

2008—2017年离石区土地利用变化及驱动因素分析

武鹏, 郭伟玲* (安徽理工大学空间信息与测绘工程学院, 安徽淮南 232000)

摘要 以山西省吕梁市离石区作为研究对象, 选择2008—2017年五幅遥感影像图, 使用ENVI、ArcGIS软件, 对影像进行预处理以及监督分类, 获取离石区5年的土地利用分类信息。通过土地利用变化转移矩阵、线性分析等方法对影响离石区土地利用变化的人文因素和自然因素2个方面进行分析。结果表明, 离石区最主要的土地类型为耕地和林地, 2008—2017年林地面积减少了46.59 km², 耕地面积减少了53.17 km², 裸地面积增加了14.77 km², 建筑用地面积增加了92.19 km², 河流面积减少了7.21 km²。在这期间, 耕地、林地、裸地主要转化为建筑用地, 耕地与林地之间也存在相互转换关系。从驱动力因素来看, 离石区GDP、人口、第一产业产值、第二产业产值、第三产业产值对土地利用变化均有相关关系, 离石区的地质地貌也对土地变化有所影响。

关键词 土地利用变化; 驱动力因素; 土地利用转移矩阵; 离石区

中图分类号 F301.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)16-0086-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.16.023



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis of Land Use Change and Driving Factors in Lishi District from 2008 to 2017

WU Peng, GUO Wei-ling (College of Spatial Information and Surveying and Mapping Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232000)

Abstract This paper selected Lishi District of Lüliang City, Shanxi Province as the research object, and selected five remote sensing image maps from 2008 to 2017, and ENVI and ArcGIS software were used to preprocess and supervise the images to obtain land use classification information in Lishi District for 5 years. Through land use change transfer matrix, linear analysis and other methods, the two aspects of human factors and natural factors that affected land use changes in Lishi District were analyzed. The result showed that the most important types of land in the off-stone areas were arable land and woodland. During 2008–2017, the area of forest land decreased by 46.59 km², the area of cultivated land decreased by 53.17 km², the area of bare land increased by 14.77 km², the area of construction land increased by 92.19 km², and the river area decreased by 7.21 km². During this period, cultivated land, woodland and bare land were mainly converted into construction land, and there was also a mutual conversion relationship between cultivated land and woodland. From the perspective of driving factors, Lishi District's GDP, population, output value of the primary industry, output value of the secondary industry and output value of the tertiary industry were all related to land use changes, and the geology and landforms of Lishi District also affected land changes.

Key words Land use change; Driving factors; Land use transfer matrix; Lishi District

土地利用变化是全球环境变化与可持续发展研究的重要内容。土地资源是人类社会赖以生存和发展的物质基础, 作为一种重要的基础性资源, 其利用变化不仅影响着社会经济的发展, 同时也对生态环境有着深刻的影响, 尤其是生物多样性和生态系统的服务功能。21世纪以来, 随着全球化的进程不断加深, 在可持续发展战略的主题下, 如何更加合理地利用土地资源, 充分发挥土地资源的优势已经成为全球研究的热点^[1]。土地变化可以直观地呈现自然条件的变化和人类活动的程度, 深入了解土地利用变化及驱动力因素不仅为揭示全球生态系统提供依据, 更为改善区域环境及合理配置土地资源提供理论支持和实践指导。因此, 要时刻关注土地利用的整体动向, 并进行归纳和调整, 从而形成一种较为合理的土地利用, 并且合理的土地利用也符合新常态下地区发展的基本要求^[2]。

近年来, 前人在土地利用变化方面进行了大量的研究, 越来越多的学者更加侧重对于典型县域的研究^[3-8], 如阴柯欣等^[3]研究了宁夏泾源县的土地利用变化情况, 是对限制开发区土地利用研究的完善; 贺承伟等^[4]探究了雄安新区土地

利用变化的空间形式和土地利用资源的变化情况, 为优化该地区的土地结构提供了科学参考; 李超等^[5]对渭北黄土高原礼泉县土地利用覆盖变化状况进行分析, 对于区域发展的土地资源具有指导作用。尽管土地利用变化的研究取得了许多成果, 但是关于经济转型发展对土地利用变化影响的研究相对较少。离石区作为产煤大区, 近10年来推进转型发展, 积极摆脱对煤产业的依赖, 环境尤为改善。可以预见在 new 的发展状况下, 土地利用变化必然会出现新的特征和发展趋势, 因此, 开展离石区土地利用变化的研究具有重要的理论和实践意义。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 离石区地处山西省西部、吕梁山脉中段西侧, 地理坐标为37°21'~37°42'N、110°55'~111°35'E, 是整个吕梁市的地理中心, 是吕梁市政府驻地, 吕梁市政治、文化和交通中心(图1)。离石城区位于区境腹地偏西南的东川河、北川河交汇外, 海拔920~940 m。离石区属于温带大陆性气候区, 冬寒夏暑, 四季分明。全区下辖7个街道、2个镇和3个乡, 行政区域总面积1 324 km², 总人口33.56万。

1.2 数据来源 该研究所涉及的数据包括数字影像数据、离石区边界数据、社会经济数据等。其中数字影像数据来源于地理空间数据云网站, 包括2008、2011、2014年3期Landsat TM影像, 2015、2017年Landsat OLI 2期遥感影像, 空间分辨率均为30 m。图像为不同年相近日的数据, 可一定程度上减少季节性的影响, 且所有影像云量均很少, 减少了大气对影

基金项目 国家自然科学基金项目“黄土丘陵沟壑区DEM采样间距与数据平滑对流域分布式侵蚀学坡长的影响研究”(41501294)。

作者简介 武鹏(1998—), 男, 山西吕梁人, 硕士研究生, 研究方向: GIS与RS在水土保持中的应用。*通信作者, 讲师, 博士, 从事GIS与RS应用研究。

收稿日期 2021-01-24

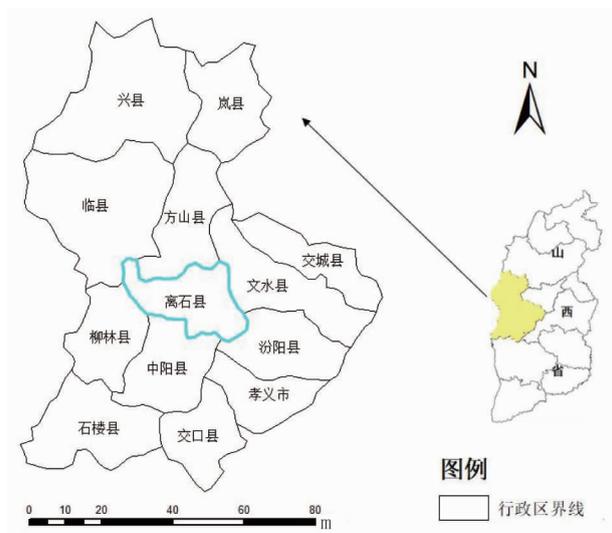


图1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

像产生的影响。社会经济数据来源于 2008—2017 年离石区统计年鉴、各县区社会发展统计公报等。

1.3 研究方法

1.3.1 监督分类。利用 ENVI 遥感图像处理平台对收集的 5 期遥感影像数据进行了辐射定标、大气校正、几何校正等预处理^[9],进而根据研究区矢量边界进行裁剪,最后进行监督分类^[10]。该研究将研究区土地利用类型进行划分,其主要分为林地、耕地、裸地、建筑用地、河流 5 个类型^[11],综合评价精度为 98.4%,达到实际应用要求的 85% 的分类识别精度目标。

1.3.2 土地利用转移矩阵。土地利用转移矩阵反映各类土地利用类型之间的转换情况^[12],它既可以反映研究期内各类土地利用类型的转移变化情况,又可以反映出研究期末各土地利用类型的来源与结构。其数学形式^[13]如下:

$$A = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, S 为土地利用转移矩阵; $i, j (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 分别为转移前和转移后的土地利用类型; n 为转移前后的土地利用类型数; S_{ij} 表示转移前的 i 地类转换成转移后的 j 地类的面积。

1.3.3 土地利用动态度。该研究运用土地利用变化单一动态度反映离石区在研究时段内某土地类型转变为其他土地利用类型的速度^[14],主要从研究时段内土地利用变化的结果上,展现出土地利用变化的剧烈程度,数值越大,说明土地利用变化的速度越快,程度越剧烈。土地利用变化单一动态度计算公式^[15]如下:

$$R = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中, U_a 、 U_b 分别表示某种土地利用类型原始数量与末期数量; T 表示研究的时间,以年计算; R 表示某种土地利用类型的年变化率。

1.3.4 土地利用变化幅度。该研究通过对离石区的遥感影像图提取出来的土地利用类型进行统计,计算土地利用变化

幅度^[16],以此反映离石区内不同土地类型在总量上的变化,了解区域内各种土地的总体变化趋势。土地利用的数学表达式如下:

$$K_r = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times 100\% \quad (3)$$

式中, U_b 为研究开始阶段某一种土地类型的面积; U_a 为研究末某一种土地利用类型的面积; K_r 为研究时段内土地利用类型的变化幅度。

2 结果与分析

2.1 离石区土地利用变化分析

2.1.1 土地利用结构变化。从图 2 可以看出,2008—2017 年离石区土地利用中占比较大的主要是林地和耕地,分别占总面积的 35% 和 42%,是离石区最主要的土地类型;其中面积最小的为河流区域,占总面积的 0.5%。各个土地类型面积占比由大到小依次为耕地、林地、裸地、建筑用地、河流。总体上看,耕地和林地以及河流面积呈下降趋势,建筑用地面积一直在增加。变化量最大的面积就是建筑用地面积,增加了 92.19 km²,变化量最小的为河流面积,减少了 7.20 km²。

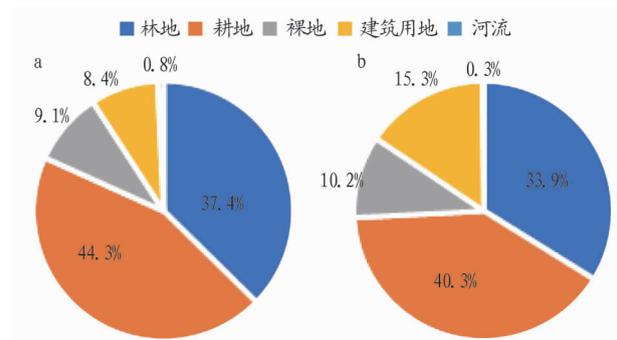


图2 2008 年(a)和 2017 年(b)离石区土地利用分布

Fig.2 Distribution of land use in Lishi District in 2008 (a) and 2015 (b)

2.1.2 土地利用转移矩阵分析。将研究区 5 期的土地利用数据进行空间叠加,构建出 2008—2011、2011—2014、2014—2015 和 2015—2017 年 4 个时间段的土地利用转移矩阵。以 2015—2017 年的土地利用转移矩阵为例进行分析。

从表 1 可以看出,离石区 2015—2017 年林地转出的方向为耕地和建筑用地,转出面积分别为 84.33 和 1.29 km²;耕地的转出方向为林地、裸地和建筑用地,转出面积分别为 89.21、14.91、55.97 km²;裸地的主要转出方向为耕地和建筑用地,转出面积分别为 14.28 和 39.06 km²;建筑用地的转出方向为林地、耕地、裸地、河流,转出面积分别为 7.84、16.27、14.44、1.32 km²。其中,耕地的转入转出量最大,这是由于一方面中心城市的快速建设使得土地权属变更,耕地面积转变为其他土地类型,工程占用了大部分耕地;另一方面,耕地面积减少,农民的收入下降,再加上对林业法律法规的意识不大,大肆开荒种地,虽然增加了耕地面积却也对林地造成了破坏。

2.1.3 土地利用动态度分析。根据土地变化动态度模型,分别计算 2008—2011、2011—2014、2014—2015 和 2015—2017 年 4 个时间段内离石区土地变化动态度。对离石区 2008—

2017年土地利用变化进行单一动态度分析,结果发现(表2),在2008—2011年,林地和裸地的增加速度分别为2.78%和8.71%;而耕地、建筑用地、河流的面积减少了,其中耕地下降最快,降速为5.19%,建筑用地下降最慢,降速仅有0.67%。在2011—2014年,林地的变化率下降最快,降速为12.57%,其次是河流,降速为4.89%;耕地、裸地和建筑用地的变化率呈上升趋势,上升速度分别为4.40%、7.39%、

6.43%。在2014—2015年,裸地有大幅度的减少,河流面积下降速度极快,主要是由于新城区建设,使得二者的面积急剧减少,耕地的面积基本无变化,林地的增加速度为10.23%。在2015—2017年,变化率最大的是建筑用地面积,增加了14.17%,其次是裸地,持续减少变化率为8.83%,可见离石区的城镇化速度持续加快,经济的发展特别是工业发展迅速,造成了建设用地急速扩张。

表1 2015—2017年离石区土地利用变化矩阵

Table 1 Land use change matrix in Lishi District during 2015—2017

km²

土地利用类型 Land use type	林地 Forest land	耕地 Cultivated land	裸地 Bare land	建筑用地 Construction land	河流 River
林地 Forest land	351.10	89.21	0.11	7.84	0.07
耕地 Cultivated land	84.33	418.65	14.28	16.27	0.28
裸地 Bare land	0.08	14.91	105.95	14.44	0.18
建筑用地 Construction land	1.29	55.97	39.06	105.10	0.82
河流 River	0	0.03	0.10	1.32	1.40
转出量 Transfer out	85.70	160.12	53.55	39.87	1.35
转入量 Transfer in	97.23	115.16	29.61	97.14	1.45

表2 2008—2017年离石区土地利用动态度

Table 2 Land use dynamics in Lishi District from 2008 to 2017 %

土地利用类型 Land use type	2008— 2011年	2011— 2014年	2014— 2015年	2015— 2017年
林地 Forest land	2.78	-12.57	10.23	1.29
耕地 Cultivated land	-5.19	4.40	-0.13	-4.21
裸地 Bare land	8.71	7.39	-31.69	-8.83
建筑用地 Construction land	-0.67	6.43	8.35	14.17
河流 River	-1.71	-4.89	-205.42	2.12

2.1.4 土地利用幅度分析。从表3可以看出,2008—2017年变化幅度最大的是建筑用地,这是由于经济的快速发展和人口的不断增长,人们渴求更好的生活条件和精神需求,基础设施不断完善,裸地逐渐开发,建筑面积不断扩大,再加上政府一直在致力于开发新城区建设,极大地增加了建筑用地。

表3 2008—2017年离石区土地利用变化幅度

Table 3 Range of land use change in Lishi District from 2008 to 2017 %

土地利用类型 Land use type	2008— 2011年	2011— 2014年	2014— 2015年	2015— 2017年
林地 Forest land	9.1	-27.4	11.4	2.6
耕地 Cultivated land	-14.3	15.2	-0.1	-7.8
裸地 Bare land	35.4	28.5	-24.1	-15.0
建筑用地 Construction land	-2.9	23.9	9.1	39.5
河流 River	-4.9	-12.8	-67.3	4.4

在2008—2011年,耕地、建设用地、河流的面积在减少,变化幅度分别为-14.3%、-2.9%、-4.9%,这一时期,由于退耕还林的影响,耕地面积大幅减少,使得林地和裸地的面积产生较大的扩张。在2011—2014年,林地和河流的面积大幅下降,变化幅度分别为-27.4%、-12.8%,这是由于人口的持续增长使得建设用地面积增长,同时发展农业也需要大量的耕地面积,这就使得不得不采伐森林直接导致了林地面积的下降;耕地、裸地、建筑用地的变化幅度分别为15.2%、

28.5%、23.9%。在2014—2015年,耕地面积基本无变化,裸地和河流的变化幅度均较大,分别为-24.1%、-67.3%,裸地的减少主要是因为房屋建设和退耕还林项目的实施。在2015—2017年,变化幅度最大的是建设用地,增加了39.5%,这是由于人口的增加和经济的发展,基础设施不断完善,裸地逐渐开发,大量的土地逐渐转变为建筑用地,但是这也造成了耕地的流失,这时期耕地减少了7.8%。

2.2 驱动力因素分析 根据表4,2008—2017年从整体上看离石区的经济实现了飞速发展,但2011年却是离石区GDP最高的一年,为894 061万元,从表4可以看出是由于第二产业产值在这一时期出现了暴涨。2011—2014年GDP断崖式下滑,2015年依旧在下降,直到2017年才开始回升,这种现象还是由于煤炭产业的变化。2002年以后,煤炭行业迎来“黄金十年”的发展期,煤炭成为国有、民营企业的掘金之地。特别是2008—2011年,产能增加,煤价疯涨,作为产煤大区,离石区引来了高速发展的黄金时期。但是由于大量资金投入煤炭行业,煤炭行业出现严重的供大于求和良莠不齐,受能源结构变化、生态环境约束的影响,煤炭市场需求回落,库存居高不下,煤炭行业盈利水平大幅回落,经济效益下降,煤炭行业出现亏损,占到离石区60%GDP的煤炭行业不景气,导致整个区经济开始下滑。离石区的这种变化必将对研究该地区的土地利用变化产生深刻影响。

2.2.1 经济因素。通过对离石区5种土地类型耕地、林地、裸地、建设用地、河流进行驱动力研究,选取了离石区GDP、人口数量、第一产业产值、第二产业产值、第三产业产值作为驱动力因子进行线性分析,对离石区气候降水、地质地貌进行定性分析。其中,相关性较高的有耕地与GDP呈负相关,相关系数为-0.91,林地与第二产业产值的相关系数为0.89,裸地与第一产业产值的相关系数为0.64,建筑面积与第三产业产值的相关系数为0.82,河流与第三产业产值的相关系数为-0.81。

表 4 2008—2017 年离石区经济发展状况

Table 4 Economic development status of Lishi District from 2008 to 2017

年份 Year	GDP 万元	人口 Population 人	人均 GDP GDP per capita//元	第一产业产值 Output value of the primary industry//万元	第二产业产值 Output value of the secondary industry//万元	第三产业产值 Output value of the tertiary industry//万元
2008	530 231	250 560	21 235	7 660	326 610	195 961
2011	894 061	322 986	27 790	16 666	525 917	351 478
2014	699 081	328 752	21 336	20 292	217 238	461 551
2015	679 132	330 764	20 595	18 751	185 030	475 351
2017	813 938	335 674	24 359	19 868	228 647	565 423

从图 3 可以看出,2008—2017 年离石区 GDP 增加了 283 707 万元,耕地面积减少了 53.173 8 km²,主要是由于退耕还林工程的影响以及近年来城区的扩张,建筑用地不断增加,极大地占据了耕地的面积,导致了耕地面积的大量减少。同时在一段时间内离石区经济主要以煤炭产业为主,发展煤炭产业极大地增加了该区域的 GDP 产值,但是不可避免地对耕地造成了严重破坏,短时间内无法恢复。

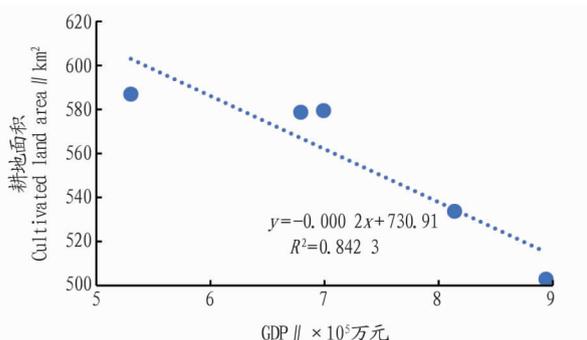


图 3 2008—2017 年离石区耕地面积与 GDP 变化

Fig.3 Change of cultivated land area and GDP in Lishi District from 2008 to 2017

从图 4 可以看出,2008—2017 年林地面积与第二产业产值呈正相关,主要是由于二者之间存在相互依赖、相互促进的关系,这二者主要是基于森林面积和植被恢复的。随着离石区林业体制的改革,林业的一些产业已经进入木材、化学产品制造等第二产业,使得林业产业的潜力进一步激发。因此,若要促进林业产业的生态效应的发挥,就必须不断地进行林业建设,扩大森林的面积,增加林地的管理措施。这是一个循序渐进的过程,林地面积的增长会使得第二产业产值也会上升。

2.2.2 自然因素。离石区地处吕梁山腹地,地势东部高而宽、西部低而窄,境内山多川少。土石山区和黄土地陵区相加占全区总面积的 80%,其特征是气候温和干旱少雨,但发展生产潜能很大,是境内杂粮生产区;北川河由北而南,东川河由东而西流经全区,中部是北川和东川为主的河谷地带,土地肥沃,水源充足,人口集中,是重要的粮食基地。因此,中部地带是主要的建筑用地所在区,建筑用地沿中部河谷地带扩张。

3 结论

(1)该区域内各种土地类型面积从大到小依次为耕地、林地、裸地、建筑用地、河流。在 2008—2017 年从整个研究区

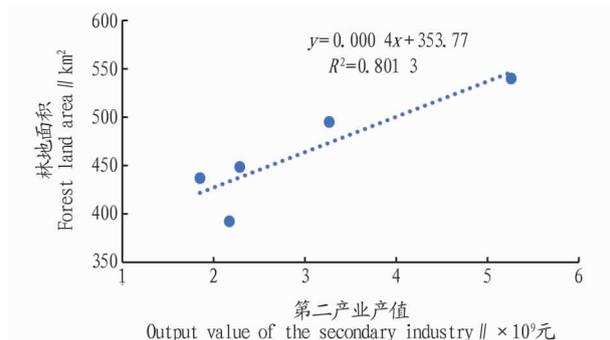


图 4 2008—2017 年离石区林地面积与第二产业产值变化

Fig.4 Changes of the forest land area and the output value of the secondary industry in Lishi District from 2008 to 2017

看,建筑用地的增加面积最大,基本呈逐年增大的趋势,耕地、林地、河流面积整体有所减少,裸地面积有略微增加。土地利用变化量从小到大依次为河流、裸地、林地、耕地、建筑用地。

(2)从驱动力因子来看,GDP 是离石区土地利用变化的最主要因素,地形地貌也对离石区的土地利用变化有所影响,这些驱动因子共同影响了离石区的土地利用变化。

(3)对于该地区今后的土地利用应该大力发展第三产业,重点以旅游业和服务业为主,对于第二产业需要响应政府政策进行转型发展,农业利用农业技术进行规模化生产,三大产业共同发展,在对土地资源最小的破坏前提下,获取最大的经济效益。

参考文献

- [1] 吴传钧,胡焕庸大师对发展中国地理学的贡献[J].人文地理,2001,16(5):1-4.
- [2] 张新长.土地利用动态变化的空间测算模型研究[J].地理信息世界,2004,11(6):14-20.
- [3] 阴柯欣,商庆凯.宁夏泾源县土地利用景观格局变化及驱动力分析[J].农业科学研究,2020,41(1):16-22.
- [4] 贺承伟,匡巧真,付盈,等.基于遥感数据的雄安新区土地利用变化[J].天津城建大学学报,2019,25(2):133-139.
- [5] 李超,龚直文,陈伟.咸阳市礼泉县土地利用覆被变化及其驱动力研究[J].陕西林业科技,2018,46(6):26-32.
- [6] 马明德,谢应忠,米文宝,等.宁夏东部风沙区土地利用/覆盖变化及其生态效应研究:以宁夏回族自治区盐池县为例[J].干旱区资源与环境,2014,28(4):8-14.
- [7] 王玲,米文宝,王鑫,等.限制开发生态区土地利用变化驱动力分析:以宁夏西吉县为例[J].干旱区资源与环境,2019,33(1):51-57.
- [8] 李鹏飞,李向新.基于 TM 影像的县域土地利用变化研究:以四川省蓬溪县为例[J].安徽农业科学,2016,44(8):293-295,308.
- [9] 孔祥伦,李云龙,韩美,等.1986—2016 年黄河三角洲土地利用/覆被变化及景观格局分析[J].西南林业大学学报(自然科学),2020,40(4):122-131.

(下转第 92 页)

表2 不同植物对重金属的转运系数

Table 2 Transport coefficients of heavy metals in different plants

序号 No.	植物名称 Plant name	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Cr
1	黑麦草	2.23	3.89	1.83	1.83	1.44	1.26
2	沙葱	0.06	3.93	1.23	2.00	3.14	2.52
3	高羊茅	1.94	6.39	2.35	4.64	2.57	1.74
4	灰藜	0.94	1.12	0.26	0.57	0.62	0.56
5	白刺	0.18	0.13	0.16	0.22	0.18	0.14
6	羽衣甘蓝	6.57	0.51	1.46	2.18	1.89	1.56
7	菊	0.80	0.31	0.30	0.41	0.38	0.31
8	桔梗	0.60	4.91	3.29	4.92	4.83	3.79
9	沙旋覆花	2.49	3.56	2.26	3.24	1.30	0.93
10	橐吾	0.91	0.70	1.32	5.55	1.14	1.07
11	黄蒿	0.46	0.41	0.36	0.65	0.70	0.61
12	变异黄耆	0.59	2.35	2.30	20.76	2.63	1.99
13	黑沙蒿	7.12	4.10	5.91	36.75	2.22	1.84
14	刺叶柄棘豆	3.15	3.54	1.58	3.76	2.25	2.12
15	丝路蓟	7.09	4.49	2.51	6.17	4.08	2.36

3 讨论与结论

该调查结果表明,羽衣甘蓝、高羊茅、桔梗、黑沙蒿、丝路蓟、桔梗等对 Pb、Cd、Cu、Zn、Ni、Cr 都具有一定的转运能力。近年来,有关植物富集重金属已有多方面、多方向的研究,然而,针对不同地理位置自然环境下的植物修复效果和机制研究仍较缺乏,即使植物的生理生化系统基本相同,单一种类植物修复也不可能适用于所有土壤和自然立地条件^[15-17]。该研究所选取采样区域的植物能够正常生存繁衍,说明其自身可以适应当地的自然环境,且具备一定的重金属耐受性。因此,研究不同立地条件下的植物对于重金属的吸收及转运能力对于矿区重金属污染植物修复有着重要意义。

参考文献

- [1] 李顺,史忠诚,赵玉龙.场地土壤重金属污染及其修复技术研究现状[J].环境研究与监测,2009(1):43-47.
- [2] 张璐.微生物强化重金属污染土壤植物修复的研究[D].长沙:湖南大学,2007:3-4.
- [3] 王义,黄先飞,胡继伟,等.重金属污染与修复研究进展[J].河南农业科学,2012,41(4):1-6.
- [4] MULLIGAN C N, YONG R N, GIBBS B F. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: An evaluation[J]. Engineering geology, 2001, 60(1/2/3/4): 193-207.
- [5] DARMAWAN, WADA S I. Effect of clay mineralogy on the feasibility of elect rokinetic soil decontamination technology[J]. Applied clay science, 2002, 20(6): 283-293.

- [6] 金一凡,周连杰,杰克,等.污染土壤修复技术的探讨[J].环境科技, 2012, 25(5): 68-72.
- [7] 李坤陶.生物修复技术及其应用[J].生物学教学, 2007, 32(1): 4-6.
- [8] 梁芳,郭晋平.植物重金属毒害作用机理研究进展[J].山西农业科学, 2007, 35(11): 59-61.
- [9] 张溪,周爱国,甘义群,等.金属矿土壤重金属污染生物修复研究进展[J].环境科学与技术, 2010, 33(3): 106-112.
- [10] 高洁,周举军,李桂芳,等.抗多元重金属植物的有效筛选及生态修复研究:以湖南柿竹园有色金属矿区为例[J].安徽农业科学, 2017, 45(27): 90-92, 242.
- [11] 路畅,王英辉,杨进文.广西铅锌矿区土壤重金属污染及优势植物筛选[J].土壤通报, 2010, 41(6): 1471-1475.
- [12] TASSI E L, PEDRON F, BARBAFIERI M. Evaluating the absorption of boron by plants-A potential tool to remediate contaminated sediments from Cecina river basin in Italy[J]. Water, air, & soil pollution, 2011, 216(1/2/3/4): 275-287.
- [13] GARCÍA M Á, ALONSO J, MELGAR M J. Lead in edible mushrooms: Levels and bioaccumulation factors[J]. Journal of hazardous materials, 2009, 167(1/2/3): 777-783.
- [14] MELGAR M J, ALONSO J, GARCÍA M A. Mercury in edible mushrooms and underlying soil: Bioconcentration factors and toxicological risk[J]. Science of the total environment, 2009, 407(20): 5328-5334.
- [15] RASCIO N, NAVARI-IZZO F. Heavy metal hyperaccumulating plants, How and why do they do it? And what makes them so interesting? [J]. Plant science, 2011, 180(2): 169-181.
- [16] 石润,吴晓芙,李芸,等.应用于重金属污染土壤植物修复中的植物种类[J].中南林业科技大学学报, 2015, 35(4): 139-146.
- [17] 陈永华,吴晓芙,郝君,等.4种木本植物在潜流人工湿地环境下的适应性及去污效果[J].生态学报, 2014, 34(4): 916-924.

(上接第 89 页)

- [10] 任杰,姜纪沂,赵振宏,等.1980—2015年伊犁盆地土地利用/覆被变化及驱动力研究[J].科学技术与工程, 2020, 20(21): 8480-8488.
- [11] 李亦佳,陈竹安.基于GIS的南昌市1995—2015年土地利用时空变化分析[J].江西科学, 2020, 38(4): 490-497.
- [12] 蒋姣,孙哲,赵思远,等.淮南市耕地时空变化特征及其驱动因素[J].农业工程, 2020, 10(12): 63-69.
- [13] 孙兰.金沙县土地利用/覆被变化及其驱动力分析[D].贵阳:贵州师范大学, 2019.

- [14] 冉茂颖,杨智谋.2007年—2017年盘县矿区土地利用变化及其驱动因素研究[J].世界有色金属, 2017(13): 282-284, 286.
- [15] 袁菊红,胡绵好,周早弘.基于IE-GC-VAR方法的河流城市土地利用变化及其驱动因素分析:以江西省德兴市为例[J].水土保持通报, 2017, 37(2): 313-320.
- [16] 杨绮丽,何政伟.2000—2013年甘肃敦煌市土地利用变化及其驱动因素分析[J].冰川冻土, 2016, 38(2): 558-566.