

生态恢复背景下无定河流域土地利用时空变化

王计平¹, 程复², 汪亚峰³, 陈洪波⁴, 于强⁵

(1. 国家林业局 盐碱地研究中心, 北京 100091; 2. 中国林业科学研究院 荒漠化研究所, 北京 100091; 3. 中国科学院 生态环境研究中心, 北京 100041; 4. 环境保护部 环境工程评估中心, 北京 100012; 5. 北京林业大学 林学院, 北京 100083)

摘要: 以恢复林灌草植被为核心的黄土高原生态建设的直接结果就是引起了土地利用格局变化。选取黄河中游区无定河流域为对象, 以 1985, 1995, 2000 和 2008 年土地利用数据为基础, 综合运用 GIS 分析技术、土地利用动态分析方法与模型, 系统研究了生态恢复背景下流域土地利用时空变化过程。结果表明, 草地始终是该流域优势土地利用类型, 生态恢复以大规模治理沙荒及未利用地, 恢复林草地景观为主要形式; 随着退耕还林还草工程实施与推进, 耕地转出明显, 林、草地新增明显; 1995 年前后, 流域土地利用类型相互频繁流转, 土地利用总动态度在 2000 年达到了最高水平; 在植被恢复因素驱动下, 流域土地利用重心空间漂移明显, 主要表现为耕地重心均向流域东部下游地区偏移, 林、草地重心向西北方向偏移。

关键词: 生态恢复; 土地利用格局; 时空变化; 无定河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)05-0237-07

中图分类号: X171.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.050

Spatial-temporal Changes of Land Use in Wuding River Basin Under Ecological Restoration

WANG Ji-ping¹, CHENG Fu², WANG Ya-feng³, CHEN Hong-bo⁴, YU Qiang⁵

(1. *Research Center of Saline and Alkali Land of State Forestry Administration, Beijing 100091, China*; 2. *Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China*; 3. *Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China*; 4. *Assessment Center of Environmental Engineering, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100012, China*; 5. *College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China*)

Abstract: In the Loess Plateau, restoring vegetation (grass, shrub, or tree), as the core of the ecological construction, directly caused the changes of the land use patterns. Based on the land use data of 1985, 1995, 2000 and 2008, using GIS and statistical methods, the authors analyzed the spatial-temporal changes of land use of Wuding River basin located in the middle reach of the Yellow River. The results showed that grassland had always been the dominant landscape, and recovering forest and grassland were the main form of ecological restoration through combating desertification and restoring vegetation. With the implementation of the grain for green project, forest and grassland expanded significantly, while the farmland area had been declining. Around 1995, the mutual transformation between land use types was more obvious, and the land-use comprehensive dynamic change rate was reached maximum level. Driven by the vegetation restoring, the gravity center of land use types moved significantly. The main features of the migration was that the core of farmland moved towards east of the downstream area, while the core of forest and grassland moved north-west on the whole.

Keywords: ecological restoration; land-use pattern; spatial temporal change; Wuding River basin

随着中国社会、经济等各项事业的发展, 大规模地开展生态建设成为可能。为解决黄土高原严重的

生态问题, 从 20 世纪 70 年代后期开始, 以生态恢复为目的, 国家投入了大量人力、物力和财力, 先后启动

收稿日期: 2014-01-22

修回日期: 2014-05-26

资助项目: 林业公益性行业科研专项“黄土高原生态恢复对径流泥沙影响评价技术研究”(201004058)

作者简介: 王计平(1978—), 男(汉族), 山西省保德县人, 博士, 助理研究员, 主要从事植被恢复及其生态效应评价研究。E-mail: wjp_gis@163.com。

通信作者: 程复(1981—), 男(汉族), 山西省朔州市人, 博士后, 工程师, 主要从事水土保持监测、流域综合治理相关研究。E-mail: chengfu516@126.com。

实施了国家水土保持重点建设等一系列生态环境治理和建设工程。特别是 20 世纪末期,国家启动实施退耕还林(草)工程,进一步推动了黄土高原生态建设进程。以陕西省为例,根据国家统计局陕西调查总队 2013 年调研报告显示,从 1999 年至今,全省累计退耕还林约 $2.44 \times 10^6 \text{ hm}^2$,其中耕地退耕还林约 $1.02 \times 10^6 \text{ hm}^2$,加上其他林业工程实施,全省森林覆盖率由建国时的 14.2% 提高到 41.4%。这种长期不懈生态建设工程的大范围实施及配套政策的落实,使黄土高原许多地区生态环境得到了明显改善,同样也为黄土高原生态恢复及其环境效应研究提供了不可多得的试验平台。

在黄土高原地区,植被恢复是生态恢复的主要内容之一^[1-2]。由于自然和人文独特性,植被恢复与重建问题也一直为社会各界所关注^[3-4]。多年来,围绕合理恢复植被和植被恢复效果评价已开展很多研究。前者以退耕地植物恢复^[5]、林草配置模式^[6-7]、植被覆盖变化^[8-10]等为热点,后者则主要关注土壤生态环境恢复效应^[11-12]、流域水沙过程^[4,13]、生物多样性^[14]、社会经济效益^[15]等方面。多个层面的研究表明,生态恢复工程极大地改善了黄土高原区生态面貌和环境质量^[9,11,14],特别是退耕还林还草工程的积极作用得到了证明和肯定^[8]。

随着大规模植被恢复进程,黄土高原区植被覆盖度从周期波动转变为整体线性增加,生态改善趋势显著,但植被覆盖变化存在明显的空间差异^[8,10]。例如在较大尺度上,信忠保等^[8]基于长时间序列植被遥感数据研究得出,实施退耕还林还草工程以来,农业灌区、半荒漠草原区植被覆盖明显提高,而黄土丘陵沟壑区则相反。张宝庆等^[10]的最新研究则表明,1999—2009 年,黄土丘陵沟壑区植被覆盖增加趋势明显,植被恢复成效显著。这种结果上的矛盾可能与大粒度植被遥感数据在解释复杂地形—植被关系上的局限性有一定关系^[16],但从另一角度看,也意味着大区域或大流域的植被变化及其恢复效果的准确评价还有待于深入研究。黄土高原地区的生态恢复不仅仅是以植被恢复为核心的生态建设过程,同时也是土地利用结构转变的过程,其直接表现就是土地利用格局时空变化^[17]。无定河流域是黄河中游区最大的流域,其地貌类型、气候及生态脆弱性在黄土高原地区极具代表性。

作为中国水土流失重点治理区之一,无定河流域一直是地表侵蚀过程、生态恢复研究的热点地区^[4,18]。以往对该区域的研究多集中于土壤侵蚀、水

沙变化等方面^[19-20],而关于长期、大规模生态建设驱动下土地利用变化的跟踪性研究甚少^[21]。

本文以无定河流域为对象,系统分析生态恢复背景下土地利用时空演变过程,深化该地区植被恢复生态环境效应评价研究。期冀能为大流域尺度植被建设、土地利用规划与管理提供科学依据。

1 研究区概况

无定河流域是黄河中游区最大的流域,位于 $37^{\circ}02'09''\text{—}39^{\circ}01'31''\text{N}$ 、 $107^{\circ}47'48''\text{—}110^{\circ}34'21''\text{E}$ 。干流全长 491.2 km,全河比降为 1.97‰,流域内总面积为 30 418 km²,70% 以上的区域为水土流失区,年均侵蚀模数达 7 900 t/km²。按照地形地貌及水土流失特点,流域可分为风沙区、河源梁涧区和黄土丘陵沟壑区,面积分别占全流域的 54%,11% 和 35%。气候属于东部季风气候区和西北干旱气候区的过渡带,大风和沙暴多,年均温度在 7.9~11.2℃,年降水量在 300~550 mm,降水集中在夏季,变幅大且空间分布不均匀,东南多,西北少。

由于该流域地处干旱、半干旱区,植被状况相对差,生态脆弱。植被以草本为主,木本植物相对较少,仅有少量半灌木,随着气候干燥度由东南向西北逐渐增加,植被发生相应变化,水平地带性明显,从森林草原地带逐渐向干草原地带、荒漠草原地带过渡。在风力、水力侵蚀的双重作用下和人为活动影响下,无定河一度成为黄土高原区土壤侵蚀最严重的地区。1982 年无定河流域被确定为中国水土流失重点治理区,长期生态治理特别是植被重建使得该地区土地利用发生了巨大变化。

2 研究方法

2.1 数据来源

1985—2000 年 3 期土地利用数据来源于中国科学院资源与环境数据中心的全国 1:10 万土地利用数据库。该数据是利用基本覆盖全国的 Landsat MSS, TM 和 ETM+ 信息源,根据全国各地的相关专家对图像光谱、纹理、色调等的认识并结合地形图目视解译而成。数据库经过了野外实地考察验证,精度达到 95%^[22]。2008 年土地利用数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云中 Landsat 7 ETM SLC-off 卫星数字产品(2003—),通过目视解译、人工数字化等处理环节,获得土地利用类型矢量数据,数据精度达 90% 以上。

本文主要采用国家通用分类体系中的 I 级类型分类标准,将研究区的土地分为耕地、林地、草地、水

体、城镇及工矿用地、沙荒及未利用地。利用 AcrGIS 9.3 软件进行数据处理,主要包括格式转换、拼接、裁剪、分类、赋值等。土地利用分类结果见附图 10—11。

2.2 计算方法

采用 GIS 空间分析相关模块进行土地利用类型流转、土地利用动态模拟、土地利用重心转移计算^[23]。具体计算内容、公式和描述如表 1 所示。

表 1 土地利用变化计算模型

计算内容	计算公式	描述
土地利用转移矩阵	$A_{ij} = \begin{Bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots \\ A_{21} & A_{22} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots \end{Bmatrix}$	A_{ij} 为 K 时期土地利用类型 i 转变为 $K+1$ 时期土地利用类型 j 的面积
土地利用动态度	$A_i = \frac{(L_{(i,t_2)} - U_i)}{L_{(i,t_1)}(t_2 - t_1)} \times 100\%$ $B_i = \frac{(L_{(i,t_2)} - U_i)}{L_{(i,t_1)}(t_2 - t_1)} \times 100\%$ $T_i = A_i + B_i$	t_1 为监测期初; t_2 为监测期末; A_i 为第 i 种土地利用类型在监测时期 t_1 至 t_2 期间的转移速率 B_i 为第 i 种土地利用类型在监测时期 t_1 至 t_2 期间的新增速率; T_i 为第 i 种土地利用类型在监测时期 t_1 至 t_2 期间的变化速率; U_i 为监测期间第 i 种土地利用类型未变化面积 (km^2); $L(i, t_1)$ 为第 i 种土地利用类型在监测期初的面积 (km^2); $L(i, t_2)$ 为第 i 种土地利用类型在监测期末的面积 (km^2); n 为区域内土地利用类型的分类数, $i \in (1, n)$
综合土地利用动态度 ^[22]	$S = \frac{\sum_{i=1}^n (L_{(i,t_2)} - U_i)}{2 \sum_{i=1}^n L_{(i,t_1)}(t_2 - t_1)} \times 100\%$	
土地利用重心转移	$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{it} \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_{it}}$ $Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{it} \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_{it}}$ $C = \sqrt{(X_{t_2} - X_{t_1})^2 + (Y_{t_2} - Y_{t_1})^2}$	X_t, Y_t 为第 t 年某种土地利用类型分布重心的坐标; C_{it} 为第 t 年第 i 个小区域该土地利用类型的面积 (km^2); X_i, Y_i 为第 i 个小区域的几何中心的坐标 C 为第 i 个小区域监测期初 t_1 到监测期末 t_2 在水平方向的转移距离 (km)

3 结果与分析

3.1 土地利用变化及流转过程分析

3.1.1 1985—1995 年 草地是无定河流域内的优势景观,其次为耕地和未利用地,林地面积约占 4%,水域、城镇及工矿用地面积则更小。由表 2 可知,在不同用地类型间,草地和水域面积表现出增加趋势,其余用地均呈现下降,其中减少最多的是沙荒及未利用地,其次为耕地、林地。耕林草、沙荒及未利用地相互转移明显。草地是最主要的转入类型,未利用地是最主要的转出类型。近 10 a 余来,草地增加了 1 231.26 km^2 ,占转换初期草地总面积 9%,新增草地主要来源于沙荒及未利用土地,其次来自于耕地 (297.67 km^2) 和林地 (162.05 km^2)。在林地、草地和耕地间,以林地向耕地转移、耕地向草地转移数量居多。沙荒及未利用地是该时段土地利用的重点,沙荒地与其他用地转移数量达到了总面积的 4.58%,其中沙荒及未利用地向草地转移面积达 1 340.12 km^2 ,占沙荒及未利用地总量 19%,占流域总面积 4.41%。这表明在第 I 时段内,无定河流域生态恢复是以改造沙荒地及未利用地来恢复草地为主要方式。

3.1.2 1995—2000 年 在第 II 时段,草地依然是该流域内优势景观,面积占流域总面积 45% 以上,耕地

面积也达到流域面积的 30%。草地、沙荒及未利用地面积表现为降低,其余用地类型则呈增加趋势。77% 的新增林地和 98% 的新增耕地均缘于草地减少。沙荒及未利用地仍是该时段土地利用重点,约 12% 的沙荒及未利用地向草地、林地发生转移。此外,城镇及工矿用地面积也有所增加,反映出经济发展对建设用地的需求。

总的来看,改造利用沙荒及未利用地依然是土地利用的主要形式,林地增加和草地向林地的转变是该时段生态恢复的典型表现。

3.1.3 2000—2008 年 该时段是黄土高原生态退耕全面实施阶段。通过转移矩阵分析(表 2),林地面积比例达到了流域 1/2 以上,草地面积也比 2000 年增加了 1.6%,表明林地、草地等生态型景观的优势程度在增强。受生态退耕驱动,除沙荒及未利用地外,耕地成为该时段内土地利用的重点,耕地向林、草地大量转移,总量达 1 777 km^2 ,其中有 1 397 km^2 转化成草地,转移数量为流域总面积 4.59%;385 km^2 耕地转移为林地。有少量耕地转化成水域和城镇及工矿用地。总体看来,随着退耕还林(草)工程推进,草地等生态型景观面积增加明显。受生态退耕影响,耕地、沙荒及未利用地成为该时段土地利用转移的主要对象和重点。

表 2 1985—2000 年无定河流域土地利用转移矩阵

时段	土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	城镇及工矿用地	沙荒及未利用地
1985—1995 年	耕地	8 247.31	21.68	297.67	6.24	9.86	9.80
	林地	47.20	989.34	162.05	1.11	1.69	1.48
	草地	193.18	105.57	12 506.38	6.31	2.02	280.08
	水域	2.81	0.20	7.00	198.73	0.00	15.78
	城镇及工矿用地	3.00	0.47	11.49	0.88	95.18	5.09
	沙荒及未利用地	24.12	12.43	1 340.21	16.08	1.99	5 794.18
1995—2000 年	耕地	8 161.65	100.79	226.72	4.93	5.79	17.74
	林地	36.30	947.88	135.62	1.65	0.47	7.76
	草地	749.01	643.29	12 683.74	44.18	39.72	164.85
	水域	7.80	0.64	9.42	195.68	0.92	14.87
	城镇及工矿用地	22.60	2.03	4.93	0.00	79.70	1.49
	沙荒及未利用地	72.37	92.01	774.11	12.46	5.69	5 149.77
2000—2008 年	耕地	7 252.67	385.36	1 397.34	1.97	10.81	1.57
	林地	0.15	1 784.86	0.00	0.00	1.63	0.00
	草地	15.63	17.06	13 785.76	0.84	10.78	4.47
	水域	0.33	0.00	0.47	257.94	0.00	0.18
	城镇及工矿用地	0.00	0.00	0.00	0.00	132.29	0.00
	沙荒及未利用地	4.80	77.39	246.23	0.21	13.36	5 014.49

3.2 土地利用动态变化分析

在 1985—1995 年,沙荒及未利用地转移面积和转移速率最大,分别为 1 394.84 km² 和 1.94%,草地转移速率较低,但新增面积和速率为同期最大,分别为 1 818.41 km² 和 1.39%,林地转移幅度较高,新增幅度较低,城镇及工矿用地转移和新增数量基本相当,沙荒及未利用地向草地大面积转移,导致草地新增面积和速率增加明显,这与该时段内土地利用转移规律基本吻合,耕地转移幅度远大于新增幅度,这一方面表明当地对治理利用沙荒地的重视,另一方面也反映出了该时段内农业生产仍以保障耕地数量为主(表 3)。在 1995—2000 年流域土地利用动态发生明显变化,突出表现为草地转移面积和新增面积均达到了该时段内最高值,且转移速率大于新增速率;草地和林地的新增速率和总体变化速度均达到了该时段内最高水平;耕地、城镇及工矿用地新增幅度明显。这说明在生态恢复政策积极驱动下,林地新增幅度和草地优势程度均明显提高。在 2000—2008 年耕地转移面积和速率分别是 1 797.06 km² 和 2.48%,为该时段最大,沙荒及未利用地转移速率呈较高水平。草地新增面积最大,达到了 1 644.04 km²。林地新增速率较高,达到了 3.36%。城镇及工矿用地的新增速率也呈现明显增加,达到了该时段内所有用地的最高水平。整体来看,该时段内流域以恢复草地为主,增

加林地为辅,但林地新增速率保持较高水平。在 3 个恢复时段内,流域综合土地利用动态态度呈现先增大后减小的趋势,其中在 1995—2000 年,综合土地利用动态态度达到了最大值,之后开始回落。这表明生态恢复政策对土地利用动态变化影响较大,特别是退耕还林(草)工程。生态退耕不断趋于合理化,林、草地的变化速率逐步放缓并趋于稳定。

3.3 土地利用重心转移分析

由图 1 可知,各年份内耕地重心相对集中地分布于流域中下游区,随着生态恢复进程推进,耕地重心总体向西北向漂移,这与流域西北风沙区沙荒及未利用地治理利用有关。林地重心迁移以 2000 年为转折点,明显表现出受生态恢复所驱动,特别是生态退耕工程。在生态恢复初期,草地主要集中于流域中上游区,随着上游区沙荒地生态治理、草地向林地、耕地转移,导致草地利用方向一直向流域下游转移,这也与流域生态恢复以草地恢复为主相吻合,特别是实施退耕还林还草工程后,下游区耕地向着林草地大面积转移,使得草地重心继续向下游区移动。随着中游区林草地恢复,植被的生态水文作用因此而加强,这可能是水域重心向着中上游方向迁移的原因之一。城镇及工矿用地重心主要集中于流域中心区,转移幅度相对较小。沙荒及未利用地重心集中于流域上游区,重心转移幅度较小。

表 3 1985—2008 年无定河流域土地利用动态变化

时段	土地利用类型	未变部分/ km ²	转移部分		新增部分		变化速率/ %
			面积/km ²	速率/%	面积/km ²	速率/%	
1985—1995 年	耕地	8 247.31	345.25	0.40	270.31	0.31	0.71
	林地	989.34	213.52	1.78	140.35	1.17	2.95
	草地	12 506.38	587.16	0.45	1 818.41	1.39	1.84
	水域	198.73	25.78	1.15	30.62	1.36	2.51
	城镇及工矿用地	95.18	20.93	1.80	15.56	1.34	3.14
	沙荒及未利用地	5 794.18	1 394.83	1.94	312.22	0.43	2.37
	区域总动态变化	27 831.12	2 587.47	—	2 587.47	—	3.75
1985—1995 年	耕地	8161.65	355.97	0.84	888.08	2.09	2.92
	林地	947.88	181.81	3.22	838.76	14.85	18.07
	草地	12 683.74	1 641.05	2.29	1150.8	1.61	3.90
	水体	195.68	33.66	2.93	63.23	5.51	8.45
	城镇及工矿用地	79.70	31.04	5.61	52.59	9.50	15.10
	沙荒及未利用地	5 149.77	956.64	3.13	206.71	0.68	3.81
	区域总动态变化	27 218.42	3 200.16	—	3 200.16	—	9.01
1985—1995 年	耕地	7 252.67	1 797.06	2.48	20.91	0.03	2.51
	林地	1 784.86	1.78	0.01	479.81	3.36	3.37
	草地	13 785.76	48.78	0.04	1 644.04	1.49	1.53
	水体	257.94	0.98	0.05	3.02	0.15	0.19
	城镇及工矿用地	132.29	0	0	36.58	3.46	3.46
	沙荒及未利用地	5 014.49	341.99	0.80	6.22	0.01	0.81
	区域总动态变化	28 228.01	2190.58	—	2 190.58	—	1.69

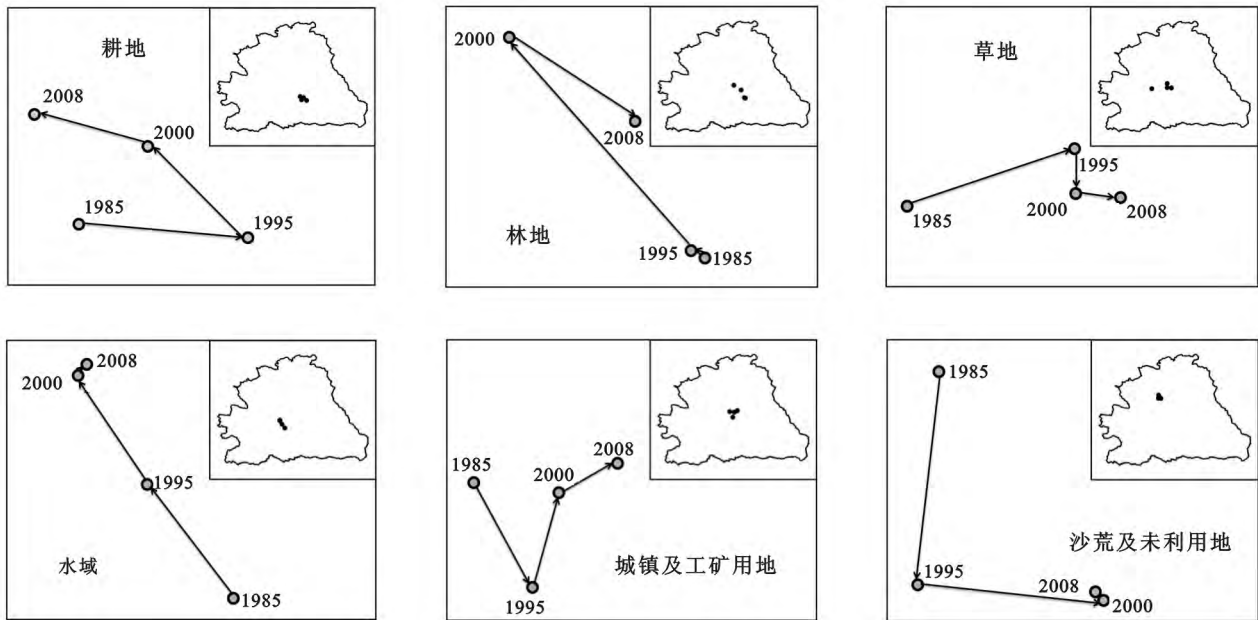


图 1 无定河流域土地利用重心迁移轨迹

23 a 来,与其他用地类型相比,无定河流域耕林草的土地利用重心偏移距离和速度均比较大,特别是林地在 1995 年后,其重心发生了较大幅度偏移(表 4)。耕地、草地、城镇及工矿用地、沙荒及未利用地的重心

迁移距离逐年减小。1995—2000 年是土地利用重心调整转变时段。2000 年后土地利用重心时空漂移幅度逐渐减小,变化程度整体趋于稳定,表明流域土地利用频繁转移态势得到了控制,变化趋于平稳。

表 4 1985—2008 年无定河流域土地利用重心迁移的距离方向及速度

土地利用类型	1985—1995 年			1995—2000 年			2000—2008 年		
	方向	距离/ km	速度/ (km · a ⁻¹)	方向	距离/ km	速度/ (km · a ⁻¹)	方向	距离/ km	速度/ (km · a ⁻¹)
耕地	东偏南	7.66	0.77	西北	6.92	1.38	西北	5.45	0.68
林地	西北	1.41	0.14	西北	28.61	5.72	东南	14.37	1.80
草地	东北	24.71	2.47	南	7.88	1.58	东偏南	6.06	0.76
水域	西北	8.59	0.86	西北	7.78	1.56	西南	0.86	0.11
城镇及工矿用地	东南	11.47	1.15	北偏东	9.76	1.95	东北	5.45	0.68
沙荒及未利用地	南偏西	5.63	0.56	东	3.81	0.76	西北	0.31	0.04

3.4 生态恢复背景下流域水沙演变分析

在黄土高原地区,土地利用变化是影响流域水沙过程变化的重要因子。以无定河流域最大水文控制站白家川站(控制无定河流域总面积 98% 以上)水沙实测记录为依据,结合本文土地利用演变时段,进行水沙过程变化分析(表 5)。由表 5 分析可知,随着土地利用时空变化,流域平均径流量逐渐减小。将 1970s,1980s,1990s 和 2000s 年 4 个时段多年平均径流量与土地利用水平较低的 60s 的相比,可看出 2000 年后无定河流域的径流减少量最大为 $7.64 \times 10^9 \text{ m}^3$,

减幅达到 50%。相比径流量而言,输沙量变化幅度较大,其中 1980s 和 2000s 这 2 个时段减沙量和减沙幅度最大,而较 60 年代输沙量,减少幅度达到 72% 和 81%。这说明无定河流域一直加强水土流失治理,特别是进入大规模生态退耕时期,植被恢复的减水减沙效应明显。这种变化结果与流域土地利用变化规律具有一定关联性,特别是趋势上有很大吻合度。由于流域水沙演化过程和影响机制非常复杂,有关生态恢复水沙效应研究还需深入。

表 5 无定河流域白家川水文站控制流域近 50 a 水沙变化

项目	实测多年平均值					减少量				减幅/%			
	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s	1970s	1980s	1990s	2000s	1970s	1980s	1990s	2000s
径流量/ 10^9 m^3	15.18	12.08	10.43	9.33	7.54	3.10	4.75	5.85	7.64	20	31	39	50
输沙量/ 10^9 t	1.87	1.16	0.53	0.84	0.36	0.71	1.34	1.03	1.51	38	72	55	81

注:水沙量的减少量计算以 1960s 为基准。

4 结论

(1) 无定河流域土地利用类型转移矩阵分析表明,在 3 个生态恢复时段,草地始终是优势用地类型,在生态恢复初期,土地利用以治理沙荒及未利用地、恢复林草地为主要形式,草地、林地、耕地、沙荒及未利用地相互之间频繁流转。退耕还林(草)工程实施以来,耕地、沙荒及未利用地向林、草地转变成为典型的土地利用转移形式。

(2) 在不同时段内,各土地利用类型动态变化程度差异明显。在研究初期,沙荒及未利用地变化最为剧烈。在生态恢复驱动下,沙荒及未利用地向草地转移、耕地向林草地转移的幅度增加明显,流域土地利用总动态度达到了较高水平。特别是退耕还林(草)工程实施以来,耕地转移速率急剧攀升,林草地面积和变化幅度新增明显。

(3) 在生态恢复过程中,各土地利用重心空间漂

移最为突出。1995—2000 年是土地利用重心调整转变时段。随着生态退耕工程的推进,土地利用重心时空漂移幅度逐渐减小,变化程度整体趋于稳定。

无定河流域因其严重的水土流失,一直被列为全国水土保持和生态恢复的重点区域。本文以生态恢复为背景,从宏观层面多个角度解析流域土地利用时空演变特征。从流转方向来看,无定河流域以恢复草地为主,增加林地为辅;从利用对象来看,以治理沙荒地为主、生态退耕为辅。这种恢复模式和方式与流域自然禀赋条件、地形地貌特征有一定关系。无定河流域上游为风沙地貌,中游区主要为河源梁涧地貌,部分中游区和下游区为黄土丘陵沟壑地貌类型,同时从西北到东南,气候也表现出明显梯度特征,即流域西北部干旱少雨,东南部半干旱少雨且降水季节性差异明显,这决定了流域不宜构建以林为主的植被格局,而适宜采用以草为主、林草复合的恢复模式,从而来保证流域生态环境建设的可持续性。土地利用动态变化是一个复杂体系,是自然、社会、经济等多种因素

综合作用的结果。例如,从研究结果可看出,除生态恢复政策影响外,土地利用动态变化特别是林草地景观变化与流域地形地貌格局有一定联系。因此,以恢复植被为主要内容的生态恢复过程与土地利用变化过程的相互作用与反馈,以及这种关系在其他要素作用基础上的表现,还需深入分析。生态退耕驱动下土地利用变化的水沙效应研究还需进一步深化。

[参 考 文 献]

- [1] 张金屯. 黄土高原植被恢复与建设的理论和技术问题[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 120-124.
- [2] Chen Liding, Wang Jiping, Wei Wei, et al. Effects of landscape restoration on soil water storage and water use in the Loess Plateau region, China[J]. Forest Ecology and Management, 2009, 259(7): 1291-1298.
- [3] 张文辉, 刘国彬. 黄土高原植被生态恢复评价、问题与对策[J]. 林业科学, 2007, 43(1): 102-106.
- [4] 许炯心. 无定河流域侵蚀产沙过程对水土保持措施的影响[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 972-981.
- [5] 侯扶江, 肖金玉, 南志标. 黄土高原退耕地的生态恢复[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 923-929.
- [6] 郑海峰, 陈利顶, 于洪波. 黄土丘陵沟壑区乔灌木植物空间优化配置: 以甘肃省定西地区为例[J]. 地理研究, 2007, 26(1): 101-109.
- [7] 沈瑞昌, 吴秀芹, 朱清科. 黄土区适宜性植物群落优化配置: 以陕西省延安市吴起县为例[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(4): 150-155.
- [8] 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): 地球科学, 2007, 37(11): 1504-1514.
- [9] Lü Yihe, Fu Bojie, Feng Xiaoming, et al. A Policy-driven large scale ecological restoration: Quantifying ecosystem services changes in the Loess Plateau of China [J]. PLoS ONE, 2012, 7(2): e31782.
- [10] 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.
- [11] Wang Yafeng, Fu Bojie, Lü Yihe, et al. Effects of vegetation restoration on soil organic carbon sequestration at multiple scales in semi-arid Loess Plateau, China [J]. Catena, 2011, 85(1): 58-66.
- [12] 李裕元, 邵明安, 郑纪勇, 等. 黄土高原北部草地的恢复与重建对土壤有机碳的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2279-2287.
- [13] Feng Xiaoming, Sun Ge, Fu Bojie, et al. Regional effects of vegetation restoration on water yield across the Loess Plateau, China [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2012, 16(8): 2617-2628.
- [14] 胡婵娟, 刘国华, 陈利顶, 等. 黄土丘陵区坡面尺度上不同植被格局下植物群落和土壤性质研究[J]. 干旱区地理, 2012, 35(5): 787-794.
- [15] Hu Chenxia, Fu Bojie, Chen Liding. Impacts of "grain for green project" on agriculture and rural economics development in the loess hilly and gully area: A case study in Ansai County [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006, 20(4): 67-72.
- [16] 吴见, 刘民士, 李伟涛. 不同地形条件下植被盖度信息提取技术研究[J]. 植物生态学报, 2013, 37(1): 18-25.
- [17] 王计平, 陈利顶, 汪亚峰. 黄土高原地区景观格局演变研究综述[J]. 地理科学进展, 2010, 29(5): 535-542.
- [18] 周园园, 师长兴, 杜俊, 等. 无定河流域 1956—2009 年径流量变化及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2012, 27(5): 856-865.
- [19] 王计平, 杨磊, 卫伟, 等. 黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响: 观水平与多尺度比较[J]. 生态学报, 2011, 31(19): 5531-5541.
- [20] 张鑫, 蔡焕杰, 尹晓楠. 应用重标度极差分析法(R/S)分析无定河流域水沙变化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(14): 212-217.
- [21] 李丽娟, 杨俊伟, 姜德娟, 等. 20 世纪 90 年代无定河流域土地利用的时空变化[J]. 地理研究, 2005, 24(4): 527-534.
- [22] 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2002, 32(12): 1031-1040.
- [23] 岳德鹏, 王计平, 刘永兵, 等. 京郊西北地区农地利用与景观格局时空特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 89-95.