

DOI: 10.5846/stxb201801240196

幸赞品, 颜长珍, 冯坤, 谢家丽, 钱大文. 1975—2015 年宁夏生态系统格局宏观变化分析. 生态学报, 2018, 38(22): - .  
Xing Z P, Yan C Z, Feng K, Xie J L, Qian D W. Macro analysis of spatiotemporal variations in ecosystems from 1975 to 2015 in Ningxia Hui Autonomous Region of China. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(22): - .

## 1975—2015 年宁夏生态系统格局宏观变化分析

幸赞品<sup>1,2</sup>, 颜长珍<sup>1,\*</sup>, 冯 坤<sup>1,2</sup>, 谢家丽<sup>1</sup>, 钱大文<sup>1</sup>

1 中国科学院西北生态环境资源研究院, 兰州 730000

2 中国科学院大学, 北京 100049

**摘要:**以 1975—2015 年的 Landsat MSS/TM/OLI 影像为数据源, 选用年均生态系统类型净变化率、生态系统类型转移矩阵及土地开发度综合指数对宁夏回族自治区近 40 年来生态系统格局宏观变化的幅度、速率、转换类型及人类活动扰动程度进行定量分析, 揭示了宁夏生态系统时空变化过程及其区域分异性。研究结果表明: (1) 宁夏农田和草地生态系统优势度较大, 占比 75% 以上, 且两者面积变化趋势呈负相关。近 40 年中, 森林净增加了 477.5 km<sup>2</sup>, 人工表面净增加了 884.6 km<sup>2</sup>, 农田净增加了 209.8 km<sup>2</sup>; 草地净减少了 115.5 km<sup>2</sup>, 湿地净减少了 69.4 km<sup>2</sup>, 荒漠净减少了 1387.0 km<sup>2</sup>。(2) 生态系统变化转移矩阵表明每时段内大约有占宁夏总土地面积 6% 的生态系统面积发生变化, 主要转换类型有农田和草地间相互转换、草地和荒漠转为农田及农田转为草地和人工表面。(3) 人为活动对生态系统的干扰全区整体处于我国的中等水平, 且呈增加趋势, 其中北部是持续增强, 且金凤区、西夏区和永宁县土地开发效果最为明显, 中部是轻微减轻, 南部是显著减轻, 人类活动对宁夏北部和中部自然生态系统的扰动大于南部。

**关键词:**宁夏; 生态系统; 时空格局; 遥感

## Macro analysis of spatiotemporal variations in ecosystems from 1975 to 2015 in Ningxia Hui Autonomous Region of China

XING Zanpin<sup>1,2</sup>, YAN Changzhen<sup>1,\*</sup>, FENG Kun<sup>1,2</sup>, XIE Jiali<sup>1</sup>, QIAN Dawen<sup>1</sup>

1 Northwest Institute of Eco-Environment and Resource, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** Landsat MSS/TM/OLI images from 1975 to 2015 were used as main data sources to derive the spatiotemporal patterns of ecosystems in Ningxia Hui Autonomous Region. The amplitude, rate, transition types, and regional differentiation of the spatiotemporal changes and human activity disturbance of the ecosystem in Ningxia over the past 40 years were analyzed using the annual net area change rate, transfer matrix, and the land development degree comprehensive index, thus the spatiotemporal changes of the ecosystem patterns in the study area and its regional heterogeneity were revealed finally. The results showed that (1) farmland and grassland accounted for more than 75% of the total area and showed a negative correlation between their area change trends. Over the last 40 years, forestland, artificial surface, and farmland showed net increases of 477.5 km<sup>2</sup>, 884.6 km<sup>2</sup>, and 209.8 km<sup>2</sup>, respectively, while grassland, wetland, and desert showed net decreases of 115.5 km<sup>2</sup>, 69.4 km<sup>2</sup>, and 1387.0 km<sup>2</sup>, respectively. (2) The result of ecosystem transition matrix indicated that about 6% of the ecosystem area in the whole district had changed over each period. The three main conversion types were the mutual conversions between farmland and grassland, the transfers from grassland and desert to farmland, and the transfers from farmland to grassland and artificial surface. (3) The degree of human activity disturbance

基金项目: 国家自然科学基金项目(41730752, 41171400)

收稿日期: 2018-01-24; 网络出版日期: 2018-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yancz@lzb.ac.cn

continued to increase in the northern region, and land development effects were most pronounced in Jinfeng District, Xixia District and Yongning County, while the central region showed a slight reduction, and the southern region showed a significant reduction, indicating that human activities had greater disturbance to the ecosystems in the northern and central parts of Ningxia.

**Key Words:** Ningxia; ecosystem; spatiotemporal patterns; remote sensing

生态系统是人类赖以生存的物质基础,其格局和结构反映了各类生态系统自身的空间分布规律和相互之间的空间结构关系,其类型的变化最能反映人类活动与生态系统间相互关系<sup>[1-3]</sup>。为全面掌握全国生态环境状况,环境保护部和中国科学院于 2012 年启动了“全国生态环境十年变化(2000—2010 年)遥感调查与评估”项目<sup>[4]</sup>,结果表明 10 年间全国生态系统格局局部变化剧烈<sup>[5]</sup>。目前,我国的土地覆被/生态系统研究主要集中在两类地区,一类是“热点地区”,即人文和自然驱动力极为活跃的地区;另一类是“脆弱区”,即随着人口增长、经济发展和资源消耗地区,即区域生态环境的脆弱性和敏感性不断增加,甚至导致各种生态环境问题的地区<sup>[6]</sup>。宁夏回族自治区生态本底脆弱,是我国典型的生态脆弱区。受干旱和水资源缺乏的困扰,生态系统转换给原本脆弱的生态环境带来了诸多问题<sup>[7]</sup>,严重影响和制约了当地社会经济发展。因此,通过对以宁夏为典型区进行长时间、多层次的生态系统的遥感监测,可了解我国北方干旱区生态系统时空变化特征。

对干旱区生态系统的监测与分析,目前研究比较多且深入的区域主要有黑河流域<sup>[8-9]</sup>、新疆地区<sup>[10]</sup>、内蒙古地区<sup>[11-13]</sup>以及山西地区<sup>[14]</sup>等地,已有对宁夏生态系统的变化研究多侧重于短时间序列<sup>[15-16]</sup>及局部地区、市县境内研究<sup>[17-21]</sup>,或者是只针对特定类型生态系统变化的分析<sup>[22-25]</sup>,目前全区范围内、较长时间序列的完整生态系统的监测及区内变化差异特征的分析比较缺乏。本研究利用遥感与地理信息系统技术结合,通过对近 40 年宁夏生态系统格局宏观变化的幅度、速率、转换类型及人类扰动程度定量分析,揭示干旱区脆弱生态系统宏观结构演变的机制和规律,以期为后续土地资源合理利用和开发及生态环境治理和建设提供参考依据。

## 1 研究区概况

宁夏回族自治区是中国五大自治区之一,共设银川市、石嘴山市、吴忠市、固原市、中卫市 5 个地级市。全区居黄河上游,南北狭长,地势南高北低,西部高差较大,东部起伏较缓。黄河纵贯北部全境,灌溉农业发达。从西面、北面至东面,被腾格里沙漠、乌兰布和沙漠和毛乌素沙地相围,南面与黄土高原相连。按地貌特征,全区可分为黄土高原、鄂尔多斯台地、洪积冲积平原和六盘山、罗山、贺兰山山地四部分。年降水量全区为 183—677 mm,南多北少,且多集中在夏季,其中干旱山区年均 400 mm,引黄灌区年均 157 mm。气温和蒸发量均由南向北递增,年均气温在 5—9℃之间,年蒸发量在 1214 mm 至 2803 mm 之间。根据自然条件,全区分为南部暖温带平原地带、中部中温带半荒漠地带和北部中温带荒漠地带(宁夏回族自治区人民政府,2015)。

## 2 数据源及研究方法

### 2.1 数据来源与处理方法

本研究以 Landsat 系列数据为主要信源,选取宁夏范围内的 Landsat MSS(1975 年)、TM(1990 年、2000 年)和 OLI(2015 年)共 4 期数据。所有遥感影像数据均下载于 USGS 网站(<http://glovis.usgs.gov/>),并均经过大气校正、几何纠正、波段合成等预处理之后,利用基于面向对象的分类方法和人机交互解译方法结合,提取生态系统现状和动态信息。同时根据欧阳志云<sup>[26]</sup>等提出的基于遥感技术的全国生态系统分类体系,结合《土地利用现状分类》国家标准<sup>[27]</sup>和国家《生态环境遥感调查分类规范》,将其生态系统分为森林、草地、农田、湿地、人工表面和荒漠生态系统共 6 大类型,并利用野外实地 GPS 验证点对分类结果进行修改和精度评价,总体精度达到 90%以上,Kappa 系数为 0.87,符合生态系统研究的精度要求,最终建立 1975—2015 年 4 期宁夏

生态系统类型空间分布数据库。

## 2.2 研究方法

为了对比生态系统变化的内部差异性,本文将宁夏分为北部、中部及南部三大区域进行研究,据此将黄河灌区及以北地区作为北部区,将六盘山以北、黄河灌区以南的盐池县、同心县、海原县和红寺堡区为中部,六盘山及以南地区为南部<sup>[24]</sup>(图 1)。北部以绿洲为主,是城市和农业集中区域,中部干旱带土地荒漠化比较严重,南部主要是黄土旱作农业区。不同区域,通过单一年均生态系统类型净变化率、转移矩阵、土地开发度综合指数等指标来分析区域差异特征。

### 2.2.1 生态系统类型净变化率

采用年均生态系统类型净变化率作为生态系统动态度<sup>[28]</sup>来定量反映该生态系统面积变化速率,其对各生态系统变化的区域差异和预测未来各生态系统变化趋势都具有重要作用<sup>[29]</sup>。计算过程为:

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

式中, $K$ 为某生态系统类型年均净变化率; $U_a$ 、 $U_b$ 分别为研究初期与末期某一种生态系统的面积; $T$ 为研究期时长,时段设定为年。

### 2.2.2 生态系统转移矩阵

利用生态系统面积作为生态系统状态转移矩阵中的向量,分别统计 1975—1990 年、1990—2000 年以及 2000—2015 年 3 期的转移矩阵<sup>[30]</sup>,计算过程为:

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

式中, $A$ 为面积; $i, j$  ( $i, j=1, 2, \dots, n$ )为转移前与转移后的生态系统类型; $A_{ij}$ 为生态系统类型从类型 $i$ 变为 $j$ 的面积; $n$ 为转移前后生态系统类型数。

### 2.2.3 土地开发度综合指数

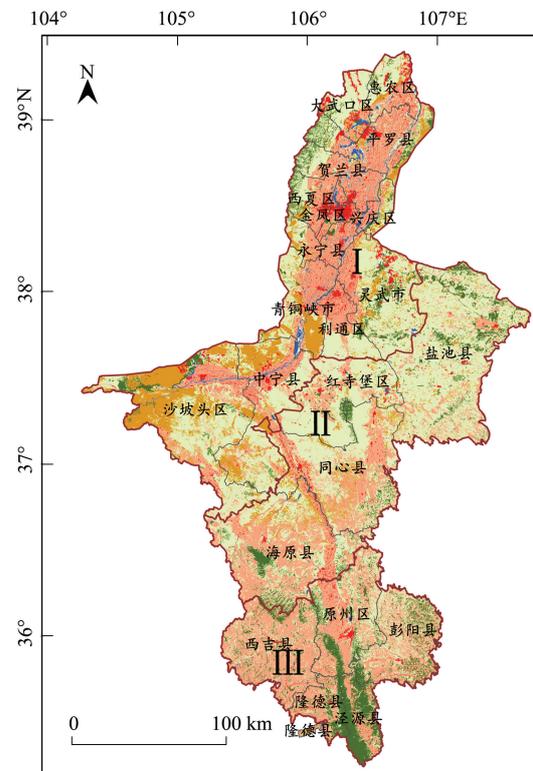
本文的人类活动扰动程度利用生态系统类型进行分等定级,具体赋值参考了刘纪远等<sup>[31]</sup>的土地利用程度指数(表 1),并在此基础上构建土地开发度综合指数。

(1)土地开发度综合指数可定量地揭示该区生态系统的综合水平。指数越高,其自然属性的可利用程度就越低,人类对其扰动程度就越大。计算过程为:

$$L = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \quad (3)$$

式中, $L$ 为土地开发度综合指数; $A_i$ 为 $i$ 级人类活动扰动程度分级指数; $C_i$ 为 $i$ 级生态系统类型面积比率。

(2)人类活动扰动程度是多种生态系统类型变化的结果,包括扰动程度变化量和变化率,分别反映了该区生态系统变化的方向和速度。计算过程为:



图例  
— 分区边界  
— 县界  
■ 森林生态系统  
■ 草地生态系统  
■ 农田生态系统  
■ 湿地生态系统  
■ 人工表面生态系统  
■ 荒漠生态系统  
I 北部干旱平原区  
II 中部干旱丘陵区  
III 南部半干旱山区

图 1 宁夏生态系统现状及分区示意图

Fig.1 Ecosystem status quo and zoning of Ningxia

$$\Delta L_{b-a} = L_b - L_a = 100 \times \left[ \sum_{i=1}^n (A_i \times C_{ib}) - \sum_{i=1}^n (A_i \times C_{ia}) \right] \quad (4)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times C_{ib}) - \sum_{i=1}^n (A_i \times C_{ia})}{\sum_{i=1}^n (A_i \times C_{ia})} \quad (5)$$

式中,  $\Delta L_{b-a}$  为人类活动扰动程度变化量,  $R$  为人类活动扰动程度变化率;  $L_a$  和  $L_b$  分别表示研究初期和末期土地开发度综合指数。若  $\Delta L_{b-a} > 0$  或  $R > 0$  或者  $\Delta L_{b-a} < 0$  或  $R < 0$  则表示该时段内人为活动对生态系统的扰动增强或者减轻。

表 1 人类活动扰动程度分级

Table 1 The classification of disturbance index

生态系统类型	荒漠	森林、草地、湿地	农田	人工表面
Ecosystem type	Desert	Forest, grass, wetland	Farmland	Artificial Surface
土地利用类型	未利用地	林、草、水域用地	农业用地	建设用地
Land use type	Unused land	Forest, grass, water land	Agricultural land	Construction land
分级指数	1	2	3	4
Classification index	1	2	3	4

### 3 结果与分析

#### 3.1 生态系统类型变化幅度

1975—2015 年宁夏整体以农田和草地生态系统为主(表 2), 各期面积比重之和均在 75% 以上, 其中草地面积始终占比最大, 而湿地、荒漠和人工表面生态系统面积占比较小。草地生态系统主要分布在中部和北部, 两者面积之和占草地生态系统总面积的 89% 以上; 森林生态系统主要分布在南部, 其面积占森林生态系统总面积的 46% 以上。

40 年间全区森林、农田和人工表面生态系统面积总体呈上升趋势, 其中人工表面的增幅最大, 共增加 884.6 km<sup>2</sup>, 年均增加 2.20%; 其次是森林生态系统, 共增加 477.5 km<sup>2</sup>, 年均增加 0.29%; 而农田生态系统面积变化特点为“先增后减”, 共增加 209.8 km<sup>2</sup>, 年均增加 0.03%。从区域差异来说, 农田和人工表面增加区域主要集中在北部, 分别增加了 1369.7 km<sup>2</sup> 和 664.9 km<sup>2</sup>, 而南部和中部农田分别减少 796.3 km<sup>2</sup> 和 363.5 km<sup>2</sup>。其余生态系统类型则处于减少趋势, 其中荒漠缩减幅度最大, 共减少 1387.0 km<sup>2</sup>, 年均减少 0.53%, 其中北部面积大幅减少, 达 1303.6 km<sup>2</sup>, 而中、南部面积减幅较小。草地先减少后增加, 共减少了 115.51 km<sup>2</sup>, 年均减少 0.01%, 南部草地增加最多, 增加 487.4 km<sup>2</sup>。湿地减少了 69.4 km<sup>2</sup>, 年均减少 0.29%, 在北部地区是净减少。

1975—1990 年, 草地和荒漠呈现减少趋势; 草地减少最多, 共计 656.4 km<sup>2</sup>, 北部为主要减少区域, 减少了 476.7 km<sup>2</sup>, 其次是中部, 减少 215.6 km<sup>2</sup>, 南部少量增加。其他类型都有所增加, 增加最多的是农田, 共计 630.1 km<sup>2</sup>, 北部为主要增加区域, 共增加 578.2 km<sup>2</sup>。在这一时期内, 人口快速增长粮食短缺, 在国家的鼓励下, 农民开始大量开荒种地, 使得这段时期内农田面积急剧增长, 同时也造成了大量草地被毁坏。

1990—2000 年, 农田和人工表面快速增加; 农田增加最多共计 1409.6 km<sup>2</sup>, 北部为增加最多的区域。其他地类都有所减少, 减少最多的荒漠, 共计 929.7 km<sup>2</sup>, 北部为主要减少区域; 其次是草地, 共减少 374.2 km<sup>2</sup>。城镇建设、过度放牧及对宜农地的开垦导致未利用地被开垦、草地被大量破坏, 使得草地和荒漠生态系统大面积减少, 农田增多。

2000—2015 年, 农田和荒漠呈现减少趋势, 农田大幅度减少共计 1829.9 km<sup>2</sup>, 其中南部和中部是主要减少区域; 其次是荒漠生态系统, 共减少 352.2 km<sup>2</sup>, 北部为主要减少区域。其他类型都有所增加, 增加最多的是草地, 共增加 915.0 km<sup>2</sup>, 其中南部和中部是主要增加区域; 其次是人工表面, 共增加 721.4 km<sup>2</sup>, 北部为主要增加区域。森林生态系统也有所增加, 但是相对较小。这 15 年间, 在西部大开发背景下, 宁夏实行了“三北”防

护林、退耕还林及沙化草原治理等生态环境建设与恢复工程,草地、森林和人工表面都有所增加,耕地大幅减少。由于宁夏北部经济建设发展较中部和南部更迅速,城市扩张更为明显,使得北部人工表面增加明显。

表 2 宁夏 1975、1990、2000、2015 生态系统构成特征及其变化

Table 2 The ecosystem area and it's changes of Ningxia in 1975,1990,2000 and 2015

区域 Regions	生态系统类型 Ecosystem type	面积 Area/km <sup>2</sup>				年均净变化率(K) Average annual net change rate(K)/%			
		1975 年	1990 年	2000 年	2015 年	75-90	90-00	00-15	75-15
宁夏 Ningxia	森林	4084.2	4129.6	4074.4	4561.7	+0.07	-0.13	+0.80	+0.29
	草地	22462.9	21806.5	21432.3	22347.4	-0.19	-0.17	+0.28	-0.01
	农田	17163.9	17794.0	19203.7	17373.7	+0.24	+0.79	-0.64	+0.03
	湿地	602.6	647.1	474.9	533.3	+0.49	-2.66	+0.82	-0.29
	人工表面	1006.2	1047.7	1169.4	1890.8	+0.28	+1.16	+4.11	+2.20
	荒漠	6584.4	6479.3	5549.6	5197.4	-0.11	-1.43	-0.42	-0.53
北部 North	森林	1057.3	1071.0	1074.5	1157.2	+0.09	+0.03	+0.51	+0.24
	草地	10118.4	9641.7	9539.7	9371.3	-0.31	-0.11	-0.12	-0.18
	农田	4845.2	5423.4	6417.1	6214.9	+0.80	+1.83	-0.21	+0.71
	湿地	546.7	588.3	423.8	462.9	+0.51	-2.80	+0.62	-0.38
	人工表面	777.9	814.4	913.1	1442.8	+0.31	+1.21	+3.87	+2.14
	荒漠	5354.6	5161.3	4331.9	4051.0	-0.24	-1.61	-0.43	-0.61
中部 Middle	森林	1103.5	1110.2	1112.9	1225.5	+0.04	+0.02	+0.67	+0.28
	草地	10458.2	10242.7	10102.0	10602.5	-0.14	-0.14	+0.33	+0.03
	农田	5807.0	5928.8	6153.0	5443.5	+0.14	+0.38	-0.77	-0.16
	湿地	30.9	31.7	24.9	42.9	+0.17	-2.14	+4.82	+0.97
	人工表面	153.3	157.2	166.8	292.5	+0.17	+0.61	+5.03	+2.27
	荒漠	1179.1	1261.5	1172.5	1125.1	+0.47	-0.71	-0.27	-0.11
南部 South	森林	1923.4	1948.4	1886.9	2179.1	+0.09	-0.32	+1.03	+0.33
	草地	1886.1	1922.1	1790.7	2373.5	+0.13	-0.68	+2.17	+0.65
	农田	6511.7	6441.8	6633.5	5715.4	-0.07	+0.30	-0.92	-0.31
	湿地	25.1	27.1	26.3	27.4	+0.53	-0.29	+0.30	+0.24
	人工表面	75.0	76.2	89.4	155.4	+0.11	+1.74	+4.92	+2.68
	荒漠	50.8	56.4	45.3	21.3	+0.74	-1.97	-3.53	-1.45

### 3.2 生态系统类型变化转移特征(表 3,图 2)

1975—1990 年占全区总面积 97.25% 的生态系统未发生类型变化。该时期生态系统类型转移主要是在草地、农田和荒漠生态系统间。其中草地转出最明显,占该时期整个转出贡献率的 60.37%,转出大于转入;农田的转入效果最明显,占该时期整个转入率的 56.13%,转入大于转出。2.64% 的草地转变为农田,占新增农田面积的 74.22%,同时农田和荒漠转化为草地,分别占草地新增面积的 36.48% 和 37.56%;湿地生态系统中有 62.7% 来源于草地,人工表面生态系统的主要来源为草地和农田生态系统;该时期森林生态系统的转入率和转出率都很低,转入大于转出,新增的森林主要来源于草地。

1990—2000 年,占全区总面积 93.94% 的生态系统未发生类型变化,人为活动对生态系统的影响程度比上一时期有所增强。该时期生态系统类型仍然是草地、农田和荒漠生态系统之间的转换,在转出类型中草地和荒漠的转出量最大,分别占转出贡献率的 34.83% 和 36.09%,农田生态系统转入效果最明显,占转入贡献率的 61.52%。草地和荒漠转为农田比例占新增农田面积的 87.52%,同时农田和荒漠转出为草地的面积占新增草地面积的 83.18%;人工表面来自于农田和荒漠,占新增人工表面生态系统的 83.22%;森林和湿地主要变为农田,占新增农田面积的 12.48%。

表3 1975—2015年生态系统转移矩阵/km<sup>2</sup>

Table 3 Transformation matrix of ecosystem from 1975 to 2015

时期 Period	生态系统类型 Ecosystem type	1	2	3	4	5	6	S1	R1/%
1975—1990	1	4074.3	2.6	1.4	0.0	0.0	5.9	9.9	0.69
	2	32.6	21602.0	594.1	103.1	18.5	112.5	860.8	60.37
	3	13.3	74.6	16993.6	36.9	18.0	27.5	170.4	11.95
	4	0.0	50.4	56	482.5	0.0	13.7	120.1	8.43
	5	0.0	0.0	0.0	0.0	1006.2	0.0	0.0	0.0
	6	9.4	76.8	149	24.5	5.1	6319.6	264.8	18.57
	S2	55.3	204.5	800.5	164.6	41.6	159.6	1426	
	R2/%	3.88	14.34	56.13	11.54	2.91	11.19		100.00
1990—2000	1	3989.3	47.8	88.6	0.1	0.0	3.8	140.3	4.46
	2	41.9	20710.7	915.2	27.5	17.5	93.6	1095.8	34.83
	3	23.8	320.6	17268.0	30.9	59.0	91.8	526.0	16.72
	4	3.0	73.6	153.0	398.2	2.9	16.5	248.9	7.91
	5	0.0	0.0	0.0	0.0	1047.7	0.0	0.0	0.0
	6	16.4	279.6	778.9	18.3	42.2	5343.8	1135.4	36.09
	S2	85.1	721.6	1935.7	76.8	121.6	205.8	3146.4	
	R2/%	2.70	22.93	61.52	2.44	3.87	6.54		100.00
2000—2015	1	4011.1	36.6	6.2	2.1	10.3	8.1	63.2	1.44
	2	107.8	20439.8	451.2	71.5	263.6	98.5	992.5	22.53
	3	398.9	1581.4	16635.4	100.3	327.6	160.0	2568.3	58.30
	4	1.7	44.6	71.9	330.4	8.6	17.8	144.6	3.28
	5	0.0	0.0	0.0	0.0	1169.4	0.0	0.0	0.00
	6	42.2	245.0	209.0	29.0	111.4	4913.0	636.6	14.45
	S2	550.6	1907.5	738.3	202.9	721.4	284.4	4405.2	
	R2/%	12.50	43.30	16.76	4.61	16.38	6.46		100.00

1—6:生态系统类型 Ecosystem type; 1:森林 Forestland; 2:草地 Grassland; 3:农田 Farmland; 4:湿地 Wetland; 5:人工表面 Artificial Surface; 6:荒漠 Desert. S1:转出面积 area of transfer out; S2:转入面积 area of transfer in. R1:转出贡献率 area ratio of transfer out; R2:转入贡献率 area ratio of transfer in

2000—2015年,占全区总面积91.51%的生态系统未发生类型变化,人为活动对生态系统的影响程度比上一时期更强。该时期生态系统类型主要在草地、农田和人工表面之间转换,转出贡献率最大的是农田,占58.30%。草地主要由农田转变而来,占整个新增草地面积的82.90%。该时期是宁夏森林和人工表面生态系统增长最迅速的阶段。新增人工表面主要来源于草地和农田,占新增人工表面的面积81.95%;新增森林主要来源于草地和农田,占新增森林面积的92.03%。

### 3.3 人类活动对生态系统的扰动程度

宁夏近40年来土地开发程度均接近全国平均水平<sup>[32]</sup>,处于中等利用水平,且整体人类活动扰动程度呈现增长趋势,全区人类活动扰动程度变化量和变化率为6.48和2.89%。是由于扰动程度分级较高的森林、草地和人工表面生态系统的面积增加产生的。北部以绿洲为主,是城市和农业发展的主要场所,农田和人工表面生态系统扩张主要集中在该区域,故生态状况和经济发展最好,人类活动呈增强趋势,人类活动扰动程度变化量和变化率分别为17.63和8.62%,是宁夏全区的3—4倍。中部干旱带荒漠化问题严重,人地关系紧张,但近年来实施了一系列生态恢复工程和退耕还林还草政策,中部生态环境得到了有效改善。虽然林、草地和人工表面生态系统增加,但农田生态系统有所减少,从而中部的扰动指数呈下降态势,其人类活动扰动程度减小幅度极小仅为-0.17,变化率为-0.07%,处于人为活动减弱期。南部主要是黄土丘陵区,气候干燥,但农田面积大,人口-农田-水资源成为其主要矛盾,是主要的生态移民工程迁出地,荒漠和农田大幅减少,人类活动扰

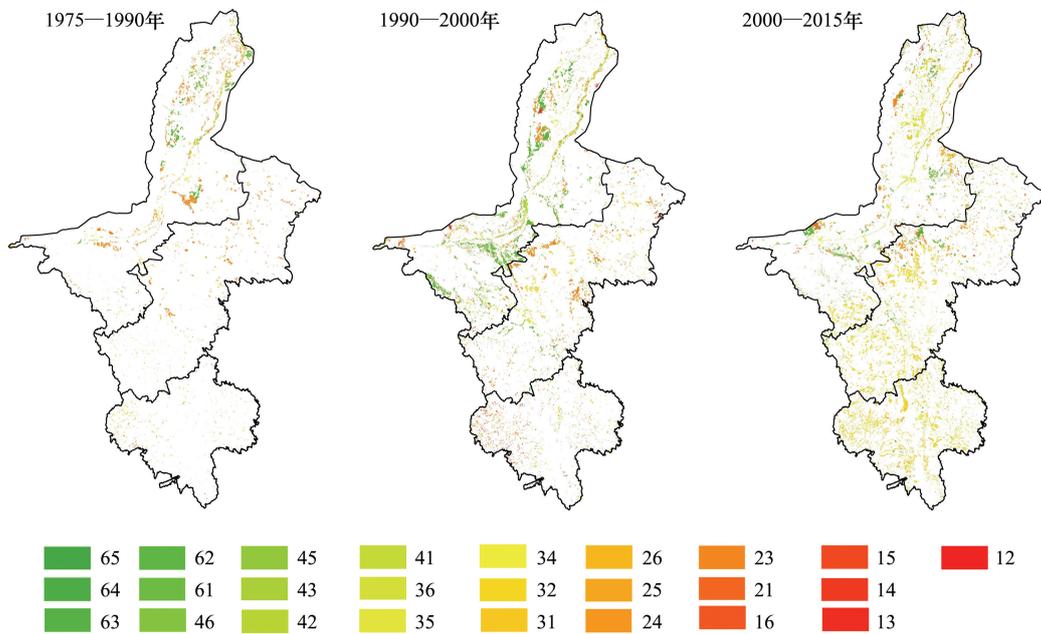


图 2 宁夏生态系统类型变化图谱

Fig.2 Ecosystem types atlas of the Ningxia Hui Autonomous during different period

1—6:生态系统类型 Ecosystem type;1:森林 Forestland;2:草地 Grassland;3:农田 Farmland;4:湿地 Wetland;5:人工表面 Artificial Surface;6:荒漠 Desert. 十位数和个位数分别代表前一年代和后一年代的生态系统类型

动程度变化量大幅减少,人为活动对生态系统的扰动更为减弱(表 4)。

表 4 宁夏人类活动扰动程度变化量与变化率

Table 4 Human disturbance changes and ratio of the Ningxia Hui Autonomous

区域 Regions	土地开发度综合指数 Synthetic index of human disturbance		人类活动扰动程度变化量 Human disturbance changes	人类活动扰动程度变化率(R) Human disturbance change ratio(R)/%
	1975	2015		
宁夏 Ningxia	224.26	230.74	+6.48	+2.89
北部 North	204.61	222.24	+17.63	+8.62
中部 Middle	226.34	226.18	-0.17	-0.07
南部 South	263.13	257.34	-5.79	-2.20

为了进一步研究宁夏各个县的人类活动干扰程度,本文计算了每个县的人类活动扰动程度变化率。北部 13 县的人类活动扰动程度变化率均大于 0,其中人为扰动增强的为宁夏省会银川市所辖金凤区、西夏区和永宁县, $R$  均大于 12%,为北部的两倍多。南部 5 县的人类活动扰动程度变化率均小于 0,其中隆德县减轻最明显。中部各县人为活动扰动既有增强也有减轻,其中红寺堡区增强最大, $R = 3.77%$ ;海原县减轻最明显, $R = 2.72%$ 。北部主要是自然条件相对优越的平原区,其经济发展速度领先,人类对该区域的生态环境扰动强烈,特别是人工表面生态系统的增加引起的城市扩张加剧,故人类活动扰动程度高。中部属半干旱区,干旱少雨且蒸发强烈,脆弱的自然条件对其发展有所制约,但相较于南部山区,其交通条件更好,中部地区的社会发展速度较慢,人类活动扰动程度较低。南部地处山区,人工表面生态系统占比较低且水资源匮乏,故人类活动扰动程度最低。在相同的地貌条件下,各县也呈现出不同的发展状态。如北部人类活动扰动程度较高的金凤区、西夏区以及永宁县均为省会银川所辖县(区);而中部盐池县和同心县的扰动程度低于红寺堡区,是因为这两个县县域面积较大而人工表面和农田生态系统占地较少,故人类活动扰动程度低(图 3)。

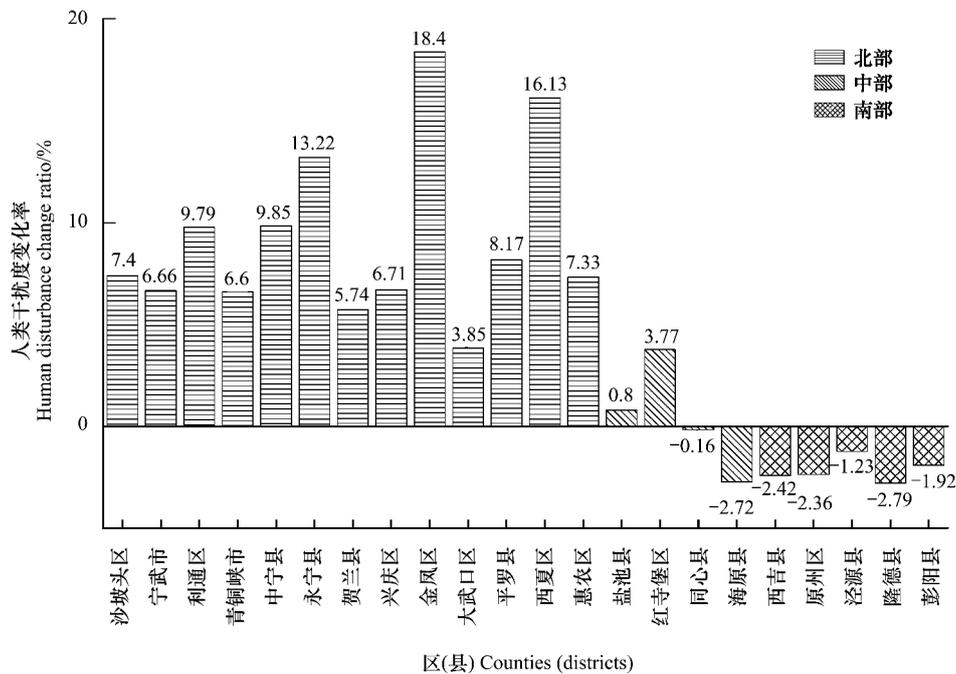


图3 宁夏各县生态系统变化率图

Fig.3 Ecosystem changes ratio atlas of each county in Ningxia Hui Autonomous

#### 4 讨论

本研究基于遥感信息对1975—2015年间宁夏全区及各分区生态系统格局变化在时间和地域上的分异性进行了较为完整的监测与分析,并结合土地开发度综合指数对全区内部分区域生态系统间的变化差异分析比较,进一步探讨了人类活动对自治区的扰动情况,可为研究和治理该区不同尺度区域范围内的生态环境宏观变化提供较强的理论支撑和科学依据。但也存在许多不足之处,如仅对宁夏自治区生态系统格局的变化进行了分析,而对与之紧密相关的变化的驱动机制自然因素缺乏系统分析。此外,论文所采用的遥感影像数据的空间分辨率较低,虽然解译期间进行了较为详尽的实地验证,但与当前可用的遥感数据相比较精度仍然受限,更适宜于宏观尺度的趋势分析,在今后的工作中应考虑采用更高分辨率的数据源来进行细节研究。

#### 5 结论

(1) 40年间森林和人工表面生态系统面积增加,荒漠生态系统面积减少,农田生态系统先增后减,草地生态系统先减后增。2000年是变化节点,此前以农业发展为主,生态环境保护有所不足,导致草地破坏,荒漠被开垦为农田;此后城市建设进程明显加快,受退耕还林一系列生态环境建设和恢复工程的影响,草地大面积恢复,森林面积快速增长,从而有效改善了宁夏的生态环境。

(2) 每时段内大约有占宁夏总土地面积6%的生态系统面积发生变化;草地和农田生态系统之间交换频繁,是宁夏最为主要的生态系统类型转换方式;其次是草地和荒漠向农田生态系统转换及农田向草地和人工表面生态系统转换;湿地表现为增加-减少-增加的趋势,但是变化量小。

(3) 宁夏人为活动对生态系统的扰动程度在全国处于中等水平;40年间人类活动扰动程度全区增加了2.89%,其中北部增加了8.62%,中部和南部分别减少了0.07%和2.20%。因此,应继续坚持生态优先,做好中部和南部生态环境建设工作,提高区域生态系统服务功能。

## 参考文献 (References):

- [ 1 ] 于贵瑞. 生态系统管理学的概念框架及其生态学基础. 应用生态学报, 2001, 12(5): 787-794.
- [ 2 ] 杨荣金, 傅伯杰, 刘国华, 马克明. 生态系统可持续管理的原理和方法. 生态学杂志, 2004, 23(3): 103-108.
- [ 3 ] 李边疆. 土地利用与生态环境关系研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
- [ 4 ] 环境保护部, 中国科学院. 全国生态环境十年变化(2000-2010 年)遥感调查与评估. 北京: 科学出版社, 2014.
- [ 5 ] 环境保护部, 中国科学院. 全国生态环境十年变化(2000-2010 年)调查评估报告. 北京: 环境保护部, 中国科学院, 2015.
- [ 6 ] 于兴修, 杨桂山. 中国土地利用/覆被变化研究的现状与问题. 地理科学进展, 2002, 21(1): 51-57.
- [ 7 ] 龙爱华, 徐中民, 张志强. 西北四省(区)2000 年的水资源足迹. 冰川冻土, 2003, 25(6): 692-700.
- [ 8 ] 王雅, 蒙古军. 黑河中游土地利用变化对生态系统服务的影响. 干旱区研究, 2017, 34(1): 200-207.
- [ 9 ] Wang Y B, Feng Q, Si J H, Su Y H, Chang Z Q, Xi H Y. The changes of vegetation cover in Ejina Oasis based on water resources redistribution in Heihe River. Environmental Earth Sciences, 2011, 64(7): 1965-1973
- [ 10 ] 袁焯城, 刘海江, 李宝林, 高锡章, 许丽丽, 董贵华. 2000-2010 年新疆陆地生态系统变化格局与分析. 地球信息科学学报, 2015, 17(3): 300-308.
- [ 11 ] John R, Chen J Q, Lu N, Wilske B. Land cover/land use change in semi-arid Inner Mongolia: 1992-2004. Environmental Research Letters, 2009, 4(4): 045010.
- [ 12 ] 元志辉, 雷军, 包刚, 萨楚拉, 苏日古格, 池勇峰. 土地利用/覆盖变化对浑善达克沙地植被覆盖度的影响. 水土保持学报, 2016, 30(6): 330-338.
- [ 13 ] 胡云锋, 艳燕, 于国茂, 刘越, 阿拉腾图雅. 1975—2009 年锡林郭勒盟生态系统宏观格局及其动态变化. 地理科学, 2012, 32(9): 1125-1130.
- [ 14 ] Xue Z J, Qin Z D, Li H J, Ding G W, Meng X W. Evaluation of Aeolian desertification from 1975 to 2010 and its causes in northwest Shanxi Province, China. Global and Planetary Change, 2013, 107: 102-108.
- [ 15 ] 祁元, 王一谋, 冯毓荪, 王建华, 颜长珍. 基于 RS、GIS 的宁夏土地利用动态变化分析. 干旱区地理, 2002, 25(3): 245-250.
- [ 16 ] Restrepo A M C, Yang Y R, Hamm N A S, Gray D J, Barnes T S, Williams G M, Magalhães R J S, McManus D P, Guo D H, Clements A C A. Land cover change during a period of extensive landscape restoration in Ningxia Hui Autonomous Region, China. Science of the Total Environment, 2017, 598: 669-679.
- [ 17 ] 杨海超. 生态脆弱区土地利用变化对生态服务价值影响研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2015.
- [ 18 ] 马彩虹, 贾科利, 邹淑燕, 樊新刚. 基于矢量属性的宁夏中部干旱带土地利用变化信息挖掘. 水土保持通报, 2017, 37(4): 260-265.
- [ 19 ] 李娜, 朱志玲, 袁芳. 宁夏中部干旱带土地利用变化研究. 农业科学研究, 2017, 38(3): 1-6.
- [ 20 ] 王重玲, 朱志玲, 白琳波, 程淑杰, 路彩玲. 景观格局动态变化对生态服务价值的影响——以宁夏中部干旱带为例. 干旱区研究, 2015, 32(02): 329-335.
- [ 21 ] 韩晓佳, 刘小鹏, 王亚娟, 温胜强, 叶均艳. 基于景观格局的干旱区绿洲生态风险评价与管理——以青铜峡市为例. 水土保持研究, 2017, 24(5): 285-290.
- [ 22 ] 吴霞, 王世荣, 尚红莺, 王长军. 宁夏近 18 年来耕地面积动态变化及驱动力分析. 中国农业资源与区划, 2017, 38(8): 98-104.
- [ 23 ] 王占军, 邱新华, 唐志海, 石海霞, 赵婧婧. 宁夏 1999—2009 年土地荒漠化演变影响因素分析. 中国沙漠, 2013, 33(2): 325-333.
- [ 24 ] 马红彬, 谢应忠. 宁夏中部干旱带草地生态农业体系建设研究. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 180-184.
- [ 25 ] 米楠, 卜晓燕, 米文宝. 宁夏旱区湿地生态系统碳汇功能研究. 干旱区资源与环境, 2013, 27(7): 52-55.
- [ 26 ] 欧阳志云, 张路, 吴炳方, 李晓松, 徐卫华, 肖蕊, 郑华. 基于遥感技术的全国生态系统分类体系. 生态学报, 2015, 35(2): 219-226.
- [ 27 ] 肖明, 吴季秋, 陈秋波, 金美佳, 郝雪迎, 张扬建. 基于 CA-Markov 模型的昌化江流域土地利用动态变化. 农业工程学报, 2012, 28(10): 231-238.
- [ 28 ] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨. 地理科学进展, 1999, 18(1): 83-89.
- [ 29 ] 荆玉平, 张树文, 匡文慧. 20 世纪 70 年代中期以来奈曼旗土地利用变化及生态环境效应研究. 干旱区资源与环境, 2008, 22(3): 20-25.
- [ 30 ] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论. 地理学报, 2003, 58(5): 643-650.
- [ 31 ] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [ 32 ] 于兴修, 高华中. 城市及其边缘地带土地利用/覆被变化研究——以临沂市为例. 地域研究与开发, 2003, 22(2): 47-51.