

doi: 10.12029/gc20220325004

杨涛, 阎晓娟, 赵寒森, 王鹏, 朱涛, 蔡浩杰, 左旭刚, 奚仁刚, 张雨莲, 王立社, 吴硕. 2023. 渭河流域土地利用类型转换及其对生态空间格局的影响[J]. 中国地质, 50(5): 1460–1470.

Yang Tao, Yan Xiaojuan, Zhao Hansen, Wang Peng, Zhu Tao, Cai Haojie, Zuo Xugang, Xi Rengang, Zhang Yulian, Wang Lishe, Wu Shuo. 2023. Land use changes and its influence on the ecological spatial pattern of Weihe River Basin[J]. Geology in China, 50(5): 1460–1470(in Chinese with English abstract).

渭河流域土地利用类型转换及其 对生态空间格局的影响

杨涛¹, 阎晓娟¹, 赵寒森¹, 王鹏¹, 朱涛¹, 蔡浩杰¹, 左旭刚²,

奚仁刚¹, 张雨莲¹, 王立社¹, 吴硕³

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 3. 铜陵有色金属集团股份有限公司, 安徽 铜陵 244000)

摘要:【研究目的】自然资源综合调查作为中国地质调查局 2021 年的新拓展业务, 旨在服务国土空间规划、用途管制及生态保护修复。【研究方法】本文基于流域 2000 年、2010 年和 2020 年土地利用/覆被变化监测数据, 利用 ArcGIS 软件对流域的土地利用类型和生态空间用地时空变化特征进行分析。【研究结果】结果表明: (1) 2000—2010 年流域耕地转换为草地、林地以及建设用地的面积分别为 804.4 km²、350.3 km²、327.6 km², 而草地、林地以及建设用地转换为耕地的面积分别为 94.3 km²、10.4 km²、1.2 km²; (2) 2010—2020 年流域耕地转换为草地、林地以及建设用地的面积分别为 16646.8 km²、3024.5 km²、2547.9 km², 而草地、林地以及建设用地转换为耕地的面积分别为 16867.7 km²、3103.6 km²、2528.82 km²; (3) 2000—2020 年流域生态空间用地面积转换达 48165 km², 其中生态用地→半生态用地面积为 20172 km², 半生态用地→生态用地面积为 20897 km², 弱生态用地→半生态用地面积为 2519 km², 半生态用地→弱生态用地面积为 2754 km², 反映流域生态空间用地转换趋于平衡和生态系统服务质量稳中趋增。【结论】以上成果对于促进渭河流域自然资源综合区划和国土空间“三区三线”优化具有重要意义。

关键词: 土地利用/覆被变化; 生态空间; 综合区划; “三区三线”; 渭河流域; 自然资源监测评价工程

创新点: 以生态空间可辨识和可评估为出发点, 分析了渭河流域的土地利用类型时空变化特征, 揭示了流域土地利用类型转换及其对生态空间格局的影响, 对渭河流域自然资源综合区划和国土空间“三区三线”优化具有重要意义。

中图分类号: X321; F301.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2023)05-1460-11

Land use changes of Weihe River Basin and its influence on the ecological spatial pattern

YANG Tao¹, YAN Xiaojuan¹, ZHAO Hansen¹, WANG Peng¹, ZHU Tao¹,

收稿日期: 2022-03-25; 改回日期: 2022-10-26

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20211387、DD20211393)资助。

作者简介: 杨涛, 男, 1985 年生, 硕士, 高级工程师, 主要从事金属矿产勘查和自然资源综合调查; E-mail: 331819468@qq.com。

通讯作者: 王立社, 男, 1976 年生, 博士, 研究员, 主要从事地质调查和矿床学研究; E-mail: 804249689@qq.com。

CAI Haojie¹, ZUO Xugang², XI Rengang¹, ZHANG Yulian¹, WANG Lische¹, WU Shuo³

(1. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. College of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Tongling Nonferrous Metals Group Co., Ltd, Tongling 244000, Anhui, China)

Abstract: This paper is the result of monitoring and evaluating engineering of natural resources.

[Objective] As a new expansion business of China Geological Survey in 2021, the comprehensive survey of natural resources aims to serve land and space planning, use control and ecological protection and restoration. **[Methods]** Based on the monitoring data of land use/cover change in the watershed in 2000, 2010, and 2020, ArcGIS software was used to analyze the spatiotemporal changes in land use types and ecological space of Weihe River Basin. **[Results]** The results show that: 1) during 2000–2010, 804.4 km², 350.3 km² and 327.6 km² of cropland converted into grassland, forest and constructive land respectively, while only 94.3 km² grassland, 10.4 km² forest and 1.2 km² constructive land converted into cropland; 2) during 2010–2020, 16646.8 km², 3024.5 km² and 2547.9 km² of cropland converted into grassland, forest and constructive land respectively, while 16867.7 km² grassland, 3103.6 km² forest and 2528.82 km² constructive land converted into cropland; 3) during 2000–2020, the conversion of ecological space land in this region reaches 48,165 km², of which the ecological→semi-ecological land was 20172 km², the semi-ecological→ecological land was 20,897 km², the weak ecological→semi-ecological land was 2,519 km², and the semi-ecological→weak ecological land was 2754 km². It reflects that the conversion of ecological space land in the region tends to balance and the quality of the ecosystem is slowly increasing. **[Conclusions]** The results is of great significance for accelerating comprehensive regionalization of natural resources and optimizes "three-zone and the-lines" of the Territorial Spatial Plan in the Weihe River Basin.

Key words: Land Use/Cover Change(LUCC); ecological space; comprehensive regionalization of natural resources; "three-zone and the-lines"; Weihe River Basin; monitoring and evaluating project of natural resources

Highlights: Starting from the ecological space designable and evaluated, we analyzed the temporal and spatial evolution trend of the land use types. Revealing it's influence on the ecological spatial pattern of Wei River Basin. The results are of great significance for comprehensive regionalization of natural resources and optimizes "three-zone and the-lines" of the territorial spatial plan in Weihe River Basin.

About the first author: YANG Tao, male, born in 1985, master, senior engineer, engaged in metal mineral exploration and natural resources comprehensive survey; E-mail: 331819468@qq.com.

About the corresponding author: WANG Lische, male, born in 1976, doctor, researcher, mainly engaged in geological survey and mineralogy research; E-mail: 804249689@qq.com.

Fund support: Supported by the projects of China Geological Survey (No.DD20211387, No.DD20211393).

1 引言

渭河发源于甘肃省定西市渭源县鸟鼠山,流经甘肃、陕西两省84个县(区),于渭南市潼关县汇入黄河,全长818 km,它既是黄河的最大支流,又是关中的“母亲河”,贯穿“关一天经济带”。在历史上渭河一直是一条水量丰沛、冲淤平衡、水环境良好的生态河流,使渭河流域成为了中华民族早期元典文化的发祥地。然而,步入近代人类史以来,随着区域气候变化、经济快速发展以及人口增长,引发了渭河流域植被退化、土地沙化、水土流失等一系列生态环境问题(张琼华和赵景波,2005;王飞,2013;岳思羽等,2021)。这些问题的出现一定程度上也

与渭河流域的土地利用方式密切相关,因为土地利用/覆被决定了地球各地区之间的能量交换、水和碳循环,准确的土地利用监测数据是环境和气候研究的基本参数(张妍等,2019;李烁阳等,2021)。

目前,渭河流域的土地利用类型、覆被变化及生态影响等研究主要集中于2015年以前(程磊等,2009;宋维念等,2012;杨勇和任志远,2013;杨胜天等,2014;韩艳飞等,2014),研究土地利用类型的遥感监测数据多是2010年前,时空分辨率较低。加之,渭河流域已有区划方案主要是针对自然、地理、生态以及林草等资源或功能开展的单项区划(傅伯杰等,2001;郑景云等,2010;李南岍和陈建伟,2011;吴波等,2018;程维明等,2019;王丽霞等,

2020),而基于“山水林田湖草生命共同体”理念的自然资源综合区划研究几乎是空白(张海燕等,2020)。因此,本文通过对流域不同地形地貌区和自然资源要素的对比分析,探讨了不同区域土地利用类型及其结构变化对生态空间格局的影响,对促进渭河流域自然资源综合区划和国土空间“三区三线”的优化具有重要意义。

2 流域概况与数据来源

2.1 流域概况

渭河位于黄河腹地大“几”字形基底部位,流域总面积 $1.35 \times 10^5 \text{ km}^2$,地理坐标: $33^\circ 29' \sim 37^\circ 34' \text{ N}$; $103^\circ 53' \sim 110^\circ 18' \text{ E}$ 。流域南有东西走向的秦岭横亘,北有六盘山屏障,在大地构造位置上属于华北板块西南缘,其南缘为秦岭造山带(郭进京等,2006;Li et al., 2018;王迎国等,2021),不同构造系统的活动断裂相互叠加与改造,控制并形成了渭河流域地貌的基本格架,呈现出“西高东低、南北高中部低”的地势(李利波等,2012),北部主要为黄土丘

陵、高原区,南部为秦岭北坡土石山区,中部为河谷冲积平原区(图1)。渭河流域地处大陆性季风气候区、干旱和半湿润地区的过渡地带,年均气温约为 9.8°C ,夏季炎热多雨,降水约为 540 mm ,受地形和大气环流等因素的影响,降水分布由东南向西北递减(程三友等,2011;张东等,2018)。由于其复杂多样的气候特点和土壤地貌类型,流域内自南向北主要分布有秦巴山地森林、渭河盆地农业、黄土高原农牧业3类生态区,各生态区土地利用方式和覆被差异显著。

2.2 数据来源

本次研究利用的土地利用遥感监测数据来自中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>),土地利用类型的遥感解译主要使用了Landsat-TM/ETM遥感影像数据,成像时间均为每年的生长季,以2000年Landsat TM图像为控制影像,选取20~25个大地控制点,应用双线性插值法对图像进行几何纠正,重采样后,误差在半个像元内,再进行拼接裁减等数据预处理。经过辐射校正和

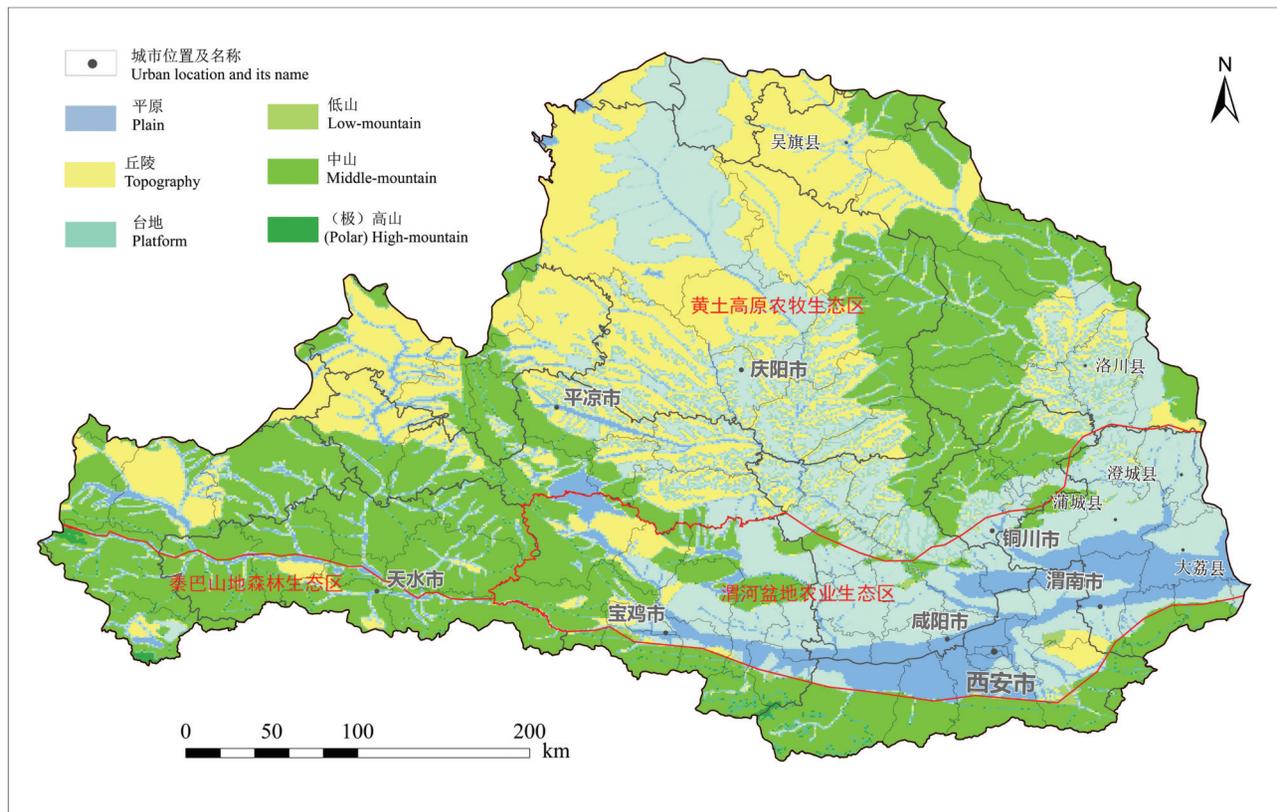


图1 渭河流域地貌及生态分区图

Fig.1 Geomorphology and the spatial distribution patterns of ecological space of Wei River Basin

几何校正的影像,再进行波段组合、图像融合、直方图拉伸等处理。其中TM选择4、3、2波段,ETM选择4、3、2波段并与PAN波段进行融合,合成假彩色影像;中国行政边界来自全国地理信息资源目录服务系统(<https://www.webmap.cn/main.do?method=index>)的《1:100万全国基础地理数据库》,数据采用2000国家大地坐标系,1985国家高程基准;林、草资源数据来自国家地球系统科学数据中心黄土高原分中心(<http://loess.geodata.cn/index.html>)。

3 土地利用类型分析

3.1 技术方法

(1)在2000年、2010年、2020年三期土地利用原始数据中,将地类分为6个大类,25个二级子类。本次研究结合第三次全国国土调查的地类划分方案(中华人民共和国自然资源部,2018),对原有地类进行了重新合并与分类处理,共获取了7个大类,包括耕地(水田、水浇地、旱地)、林地(乔木林、灌木林、园地等)、草地(天然牧草地、人工牧草地、沼泽草地等)、水域与湿地(河流、灌丛沼泽等)、采矿建设用地(采矿用地、盐田)、非矿建设用地(住宅用地、商服用地、工业用地等)和其他土地(盐碱地、沙地、裸土地、实施农用地等)。

(2)三期土地利用数据空间分辨率为1 km,该数据以30 m分辨率的Landsat TM遥感影像为主要数据源,通过人机交互目视判别方法生产,然后根据各类别在1 km内所占面积最大类别赋值为重分类后的土地类别。为保证土地利用数据解译质量及一致性,利用第三次全国国土调查部分举证资料进行了统一的质量控制和核对检验,按4%县数和1%图斑数比例开展精度抽查,经检验一级地类综合评价精度达90%以上,二级类型综合评价精度达到89.2%。

(3)空间数据处理完成后,运用ArcGIS10.5软件的地图代数与空间分析模块,对3期土地利用数据进行统计和叠加分析,得到各期土地利用类型面积及转移矩阵。

3.2 地类分布

渭河流域自然资源以草地和耕地为主。按照分布空间来看,流域北部自然资源以草地为主,中部偏南以耕地为主,中西部地区主要是草耕,南部、

中东部地区是林地;按照分布面积来看:耕地56130 km²,占比41.32%;林地22240 km²,占比16.38%;草地51760 km²,占比38.10%;非采矿建设用地4710 km²,占比3.47%;水域780 km²,占比0.57%;其他用地220 km²,占比0.16%(图2)。

3.3 地类转换特征

现将流域资源类型变化分为(2000—2010年)和(2010—2020年)两个阶段分析,以便与早期研究成果进行对比。

3.3.1 2000—2010年

2000—2010年渭河流域耕地转换为林地、草地、建设用地的面积分别为350.3 km²、804.4 km²、327.6 km²,而林地、草地、建设用地转换为耕地的面积分别为10.4 km²、94.3 km²、1.2 km²。按照生态区来分,在渭河盆地耕地转换为林地、草地、建设用地的面积分别为56.08 km²、75.70 km²、216.36 km²,分别占相应转换面积的16.0%、9.4%、66.1%;在黄土高原耕地转换为林地、草地、建设用地的面积分别为276.71 km²、545.84 km²、101.70 km²,分别占相应转换面积的78.9%、67.9%、31.0%;在秦巴山地耕地转换为林地、草地、建设用地的面积分别为17.89 km²、182.85 km²、9.53 km²,分别占相应转换面积的5.1%、22.7%、2.9%。按照行政区来分,耕地转换为林地集中出现在延安市吴起县、志丹县,庆阳市环县、庆城县、镇原县,宝鸡市陇县、千阳县;耕地转换为草地集中出现在延安市甘泉县、富县,庆阳市宁县、镇原县,平凉市灵台县、泾川县,定西市漳县、岷县等地;耕地转换为建设用地集中出现在西安市未央区、雁塔区、高陵区,咸阳市秦都区,渭南市临渭区,庆阳市西峰区,定西市陇西县等地。此外,流域草地转换为林地的面积为436.1 km²,其中94.5%的转换面积位于陇东和陕北黄土高原区,集中在庆阳市环县、庆城县,延安市志丹县、黄陵县以及咸阳市旬邑县等地(图3,表1)。

3.3.2 2010—2020年

2010—2020年渭河流域耕地转换为林地、草地、建设用地的面积分别为3024.5 km²、16646.8 km²、2547.9 km²,而林地、草地、建设用地转换为耕地的面积分别为3103.6 km²、16867.7 km²、2528.82 km²。按照生态区来分,在渭河盆地耕地转换为林地、草地、建设用地的面积分别为554.68 km²、

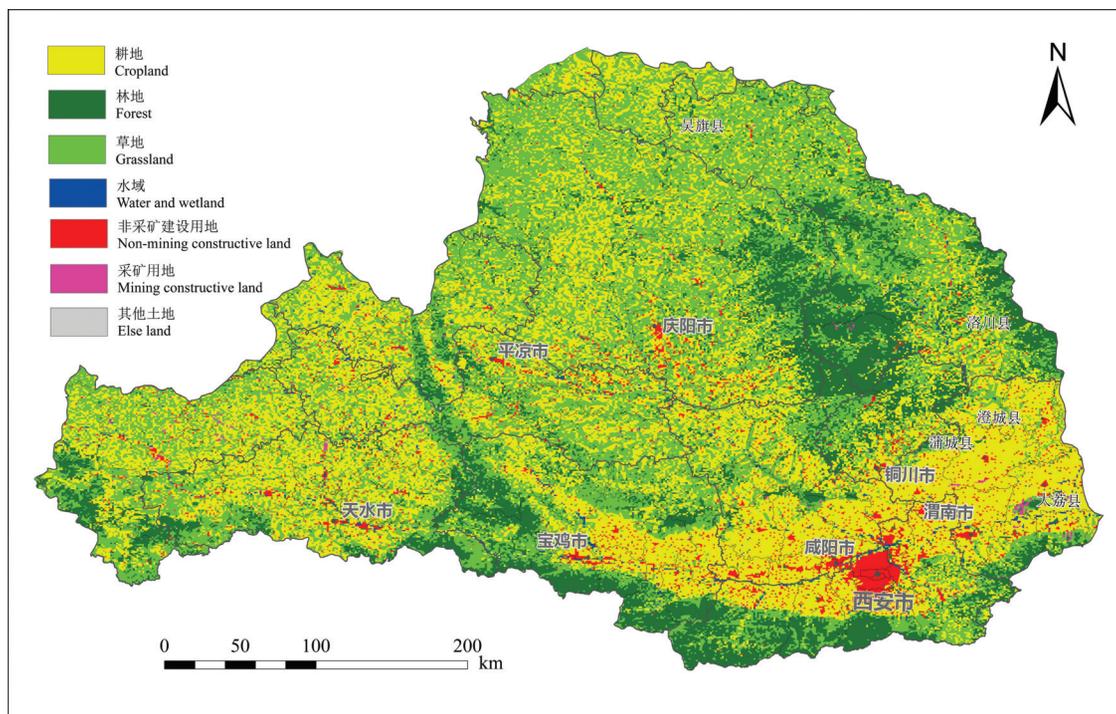


图2 渭河流域2020年土地利用类型空间分布

Fig.2 Spatial distribution of land use types of Wei River Basin in 2020

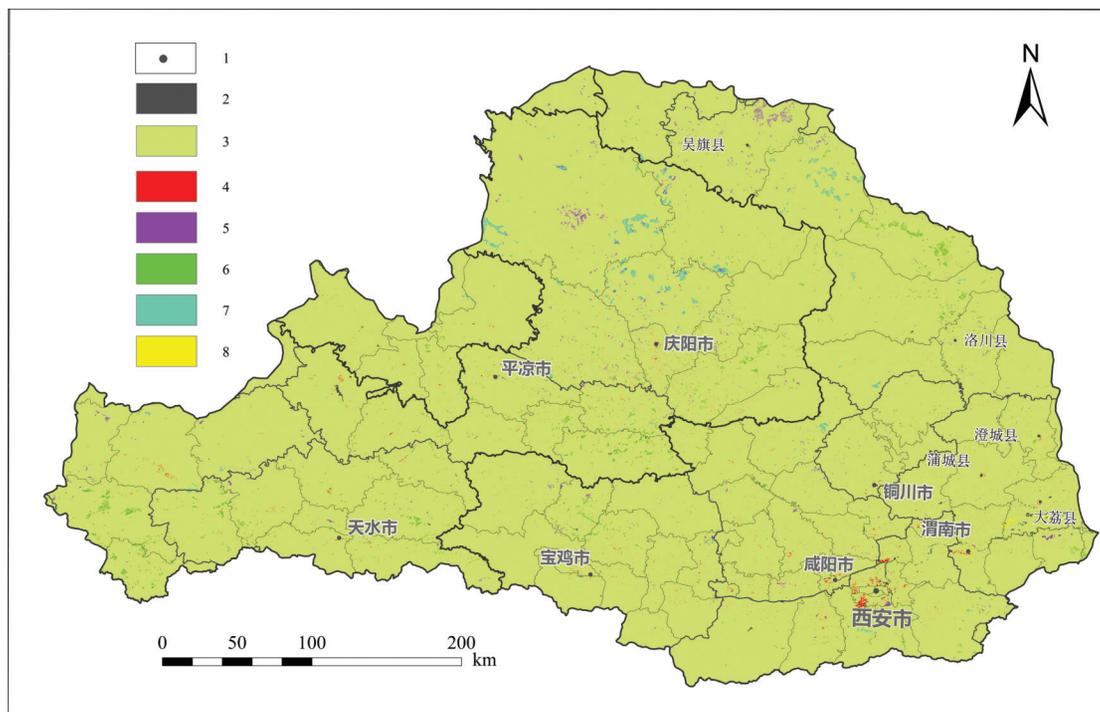


图3 2000—2010年渭河流域土地利用变化空间分区与分布特征

1—城市位置及其名称;2—其他转化;3—未转化;4—耕地→非矿建设用地;5—耕地→林地;6—耕地→草地;7—草地→林地;8—草地→耕地

Fig.3 Spatial regionalization and distribution map of land use changes of Wei River Basin from 2000 to 2010

1—Urban location and its name; 2—Else conversion; 3—No conversion; 4—Cropland→non-mining constructive land; 5—Cropland→forest; 6—Cropland→grassland; 7—Grassland→forest; 8—Grassland→cropland

表1 渭河流域各生态区2000—2010年自然资源动态变化转移矩阵(面积/km²)Table 1 Land use change area in different ecological space and transfer matrix of Wei River Basin from 2000 to 2010 (area/km²)

| | | 2010年 | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|-----------|---------|---------|-------|--------|-----------|--------|--------|-------|------|-----------|--------|--------|-------|--------|
| 生态区 | | 黄土高原农牧生态区 | | | | | 秦巴山地农牧生态区 | | | | | 渭河盆地农业生态区 | | | | |
| 地类 | | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 建设用地 | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 建设用地 | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 建设用地 |
| 2000年 | 耕地 | 33768.1 | 276.7 | 545.8 | 4.5 | 101.7 | 3215.1 | 17.9 | 182.8 | 4.4 | 9.5 | 18580.1 | 56.1 | 75.7 | 45.5 | 216.4 |
| | 林地 | 7.1 | 12335.0 | 9.7 | 0.9 | 2.6 | 0.4 | 6347.8 | 3.0 | 0.0 | 0.5 | 3.0 | 2946.5 | 0.9 | 3.1 | 13.2 |
| | 草地 | 50.6 | 412.1 | 39637.5 | 2.0 | 8.9 | 3.7 | 11.6 | 5900.5 | 0.6 | 0.8 | 40.0 | 12.4 | 5772.4 | 11.2 | 7.8 |
| | 水域 | 16.9 | 0.3 | 1.2 | 374.5 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 62.0 | 0.0 | 29.0 | 3.4 | 4.9 | 346.2 | 1.6 |
| | 建设用地 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 1432.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 211.9 | 1.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2620.8 |

1878.25 km²、1555.72 km²,分别占相应转换面积的18.3%、11.3%、61.1%。林地、草地、建设用地转换为耕地的面积分别为598.24 km²、2039.96 km²、1704.89 km²,分别占相应转换面积的19.3%、12.1%、67.4%;在黄土高原耕地转换为林地、草地、建设用地的面积分别为2123.32 km²、13728.51 km²、861.81 km²,分别占相应转换面积的70.2%、82.5%、33.8%。林地、草地、建设用地转换为耕地的面积分别为2137.93 km²、13705.47 km²、823.93 km²,分别占相应转换面积的68.9%、81.3%、32.6%;在秦巴山地耕地转换为林地、草地、建设用地的面积分别为347.05 km²、1040.19 km²、130.38 km²,分别占相应转换面积的11.5%、6.2%、5.1%。林地、草地、建设用地转换为耕地的面积分别为367.48 km²、1122.39 km²、110.09 km²,分别占相应转换面积的11.8%、6.7%、4.3%。

按照行政区来分,耕地转换为林地集中出现在铜川市耀州区、王益区、印台区,延安市黄陵县、洛川县、富县,庆阳市宁县、正宁县等地;耕地转换为草地集中出现在延安市吴起县,榆林市定边县,庆阳市环县、镇原县,平凉市灵台县、静宁县,固原市西吉县、彭阳县,定西市通渭县、陇西县,天水市甘谷县、秦安县、清水县等地;耕地转换为建设用地集中出现在西安市未央区、高陵区、临潼区、长安区、鄠邑区,渭南市临渭区,咸阳市秦都区、兴平市(县)、武功县、杨陵区,宝鸡市凤翔县,庆阳市西峰区等地。林地转换为耕地集中出现在铜川市耀州区、宜君县,延安市洛川县,庆阳市正宁县,定西市漳县,西安市蓝田县等地;草地转换为耕地集中出现在榆林市定边县,庆阳市环县、华池县,平凉市灵台县,固原市西吉县、彭阳县,定西市通渭县、陇西

县,天水市甘谷县、秦安县等地;建设用地转换为耕地集中出现在西安市未央区、长安区、鄠邑区、周至县,渭南市大荔县,咸阳市兴平市(县)、武功县、杨陵区,宝鸡市凤翔县(图4,表2)。

4 生态状况及影响因素

因生态空间范围很广,在生态价值、利用方式上也存在较大差异,不同类型生态空间所承载的生态功能也有所不同(李广东和方创琳,2016),目前对于生态空间的概念与分类尚未达成共识。本次研究以生态空间可辨识和可评估为出发点,兼顾生态空间分类与第三次全国国土调查、中国科学院数据产品的地类划分的衔接性,并参考了生态环境部在《生态保护红线划定指南》和自然资源部在《自然生态空间用途管制办法》中对生态空间的定义,认为不同土地利用类型在某种程度上均具有一定的生态功能,人为活动本身无法脱离生态空间也是其一部分,结合人类活动作用范围及其与生态空间的关系,故将生态空间划分为生态用地、半生态用地及弱生态用地(表3),其范畴不仅考虑了国土资源的生态空间定义,还包括了建设用地和耕地等受到人为干扰强烈的土地范围。

渭河流域2000—2020年生态空间用地转化面积共48165 km²(表4),其中生态用地→半生态用地占总转化面积的41.9%,面积为20172 km²,即平均每年有1009 km²地区由林、草地转为耕地。而半生态用地→生态用地,占总变化面积的43.4%,面积为20897 km²,即平均每年有1045 km²地区由耕地转为林、草地;其次为弱生态用地→半生态用地、半生态用地→弱生态用地、生态用地→弱生态用地、弱生

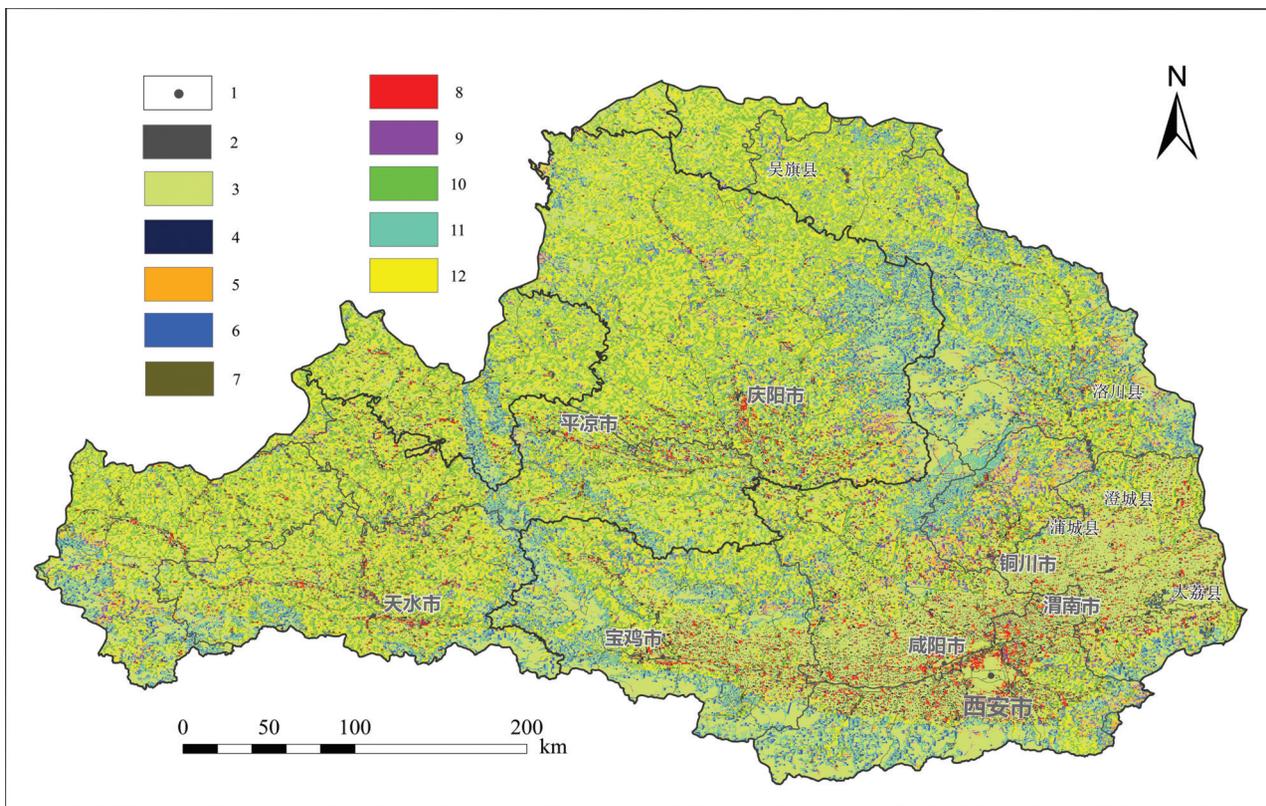


图4 2010—2020年渭河流域土地利用变化空间分区与分布特征

1—城市位置及其名称;2—其他转化;3—未转化;4—非矿建设用地→耕地;5—林地→耕地;6—林地→草地;7—水域→耕地;8—耕地→非矿建设用地;9—耕地→林地;10—耕地→草地;11—草地→林地;12—草地→耕地

Fig.4 Spatial regionalization and distribution map of land use changes of Wei River Basin from 2010 to 2020

1—Urban location and its name; 2—Else conversion; 3—No conversion; 4—Non-mining constructive land→cropland; 5—Forest→cropland; 6—Forest→grassland; 7—Water and wetland→cropland; 8—Cropland→non-mining constructive land; 9—Cropland→forest; 10—Cropland→grassland; 11—Grassland→forest; 12—Grassland→cropland

态用地→生态用地,面积分别为 2519 km²、2754 km²、1032 km²和 791 km²,占比分别为 5.2%、5.7%、2.1%和 1.6%。其中半生态用地⇌生态用地、弱生态

用地⇌生态用地转换面积分别有约 80%、62%集中于黄土高原农牧生态区,半生态用地⇌弱生态用地转换面积约 61%以上集中于渭河盆地农业生态区。

表2 渭河流域各生态区 2010—2020 年自然资源动态变化转移矩阵(面积/km²)

Table 2 Land use change area in different ecological space and transfer matrix of Wei River Basin from 2010 to 2020 (area/km²)

| | | 2020年 | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|-----------|--------|---------|-------|-------|-----------|--------|--------|------|-------|-----------|--------|--------|-------|--------|
| 生态区 | | 黄土高原农牧生态区 | | | | | 秦巴山地农牧生态区 | | | | | 渭河盆地农业生态区 | | | | |
| 地类 | | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 建设用地 | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 建设用地 | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 建设用地 |
| 2010年 | 耕地 | 16920.9 | 2123.3 | 13728.5 | 151.3 | 861.8 | 1665.9 | 347.1 | 1040.2 | 27.0 | 130.4 | 14462.4 | 554.7 | 1878.3 | 189.5 | 1555.7 |
| | 林地 | 2137.9 | 6783.4 | 3961.4 | 32.2 | 88.4 | 367.5 | 4586.7 | 1353.4 | 4.6 | 17.6 | 598.2 | 1519.1 | 796.6 | 17.0 | 76.3 |
| | 草地 | 13705.5 | 3964.7 | 21855.8 | 124.0 | 484.8 | 1122.4 | 1397.3 | 3442.5 | 13.6 | 61.9 | 2040.0 | 758.5 | 2890.0 | 36.3 | 123.8 |
| | 水域 | 175.6 | 25.6 | 121.3 | 38.0 | 20.7 | 26.5 | 4.2 | 20.6 | 7.0 | 8.2 | 211.7 | 16.8 | 44.1 | 87.2 | 44.7 |
| | 建设用地 | 823.9 | 81.7 | 410.7 | 20.7 | 205.9 | 110.1 | 12.9 | 54.0 | 6.1 | 39.0 | 1704.9 | 45.6 | 101.2 | 22.4 | 982.4 |
| | 其他土地 | 36.7 | 5.6 | 31.9 | 0.3 | 3.1 | 1.2 | 4.6 | 7.6 | 0.0 | 0.0 | 15.7 | 9.5 | 11.7 | 0.2 | 1.0 |

表3 生态空间分类及与土地利用类型的对应关系(据刘小燕等,2021修改)

Table 3 Corresponding relation between the classification of ecological space and land use(modified from Liu Xiaoyan et al., 2021)

| 用地类型 | 含义 | 名称 | 分类依据 |
|-------|-------------------|------|--|
| 生态用地 | 完全生态用地或生态功能较其他功能强 | 林地 | 林地具有水源涵养、气候调节、防风固沙重要作用,草地具有土壤保持、气候调节、自然景观等生态服务功能,水域具有调节区域气候和人文等作用,未利用地多为天然的生态类型,其他用地在固定流沙、减弱风蚀、改善生态环境质量等方面作用明显。以上用地类型具原生植被或景观特征,生态价值十分重要 |
| | | 草地 | |
| | | 水域 | |
| | | 未利用地 | |
| 半生态用地 | 生态功能较其他功能相当 | 耕地 | 耕地首先具有较强的食物供给功能,同时也具有较强的气候调节功能、固碳等生态功能 |
| 弱生态用地 | 生态功能极弱 | 建设用地 | 城镇用地、农村居民点及其他建设用地主要以生产和生活功能为主 |

可见,2000—2020年这20年间渭河流域半生态用地⇌生态用地和“半生态用地⇌弱生态用地趋于平衡,流域生态系统服务质量稳中趋增。初步分析主要受益于1999年以来实施的两轮“退耕还林(草)工程”以及在黄土高原水土保持区(平凉、庆阳、固原等)与其他生态修复功能区(宝鸡、延安、铜川等)实施的生态修复措施。因为渭河流域的陕北高原、陇中及陇东黄土高原是“退耕还林(草)工程”的重点实施区或国家首批山水林田湖草生态系统修复试点,20年间退耕还林、还草面积共计15307 km²,林草面积净增加达2704 km²(徐省超等,2021)。据研究“退耕还林(草)工程”实施以来,渭河流域地表水域面积有所扩大,大约62.3%区域内植被覆盖度明显增加,流域水源涵养总量和平均水源涵养量分别提升153.94×10⁴ m³、11.26 m³/hm²,土壤保持总量和单位面积土壤保持量分别增加563.33×10⁴ t、0.41 t/hm²,碳储量总量和单位面积碳储量分别增加297.96×10⁴ t、0.20 t/hm²(宁亚洲等,2020;庞家泰等,2021;李子和李艳芳,2021)。此外,2000—2010年

作为西部城市化进程的高速期,耕地向建设用地转化的面积较大,但近年来由于国家对耕地保护和建设用地整治力度加大,使部分建设用地向复耕复绿有序转化(王鹏等,2023)。

结合部分学者基于InVEST模型和单位面积价值当量因子估算的生态服务价值的成果来看(谢高地等,2008;李红艳和李晶,2014),土地利用类型对生态系统服务的影响具有空间差异性。在渭河盆地以净初级生产力的功能为主,耕地的生态服务价值最大,其次是林地、草地。随着西安、咸阳、渭南等城市周边耕地和其他土地向建设用地转化,渭河盆地的生态服务价值也向天水、宝鸡、铜川等市外围县、区转移;在秦巴山地以涵养水源和固碳释氧的功能为主,林地的生态服务价值最大,其次是草地、水域。受植被类型和分布的影响,秦巴山地的生态服务价值总体呈现西高东低的趋势;在黄土高原以水土保持功能为主,草地的生态服务价值最大,其次是林地。生态服务价值转移主要发生在草地⇌耕地转换区,在陇东和陕北黄土高原呈现“面

表4 渭河流域各生态区2000-2020年生态用地转移矩阵(面积/km²)

Table 4 Ecological land use change area in different ecological space and transfer matrix of Wei River Basin from 2000 to 2020 (area/km²)

| | 生态区 | 2020年 | | | | | | | | |
|-------|-------|-----------|---------|--------|-----------|---------|-------|-----------|--------|--------|
| | | 黄土高原农牧生态区 | | | 秦巴山地农牧生态区 | | | 渭河盆地农业生态区 | | |
| | | 半生态用地 | 生态用地 | 弱生态用地 | 半生态用地 | 生态用地 | 弱生态用地 | 半生态用地 | 生态用地 | 弱生态用地 |
| 2000年 | 半生态用地 | 17161.1 | 16589.0 | 941.0 | 1691.0 | 1594.5 | 137.1 | 14583.2 | 2713.3 | 1676.0 |
| | 生态用地 | 15839.9 | 36353.4 | 647.6 | 1496.2 | 10652.5 | 101.9 | 2836.2 | 6074.6 | 282.1 |
| | 弱生态用地 | 799.5 | 518.1 | 197.8 | 106.3 | 82.4 | 39.4 | 1613.5 | 190.5 | 897.8 |
| | 合计 | 33800.5 | 53460.5 | 1786.4 | 3293.6 | 12329.4 | 278.4 | 19032.9 | 8978.4 | 2855.9 |

上开花”的趋势。

5 结 论

(1)2000—2010年流域耕地转换为草地、林地以及建设用地的面积分别为804.4 km²、350.3 km²、327.6 km²，而草地、林地以及建设用地转换为耕地的面积分别为94.3 km²、10.4 km²、1.2 km²，草地转换为林地的面积为436.1 km²。其中耕地转换为建设用地主要位于西安、咸阳、渭南，耕地转换为草地、林地主要位于延安、庆阳、平凉，草地转换为林地主要在庆阳、延安、咸阳。

(2)2010—2020年流域耕地转换为草地、林地以及建设用地的面积分别为16646.8 km²、3024.5 km²、2547.9 km²，而草地、林地以及建设用地转换为耕地的面积分别为16867.7 km²、3103.6 km²、2528.82 km²。其中耕地转换为草地、林地主要位于固原、延安、铜川、天水，耕地转换为建设用地主要在西安、咸阳、庆阳。

(3)2000—2020年流域生态空间用地面积转换达48165 km²，其中生态用地→半生态用地面积为20172 km²，半生态用地→生态用地面积为20897 km²，弱生态用地→半生态用地面积为2519 km²，半生态用地→弱生态用地面积为2754 km²，反映流域生态空间用地转换趋于平衡和生态系统质量稳中趋增。以上成果对于促进渭河流域自然资源综合区划和国土空间“三区三线”的优化具有重要意义。

致谢：论文撰写过程得到了张晶、乔耿彪两位教授级高级工程师的悉心指导，审稿过程中匿名专家和编辑部老师提出了宝贵的修改意见，在此一并表示诚挚的感谢！

References

- Cheng Lei, Xu Zongxue, Luo Rui, Mi Yanjiao. 2009. Spatial-temporal characteristics of LUCC and driving factor analysis for the Wei River Basin from 1980 to 2000[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 16(5): 1-6, 30 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Sanyou, Wang Hongmei, Li Yingjie. 2011. Geomorphology characteristics of the Wei River Basin and its formation reasons[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 27(3): 45-49 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Weiming, Zhou Chenghu, Li Bingyuan, Shen Yuancun. 2019. Geomorphological regionalization theory system and division methodology of China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 74(5): 839-

- 856 (in Chinese with English abstract).
- Fu Bojie, Liu Guohua, Chen Liding, Ma Keming, Lijunran. 2001. Scheme of ecological regionalization in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 21(1): 1-6 (in Chinese with English abstract).
- Guo Jinjing, Han Wenfeng, Liang Shouyun. 2006. Tectono-morphological evolution of the Minxian-Wudu area on the northeastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau and plateau uplift[J]. *Geology in China*, 33(2): 383-392 (in Chinese with English abstract).
- Han Yanfei, Ke Changqing, Li Jing. 2014. Response of vegetation net primary productivity to LUCC in Guanzhong-Tianshui Economic Zone in recent 30 years[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, (6): 68-74 (in Chinese with English abstract).
- Li Yangchun, Zhang Kexin, He Weihong, Xu Yadong, Song Bowen, Yu Yang, Ke Xue, Kou Xiaohu, Luo Mansheng, Xin Houtian, Fu Junyu, Yang Zhuliang, Zhao Xiaoming, Yin Fuguang, Li Zhipei. 2018. Division of tectonic-strata superregions in China[J]. *China Geology*, 1(2): 236-256.
- Li Guangdong, Fang Chuanglin. 2016. Quantitative function identification and analysis of urban ecological-production-living spaces[J]. *Acta Geographica Sinica*, 71(1): 49-65 (in Chinese with English abstract).
- Li Hongyan, Li Jing. 2014. Study on the transfer of ecological service value in Guanzhong-Tianshui economic zone[J]. *Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition)*, 42(1): 86-91 (in Chinese with English abstract).
- Li Libo, Xu Gang, Hu Jianmin, Yu Xinbin. 2012. An analysis of relative active tectonics based on DEM[J]. *Geology in China*, 39(3): 595-604 (in Chinese with English abstract).
- Li Nanqian, Chen Jianwei. 2011. New approach of forest zoning in China[J]. *Forestry Resources Management*, (4): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- Li Shuoyang, Liu Xiaoyan, Yang Guiyu, Liu Qizhen. 2021. Analysis of the impact of land use change on runoff in the Weihe River Basin from the perspective of hydrologic factor variation[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 28(3): 133-140 (in Chinese with English abstract).
- Li Zi, Zhang Yanfang. 2021. Spatiotemporal evolution of ecosystem services in the main and tributaries of Weihe River Basin based on InVEST model[J]. *Acta of Soil and Water Conservation*, 35(4): 178-185 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaoyan, Cui Yaoping, Dong Jinwei, Shi Zhifang, Run Yadi. 2021. Assessment of ecological space and ecological index changes in the affected area of the middle and lower reaches of the Yellow River[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 41(20): 8030-8039 (in Chinese with English abstract).
- Ministry of Natural Resources of People's Republic of China. 2018. Implementation Plan of the Third National Land Survey[S]. 1-58 (in Chinese).

- Ning Yazhou, Zhang Fuping, Feng Qi, Wei Yongfen, Ding Jiabao, Zhang Yuan. 2020. Temporal and spatial variation of water conservation function in Qinling Mountain and its influencing factors[J]. Chinese Journal of Ecology, 39(9): 3080–3091(in Chinese with English abstract).
- Pang Jiatai, Duan Jinliang, Li Zhi, Lü Jichao. 2021. Characteristics of spatiotemporal evolution and climate response of vegetation cover in the Wei River Basin from 2000 to 2019[J]. Research of Soil and Water Conservation, 28(5): 230–237(in Chinese with English abstract).
- Song Weinian, Zhan Chensheng, Li Jingyu, Xu Zongxue, Wang Huixiao. 2012. Remote sensing analysis on the spatial-temporal characteristics of LUCC in the Guanzhong Plain Region of the Wei River Basin in the past 30 years[J]. China Land Science, 26(2): 56–61(in Chinese with English abstract).
- Wang Fei. 2013. Study of Runoff and Value of Ecosystem Services Based on Land Use Change in Weihe River Basin[D]. Xianyang: Northwest A&F University, 1–60.
- Wang Lixia, Zhang Mingshuang, Sui Lichun, Zhang Shuangcheng, Yang Yun. 2020. Ecological function regionalization in the Weihe River Basin[J]. Arid Zone Research, 37(1): 236–243(in Chinese with English abstract).
- Wang Peng, Zhao Jun, Yan Xiaojuan, Yang Tao, Zhang Jing, Ma Shangwei, Zhang Daojun. 2023. Agglomeration and evolution characteristics of urban land-use efficiency under a dynamic spatio-temporal perspective in the Yellow River Basin[J]. Geology in China, 50(2): 506–520(in Chinese with English abstract).
- Wang Yingguo, Chang Hong, Zhou Weijian. 2021. Fluvial terrace evolution and its tectonic-climatic significance in the Weihe Basin[J]. Geological Review, 67(4): 1033–1049 (in Chinese with English abstract).
- Wu Bo, Guo Shuhai, Li Baolin, Zhang Lingyan. 2018. Draft of soil environmental function regionalization of China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 29(3): 961–968(in Chinese with English abstract).
- Xie Gaodi, Zhen Lin, Lu Chunxia, Xiao Yu, Chen Cao. 2008. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. Journal of Resources and Ecology, 23(5): 911–919(in Chinese with English abstract).
- Xu Shengchao, Zhao Xueyan, Song Xiaoyu. 2021. Impacts of the returning farmland to forest (grassland) project on ecosystem services in the Weihe River Basin, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 32(11): 3893–3904(in Chinese with English abstract).
- Yang Shengtian, Liu Changming, Sun Rui. 2004. The vegetation cover last 20 years in Yellow River Basin[J]. Acta Geographica Sinica, 57(6): 679–684(in Chinese with English abstract).
- Yang Yong, Ren Zhiyuan. 2013. A comparative study on LUCC of Guanzhong area based on GIS[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 27(5): 40–45(in Chinese with English abstract).
- Yue Siyu, Li Huaian, Zhao Li. 2021. Impact of climate and land use changes on water scarcity in the Wei River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 28(5): 95–101(in Chinese with English abstract).
- Zhang Dong, Song Xianfang, Zhang Yinghua, Yang Lihu, Yang Shengtian. 2018. Variation characteristics of precipitation over Weihe river basin based on CRU Grid Dataset during last 100 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 32(2): 142–148 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Haiyan, Fan Jiangwen, Huang Lin, Tang Yulei, Yue Ying, Yang Yu, Liu Xiaohuang. 2020. Theories and technical methods for the comprehensive regionalization of natural resources in China[J]. Resources Science, 42(10): 1870–1882 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yan, Bi Zhilei, Song Jinxi, Li Nan. 2019. Effects of land-use types on nitrate pollution of surface water in Guanzhong area in the Weihe River basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 39(12): 4319–4327 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qionghua, Zhao Jingbo. 2005. Analysis on the main factors resulting in flood disasters in the Weihe River watershed and the control measures[J]. Arid Zone Research, 22(4): 485–490 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Jingyun, Yin Yunhe, Li Bingyuan. 2010. A new scheme for climate regionalization in China[J]. Acta Geographica Sinica, 65(1): 3–12 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 程磊, 徐宗学, 罗睿, 米艳娇. 2009. 渭河流域1980–2000年LUCC时空变化特征及其驱动力分析[J]. 水土保持研究, 16(5): 1–6, 30.
- 程三友, 王红梅, 李英杰. 2011. 渭河水系流域地貌特征及其成因分析[J]. 地理与地理信息科学, 27(3): 45–49.
- 程维明, 周成虎, 李炳元, 申元村. 2019. 中国地貌区划理论与分区体系研究[J]. 地理学报, 74(5): 839–856.
- 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 马克明, 李俊然. 2001. 中国生态区划方案[J]. 生态学报, 21(1): 1–6.
- 郭进京, 韩文峰, 梁收运. 2006. 青藏高原东北缘岷县—武都地区构造地貌演化与高原隆升[J]. 中国地质, 33(2): 383–392.
- 韩艳飞, 柯长青, 李晶. 2014. 近30年关天经济区植被净初级生产力对土地利用变化的动态响应[J]. 干旱区资源与环境, (6): 68–74.
- 李广东, 方创琳. 2016. 城市生态-生产-生活空间功能定量识别与分析[J]. 地理学报, 71(1): 49–65.
- 李红艳, 李晶. 2014. 关中-天水经济区生态系统服务价值转移研究[J]. 陕西师范大学学报, 42(1): 86–91.
- 李烁阳, 刘小燕, 杨贵羽, 刘奇真. 2021. 土地利用变化对渭河流域水文过程的影响[J]. 水土保持研究, 28(3): 133–140.
- 李利波, 徐刚, 胡健民, 于新兵. 2012. 基于DEM的活动构造研究[J]. 中国地质, 39(3): 595–604.
- 李南岍, 陈建伟. 2011. 对中国森林区划的新探讨[J]. 林业资源管理,

- (4): 1-5.
- 李子, 张艳芳. 2021. 基于InVEST模型的渭河流域干支流生态系统服务时空演变特征分析[J]. 水土保持学报, 35(4): 178-185.
- 刘小燕, 崔耀平, 董金玮, 史志方, 闰亚迪. 2021. 黄河中下游影响区生态空间和生态指数变化评估[J]. 生态学报, 41(20): 8030-8039.
- 宁亚洲, 张福平, 冯起, 魏永芬, 丁家宝, 张元. 2020. 秦岭水源涵养功能时空变化及其影响因素[J]. 生态学杂志, 39(9): 3080-3091.
- 庞家泰, 段金亮, 李智, 吕继超. 2021. 2000—2019年渭河流域植被覆盖度时空演变特征及气候响应[J]. 水土保持研究, 28(5): 230-237.
- 宋维念, 占车生, 李景玉, 徐宗学, 王会肖. 2012. 近30年来渭河关中地区土地利用时空格局的遥感分析[J]. 中国土地科学, 26(2): 56-61.
- 王飞. 2013. 基于土地利用变化的渭河流域产流及生态系统服务价值研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 1-60.
- 王丽霞, 张茗爽, 隋立春, 张双成, 杨耘. 2020. 渭河流域生态功能区划[J]. 干旱区研究, 37(1): 236-243.
- 王鹏, 赵君, 阎晓娟, 杨涛, 张晶, 马尚伟, 张道军. 2023. 动态时空视角下黄河流域城市土地利用效率的集聚演化特征[J]. 中国地质, 50(2): 506-520.
- 王迎国, 常宏, 周卫健. 2021. 渭河盆地河流阶地演化及其构造—气候意义[J]. 地质论评, 67(4): 1033-1049.
- 吴波, 郭书海, 李宝林, 张玲妍. 2018. 中国土壤环境功能区划方案[J]. 应用生态学报, 29(3): 961-968.
- 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 2008. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 23(5): 911-919.
- 徐省超, 赵雪雁, 宋晓谕. 2021. 退耕还林(草)工程对渭河流域生态系统服务的影响[J]. 应用生态学报, 32(11): 3893-3904.
- 杨胜天, 刘昌明, 孙睿. 2004. 近20年来黄河流域植被覆盖变化分析[J]. 地理学报, 57(6): 679-684.
- 杨勇, 任志远. 2013. 基于GIS的关中地区土地利用/覆盖变化对比研究[J]. 干旱区资源与环境, 27(5): 40-45.
- 岳思羽, 李怀恩, 赵丽. 2021. 气候和土地利用变化对渭河流域水资源短缺的影响[J]. 水土保持研究, 28(5): 95-101.
- 张东, 宋献方, 张应华, 杨丽虎, 杨胜天. 2018. 基于CRU格点数据集的近百年渭河流域降水变化[J]. 干旱区资源与环境, 32(2): 142-148.
- 张海燕, 樊江文, 黄麟, 汤宇磊, 岳颖, 杨玉, 刘晓煌. 2020. 中国自然资源综合区划理论研究与技术方案[J]. 资源科学, 42(10): 1870-1882.
- 张琼华, 赵景波. 2005. 渭河流域洪水灾害关键因素分析及防治对策[J]. 干旱区研究, 22(4): 485-490.
- 张妍, 毕直磊, 张鑫, 宋进喜, 李楠. 2019. 土地利用类型对渭河流域关中段地表水硝酸盐污染的影响[J]. 生态学报, 39(12): 4319-4327.
- 郑景云, 尹云鹤, 李炳元. 2010. 中国气候区划新方案[J]. 地理学报, 65(1): 3-12.
- 中华人民共和国自然资源部. 2018. 第三次全国国土调查实施方案[S]. 1-58.