

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2021.0013

廖慧,舒章康,金君良,等.1980—2015年黄河流域土地利用变化特征与驱动力[J].南水北调与水利科技(中英文),2021,19(1):129-139. LIAO H, SHU Z K, JIN J L, et al. Characteristics and driving forces of land use change in the Yellow River basin from 1980 to 2015[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2021, 19(1): 129-139. (in Chinese)

1980—2015年黄河流域土地利用变化特征与驱动力

廖慧^{1,2}, 舒章康^{2,3}, 金君良^{2,3}, 杨传国¹, 王国庆^{2,3}

(1. 河海大学水文水资源学院, 南京 210098; 2. 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210029; 3. 长江保护与绿色发展研究院, 南京 210098)

摘要: 采用1980—2015年共6期黄河流域土地利用数据,对全流域土地利用类型的面积与时空变化进行分析,利用动态度指标进一步研究流域土地利用的变化率;基于行政区,采用转移矩阵对全流域及流域内各省(自治区)1980—2000、2001—2015年2个时期土地利用的转移类型和数量进行分析,探究了影响土地利用的主要驱动因子。结果表明:黄河流域的土地利用在数量和结构上都存在显著特征,草地、旱地、林地一直是该流域的主要土地利用类型,1980—2015年,旱地、草地、水域、未利用土地的面积减少率分别为1.60%、1.23%、6.66%、1.84%,水田、林地、城乡土地的面积增加率为8.22%、2.53%、44.32%;在单一土地利用类型方面,城乡用地的变化率较大,其余相对较小;黄河流域内发生土地利用转变的区域主要集中在中部和东部,中下游省(自治区)转变明显;气候变化、人口增加和人类经济发展等都是黄河流域土地利用变化的主要驱动因子。

关键词: 土地利用; 时空变化; 动态度; 转移矩阵; 黄河流域

中图分类号: P942 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



土地是人类生活和发展最基础资源,土地利用变化是人类活动作用于自然生态最直接客观的反映^[1]。土地利用近年来也是全球气候变化研究的热点问题^[2],2005年开始的全球土地计划(Global Land Project, GLP)是“国际地圈生物圈计划(IGBP)”和“全球变化人文因素计划(IHDP)”联合解决人类与土地互利关系的关键一步^[3,5]。土地利用变化对流域内水文循环过程、土壤侵蚀以及生物多样性的影响十分显著,不合理的土地利用则可能威胁到流域的生态环境安全,是水土资源的合理配置和土地可持续利用提供科学依据的重要前提^[6]。

目前已有许多学者在不同区域以不同侧重点对土地利用展开研究,包括其时空变化^[7]、驱动机制、

对径流的影响^[8]等,研究方法也趋于多样性。如:王磊等^[9]在SWAT模型的基础上定量分析了清水河的土地利用情景对径流的影响;张永彬等^[10]运用变化图谱和信息熵对研究区空间分布特征和系统结构有序性进行了逐一分析;Dewan等^[11]基于卫星图像运用一种监督分类方法对孟加拉国达卡地区的土地利用动态进行了量化;Kalnay等^[12]还用趋势观察法得出土地利用变化情况是影响气候变化的重要原因之一;王思远等^[13]对我国近5年来土地利用的时间动态特征和空间动态特征进行了定量分析,得出我国土地利用类型变化主要发生在东部和北部;朱会义等^[14]以环渤海地区为研究对象,深度剖析了该区各类土地利用数量变化的幅度、速度和区域差异以及土地利用空间变化的主要类型、分布特征和区域方向。

收稿日期: 2019-12-16 修回日期: 2020-04-29 网络出版时间: 2020-05-20

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20200520.1512.004.html>

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0404403); 国家自然科学基金(51779144; 51879164; 51679144); 第二次青藏高原综合科学考察研究专题(2019QZKK0203); 中央级公益性科研院所基本业务费(Y519010; Y519016)

作者简介: 廖慧(1995—),女,湖南永州人,主要从事水文水资源研究。E-mail: 625513585@qq.com

通信作者: 金君良(1982—),男,浙江金华人,教授级高级工程师,主要从事水文水资源研究。E-mail: jljin@nhri.cn

针对黄河流域土地利用类型识别及其变化情况研究成果众多。隋欣等^[15]以黄河流域青海片 2001 年的土地利用资料为基础总结了其变化规律,揭示了青海总体上以草地覆盖为主、景观不规则等主要特征;周旭等^[16]通过对武汉市 1994、2006、2016 年三期 Landsat TM 遥感影像基础地理数据分析得到 1994—2016 年武汉的土地利用类型转换中以耕地的动态变化最为明显,林地次之,且在 2006—2016 年水域主要由草地和林地转化而来;王光谦等^[17]分析了黄河流域 20 世纪 80 年代末到 90 年代末近 10 年的土地覆盖变化,结果表明 20 世纪 80 年代末到 90 年代末黄河流域草地、林地面积减少,而耕地、建设用地、未利用地面积增加;董斌等^[18]利用转移矩阵对黄河流域山东片 2000—2006 年的土地利用进行了分析,得到流域的有林地转移的速率最大,大部分转化为农田,宜林荒山荒地和建设用地,灌木林、疏地林和其他林地的减少量中大部分转变为有林地;李帅等^[19]选取黄河流域宁夏段为典型研究区,对宁夏 1985—2010 年的土地利用时空变化特征进行分析总结得到,在研究期间流域内面积呈增加变化的是林地、水域、建设用地和耕地,呈减少变化的是草地和未利用地;金淑婷等^[20]在“3S”技术支持下剖析了在人类不同活动强度下黄河流域甘肃的土地利用空间格局及动态特征,得出 1990—2010 年甘肃的草地、林地以及水域以 2000 年为分界点呈现出先减后增的趋势。从以上的研究现状来看,近几十年来黄河流域水资源锐减趋势突出,下垫面变化对流域内水文循环过程影响十分显著,因而成为流域土地利用研究的热点问题之一。但以往的黄河土地利用分析多以转移类型、空间变化等为主,缺乏对驱动机制的研究分析。随着资源、环境之间的矛盾越发突出,生态环境恶化加速,黄河流域水土流失情况已成为我国最严重的地区之一。2019 年 9 月,中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平在郑州主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会并发表重要讲话。他强调:要坚持绿水青山就是金山银山的理念,坚持生态优先、绿色发展,以水而定、量水而行,因地制宜、分类施策,上下游、干支流、左右岸统筹谋划,共同抓好大保护,协同推进大治理,着力加强生态保护治理,保障黄河长治久安,促进全流域高质量发展,改善人民群众生活,保护传承弘扬黄河文化,让黄河成为造福人民的幸福河^[21]。因此,研究黄河流域历史土地利用/覆被变化特征,分析其驱动因子和要素,对于黄河流域生态保护和高质量发展具有重要的意义。本文基于黄河流域土地利用数

据,借助 GIS 和土地利用评价指标对全流域和流域内 9 个省(自治区)的土地利用变化情况及驱动因素进行分析,旨在揭示经济、气候和人类活动等对流域土地利用的影响,以为黄河流域土地资源的合理规划提供参考,也为黄河流域的水土保持工作奠定科学基础。

1 研究区概况

黄河发源于中国青海省巴颜喀拉山脉,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东等 9 个省(自治区),最后在山东东营垦利县注入渤海。黄河流域,总面积约 75.2 km²,流域内地形复杂,山脉众多,东西高差悬殊,各区地貌差异也很大,土地资源丰富。在过去的 50 年里,流域的气候发生显著变化:气温升高趋势明显,2000 年后的平均气温 10.2 °C,升温速率达到每年 0.025 °C^[22];同时降水量也略有减少,大部分地区年降水量在 200~650 mm,中上游南部和下游地区多于 650 mm。近年来流域内人口剧增,经济和旅游业不断发展,全流域总人口数约为 11 368 万人,占全国总人口的 8.6%,流域内人均 GDP 是全国人均 GDP 的 90%。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文 1980—2015 年共 6 期土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn/>),空间分辨率为 90 m。该数据以美国陆地卫星 Landsat 遥感影像数据作为主要信息源,利用人机交换的方法目视解译,建成了多时期土地利用/土地覆盖专题数据库^[23]。数据集在土地利用/覆被变化研究中应用广泛^[7,24],可信度较高。参考《土地利用现状分类(GB/T 21010—2007)》标准,本研究重构了包含水田、旱地、林地、草地、水域、城乡、未利用土地等 7 种利用类型。

2.2 土地利用动态度

土地利用动态度模型能够定量地描述土地利用的变化率^[25]。对于单一土地利用类型,土地利用动态度是指区域内该种土地利用类型的数量变化情况,其表达式为

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

式中: K 为研究时段内某一土地利用类型动态度; U_a 为研究初期某一土地利用类型的数量; U_b 为研究末期某一土地利用类型的数量; T 为研究时段长。

当 T 的时段设定为年时, K 值就是该研究区某种土地利用类型年变化率。

2.3 土地利用转移矩阵

转移矩阵可以定量直观地反映 2 个时期各土地利用类型之间的转化情况^[26-27], 包括转化来源、去向及数量大小等信息, 其具体数学表达式形式为

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: S 为土地利用类型的面积; n 为土地利用类型; S_{ij} 表示研究时段初期 i 类土地到研究末期转为 j 类土地的面积。此外, 转移矩阵的每一行总和表示研究初期该土地利用类型的面积总数, 每个行值表示该土地类型的转移去向和大小; 每一类的总和表示研究末期该土地类型的面积总数, 每个列值则表示该土地类型的所有转入类型及大小。

表 1 1980—2015 年黄河流域 6 期土地利用面积变化

Tab. 1 Change of land use area in the Yellow River basin in the six periods

| 年份 | 水田 | | 旱地 | | 林地 | | 草地 | | 水域 | | 城乡 | | 未利用土地 | |
|------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|
| | 面积/ km ² | 百分比/ % |
| 1980 | 6074 | 0.76 | 204 895 | 25.74 | 103 409 | 12.99 | 380 630 | 47.81 | 15 092 | 1.90 | 16 071 | 2.02 | 69 924 | 8.78 |
| 1990 | 6244 | 0.78 | 206 077 | 25.89 | 103 574 | 13.01 | 381 025 | 47.87 | 13 916 | 1.75 | 16 218 | 2.04 | 68 845 | 8.65 |
| 2000 | 6815 | 0.86 | 207 162 | 26.02 | 103 355 | 12.98 | 378 608 | 47.56 | 13 479 | 1.69 | 17 752 | 2.23 | 68 918 | 8.66 |
| 2005 | 6705 | 0.84 | 203 531 | 25.57 | 105 673 | 13.27 | 376 803 | 47.33 | 13 767 | 1.73 | 18 927 | 2.38 | 70 684 | 8.88 |
| 2010 | 6653 | 0.84 | 202 962 | 25.49 | 105 974 | 13.31 | 377 160 | 47.38 | 13 821 | 1.74 | 19 499 | 2.45 | 70 021 | 8.80 |
| 2015 | 6573 | 0.83 | 201 625 | 25.33 | 106 030 | 13.32 | 375 945 | 47.22 | 14 087 | 1.77 | 23 194 | 2.91 | 68 636 | 8.62 |

从各土地利用类型的变化趋势来看, 1980—2015 年水田面积呈现先增长又微弱减少的趋势。从 1980 年的 6074 km², 增长到 2000 年的 6815 km², 而到 2015 年减少为 6573 km², 相比最初增长了 8.22%; 林地面积整体上变化不大, 缓慢增长了 2.53%; 城乡面积是在研究期间唯一持续增长的类型, 从 16 071 km² 增加到 23 194 km², 增长比例高达 44.32%。旱地、草地、水域和未利用土地面积总体上都呈现减少的趋势, 减少比例依次为 1.60%、1.23%、6.66% 和 1.84%。旱地面积从 1980 年到 2000 年增加了 2267 km², 到 2015 年又减少了 5537 km²; 草地整体减少的面积为 4685 km²; 水域面积则呈现先减少再微弱增加的特征。在所有土地利用类型中, 变化相对最不稳定的是未利用土地, 呈现出先减少再增加, 然后不断减少的特点, 最终减少面积为 1288 km²。

本研究土地利用转移矩阵的计算直接对不同时期黄河流域土地利用现状图利用 ArcGIS 进行先融合叠置, 再计算面积, 最后导出属性表, 完成转移矩阵的数据提取。

3 结果分析

3.1 流域土地利用时空分布

3.1.1 土地利用面积分布

黄河流域 1980—2015 年土地利用面积和比例变化见表 1。由表 1 可知: 流域内面积占比最大的是草地和旱地, 2000 年这两者合计高达 73.96%; 其次是林地和未利用土地, 多年平均占比分别为 13.15%、8.73%; 面积占比最小的是水域、城乡、水田, 总量平均仅占 4.92%; 1980—2015 年以来, 草地、旱地、林地一直是黄河流域的主要土地利用类型, 流域内不同的土地类型面积差异较大。

3.1.2 土地利用空间分布

黄河流域 1980—2015 年共 6 期的土地利用空间分布见图 1。通过图中对比可以看出: 草地分布范围最广, 主要集中在黄河上中游地区, 分布于内蒙古、宁夏, 35 年来草地面积基本不变; 旱地分布极不均匀, 主要分布在流域中南部地区, 主要形式为耕地; 林地主要分布在东南部地区; 未利用土地和水田则大多分布在西北部地区。

从图 2 可以看出, 1980—2015 年黄河流域的土地利用类型发生变化的范围主要集中在流域的中部和东部, 北部有部分地区变化明显, 其中变化较剧烈的有甘肃、陕西、山西及河南, 这些地区发生的主要是旱地与城乡之间的转换, 这与流域内人口剧增和经济发展的双重效应使得建设用地快速扩张的事实相符。从 2 个时期来看, 黄河流域在 2000 年前后的土地利用变化区域整体波动不大, 流域的西部地区土地类型相对稳定。

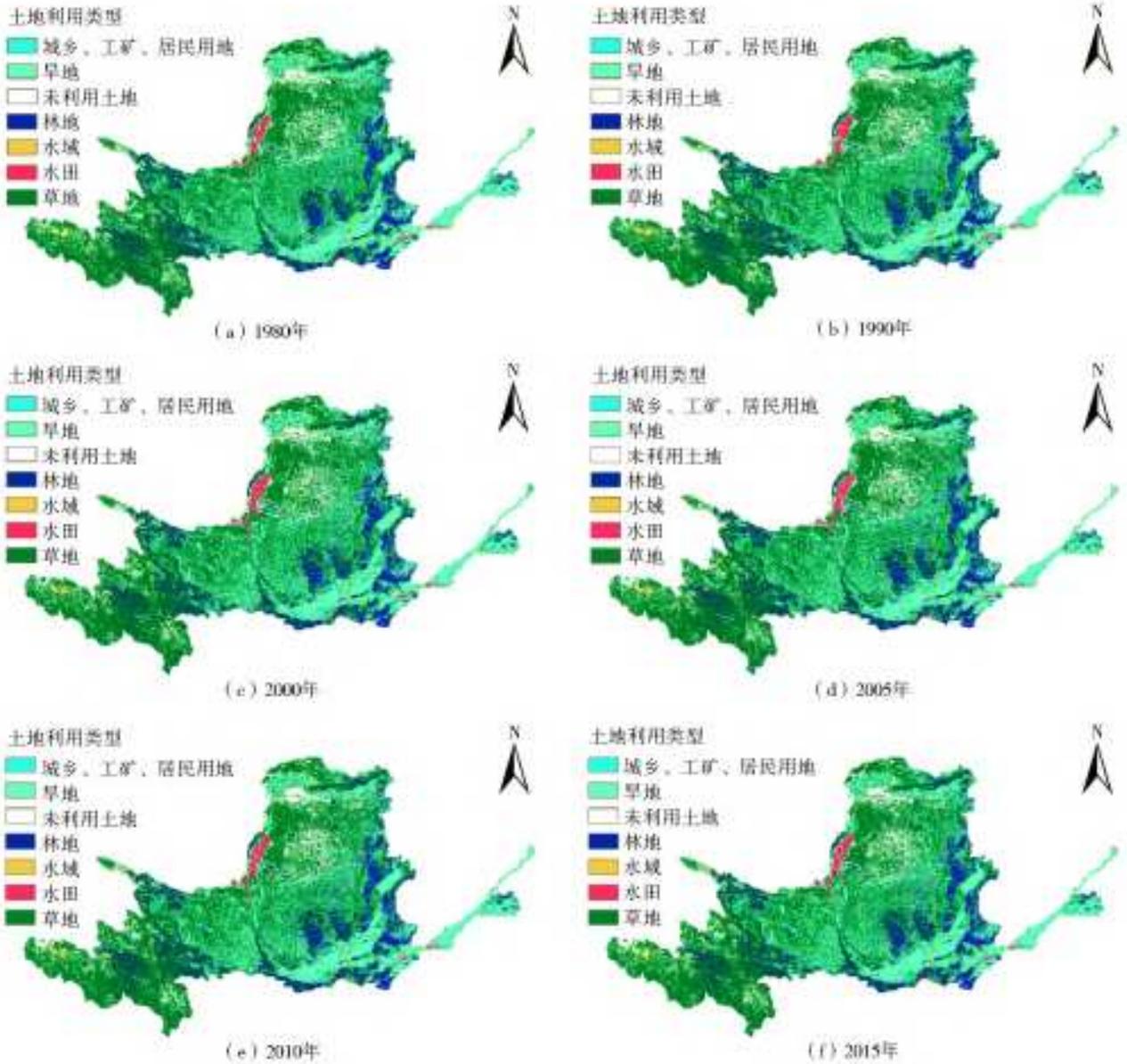


图 1 1980—2015 年黄河流域土地利用类型空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of land use types in the Yellow River basin from 1980 to 2015

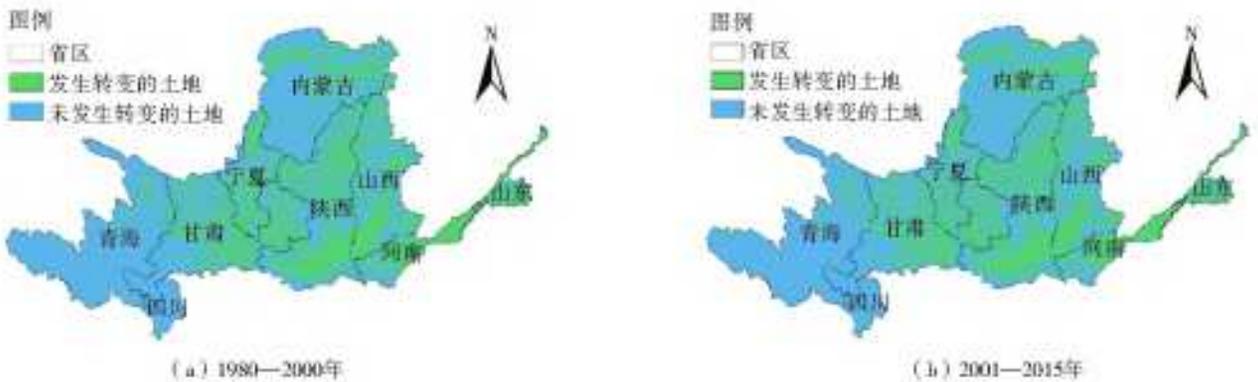


图 2 1980—2000、2001—2015 年黄河流域土地利用变化空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of land use change in the Yellow River basin from 1980 to 2000 and from 2001 to 2015

3.2 流域土地利用变化率

黄河流域相邻两期数据的土地利用动态度见表 2。由表 2 可知, 不同时期各土地利用类型变化

率既存在一致性也存在差异性, 如水田与旱地的变化率都是先增加再减小, 草地和未利用地则变化为时增时减。1980—1990 年, 城乡的面积扩张

率最高,年增长率为 1.4%,水域的年递减率为 0.78%;1991—2000 年变化率最高的是城乡,水田次之;2001—2005 年是流域各土地利用类型变化率最高的时期,其中城乡、林地、水域和未利用土地变化最明显,年增长率分别是 1.32%、0.45%、

0.43%、0.51%;2006—2010 年所有土地类型都变化缓慢。2011—2015 年变化最突出的是城乡面积,增长率高达 3.79%,是前一研究时段的 6.32 倍,表明在黄河流域经济快速发展的同时流域内城镇化程度在加速提高。

表 2 1980—2015 年黄河流域各类土地利用类型动态度

Tab. 2 The dynamic attitude of various land use types in the Yellow River basin from 1980 to 2015

单位: %

| 土地利用类型 | 1980—1990 年 | 1991—2000 年 | 2001—2005 年 | 2006—2010 年 | 2011—2015 年 |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 水田 | 0.28 | 0.91 | -0.32 | -0.16 | -0.24 |
| 旱地 | 0.06 | 0.05 | -0.35 | -0.06 | -0.13 |
| 林地 | 0.02 | -0.02 | 0.45 | 0.06 | 0.01 |
| 草地 | 0.01 | -0.06 | -0.10 | 0.02 | -0.06 |
| 水域 | -0.78 | -0.31 | 0.43 | 0.08 | 0.38 |
| 城乡 | 1.40 | 0.95 | 1.32 | 0.60 | 3.79 |
| 未利用土地 | -0.15 | 0.01 | 0.51 | -0.19 | -0.40 |

基于黄河流域土地利用分布图层,经 ArcGIS 提取得到全流域 1980—2015 年土地利用类型状态转移矩阵(表 3、4),可以看出:在前一阶段草地面积主要转化成为未利用土地、旱地和林地,转化比例分别是 41.54%、30.43%、17.19%,这表明草地有一定的退化现象,部分被种植为林地;从 20 世纪 80 年代开始,黄河流域的水情发生了巨大变化,流域内缺水严重,因而导致草地持续干旱化,同时受利益驱动,人类乱砍滥挖的现象屡禁不止,进一步加快了草地向旱地的转化;

1980—2000 年城乡向旱地和草地的转换面积分别占城乡变化面积的 74.07%、12.48%,转入面积为 1 398.58、235.73 km²,城乡向林地的转变主要源于人类植树造林等生态建设工程,属于生态正向演变。草地面积增加的最大来源为旱地与林地,依次增加了 4 279.68、879.09 km²。水田、水域在中东部主要表现为向草地、未利用土地和旱地转变,而北部的未利用土地的主要转出类型为草地,面积为 2 198.41 km²,占未利用土地转出比例的 73.37%。

表 3 1980—2000 年黄河流域土地利用转移矩阵

Tab. 3 Land use transfer matrix in the Yellow River basin from 1980 to 2000

单位: km²

| 土地利用类型 | 2000 年 | | | | | | | 1980 年总计 |
|----------|------------|-----------|------------|------------|----------|-----------|-----------|------------|
| | 草地 | 城乡 | 旱地 | 林地 | 水田 | 水域 | 未利用土地 | |
| 草地 | 377 938.39 | 25.60 | 1 914.08 | 1 081.20 | 26.59 | 629.50 | 2 612.57 | 384 227.93 |
| 城乡 | 235.73 | 13 323.97 | 1 398.58 | 38.46 | 88.73 | 81.53 | 45.09 | 15 212.10 |
| 旱地 | 4 279.68 | 222.08 | 201 474.16 | 304.94 | 69.58 | 1 493.53 | 634.01 | 208 477.98 |
| 林地 | 879.09 | 1.47 | 306.94 | 100 463.82 | 10.90 | 62.43 | 175.41 | 101 900.06 |
| 水田 | 417.72 | 13.53 | 97.44 | 19.91 | 6 002.55 | 200.92 | 267.24 | 7 019.31 |
| 水域 | 403.68 | 2.03 | 409.05 | 19.71 | 43.93 | 11 330.77 | 311.52 | 12 520.70 |
| 未利用土地 | 2 198.41 | 3.50 | 371.78 | 63.18 | 10.71 | 348.64 | 63 511.60 | 66 507.82 |
| 2000 年总计 | 386 352.70 | 13 592.18 | 205 972.03 | 101 991.22 | 6 252.99 | 14 147.33 | 67 557.45 | 795 865.89 |

由表 4 可知,2001—2015 年流域内林地和未利用土地的主要转化方向均是草地,转化面积为 1 830.95、2 990.32 km²,占各自转化面积的 48.73%、79.61%。1980—2000 年和 2001—2015 年 2 个时段城乡的首要转化方向依然为旱地和草地,值得注意的是,近 15 年旱地和水田转化为其他土地利用类型的面积均有减少,在 2001—2015 年水田有 96.28% 的

面积维持不变^[26]。

3.3 不同省(自治区)土地利用结构变化

为定量反映和说明不同省(自治区)人类活动对不同土地利用类型的影响,计算了 1980—2000、2001—2015 年黄河流域内所有省(自治区)土地利用类型变化情况(图 3、4),由图可知如下结果:

表 4 2001—2015 年黄河流域土地利用转移矩阵

Tab. 4 Land use transfer matrix in the Yellow River basin from 2001 to 2015

单位: km²

| 土地利用类型 | 2015 年 | | | | | | | 2001 年总计 |
|-----------|------------|-----------|------------|------------|----------|-----------|-----------|------------|
| | 草地 | 城乡 | 旱地 | 林地 | 水田 | 水域 | 未利用土地 | |
| 2001 年 草地 | 374 411.55 | 69.46 | 4 054.90 | 589.61 | 37.01 | 271.92 | 2 437.47 | 381 871.91 |
| 城乡 | 1 664.18 | 14 849.25 | 3 013.75 | 209.56 | 306.71 | 84.42 | 429.34 | 20 557.21 |
| 旱地 | 2 814.71 | 233.04 | 198 682.01 | 215.70 | 28.15 | 339.50 | 499.59 | 202 812.70 |
| 林地 | 1 830.95 | 12.71 | 1 526.04 | 100 712.85 | 13.05 | 38.98 | 335.42 | 104 470.00 |
| 水田 | 62.83 | 11.31 | 33.12 | 8.53 | 6 506.35 | 95.81 | 39.59 | 6 757.54 |
| 水域 | 452.99 | 25.51 | 812.78 | 79.13 | 96.65 | 11 418.25 | 252.78 | 13 138.09 |
| 未利用土地 | 2 990.32 | 11.65 | 361.74 | 86.52 | 30.35 | 275.49 | 62 505.06 | 66 261.12 |
| 2015 年总计 | 384 227.53 | 15 212.94 | 208 484.34 | 101 901.91 | 7 018.25 | 12 524.37 | 66 499.24 | 795 868.58 |

(1) 青海由于自身特有的资源条件, 发展草地生态畜牧业是当地资源可持续利用的重要政策, 草地的主要面积来源在 2 个时期都是旱地, 旱地转化为草地的面积均占转变面积的 90% 以上。旱地总面积转变特征明显, 1980—2000 年旱地减少了 136.81 km², 但 2001—2015 年又小幅上涨; 林地和未利用土地的变化面积去向均为草地, 2001—2015 年

的转化比例分别为 91.43%、98.31%。

(2) 四川在流域面积中仅占 2.5% 不到, 且主要土地利用类型为未利用地, 变化可以忽略不计。城乡、旱地、水田在 1980—2000 年没有向其他任何土地利用类型转变, 在 2001—2015 年发生了微弱转化, 转化的主要去向都是草地, 旱地和水田转化为草地的比例高达 100%。

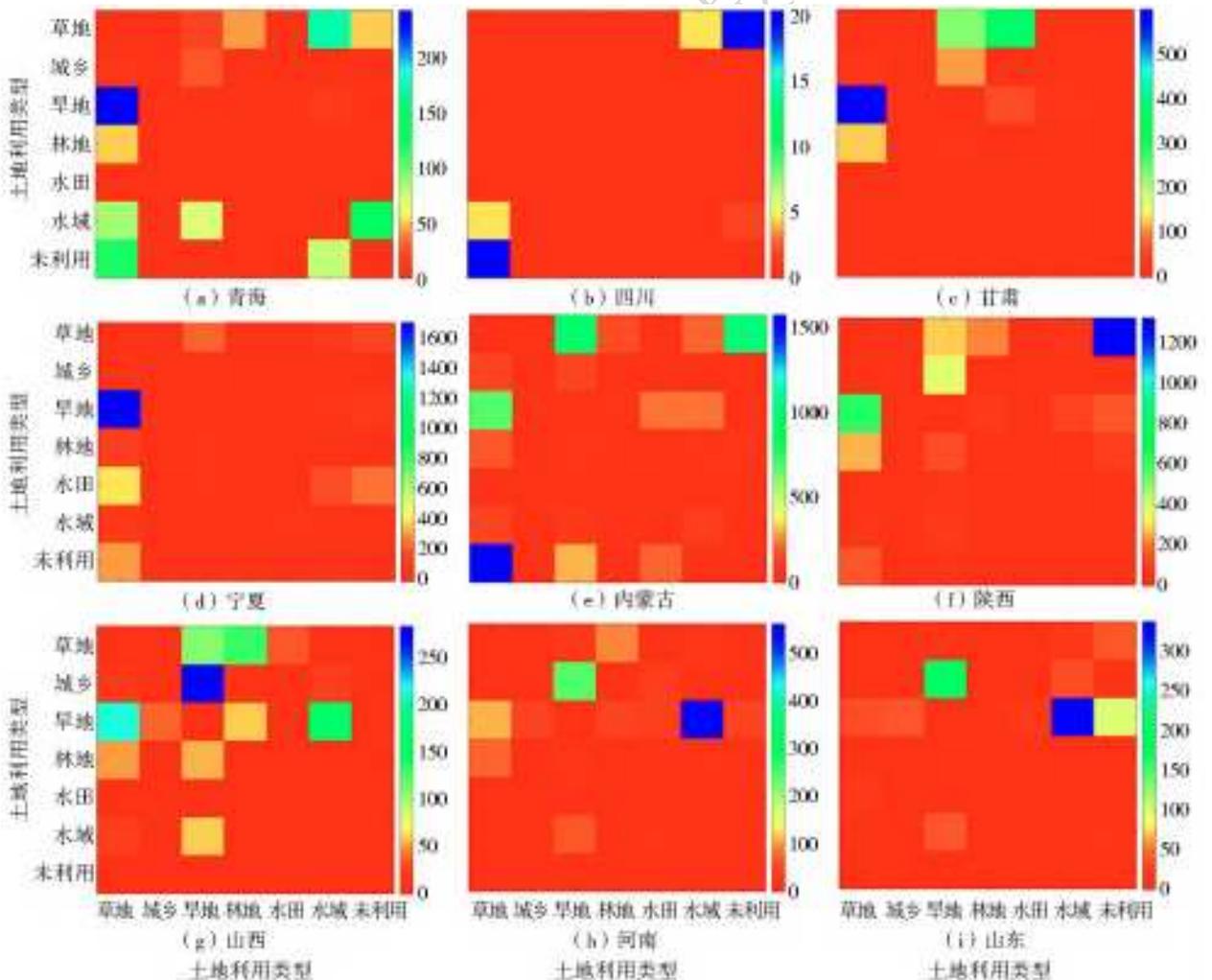


图 3 1980—2000 年黄河流域各省(自治区)土地利用转化(单位: km²)

Fig. 3 Land use conversion map of each province in the Yellow River basin from 1980 to 2000

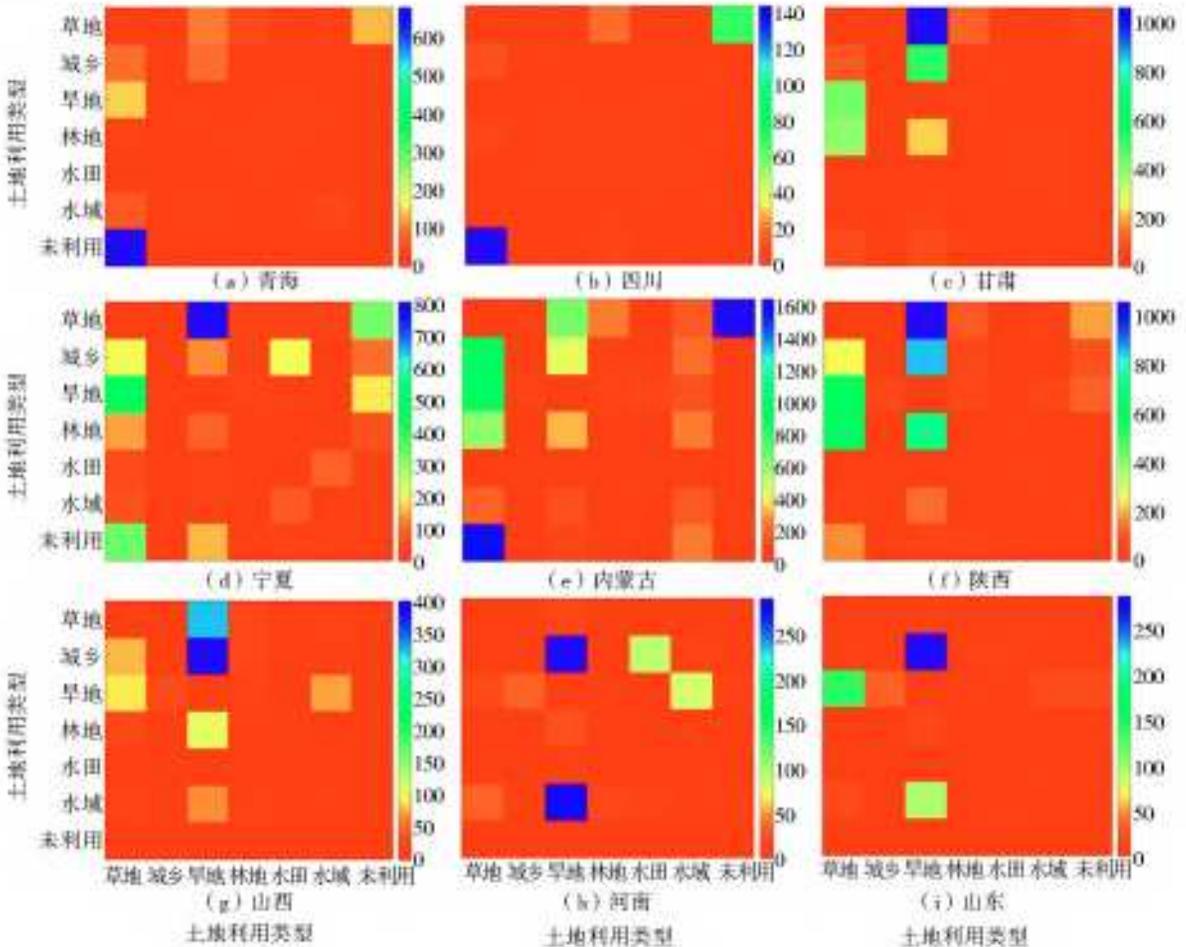


图4 2001—2015年黄河流域各省(自治区)土地利用转化图(单位: km²)

Fig. 4 Land use conversion map of each province in the Yellow River basin from 2001 to 2015

(3) 甘肃各土地类型之间转变较为明显, 其中林地是草地转出面积的主要接收者, 其次是旱地, 1980—2000年转化面积中依次有59.58%、36.17%扩张成林地。草地虽有一部分转化为其他类型, 但在2个研究时段草地都是其他类型转移的主要去向。2000—2015年, 该省的林业产值从9.3亿元增加到25.5亿元, 建筑业总产值增长率为1456.30%, 在经济利益的驱动下农民不局限于农业收入, 逐渐也依靠开荒造林、建筑业等增加收入, 所以使得该省的一些可耕种旱地撂荒变为草地。2001—2015年草地的转入面积以旱地为首(422.99 km²), 占比88.01%; 林地次之(385.93 km²), 占比62.02%; 再次是未利用土地(116.09 km²), 占比17.04%。

(4) 宁夏土地利用类型转换最为剧烈的是草地, 草地除了主要转向旱地、水域和未利用土地之外, 其他类型都可以忽略不计, 但其他类型均不同程度地发展为草地, 1980—2000年旱地、未利用土地的转换面积中分别有91.75%、77.33%转为草地, 但在2001—2015依次下降到64.86%、61.25%, 2015年相比2000年草地面积减少了2158.64 km²。自

1981年以来, 宁夏总人口从1981年的398万人, 增加到2015年的668万人, 尤其是非农人口增加了238.53%, 这一现象加剧了人们对建设用地等的需求, 从而挤占了草地和未利用地。

(5) 内蒙古是我国的5大牧区之一, 人均草地资源占有量是全国平均水平的12倍多, 草地、旱地、未利用土地之间的转换是内蒙古土地利用类型的变化核心。2001—2015年, 草地转化为旱地的面积有所下降(667.41 km²), 但转化为未利用土地的面积却上升至1651.67 km²; 同时在这15年内旱地也有930.13 km²转变为草地, 占其转出面积的72.91%, 由未利用土地转变为草地的面积高达1581.04 km², 占其转出面积的80.45%。近年来气候干暖化加剧, 不利于农作物生长, 直接导致自治区的耕地面积减少为草地。

(6) 陕西农业的比重较大, 且建设用地相对很少, 2个时期草地的来源主要为未利用土地、旱地、林地, 1980—2000年的转入比例分别为71.17%、62.64%、52.95%, 2001—2015年的转入比例变为68.80%、66.47%、45.86%。陕北本属于多风沙

地带,但随着陕北防护林和生态农业建设等工程落实取得了重大成果,未利用地随之被开垦利用,所以转为草地比例有所下降。城乡转为旱地的面积从 369.62 km² 增加到 848.64 km²,草地也从 285.20 km² 上升为 1 063.40 km²,相应地在这期间农业产值增加了 1 543.1 亿元。

(7) 山西在研究时间内地区生产总值从 1 643.81 亿元增加至 12 766.49 亿元,增长了 11 122.68 亿元,城乡用地呈增加趋势,证明 2000 年前后正是该省城镇化加快的重要时期。1980—2015 草地转出为旱地的面积从 106.04 km² 变为 320.72 km²,21 世纪初旱地有 400.25 km² 转化为城乡,占转化面积的 78.80%。其他类型之间的转变都相对较少,表明该省的土地利用逐渐趋于稳定。

(8) 河南最突出的土地利用特征是旱地与水域之间的转化,从 1980 年开始旱地有 561.44 km² 转出为水域,占其转出面积的 65.65%,这一情况在 2000 年以后正好相反,由旱地转为水域的面积减少到 84.78 km²,水域转化为旱地的面积却上涨到 286.45 km²,省内耕地面积从 1990 年到 2000 年增长了 14.34%,农业总产值在 2001—2015 年也增长了 3 260.1 亿元。

(9) 山东的城乡面积主要转出对象为旱地,2 个时期转出面积占比分别是 81.60% 和 92.63%,山东作为人口和农业大省,耕地保护应是该省经济可持续发展的关键,但在经济的发展中人口增长速度与土地资源均衡性较差,山东 1981 年总人口数 7395 万人,截至 2015 年底增长为 9847 万人;旱地在 1980—2015 年共有 478.28 km² 转为其他类型,说明政府对旱地的保护意识还有所欠缺。林地、水田和未利用土地的转变面积都不超过 30 km²,基本可以忽略不计。

3.4 流域土地利用变化驱动分析

影响土地利用变化的因素复杂多样,大多学者^[28-29]认为气候变化是主要的驱动因子之一,自然条件的变化纵然会促进土地类型之间的转化波动,但人口数量变化和社会经济发展带来的驱动力也不容忽视。结合以上对黄河流域 6 期土地利用现状图及各省(自治区)的覆被变化分析,根据对黄河流域社会经济数据的收集难度并结合对相关资料的综合考虑,选取人口数量、城市消费水平、农村消费水平、年降水量、第一产业产值、第二产业产值、第三产业产值、人均 GDP 等 8 个因子对黄河流域土地利用变化的驱动力进行了研究。主要运用主成分分析法,提取主成分因子及方差分解,得到主成分载荷矩阵,

结果见表 5、6。由表 5 可知,人口数量及城市消费水平的累计贡献率已经高达 89.91%,将人口数量及城市消费水平作为两个主成分因子,再计算每个因子相应指标的载荷矩阵,载荷系数越大,则说明该指标对土地利用变化因子的驱动力影响越大。从表 6 可以看出,主要的驱动力可以归为 3 类。

表 5 黄河流域主成分因子提取及方差分解

Tab. 5 Principal component factor extraction and variance decomposition in Yellow River basin

| 因子 | 初始特征值 | | |
|--------|-------|---------|---------|
| | 特征值 | 方差百分比/% | 累积百分比/% |
| 人口数量 | 5.68 | 71.04 | 71.04 |
| 城市消费水平 | 1.51 | 18.87 | 89.91 |
| 农村消费水平 | 0.77 | 9.59 | 99.50 |
| 年降水量 | 0.03 | 0.33 | 99.83 |
| 第一产业产值 | 0.01 | 0.17 | 100.00 |
| 第二产业产值 | 0 | 0 | 100.00 |
| 第三产业产值 | 0 | 0 | 100.00 |
| 人均 GDP | 0 | 0 | 100.00 |

表 6 黄河流域主成分因子载荷矩阵

Tab. 6 Principal component factor loading matrix for the Yellow River basin

| 因子 | 主成分因子 | |
|--------|-------|--------|
| | 1 | 2 |
| 人口数量 | 0.979 | -0.122 |
| 城市消费水平 | 0.966 | -0.226 |
| 农村消费水平 | 0.581 | 0.814 |
| 年降水量 | 0.581 | 0.814 |
| 第一产业产值 | 0.973 | -0.178 |
| 第二产业产值 | 0.975 | -0.187 |
| 第三产业产值 | 0.514 | -0.131 |
| 人均 GDP | 0.976 | -0.189 |

(1) 气候变化。在第二主成分中,年降水量的载荷系数较大,说明气候环境对土地利用变化起到制约性作用。气温和降水 2 个方面气象资料显示:1956—2017 年黄河流域多年来降水稍有增加,但 2000 年以后黄河下游的降水量减少,1956—2000 年下游的平均降水量为 671 mm,而 2001—2017 年仅有 639.2 mm,减少了 4.7%,流域内 90 个气象站点有 43.3% 气温呈上升趋势,上升主要集中在中上游,温度升高使得蒸腾作用旺盛,流域缺水问题逐渐凸显。

(2) 人口增加。人口数量在第一主成分中的系数百分比最高,达到了 0.979,说明人口增长对土地利用的变化起了主导作用。20 世纪 80 年代流域人

口增长显著,1982—1990 年全流域增长了 1256 万人,年平均增长速度为 1.87%。2000 年后人口缓慢增长,同时国家的退耕还林还草、改良未利用地、“三北”防护林等政策使得草地、林地面积快速增加。

(3) 经济发展。由表 6 得出,黄河流域内人均 GDP 在第一主成分中的系数百分比为 0.976,且流域内工农业发达,流域经济的不断发展等对流域的土地利用结构变化有重要作用。1980 年流域的生产总值已达到 916 亿元,2000 年以前增长率为 11.0%,2000 年以后增长率高达 13.1%,高于全国水平^[30]。到 2017 年底,黄河流域的生产总值达到了 52 609.5 亿元,GDP 增长率为 10.22%,近年城乡用地呈增加趋势,同时也加大了对未利用地的开发力度。

4 结 论

黄河流域土地利用变化研究是后续流域内土地资源合理开发利用及生态修复的重要依据,本文基于 ArcGIS 技术利用空间统计和转移矩阵的方法对全流域及流域内各省(自治区)的土地利用变化情况和驱动因素进行了分析,得到如下结论。

(1) 1980—2015 年黄河流域主要土地利用类型一直是草地、旱地及林地,在 2015 年末两者总面积占比高达 73.20%:在空间分布上,流域内草地的分布最广,旱地分布极不均匀;从变化率方面来看,21 世纪前,城乡的面积扩张率最高,年增长率为 1.4%,水域的年递减率为 0.78%;21 世纪以后,变化率最大的是城乡,水田次之。

(2) 1980—2015 年黄河流域内林地和未利用土地的主要转化方向均是草地,转化面积是 1 830.95、2 990.32 km²,2 个时期内草地和旱地互为转化的最大去向。从各省(自治区)上看,不同区域的土地利用变化情况各异,类型发生变化的范围主要在流域的中部和东部,其中变化较剧烈的省份有甘肃、陕西、山西及河南。

(3) 驱动黄河流域土地利用变化的最主要因子是气候变化、人口增加和经济发展。在经济进步过程中流域内水土保持工作必须不断推进落实,强化水土保持监督管理,保护生态环境,才能为黄河流域土地资源的合理开发利用奠定基础。

参考文献(References):

[1] 徐国印,王忠静,胡智丹,等.柴达木盆地土地利用/覆被综合指数评价[J].水力发电学报,2019,13.(XU G Y, WANG Z J, HU Z D, et al. Comprehensive index

evaluation of land use and cover in Qaidam basin[J]. Journal of Hydroelectricity, 2019, 13. (in Chinese) DOI: 10.11660/slfdx.20190905.

- [2] 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(12):1031-1040,1058-1060. (LIU J Y, LIU M L, ZHUANG D F, et al. Analysis on the spatial pattern of recent land use change in China[J]. Science in China (series D: Earth Sciences), 2002(12): 1031-1040, 1058-1060. (in Chinese)) DOI: CNKI: SUN: JDXK. 0. 2002 12 007.
- [3] M ROAN E, OJIMA D S, BUCHMANN B, et al. Global Land Project: science plan and implementation strategy[J]. Environmental Policy Collection, 2005.
- [4] TURNER B L I, MOSS R H, SKOLE D L. Relating land use and global land cover change: a proposal for an IGBP/HDP core project: A report from the IGBP/HDP working group on land use/land cover change[J]. Global Change Report (Sweden), 1993.
- [5] NUNES C, AUG J I. Land use and land cover change (LUCC): Implementation strategy[J]. Environmental Policy Collection, 1999.
- [6] RINDFUSS R R, WALSH S J, ND T B, et al. Developing a science of land change: Challenges and methodological issues. PNAS, 2004, 101: 13976-13981. DOI: 10.1073/pnas.0401545101.
- [7] YACHONGTOU B, 梁婕, 曾光明, 等. 基于 SWAT 模型的浏阳河流域径流对土地利用和气候变化的协同响应[J]. 水资源与水工程学报, 2019, 30(2): 88-94. (YACHONGTOU B, LIANG J, ZENG G M, et al. The cooperative response of runoff in the Liuyang River basin of SWAT model to land use and climate change[J]. Chinese Journal of Water Resources and Water Engineering, 2019, 30(2): 88-94. (in Chinese)) DOI: 10.11705/j.issn.1672-643X.2019.02.14.
- [8] 秦文静,王云琦,王彬,等.土地利用和气候变化对王家桥小流域径流的影响[J].水文,2019,39(2):49-54. (QIN W J, WANG Y Q, WANG B, et al. Effects of land use and climate change on runoff in Wangjiaqiao watershed[J]. Journal of Hydrology, 2019, 39(2): 49-54. (in Chinese)) DOI: CNKI: SUN: SWZZ. 0. 2019 02 009.
- [9] 王磊,刘亭亭,谢建治.基于 SWAT 模型的张家口清水河流域土地利用情景变化对径流影响研究[J].水土保持研究,2019,26(4):245-251. (WANG L, LIU T T, XIE J Z. SWAT model based study on the influence of land use scenario change on runoff in Qingshui River basin of Zhangjiakou[J]. Soil and Water Conservation Research 2019, 26(4): 245-251. (in Chinese)) DOI: 10.

- 13869/j.cnki.rswc.2019.04.037.
- [10] 张永彬,曹应举,李帅,等.迁西县土地利用空间变化分析[J].测绘学,2019(9):11. (ZHANG Y B, CAO Y J, LI S, et al. Analysis of land use spatial change in Qianxi County [J]. Geomatics, 2019(9): 11. (in Chinese)) DOI: 10.16251/j.cnki.1009-2307.2019.09.012.
- [11] DEWAN A M, YAMAGUCHI Y. Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization [J]. Applied Geography, 2009, 29(3): 390-401.
- [12] KALNAY E, CAI M. Impact of urbanization and land use change on climate [J]. Nature (London), 2003, 423(6939): 528-531. DOI: 10.1038/nature01675.
- [13] 王思远,刘纪远,张增祥,等.中国土地利用时空特征分析[J].地理学报,2001(6): 631-639. (WANG S Y, LIU J Y, ZHANG Z X, et al. Analysis of spatiotemporal characteristics of land use in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2001(6): 631-639. (in Chinese)) DOI: CNKI:SUN:DLXB.0.2001-06-000.
- [14] 朱会义,李秀彬,何书金,等.环渤海地区土地利用的时空变化分析[J].地理学报,2001(3): 253-260. (ZHU H Y, LI X B, HE S J, et al. Analysis of spatiotemporal change of land use in Bohai rim area [J]. Acta Geographica Sinica, 2001(3): 253-260. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:0375-5444.2001.03.001.
- [15] 隋欣,童飞,姚长青,等.黄河流域青海片土地利用景观空间格局分析[J].水土保持通报,2007(2): 123-127, 159. (SUI X, TONG F, YAO C Q, et al. Analysis on the spatial pattern of land use landscape in Qinghai of Yellow River basin [J]. Water and Soil Conservation Bulletin, 2007(2): 123-127, 159. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-288X.2007.02.028.
- [16] 周旭,石佩琪,周书宏,等.武汉市土地利用/覆被变化(LUCC)时空特征研究[J].国土资源科技管理,2019, 36(1): 58-68. (ZHOU X, SHI P Q, ZHOU S H et al. Spatial and temporal characteristics of land use/cover change (LUCC) in Wuhan City [J]. Science and Technology Management of Land and Resources, 2019, 36(1): 58-68. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1009-4210.2019.01.005.
- [17] 王光谦,王思远,陈志祥.黄河流域的土地利用和土地覆盖变化[J].清华大学学报(自然科学版),2004, 44(9): 1218-1222. (WANG G Q, WANG S Y, CHEN Z X. Land use and land cover change in the Yellow River basin [J]. Journal of Tsinghua University (Natural Science), 2004, 44(9): 1218-1222. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:1000-0054.2004.09.018.
- [18] 董斌,冯仲科,钱国英.基于遥感的山东黄河流域土地利用动态及有林地转移[J].福建农林大学学报(自然科学版),2010, 39(6): 646-650. (DONG B, FENG Z K, QIAN G Y. Land use dynamics and forestland transfer in Yellow River basin of Shandong Province based on remote sensing [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science), 2010, 39(6): 646-650. (in Chinese)) DOI: 10.13323/j.cnki.j.fafu(nat.sci.).2010.06.015.
- [19] 李帅,顾艳文,陈锦平,等.宁夏黄河流域土地利用时空变化特征分析[J].西南大学学报(自然科学版),2016, 38(4): 42-49. (LI S, GU Y W, CHEN J P, et al. Analysis of spatiotemporal changes of land use in the Yellow River basin in Ningxia [J]. Journal of Southwest University (Natural Science), 2016, 38(4): 42-49. (in Chinese)) DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.04.006.
- [20] 金淑婷,李博,杨永春,等.甘肃省土地利用变化的基本特征及其格局[J].兰州大学学报(自然科学版),2016, 52(3): 334-341. (JIN S T, LI B, YANG Y C, et al. The basic characteristics and pattern of land use change in Gansu Province [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Science), 2016, 52(3): 334-341. (in Chinese)) DOI: 10.13885/j.issn.0455-2059.2016.03.008.
- [21] 新华网.黄河流域生态保护和高质量发展座谈会[EB/OL].http://www.xinhuanet.com, 2019-09-20. (Xinhua. Symposium on ecological protection and high quality development of the Yellow River basin [EB/OL].http://www.xinhuanet.com, 2019-09-20. (in Chinese))
- [22] 何霄嘉.黄河水资源适应气候变化的策略研究[J].人民黄河,2017, 39(8): 44-48. (HE X J. Study on strategies of water resources adaptation to climate change in the Yellow River [J]. Yellow River, 2017, 39(8): 44-48. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-1379.2017.08.009.
- [23] 章予舒,王立新,张红旗,等.疏勒河流域土地利用变化驱动因素分析:以安西县为例[J].地理科学进展,2003(3): 170-178. (ZHANG Y S, WANG L X, ZHANG H Q, et al. Analysis of driving factors of land use change in Shule River basin: A case study of Anxi County [J]. Progress in Geographical Sciences, 2003(3): 170-178. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1007-6301.2003.03.006.
- [24] 张冉,王义民,畅建霞,等.基于水资源分区的黄河流域土地利用变化对人类活动的响应[J].自然资源学报,2019, 34(2): 274-287. (ZHANG R, WANG Y M, CHANG J X, et al. The response of land use change

- to human activities in the Yellow River basin based on water resource zoning [J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(2): 274-287. (in Chinese) DOI: 10.31497/zrzyxb.20190205.
- [25] 伍博炜,杨胜天,邵南方,等.黄土高原生态脆弱区土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以汾河流域为例[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(5): 340-345. (WU B W, YANG S T, SHAO N F, et al. Impact of land use change on ecosystem service value in ecologically fragile areas of loess plateau: A case study of Fenhe river basin [J]. *Soil and Water Conservation Research*, 2019, 26(5): 340-345. (in Chinese) DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2019.05.049.
- [26] 刘瑞,朱道林.基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨[J]. *资源科学*, 2010, 32(8): 1544-1550. (LIU R, ZHU D L. Discussion on land use change information mining method based on transfer matrix [J]. *Resource Science*, 2010, 32(8): 1544-1550. (in Chinese) DOI: CNKI: SUN: ZRZY.0.2010-08-017.
- [27] 于志磊,秦天玲,王刚,等.川江流域土地利用时空格局动态变化特征[J]. *南水北调与水利科技*, 2016, 14(2): 38-43, 61. (YU Z L, QIN T L, WANG G, et al. Dynamic characteristics of spatial and temporal patterns of land use in the Chuanjiang River basin [J]. *South to North Water Diversion and Water Conservancy Technology*, 2016, 14(2): 38-43, 61. (in Chinese) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2016.02.008.
- [28] 张会言,杨立彬,张新海.黄河流域经济社会发展指标分析[J]. *人民黄河*, 2013, 35(10): 11-13. (ZHANG H Y, YANG L B, ZHANG X H. Analysis of indicators of economic and social development in the Yellow River basin [J]. *Yellow River*, 2013, 35(10): 11-13. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1000-1379.2013.10.004.
- [29] 马中华,张勃,张建香,等.疏勒河中游土地利用动态变化分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(8): 97-101. (MA Z H, ZHANG B, ZHANG J X, et al. Analysis on the dynamic change of land use in the middle reaches of Shule River [J]. *Resources and Environment in Arid Areas*, 2012, 26(8): 97-101. (in Chinese) DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2012.08.026.
- [30] 张岩,马晓微,王理达. GIS 支持下的 20 世纪黄河流域人口动态变化研究[J]. *人口研究*, 2003(6): 65-70. (ZHANG Y, MA X W, WANG L D. Population dynamics in the Yellow River basin in the 20th century supported by GIS [J]. *Population Research*, 2003(6): 65-70. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1000-6087.2003.06.015.

Characteristics and driving forces of land use change in the Yellow River basin from 1980 to 2015

LIAO Hui^{1,2}, SHU Zhangkang^{2,3}, JIN Junliang^{2,3}, YANG Chuanguo¹, WANG Guoqing^{2,3}

(1. Institute of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China; 3. Yangtze River Protection and Green Development Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The changes in land use types, and the change rate of land use based on the land use data of six periods from 1980 to 2015 in the Yellow River basin using a dynamic attitude index were analyzed. The transfer matrix was used to analyze the types and quantities of land use transfer based on administrative partitions and the provinces within the basin during 1980-2000 and 2001-2015, and the main driving factors influencing land use were explored. The results showed that: land use in the Yellow River basin has significant characteristics in terms of quantity and structure, grassland, dryland, and woodland were the main land use types in the Yellow River basin, from 1980 to 2015, the area of dryland, grassland, water area, and unused land decreased by 1.60%, 1.23%, 6.66%, and 1.84%, respectively, the areas of paddy fields, woodland, and urban and rural land increased by 8.22%, 2.53%, and 44.32% respectively; in terms of single land use type, the change rate of urban and rural land was the fastest, and the rest was relatively small; the land use transformation in the Yellow River basin was mainly concentrated in the middle and east, and the transformation was obvious in the middle and lower reaches of the provinces; climate change, population growth, and human economic development were the main driving factors of land use change in the Yellow River basin.

Key words: land use; spatial and temporal change; dynamic attitude; transfer matrix; Yellow River basin