km² 和 178.93 人/km²,说明近 20 a 该区人口在持续增长,人口增长使得该区的建设用地发生扩张,17 a 增长了 9 840 km²,水资源减少 5 630 km²。随着时间的推移,城镇化进程加快,人们追求高质量生活,非农产业用地比重迅速上升。

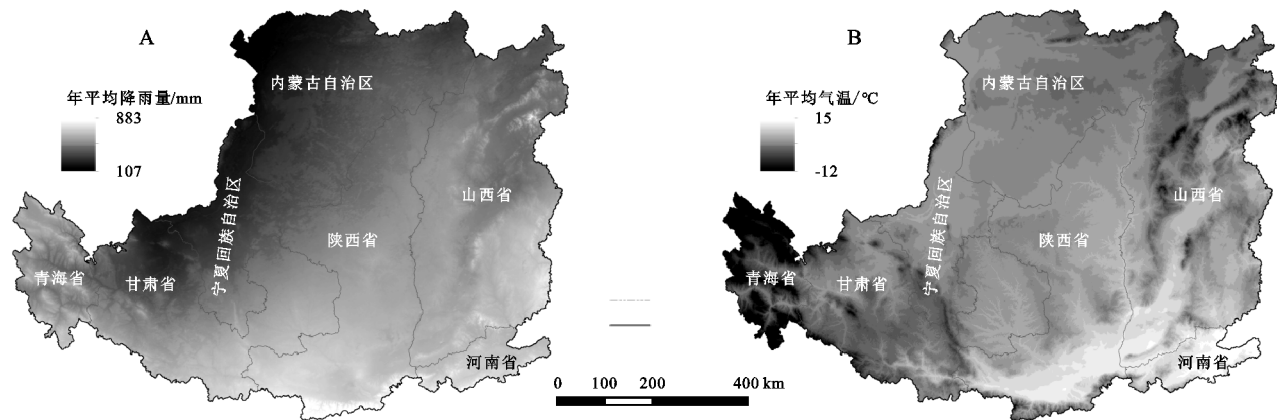


图 3 2000—2017 年平均降雨与温度分布情况

(2) 社会经济。经济发展水平与产业结构的调整和土地利用有一定的联系,优化土地资源的配置能够带动区域经济的发展。黄土高原 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年的人均 GDP 分别为 4 978.85 元/人、16 899.28 元/人、38 295.83 元/人和 72 465.02 元/人,表明近 20 a 来该区人均 GDP 在急速增长。近年来第一产业比重降低,第二、三产业升高,产业的转型影响了地类的变化,更影响着区域经济的发展。

(3) 政策。建国至 1999 年以来,我国在黄土高原主要实施了坡面治理、沟坡治理、小流域治理等,具体措施有植树造林、修梯田和淤地坝等。1991 年国家颁布《水土保持法》标志着水土保持治理有法可依,这对黄土高原的高效治理奠定了基础。1999 年国家实施退耕还林工程,此阶段之后以生态修复为主。2003 年国务院西部开发办等部门实施退牧还草工程来解决荒漠化等生态问题,2007 年“天保工程”通过奖罚分明的方式提高农民保护森林资源的积极性。2010 年以来延安实施治沟造地工程,取得良效。近年来国家大力倡导“生态文明建设”与“绿水青山就是金山银山”的人与自然和谐共生的理念,也提到要优化国土,扩大水域、湿地与森林。因此,国家政策是这些年黄土高原土地利用/植被覆盖变化的主导因素。

3 讨论

黄土高原自实施退耕还林生态工程以来,植被覆盖发生了显著变化。近年来为了合理调整土地结构,保护黄土高原生态环境,学者们从整个区域和小流域尺度上做了很多研究^[25],但是却没有过多地从省份和生态分区去探讨土地变化情况。本研究结果显示,黄土高原的土地类型以草地、耕地、林地为主,且草地是主要转化类型,这与已有研究结果一致^[26]。宁夏与甘肃省 20 a 来草地减少,甘肃与宁夏绿洲、沙漠分布较多,人为活动干扰可能是草地退化的主要因素。Liu 等^[27]指出毛乌素沙漠 1986—2015 年荒漠化先加剧后减弱,生态恢复在荒漠化防治中起到了关键作

用,因而相关部门需要继续实施生态修复项目,以减少水土流失。目前关于黄土高原生态区土地利用的动态研究还相对较少^[28],土石山区及河谷平原区植被覆盖度最高,风沙区最低,这样可将不同生态类型区植被覆盖与土壤侵蚀结合起来进行研究,以明晰黄土高原侵蚀产沙锐减的驱动要素及其定量贡献。

当前人们对土地利用变化驱动力机制的了解日渐深入,以定性、定量或将两者相结合的方法揭示自然和社会经济的驱动因素能够为区域生态恢复提供宏观决策信息。前人研究采用的定量方法比较多的是主成分分析法、结构方程模型等^[29-30],但是政策等无法用定量方法去衡量,因此没有一个合适的模型完全拟合^[31]。本文后期仍然存在许多需要深入研究的问题,比如能够搜集更多数据采用定量方法去分析驱动因子,将政策等指标以一种具有说服力的方法纳入定量中,更好的找出关键因子。

4 结论

(1) 黄土高原的土地利用类型主要以耕地、林地和草地为主;从时间变化看,2000—2017 年耕地、草地和水域都呈减少趋势,而林地、建设用地和未利用地面积有所增加;草地为主要的转入与转出地类。

(2) 黄土高原 7 个省域的主要土地类型与黄土高原基本一致,草地退化在宁夏与甘肃省的不同时间段发生较为严重,具体表现为甘肃省在 2000—2010 年有 7 830 km² 草地转移为未利用地,而宁夏在 2010—2017 年有 8 900 km² 草地转入未利用地,应引起相关部门的关注;

(3) 各生态类型区水域面积都持续减少,且主要向耕地发生转移,这种现象可能是研究区人口与经济的快速增长所致;各生态区在研究时段内主要发生耕地与草地的动态转移。

(4) 社会因子是主要的驱动力,其中国家政策的实施起到了主要的推动和促进作用,而人类活动等影响相对小一些。

参考文献:

- [1] Turner B, Skole D L, Sanderson S, et al. Land-use and land-cover change. Science/research plan[J]. Globalchange Report (Sweden), 1995, 43: 669-679.
- [2] Solly B, Dieye E H B, Sy O. Remote sensing mapping of land use and land cover changes in upper Casamance, Senegal, 1987-2018[J]. American Journal of Remote Sensing, 2020, 8(2): 35-49.
- [3] Tuffour-Mills D, Antwi-Agyei P, Addo-Fordjour P. Trends and drivers of land cover changes in a tropical urban forest in Ghana[J]. Trees, Forests and People, 2020, 2: 100040.
- [4] 杨伶, 邓敏, 王金龙, 等. 近40年来洞庭湖流域土地利用及生态风险时空演变分析[J]. 生态学报, 2021, 41(10): 3929-3939.
- [5] Kanianska R, Kizeková M, Nováček J, et al. Land-use and land-cover changes in rural areas during different political systems: A case study of Slovakia from 1782 to 2006[J]. Land Use Policy, 2014, 36: 554-566.
- [6] 刘光旭, 王小军, 相爱存, 等. 赣江中上游地区土地利用变化空间分异与驱动因素[J]. 应用生态学报, 2021, 32(7): 2545-2554.
- [7] 李相儒, 金钊, 张信宝, 等. 黄土高原近60年生态治理分析及未来发展建议[J]. 地球环境学报, 2015, 6(4): 248-254.
- [8] 孙艺杰, 刘宪锋, 任志远, 等. 1960—2016年黄土高原多尺度干旱特征及影响因素[J]. 地理研究, 2019, 38(7): 1820-1832.
- [9] Fu B, Liu Y, Lü Y, et al. Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China[J]. Ecological Complexity, 2011, 8(4): 284-293.
- [10] 宋怡, 马明国, 金钊. 黄土高原近30年植被变化特征及其气候驱动[J]. 地球环境学报, 2012, 3(6): 1174-1182.
- [11] He J, Shi X, Fu Y. Identifying vegetation restoration effectiveness and driving factors on different micro-topographic types of hilly Loess Plateau: From the perspective of ecological resilience[J]. Journal of Environmental Management, 2021, 289: 1-14.
- [12] 郭永强, 王乃江, 褚晓升, 等. 基于Google Earth Engine分析黄土高原植被覆盖变化及原因[J]. 中国环境科学, 2019, 39(11): 4804-4811.
- [13] 伍飞舟, 杨卓, 牛健植, 等. 黄土高原丘陵沟壑区土地利用与水土保持措施的变化特征[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2): 10-14.
- [14] Quan B, Matt J M. Changes in spatiotemporal land use patterns in selected hydrogeomorphic areas of China and the USA[J]. International Journal of Geosciences, 2013(3): 537-548.
- [15] Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s[J]. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24: 195-210.
- [16] 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.
- [17] Fu B, Wang S, Liu Y, et al. Hydrogeomorphic ecosystem responses to natural and anthropogenic changes in the Loess Plateau of China[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2017, 45: 223-243.
- [18] 魏怀东, 周兰萍, 徐先英, 等. 2003—2008年甘肃民勤绿洲土地荒漠化动态监测[J]. 干旱区研究, 2011, 28(4): 572-579.
- [19] An H, Li Q L, Yan X, et al. Desertification control on soil inorganic and organic carbon accumulation in the topsoil of desert grassland in Ningxia, northwest China[J]. Ecological Engineering, 2019, 127: 348-355.
- [20] 吉珍霞, 裴婷婷, 陈英, 等. 黄土高原植被物候变化及其对季节性气候变化的响应[J]. 生态学报, 2021, 41(16): 1-13.
- [21] 张含玉, 方怒放, 史志华. 黄土高原植被覆盖时空变化及其对气候因子的响应[J]. 生态学报, 2016, 36(13): 3960-3968.
- [22] Shi S, Yu J, Wang F, et al. Quantitative contributions of climate change and human activities to vegetation changes over multiple time scales on the Loess Plateau[J]. Science of the Total Environment, 2021, 755: 1-14.
- [23] Naeem S, Zhang Y, Zhang X, et al. Both climate and socioeconomic drivers contribute to vegetation greening of the Loess Plateau[J]. Science Bulletin, 2021, 66: 1160-1163.
- [24] Li T, Xia J, Zhang L, et al. An improved complementary relationship for estimating evapotranspiration attributed to climate change and revegetation in the Loess Plateau, China[J]. Journal of Hydrology, 2021, 592: 1-13.
- [25] 冷曼曼, 张志强, 于洋, 等. 听水河流域径流变化及其对气候和人类活动的响应[J]. 水土保持学报, 2020, 34(3): 113-119, 128.
- [26] Gang C, Zhao W, Zhao T, et al. The impacts of land conversion and management measures on the grassland net primary productivity over the Loess Plateau, Northern China[J]. Science of the Total Environment, 2018, 645: 827-836.
- [27] Liu Q, Zhang Q, Yan Y, et al. Ecological restoration is the dominant driver of the recent reversal of desertification in the Mu Us Desert (China)[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 268: 122241.
- [28] 杨艳芬, 王兵, 王国梁, 等. 黄土高原生态分区及概况[J]. 生态学报, 2019, 39(20): 7389-7397.
- [29] Gao Y L, Liu X G, Leng X X, et al. Spatio-temporal drought patterns in Guangxi Province based on principal component analysis[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40: 5591-5601.
- [30] 徐铨龙, 纪佩瑶, 龚文峰, 等. 2000—2015年西南区县域土地利用变化特征及驱动力分析: 以重庆市奉节县为例[J]. 中国农学通报, 2021, 37(20): 98-107.
- [31] 董蕊, 盖艾鸿. 浅谈土地利用覆盖变化驱动力模型[J]. 中国集体经济, 2021(5): 74-75.