

# 宁夏中部干旱带土地利用覆被变化特征研究

## ——以盐池县为例

刘文娟, 安瑞平, 田佳, 卞莹莹, 邓江茹

(宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

**摘要:**土地利用类型覆被变化能够反映自然条件变化状况和人类活动干扰程度。以宁夏中部干旱带典型区域盐池县为研究区,利用 ERDAS 和 ArcGIS 软件,选取 2003 年和 2015 年的 8 月 Landsat 影像,提取盐池县土地利用土地覆被数据。采用土地利用动态度和土地利用转移矩阵对研究区土地利用时空变化和结构变化进行分析,并利用土地利用转移网络对研究区土地利用变化过程和态势进行重点研究。结果表明,1)12 a 盐池县土地利用变化总体呈现为草地、建设用地、水体面积增加,同时耕地、未利用地减少。2)草地面积变化最大,且低覆盖度草地面积明显减少,而高覆盖度草地面积显著增加。不同覆盖度草地之间转换强烈,草地覆盖度明显提高。高覆盖草地显著增加( $126\ 125.37\ \text{hm}^2$ ),净变化( $N_c=3.50\%$ )和总变化( $T_c=5.50\%$ )均为最大,单一土地动态度为 29.14。研究表明,通过退耕还林还草和禁牧封育等生态工程的实施,研究区植被状况得到改善,逐渐形成了以草地为主导的土地利用格局。

**关键词:**盐池;遥感;土地利用;土地覆被变化

**中图分类号:**S771.8

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-7461(2022)06-0122-07

## Characteristics of Land Use/Land Cover Change in the Arid Zone of Central Ningxia ——A Case Study of Yanchi County

LIU Wen-juan, AN Rui-ping, TIAN Jia, BIAN Ying-ying, DENG Jiang-ru

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

**Abstract:** Changes in land use and land cover (LULC) reflect the changes of natural conditions and human disturbances of land. Based on the spatial analysis tools of ERDAS and ArcGIS, the data of the changes of LULC of Yanchi County that is located in the arid zone of central Ningxia were extracted from Landsat remote sensing images of 2003 and 2015. On the spatial scale, land use classification and LULC change characteristics were analyzed by using land use type transfer matrix, land use dynamic degree, and land use transfer network. The results showed that 1) the areas of grassland, waterbody, and construction land increased, while the areas of farm land and unused land decreased in the county in the past 12 years. 2) The main land use type of the study area was grassland, especially medium-coverage grassland. There was strong transition between grassland with different coverages, and the grassland coverage was improved substantially. High-coverage grassland increased significantly with an area of  $126\ 125.37\ \text{hm}^2$ . The net change ( $N_c=3.50\%$ ) and total change ( $T_c=5.50\%$ ) of the grassland were the largest among all the land use types, with the single land dynamic degree of 29.14. It was concluded that the implementations of the ecological engineering projects Grain for Green and Enclosure and Grazing Prohibition greatly improved the vegetation in the study area, gradually forming the land use pattern dominated by grassland.

收稿日期:2021-06-25 修回日期:2022-06-10

基金项目:宁夏自然科学基金(2020AAC03112);国家自然科学基金(41501234)。

第一作者:刘文娟,讲师。研究方向:土地生态环境。E-mail:liuwenjuan1982@126.com

**Key words:** Yanchi; remote sensing; land use; land cover change

土地利用变化是全球环境变化研究的重要领域,对全球生态环境系统、气候变化及陆地表层物质循环都有重大的影响<sup>[1-4]</sup>。国内外学者在土地利用覆被变化<sup>[5-6]</sup>、生态环境效益、驱动因素分析<sup>[7-8]</sup>和模型预测<sup>[9-11]</sup>等方面已经有了不少研究成果,并逐渐形成了较为成熟的研究体系。Turner 等<sup>[12]</sup>分析了对土地系统变化的原因和过程,模拟了土地系统的可持续性,从而判断人类环境系统的变化。通过进一步合理配置土地资源,优化土地利用模式,最终实现土地利用可持续发展的目标。彭建等<sup>[13]</sup>、蔡云龙<sup>[14]</sup>、Jan 等<sup>[15]</sup>研究发现,土地利用变化系统具有非线性、多方向性、时空尺度异质性等特点。土地利用变化过程不仅包括土地类型数量变化,也包括土地类型之间转移方向的变化。过去,国内外学者主要侧重于数量特征的分析,而对内部地类间转移的方向性特征关注不够。然而土地利用变化过程是隐含大量属性信息的复杂转化体系,内部关系转化频繁需要深入挖掘<sup>[10,16-17]</sup>。而传统的土地转移矩阵是对土地利用变化结果的评价,通过土地利用转移网络可以评价土地类型变化过程和态势变量,可以明确内部的转化关系<sup>[18-19]</sup>。

盐池县地处我国北方农牧交错带,属于生态环境脆弱区,该地区是宁夏中部干旱带荒漠化最严重的地区<sup>[20]</sup>,也是我国荒漠化的主要发生区域,其生态环境的好坏关系到周边地区的发展。2003 年来随着国家对盐池退耕还林还草和禁牧封育等工程的实施,土地利用覆被类型发生了较大的变化。因此,对盐池县土地利用覆被特征及土地利用进程内部关系进行研究,对有效改善研究区生态环境和合理配置土地资源具有重要的理论价值和实践指导意义。已有学者,对盐池县土地利用变化进行研究。庞吉林等利用归一化植被指数(NDVI)反演了盐池县的植被盖度进行研究。吕晓芳等<sup>[21]</sup>对盐池县土地利用变化及沙漠化响应方面进行研究。但研究主要针对土地利用变化及荒漠动态等方面<sup>[22]</sup>,对各地类之间的内部转化关系及大规模生态工程建设实施前后草地覆盖度研究较为少见。

本研究在禁牧封育的大背景下,选取盐池县为研究对象,采用土地利用动态度、土地利用转移矩阵及土地利用转移网络构建研究区的土地利用变化过程,探明各类土地利用类型的转化关系、转换程度及均衡状态。增强对土地系统复杂变化过程的认识,从而为盐池县土地利用变化机制研究、土地资源的可持续利用和生态环境保护提供有力的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于宁夏回族自治区的东部,面积 6 769 km<sup>2</sup>。北与毛乌素沙漠相连,南接黄土高原,是典型的农牧交错过渡地带<sup>[22]</sup>。地势南高北低,平均海拔为 1 600 m。以麻黄山为界,北部大部分属鄂尔多斯高原,南部为黄土丘陵区。该县地处干旱半干旱温带大陆性气候区,年平均风速 2.8 m/s,干旱少雨,年降水量仅为 250~350 mm,但年蒸发量为降水量的 5 倍,地表植被类型以荒漠草原为主<sup>[21]</sup>。

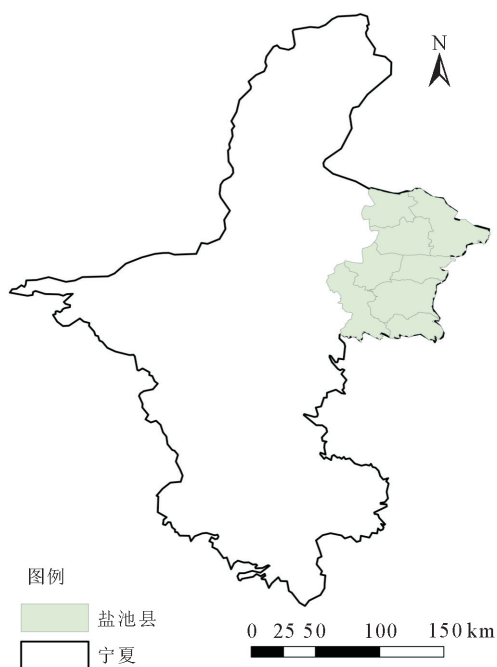


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of the study area

### 1.2 数据来源及预处理

选取宁夏中部干旱带盐池县 2 个时期的 Landsat 遥感影像,分别为 2003 年第 227 天的 Landsat TM 和 2015 年第 212 天的 Landsat OLI 数据,由地球系统科学数据共享平台(<http://www.geodata.cn/Portal/?isCookieChecked=true>)提供,轨道号 129 034。对影像分别进行几何纠正,用矢量行政边界进行裁剪,再结合盐池县土地资源利用现状及野外考察结果,将其土地利用覆被类型分成 6 个大类(亚类),即耕地(水浇地、旱地)、林地、草地(高、中、低覆盖度)、建设用地、水域、未利用地<sup>[23-24]</sup>。在 ERDAS 支持下,对不同波段进行组合提取各类地物信息,依据土地利用分类系统建立解译标志。土地利用数据的获取是采用最大似然法进行监督分类和目

视解译相结合的方法。2015年5月下旬,对研究区进行了实地调查,采用GPS定位记录土地利用样点,在分类结束后于2015年8月进行实地验证调查。2003年的数据验证,主要应用Google Earth历史影像验证。应用野外实地调查数据,验证解译结果,并对错误的地类进行修正,最终分类精度为82%,分类结果符合相关要求。利用ARCGIS10.0软件生成研究区2期土地利用图。

### 1.3 研究方法

1.3.1 土地利用动态度 土地利用动态度可以定量地描述区域土地利用变化的速度和区域差异,可以预测土地利用的变化趋势<sup>[25]</sup>。单一土地利用动态度(K)指研究区内某一土地利用类型在一定时期内发生的数量变化<sup>[26-27]</sup>,表达式为

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

式中:K为研究期内土地利用类型动态度; $U_a$ 、 $U_b$ 分别为研究开始和结束时土地利用类型的面积;T为研究时长,若T的时段定为年,则K表示土地利用类型的年变化率。

1.3.2 土地利用类型转移矩阵分析 土地利用转移矩阵用来描述土地利用变化过程的结果,可以对各种地类型转移的数量,来源及去向进行描述。应用ARCGIS10.0软件对2期土地利用/覆被图进行空间叠加分析,得到各时段的土地利用/覆被类型转移矩阵<sup>[28-29]</sup>。

$$C_{i \rightarrow j} = 10A_{i \rightarrow j}^k + A_{i \rightarrow j}^{k+1} \quad (2)$$

式中: $C_{i \rightarrow j}$ 表示k时期到k+1时期的土地利用变化图; $A_{i \rightarrow j}^k$ 、 $A_{i \rightarrow j}^{k+1}$ 分别表示k时期和k+1时期土地利用类型图;i和j分别是不同的土地利用类型,取值范围1~10。

1.3.3 土地利用转移网络分析 土地利用转移网络是将转移矩阵作为一个复杂的网络来分析<sup>[29]</sup>描述各土地利用类型变化过程和态势,变量包括:转移净变化量,转移总变化量、转移状态和趋势度<sup>[30]</sup>。转移净变化量为转入与转出面积差;转移总变化量为一定时间段内地类的转入面积与转出面积之和;转移状态反映土地变化动力学特征,分为4种类型:平衡型、弱平衡型、不平衡型和极不平衡型<sup>[28]</sup>;趋势度表示土地利用类型面积正向增大或负向缩小的程度,反映了某一地类土地面积的扩大或缩小。

对于某土地类型A,计算公式如下:

$$N_c = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times 100\% = \frac{\Delta U_{in} - \Delta U_{out}}{U_a} \times 100\% \quad (3)$$

$$T_c = \frac{\Delta U_{in} + \Delta U_{out}}{\Delta U_a} \times 100\% \quad (4)$$

$$P_s = \frac{N_c}{T_c} = \frac{\Delta U_{in} - \Delta U_{out}}{\Delta U_{in} + \Delta U_{out}} \quad (5)$$

式中: $N_c(\%)$ 为转移净变化量、 $T_c(\%)$ 为转移总变化量、 $P_s$ 为转移的状态和趋势度; $U_a$ 和 $U_b$ 为地类A研究期内的初始面积和结束面积; $\Delta U_{in}$ 为研究期间其他土地类型转化为A类土地的总面积, $\Delta U_{out}$ 为研究期间内A地类转化为其他土地类型的总面积。 $0 < P_s \leq 1$ 反映该地类面积增加趋势; $P_s$ 趋于0表示地类缓慢增长(平衡型), $P_s$ 趋于1表示地类扩张速度增大(不平衡型); $-1 < P_s \leq 0$ 表示地类面积减少的趋势; $P_s$ 趋于0表示土地类型面积的缓慢减少(平衡型), $P_s$ 趋于-1表示土地类型严重地缩减(极不平衡型)。

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用变化特征分析

随着人类活动对自然环境影响的增加,盐池县土地利用格局发生了显著变化。由表1和图2可以看出,从2003—2015年盐池土地利用变化情况为高覆盖度草地、中覆盖度草地、水体、建设用地和水浇地的面积呈增加趋势,而未利用地、林地、旱地和低覆盖度草地面积呈减少趋势。2003年研究区土地利用类型中中覆盖度草地面积最大,为257 197.95  $\text{hm}^2$ ,占盐池县面积的近38%。2015年,这一比例达到47.27%,面积比2003年增加62 729.37  $\text{hm}^2$ ,单一土地动态度为2.03。2003年高覆盖度草地面积为36 072.81  $\text{hm}^2$ ,2015年增加到162 198.18  $\text{hm}^2$ ,从5.33%增加到23.97%,单一土地动态度为29.14,说明高覆盖度草地的增加幅度最大。由表1可以看出,建设用地面积增加,增加面积为2 160.18  $\text{hm}^2$ ,单一土地动态度为18.57。

由表2可以看出,研究区土地利用覆被类型发生了结构转移。盐池县的土地利用类型主要为草地。3种不同覆盖度的草地占总面积的从65.53%(2003)提升到76.66%(2015),土地利用类型转移主要发生在这3个不同覆盖度草地间。高覆盖度草地的增加主要由中覆盖度草地转化而来,转化面积达62 388.3  $\text{hm}^2$ 。低覆盖度草地面积减少,主要转移为中覆盖度草地,转化面积达到88 299.72  $\text{hm}^2$ 。近12a来,面积变化最大的土地利用类型是草地,草地的主要转入来源是未利用土地和旱地,旱地有36 411.3  $\text{hm}^2$ 转为中覆盖度草。研究期间大面积的未利用土地转化为中覆盖度草地,转化面积达到利用土地的面积显著减少。19 925.28  $\text{hm}^2$ ,未说明盐池县土地利用方式得到合理调整,以草地为主的土地利用方式开始发挥积极生态作用。



2.2 土地利用变化过程及态势分析

通过表 3 可知,水浇地和林地属于平衡状态( $|P_s| \approx 0$ ),水体、中覆盖度草地为基本平衡状态( $|P_s| < 0.25$ )。由表 2 可知,中覆盖度草地有 62 388.36  $\text{hm}^2$  转为高覆盖度草地,同时低覆盖度草地有 88 299.72  $\text{hm}^2$  转为中覆盖度草地,中覆盖度草地双向转换频繁。旱地、未利用地为弱平衡状态( $0.25 < |P_s| < 0.50$ ),主要转出方向为草地。高覆盖度草地、低覆盖度草地及建设用地为不平衡状

态( $0.5 < |P_s| < 0.75$ )。高覆盖度草地的趋势度为 0.64,反映该地类是面积大幅度扩张态势;低覆盖度草地的趋势度为-0.61,反映该地类是面积大幅度减少态势,为不平衡型。在整个研究期内,高低覆盖度草地显著增加(约 126 125.37  $\text{hm}^2$ ),净变化( $N_c = 3.50\%$ )和总变化( $T_c = 5.50\%$ )均为最大,主要由中覆盖度草地转换而来;建设用地增加显著,净变化( $N_c = 2.23\%$ )和总变化( $T_c = 4.23\%$ )均为第 2。

表 1 盐池县 2003—2015 土地利用类型面积变化  
Table 1 Area change of land use in Yanchi County, 2003—2015

| 土地利用类型 | 2003 年/ $\text{hm}^2$ | 2015 年/ $\text{hm}^2$ | K 土地动态度 | 面积变化/ $\text{hm}^2$ | 2003 面积比(%) | 2015 面积比(%) |
|--------|-----------------------|-----------------------|---------|---------------------|-------------|-------------|
| 水体     | 748.08                | 1 244.43              | 5.53    | 496.35              | 0.11        | 0.18        |
| 林地     | 63 302.40             | 60 571.08             | -0.36   | -2 731.32           | 9.35        | 8.95        |
| 水浇地    | 30 780.54             | 32 752.26             | 0.53    | 1 971.72            | 4.55        | 4.84        |
| HCG    | 36 072.81             | 162 198.18            | 29.14   | 126 125.37          | 5.33        | 23.97       |
| MCG    | 257 197.95            | 319 927.32            | 2.03    | 62 729.37           | 38.00       | 47.27       |
| LCG    | 150 278.22            | 36 704.25             | -6.30   | -113 573.97         | 22.20       | 5.42        |
| 旱地     | 84 978.27             | 30 475.44             | -5.34   | -54 502.83          | 12.56       | 4.50        |
| 未利用地   | 52 453.17             | 29 778.30             | -3.60   | -22 674.87          | 7.75        | 4.40        |
| 建设用地   | 969.57                | 3 129.75              | 18.57   | 2 160.18            | 0.14        | 0.46        |

注:LCG(low-coverage glassland, 低覆盖度草地),MCG(medium-coverage glassland, 中覆盖度草地),HCG(high-coverage glassland 高覆盖度草地)。

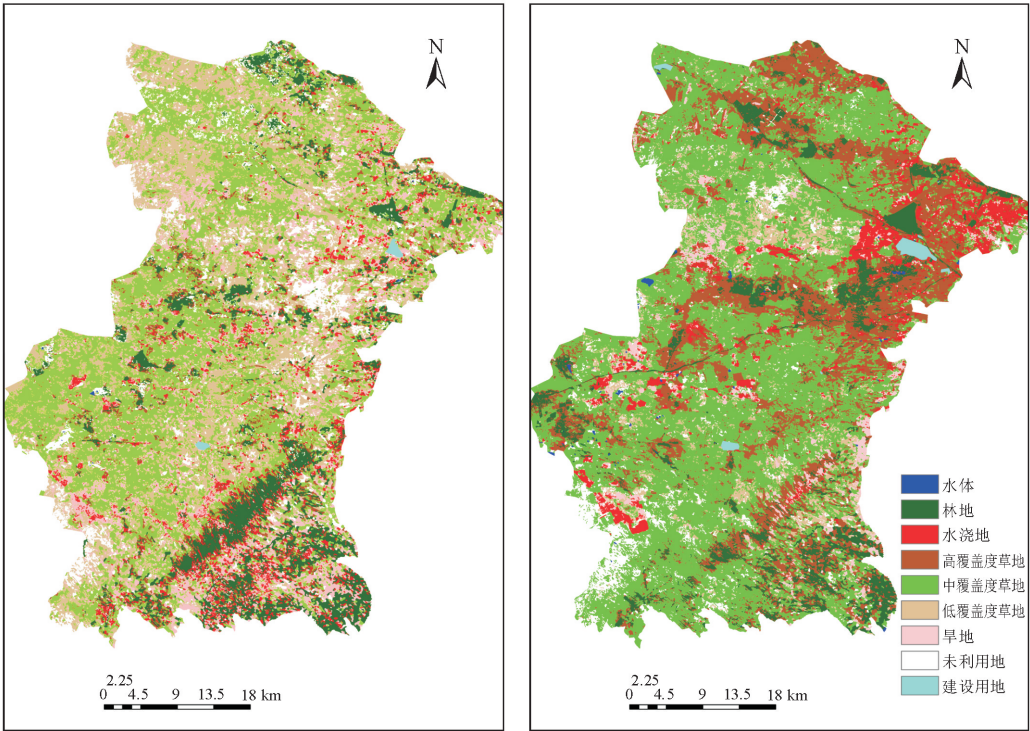


图 2 研究区 2003—2015 年土地利用覆被变化

Fig. 2 Change of land use/land cover in the study area in 2003—2015

3 讨论

2003—2015 年盐池县土地利用类型中草地面

积变化最大,其中,高覆盖度草地面积显著增加,低覆盖度草地面积明显减少。分析认为,2003 年前,研究区农业活动导致天然植被开垦,同时传统放牧

表 2 盐池县 2003—2015 年土地利用类型转移矩阵

Table 2 The land use of Yanchi County during 2003—2015

hm<sup>2</sup>

|      | 水体       | 林地        | 水浇地       | HCL        | MCL        | LCL       | 旱地        | 未利用地     | 建设用地     | 总计         |
|------|----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|------------|
| 水体   | 105.21   | 79.47     | 8.82      | 107.46     | 351.36     | 15.75     | 16.2      | 63.81    | 0        | 748.08     |
| 林地   | 79.74    | 22 023.54 | 2 039.4   | 21 660.21  | 12 948.93  | 1 128.42  | 2 549.07  | 855.36   | 17.73    | 63 302.4   |
| 水浇地  | 29.07    | 2 973.42  | 6 367.59  | 7 932.96   | 9 086.31   | 1 107.9   | 2 566.62  | 547.47   | 169.2    | 30 780.54  |
| HCL  | 32.04    | 4 207.32  | 1 769.76  | 13 850.55  | 13 205.43  | 1 010.43  | 1 437.93  | 553.14   | 6.21     | 36 072.81  |
| MCL  | 402.3    | 13 961.25 | 9 561.78  | 62 388.36  | 139 668.66 | 12 295.53 | 10 789.74 | 7 496.64 | 633.69   | 257 197.95 |
| LCL  | 252.27   | 7 279.47  | 3 428.64  | 26 079.21  | 88 299.72  | 10 651.05 | 4 429.53  | 9 134.91 | 723.42   | 150 278.22 |
| 旱地   | 51.75    | 4 236.75  | 8 626.23  | 17 789.31  | 36 411.3   | 5 644.35  | 7 642.62  | 4 068.63 | 507.33   | 84 978.27  |
| 未利用地 | 292.05   | 5 808.24  | 929.79    | 12 369.51  | 19 925.28  | 4 850.82  | 1 043.73  | 7 058.34 | 175.41   | 52 453.17  |
| 建设用地 | 0        | 1.62      | 20.25     | 20.61      | 30.33      | 0         | 0         | 0        | 896.76   | 969.57     |
| 总计   | 1 244.43 | 60 571.08 | 32 752.26 | 162 198.18 | 319 927.32 | 36 704.25 | 30 475.44 | 29 778.3 | 3 129.75 | 676 781.01 |

表 3 2003—2015 年盐池县土地利用变化过程和态势

Table 3 Land use change processes and trends of Yanchi County during 2003—2015

| 指标        | 水体   | 林地    | 水浇地  | HCL  | MCL  | LCL   | 旱地    | 未利用地  | 建设用地 |
|-----------|------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| $N_c(\%)$ | 0.66 | -0.04 | 0.06 | 3.50 | 0.24 | -0.76 | -0.64 | -0.43 | 2.23 |
| $T_c(\%)$ | 2.66 | 1.96  | 2.06 | 5.50 | 2.24 | 1.24  | 1.36  | 1.57  | 4.23 |
| $P_s$     | 0.25 | -0.02 | 0.03 | 0.64 | 0.11 | -0.61 | -0.47 | -0.28 | 0.53 |

注： $N_c$  表示转移净变化量%； $T_c$  表示转移总变化量%； $P_s$  表示转移的状态和趋势度。

饲养模式加重草地负载,导致草地覆盖度低。2003年后,研究区开始禁牧封育等生态建设工程,使得草地面积不断扩大,覆盖度不断提高。而且研究区的林地主要以灌木林地为主,存在和高覆盖度草地混淆的可能。大量未利用地、耕地(旱地)向草地转化,以草地为主导的土地利用格局逐步形成。过去大片的沙地荒漠景观逐渐萎缩直至基本消失,土地沙化的程度大幅减少,这与王曼曼等<sup>[30]</sup>研究成果相一致。未利用地面积的减少反映了研究区土地沙化的减少和后备土地资源的开发。说明开展禁牧封育生态建设工程以来,研究区生态恢复效果显著,研究区政策的导向使人类活动正以积极的方式优化土地利用格局。随着社会经济的发展,研究区城镇化也明显加快,建设用地面积大幅增加,增加面积为 2 160.18 hm<sup>2</sup>,单一土地动态度为 18.57。虽然建设用地增加面积主要来源是草地,但主要由低覆盖度草地转化,而且由于退耕还林还草,禁牧封育等生态保护政策的大力实施,对建设用地的合理规划,草地面积没有因建设用地面积增加而减少。研究表明,虽然建设用地面积增加对低覆盖度草地和中覆盖度草地有一定的影响,但盐池北部风沙区土地利用更加合理,草地面积和草地覆盖度大幅提高。因此,人类活动会对草地可持续利用起到推动作用。

#### 4 结论

盐池县土地利用结构发生了显著变化,总体呈现为草地、建设用地、水体面积增加,同时耕地、未利

用地减少。其中,高覆盖度草地的增幅最大。

水浇地和林地属于平衡状态,水体、中覆盖度草地处于基本平衡状态,低、高覆盖度草地则处于不平衡状态。研究区不同土地利用类型之间存在不同程度的相互转移。草地、耕地、未利用地之间的相互转移是盐池主要转移关系。其中,草地呈严重扩张态势,耕地与未利用地整体呈缩减态势。

草地面积增加最大,主要转入源为旱地和未利用地。3 种不同覆盖度之间的草地转换强烈,中覆盖度草地双向转换频繁,草地覆盖度明显提高,逐渐形成了以草地为主导的土地利用格局,降低了土地沙化程度。表明盐池县生态恢复取得了明显成效,已经逐渐形成了以草地为主导的土地利用格局,降低了土地沙化程度,土地利用格局得到优化。

#### 参考文献:

- [1] FOLEY J A, DEFRIES R, ASNER G P, *et al.* Global consequences of land use[J]. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [2] MAHMOOD R, PIELKE Sr R A, HUBBARD K G, *et al.* Landcover change and their bio geophysical effects on climate[J]. *International Journal of Climatology*, 2014, 34(4): 929-953.
- [3] REYNOLDS J F, SMITH D M, LAMBIN E F, *et al.* Global desertification: building a science for dryland development[J]. *Science*, 2007, 316(5826): 847-851.
- [4] 李梦颖, 邢艳秋, 王铮, 等. 基于 Landsat 影像的土地利用/覆盖变化研究——以吉林省汪清县为例[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(6): 257-263.
- LI M Y, XING Y Q, WANG Z, *et al.* Changes of land coverage

- and land use in the Wangqing county based on RS and GIS[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(6): 257-263. (in Chinese)
- [5] 黎治华,高志强,高伟,等. 中国 1999-2009 年土地覆盖动态变化的时空特点[J]. 农业工程学报, 2011(2): 312-322.  
LI Z H, GAO Z Q, GAO W, *et al.* Spatial-temporal feature of land use/land cover dynamic changes in China from 1999 to 2009[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011(2): 312-322. (in Chinese)
- [6] BENJAMIN M, TERRY L, THOMAS R, *et al.* Land-cover change in the conterminous United States from 1973 to 2000 [J]. Global Environmental Change, 2013, 23(4): 733-748.
- [7] RUOPU L, QING F G, JAMES M, *et al.* A geospatial modeling framework for assessing biofuels-related land-use and land-cover change [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2012, 161: 17-26.
- [8] 陈颐,林毅伟,朱志鹏,等. 基于 RS 和 GIS 的莆田市土地利用景观格局变化分析[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(1): 279-286.  
CHEN Y, LIN Y W, ZHU Z P, *et al.* Analysis of landscape pattern change of land use in Putian city based on RS and GIS [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(1): 279-286. (in Chinese)
- [9] 肖思思,吴春笃,储金宇. 1980—2005 年太湖地区土地利用变化及驱动因素分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(23): 1-11.  
XIAO S S, WU C D, CHU J Y. Analysis of land use changes and driving forces in Tai Lake region from 1980 to 2005[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(23): 1-11. (in Chinese)
- [10] 蒙古军,朱利凯,毛熙彦. 近 30 年来毛乌素沙地土地利用变化驱动力的多尺度研究——以内蒙古乌审旗为例[J]. 应用基础与工程科学学报, 2012, S1(S1): 54-54.  
MENG J J, ZHU L K, MAO X Y. A multi-level analysis of the driving forces of land use changes in Mu-U's Desert in recent 30 years: case study of Unix Banner, Inner Mongolia[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2012, S1(S1): 54-54. (in Chinese)
- [11] 赵阳,余新晓,贾剑波,等. 红门川流域土地利用景观动态演变及驱动力分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(9): 239-248.  
ZHAO Y, YU X X, JIA J B, *et al.* Analysis on dynamic evolution and driving force of land-use landscape in Hongmenchuan basin[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(9): 239-248. (in Chinese)
- [12] TURNER II B L, LAMBIN E F, REENBERG A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104(52): 20666-20671.
- [13] 彭建,蔡运龙. 复杂性科学视角下的土地利用/覆被变化[J]. 地理与地理信息科学, 2005(1): 100-103.  
PENG J, CAI Y L. Discussion on the complexity in land use and land cover change based on complexity science[J]. Geography and Geo-Information Science, 2005(1): 100-103. (in Chinese)
- [14] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究寻求新的综合途径[J]. 地理研究, 2001, 20(6): 645-652.
- CAI Y L. A study on land use/cover change: the need for a new integrated approach[J]. Geographical Research, 2001, 20(6): 645-652. (in Chinese)
- [15] TAN K C, LIM H S, MATJAFRI M Z, *et al.* Landsat data to evaluate urban expansion and determine land use/land cover changes in Penang Island, Malaysia[J]. Environmental Earth Sciences, 2010, 60(7): 1509-1521.
- [16] 武鹏飞,宫辉力,周德民. 基于复杂网络的官厅水库流域土地利用/覆被变化[J]. 地理学报, 2012, 67(1): 113-121.  
WU P F, GONG H L, ZHOU D M. Land use and land cover change in watershed of guanting reservoir based on complex network[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(1): 113-121. (in Chinese)
- [17] 钱佳洋,秦富仓,王迪海,等. 1998—2018 年永寿县景观格局变化及驱动力分析[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(6): 279-286.  
QIAN J Y, QIN F C, WANG D H, *et al.* 1998—2018, Yong-shou landscape pattern change and driving force analysis[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(6): 279-286. (in Chinese)
- [18] 马彩虹,任志远,李小燕. 黄土台塬区土地利用转移流及空间集聚特征分析[J]. 地理学报, 2013, 68(2): 257-267.  
MA C H, REN Z Y, LI X Y. Land use change flow and its spatial agglomeration in the loess platform region [J]. Acta-Geographica Sinica, 2013, 68(2): 257-267. (in Chinese)
- [19] 魏显虎,张宗科. 长江上游土地利用变化信息挖掘——以 1980 年与 2000 年为例[J]. 遥感信息, 2014, 29(2): 104-109.  
WEI X H, ZHANG Z K. Information mining of land use in the upper reaches of Yangtze River [J]. Remote Sensing Information, 2014, 29(2): 104-109. (in Chinese)
- [20] 吴秀芹,张艺潇,吴斌,等. 沙区聚落模式及人居环境质量评价研究——以宁夏盐池县北部风沙区为例[J]. 地理研究, 2010, 29(9): 1683-1694.  
WU X Q, ZHANG Y X, WU B, *et al.* Study on the settlement pattern in sandy area and its quality evaluation: a case study of sandy area in the North of Yanchi county [J]. Geographical Research, 2010, 29(9): 1683-1694. (in Chinese)
- [21] 吕晓芳,王仰麟,张德铨,等. 宁夏中部生态脆弱区土地利用变化及沙漠化响应——以宁夏盐池县为例[J]. 地理研究, 2007(6): 1156-1164.  
LIU X F, WANG Y L, ZHANG Y L, *et al.* Analysis of land use change and its desertification response in the central Ningxia Hui autonomous region: a case study of Yanchi county [J]. Geographical Research, 2007(6): 1156-1164. (in Chinese)
- [22] 庞吉林,张克斌,乔娜,等. 基于 RS 的盐池县近 10 年植被覆盖度动态变化研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 116-119, 125.  
PANG J L, ZHANG K B, QIAO N, *et al.* RS-based study on dynamics of the vegetation coverage in recent 10 years in Yanchi county[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(4): 116-119, 125. (in Chinese)
- [23] 张景华,封志明,姜鲁光. 土地利用/土地覆被分类系统研究进展[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1195-1203.  
ZHANG J H, FENG Z M, JIANG L G. Progress on studies of

- land use/land cover classification systems[J]. Resources Science, 2011, 33(6): 1195-1203. (in Chinese)
- [24] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 5-16.
- 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]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 5-16. (in Chinese)
- [25] 张海燕, 樊江文, 邵全琴. 2000—2010 年中国退牧还草工程区土地利用/覆被变化[J]. 地理科学进展, 2015, 34(7): 840-853.
- ZHANG H Y, FAN J W, SHAO Q Q. Land use/land cover change in the grassland restoration program areas in China, 2000—2010 [J]. Progress in Geography, 2015, 34(7): 840-853. (in Chinese)
- [26] TURNER B L, SKOLE D, SANDERSON S, *et al.* Land use and land cover change [J]. Earth Science Frontiers, 1997, 4(1): 26-34.
- [27] 肖涛, 韩广, 韩华瑞. 干旱区县域土地覆被变化特征及其生态环境效应——以内蒙古自治区翁牛特旗为例[J]. 水土保持通报, 2016, 36(6): 240-2.
- XIAO T, HAN G, HAN H R. County-scaled change of land cover in arid region and its ecological environmental Effects—a case study in Wengniute Banner, Inner Mongolia [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2016, 36(6): 240-2. (in Chinese)
- [28] 图尔荪阿依·如孜, 阿里木江·卡斯木, 米尔古丽·苏力坦. 干旱区叶城县土地利用/覆盖时空变化分析[J]. 新疆师范大学学报: 自然科学版, 2019, 38(2): 65-71.
- TUERSUNAYI · Ruzi, ALIMUJIANG · Kasimu, MIERGULI · Sulitan. Spatial and temporal variation analysis of land use/cover change in arid area of Yecheng county [J]. Journal of Xinjiang Normal University: Natural Sciences Edition, 2019, 38(2): 65-71. (in Chinese)
- [29] 古丽波斯坦·巴图, 丁建丽, 李艳菊. 干旱区土地利用/覆盖变化与生态环境效应研究——以渭库绿洲为例[J]. 草地学报, 2018, 26(1): 53-61.
- GULIBOSITAN · Batu, DING J L, LI Y J. Land use/land cover change and its environmental effects in Ugan-Kuqa River Delta Oasis [J]. Acta Agrestia Sinica, 2018, 26(1): 53-61. (in Chinese)
- [30] 王曼曼, 吴秀芹, 吴斌, 等. 近 25 a 盐池北部风沙区土地系统变化及空间集聚格局分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(21): 256-267.
- WANG M M, WU X Q, WU B, *et al.* Analysis of land system change and its spatial agglomeration pattern in sandy area of Northern Yanchi during past 25 years [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(21): 256-267. (in Chinese)
- [23] YANG X Q, KUSHWAHA S, SARAN S, *et al.* Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills [J]. Ecological Engineering, 2013, 51(1): 83-87.
- [24] PHILLIPS S, PHILLIPS S J, ANDERSON R P, *et al.* A brief tutorial on maxent maximum entropy modeling of species geographic distributions modeling of species distributions with maxent: new extensions and a comprehensive evaluation [J]. Ecological Modelling Ecography, 2006, 190(31): 161-175.
- [25] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 (第七卷) [M]. 北京: 科学技术出版社, 1978.
- [26] 余林. 柳杉的生态学特性与栽培方法探讨 [J]. 林业勘查设计, 2019, 48(4): 89-90.
- YU L. Discussion on ecological characteristics and cultivation techniques of *Cryptomeria fortunei* [J]. Forest Investigation Design, 2019, 48(4): 89-90. (in Chinese)
- [27] LI J Y, CHANG H, LIU T, *et al.* The potential geographical distribution of Haloxylon across Central Asia under climate change in the 21st century [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2019, 275(1): 243-254.
- [28] MILNE R I, ABBOTT R J. The origin and evolution of tertiary relict flora [J]. Advances in Botanical Research, 2002, 38(1): 281-314.
- [29] OSTAD-ALI-ASKARI K, KHARAZI H G, SHAYANNE-JAD M, *et al.* Effect of climate change on precipitation patterns in an arid region using GCM models: a case study of Isfahan-Borkhar plain [J]. Natural Hazards Review, 2021, 21(2): 1-6.
- [30] FIELD C B, BARROS V R, DOKKEN D J, *et al.* Climate change 2014 impacts, adaptation, and vulnerability (working group II contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change) detection and attribution of observed impacts [J]. Climate Change Research, 2014, 1(18): 979-1038.
- [31] 张丹, 刘凯军, 马松梅, 等. 高山植物天山花楸的适宜分布及其环境驱动因子研究 [J]. 生态学报, 2022, 42(2): 700-709.
- ZHANG D, LIU K J, MA S M, *et al.* The suitable distribution of alpine plant *Sorbus tianschanica* and its environmental driving factors [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(2): 700-709. (in Chinese)
- [32] 郭恺琦, 姜小龙, 徐刚标. 薄片青冈潜在适生区及气候变化对其分布的影响 [J]. 生态学杂志, 2021, 40(8): 2563-2574.
- GUO K Q, JIANG X L, XU G B. Potential suitable distribution area of *Quercus lamellosa* and the influence of climate change [J]. Journal of Natural Resources, 2021, 40(8): 2563-2574. (in Chinese)

(上接第 33 页)