doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.10.025

山东省土地利用转型与生态服务功能交叉敏感性研究

路　昌　韩　笑　韩会芹
(山东建筑大学管理工程学院, 济南 250101)

摘要: 针对土地集约利用后备资源分布不均衡、供需不匹配、生态环境恶化等问题,以山东省 140 个县(市)区为研究单元,利用 2005、2010、2015 年 3 期遥感监测数据,分析土地利用转型以及生态系统服务价值时空演变特征,并运用改进交叉敏感性系数模型探讨土地利用转型对生态服务价值的影响,并划定敏感性分区。研究表明:在研究期内,山东省土地利用结构转型较为明显,前期剧烈,后期趋缓,建设用地持续扩张,土地供需矛盾进一步加剧;2005—2015 年地均生态系统服务价值区域差异较为明显,高值区出现在济宁市市中区和微山县,低值区集中在青岛市和鲁西北平原地区;农田和水域向其他地类转型对生态服务功能的影响较为敏感,最敏感的是水域向湿地转型,其次是水域向建设用地、农田向建设用地以及农田向水域的转型,草地、荒漠向其他地类转型缺乏敏感性;生态系统交叉敏感性地域差异明显,高生态敏感区空间分布较为集中,农田、森林与建设用地高生态敏感区集中在济南市和威海市,农田与水域高生态敏感区集中在黄河三角洲地区。本研究结果可为优化山东省国土空间格局、改善生态环境提供科学参考和借鉴。

关键词: 山东省; 土地利用转型; 生态服务功能; 改进交叉敏感性系数
中图分类号: F301.24　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2020)10-0223-09　　**OSID**:

Cross-sensitivity of Land Use Transformation and Ecological Service Function in Shandong Province

LU Chang　HAN Xiao　HAN Huiqin
(*School of Management Engineering*, *Shandong Jianzhu University*, *Ji'nan* 250101, *China*)

Abstract: In view of the unbalanced distribution of reserve resources for intensive land use, mismatch of supply and demand, deterioration of ecological environment, taking the 140 counties of Shandong Province as research units, the land use transformation and the spatiotemporal evolution characteristics of ecosystem services value were analyzed based on the remote sensing monitoring data of 2005, 2010 and 2015. Then, the improved cross-sensitivity model was used to explore the impact of land use transformation on the value of ecological services, and the sensitivity partition was divided. The results showed that during the study period, the transformation of land use structure in Shandong Province was obvious, the late stage was slowed down sharply, construction land continued to be expanded, and the contradiction between land supply and demand was further intensified; the difference of regional average value of ecological services in 2005—2015 was obvious, the Shizhong District and Weishan County were high-value areas; the Qingdao City and the Northwest Plain of Shandong Province were low-value areas; the transformation of farmland and waters to other land types was more sensitive to the impact of ecological service functions. The most sensitive transformation was from waters to wetlands, followed by the conversion of waters to construction land, farmland to construction land, and farmland to water. The transition of grasslands and deserts to other types of land was insensitive; ecosystem cross-sensitivity had obvious regional differences. The highly sensitive areas were concentrated in spatial distribution. The highly sensitive areas of farmland, forest and construction land were concentrated in Ji'nan City and Weihai City. The highly sensitive areas of farmland and water area were concentrated in the Yellow River Delta area. The research results can provide some scientific references and decision-making basis for optimizing the land use pattern of Shandong Province and protecting the ecological environment.

Key words: Shandong Province; land use transformation; ecological service function; coefficient of improved cross-sensitivity

收稿日期: 2020-07-04　修回日期: 2020-07-31
基金项目: 国家自然科学基金项目(41801173)、山东建筑大学博士基金项目(XNBS1826)和山东省社会科学计划研究重点项目(20BGLJ06)
作者简介: 路昌(1990—),男,讲师,博士,主要从事土地利用与规划研究,E-mail: chang20081990@126.com

0 引言

作为土地利用/覆被变化(Land use/cover change,LUCC)重要研究内容之一,土地利用转型[1]是指伴随着经济社会的发展,与之相对应的区域土地利用形态在时间序列上发生动态转变的过程[2]。英国学者 GRAINGER[3]最早提出土地利用转型的概念,被龙花楼等[4]引入中国后,国内学者在此基础上围绕土地利用转型的理论与假说[5]、空间格局[6-7]和生态环境效应[8-10]等方面开展了系统的研究工作。土地利用转型过程中对生态环境造成的水土流失、大气污染、生态系统退化等一系列问题,引起了社会各界的广泛关注[11-13]。生态系统服务功能是指生态系统形成的满足人类生存的自然环境条件和基础[14-15],而生态系统服务价值(Ecosystem service value,ESV)是评判生态系统服务功能变化的重要评估方法之一,对其变化量的研究在一定程度上可以反映生态系统受人类活动的影响程度[16-17]。区域社会经济发展过程中,分析土地利用转型对生态系统服务价值产生的影响,对于统筹城乡土地资源和提高生态环境质量均具有非常重要的现实意义。

生态敏感性指生态系统对区域内自然和人类活动反应的敏感程度[18-20]。传统的敏感性分析将 KREUTER 等[21]提出的敏感性系数作为判定当量因子系数数值的主要方法,无法反映出生态系统服务价值对每种土地利用类型相互转换过程的响应程度,存在一定的局限性。基于此,普拉提·莫合塔尔等[22]提出生态系统服务交叉敏感性的概念与计算模型,但是由于土地面积转换比率的基期选择存在一定的偏差,故难以得出“地类之间转换净增加面积变动 1%引起生态系统服务价值变动百分之几”的结论,其计算结果难以表达出弹性系数应有的现实意义[23]。

随着我国经济发展进入新常态时期,社会经济发展已由高速增长转至高质量增长阶段,土地集约利用及生态环境保护面临的压力持续增长。山东省作为人口大省和经济强省,在土地利用程度处于较高水平的同时,土地集约利用后备资源分布不均衡、供需不匹配、生态环境恶化等问题日益凸显,严重制约着区域国土资源的可持续利用[24-25]。在此背景下,省级国土空间规划编制指南、山东省生态环境保护“十三五”规划等一系列政策的出台,对构建科学合理的国土空间管控格局提出了更高的要求。本文基于 2005、2010、2015 年 3 期山东省土地利用遥感监测数据,改进交叉敏感性系数模型,探讨不同地类间的净转型对促进或抑制生态系统服务价值变化的影响程度,进而划定敏感性分区,并分析各等级生态敏感区的空间分布特征,以期为优化山东省土地利用格局、保护生态环境、实现区域土地资源可持续发展提供科学指导。

1 研究区概况

山东省位于黄河下游、京杭大运河中北段,地理坐标 34°22.9′ ~ 38°24.01′N,114°47.5′ ~ 122°42.3′E,包含 16 个地级市,地势整体呈现“中部高四周低”的态势,属温带季风气候,年均光照时间 2 290 ~ 2 890 h,年均降水量 550 ~ 950 mm,由东南向西北递减。截至 2015 年末,区域土地总面积 1.56×10^7 hm^2,总人口 0.98 亿人,GDP 和粮食总产量分别占全国 9.15% 和 7.58%,产业结构以二、三产业为主。作为全国经济大省和粮食主产区,近十年来,山东省城镇化进程快速推进,土地利用格局剧烈变化,经济发展与粮食安全、生态安全之间冲突日益突出。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

山东省 2005、2010、2015 年的土地利用变化遥感监测数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心构建的“全国陆地区域多时相土地利用现状数据库”(http://www.resdc.cn),空间分辨率为 30 m × 30 m,根据研究区的实际特点并借助 ArcGIS 软件,将研究区土地利用类型划分为森林、草地、农田、湿地、水域、荒漠及建设用地 7 种地类。

2.2 研究方法

2.2.1 生态系统服务价值计算模型

基于谢高地等[26]的中国生态系统服务的价值中单位面积生态系统服务价值当量表,利用山东省当量因子系数(山东省为 1.38)[27]对其进行修正,得到研究区农田、草地、森林、湿地、水域、荒漠的生态系统服务价值当量因子分别为 1.86、5.67、9.26、24.45、31.94、0.31 万元/hm^2,并运用 COSTANZA 等的生态系统服务价值公式[28]对 2005、2010、2015 年的各生态系统类型的生态服务价值进行评估,生态系统服务价值计算公式为

$$P_{\mathrm{ESV}}=\sum S_kV_{ck} \tag{1}$$

式中 P_{ESV}——生态系统服务价值总值,万元

S_k——土地利用类型 k 的面积,hm^2

V_{ck}——修正后地类 k 生态系统服务价值当量因子,万元/hm^2

2.2.2　交叉敏感性系数模型

(1)交叉敏感性系数

交叉敏感性系数(Coefficient of cross-sensitivity, CCS)是指土地利用类型转换面积的单位面积变化率所引起的生态系统服务价值的变化率,主要用来衡量来自外界自然或人为的活动对区域环境的干扰程度[22]。一般情况下,土地利用类型的转换过程是双向的,因此不同土地利用类型之间的净转型才导致生态服务价值的实际变化。当一定面积的土地从地类 k 转换为地类 i 时,假设其余地类之间此时未发生地类转型,计算公式为

$$P_{ccski}=\frac{\Delta P_{ESV}(S_k+S_i)}{2\Delta S_{ki}P_{ESV(j)}} \tag{2}$$

式中　P_{ccski}——第 $j+1$ 年地类 k 转换为地类 i 的交叉敏感性系数

ΔP_{ESV}——第 $j+1$ 年与第 j 年的生态服务价值变化量,万元

$P_{ESV(j)}$——第 j 年生态系统服务价值总值,万元

ΔS_{ki}——第 $j+1$ 年与第 j 年的地类 k 与地类 i 之间的净转换面积,hm^2

S_i——土地利用类型 i 的第 j 年的面积,hm^2

式(2)虽然满足敏感性形式,但是由于土地面积转换比率的基期选择存在一定的偏差,只能得出“土地净转移面积占初始两地类面积平均值的比例增加 1%,引起生态系统服务价值变动百分之几”的结论,计算结果难以表达弹性系数应有的现实意义[23]。因此,本文提出改进的交叉敏感性系数模型。

(2)改进的交叉敏感性系数

改进的交叉敏感性系数(Coefficient of improved cross-sensitivity, CICS)指某 2 种不同土地利用类型之间的净转型对促进或抑制生态系统服务价值变化产生的影响程度。当 CICS 大于 0 时,表明某 2 种地类之间的净转型对生态系统服务价值的变化起促进作用,反之,则抑制生态系统服务价值变化。CICS 绝对值越大,表明生态系统服务价值对于某 2 种土地利用类型的净转型越敏感,反之,则越不敏感。敏感性系数模型计算公式为

$$P_{cicski}=\frac{(V_{ck}-V_{ci})\Delta S_{ki}}{\Delta P_{ESV}} \tag{3}$$

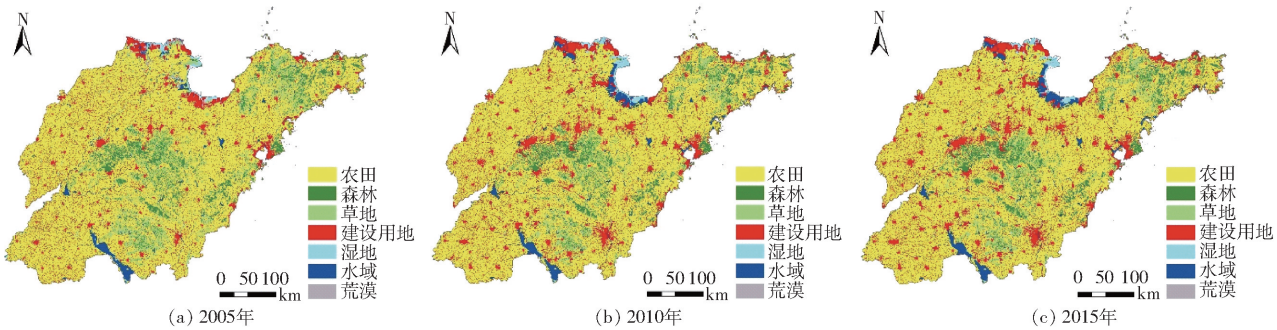
式中　P_{cicski}——修改后的地类 k 转换为地类 i 的交叉敏感性系数

V_{ci}——修正后的地类 i 的生态系统服务价值当量因子,万元/hm^2

3　结果与分析

3.1　土地利用转型分析

10 年间,山东省土地利用空间格局相对稳定,农田分布范围最广,广泛分布于山东省内;其次是建设用地,主要分布在临沂市、潍坊市和菏泽市;森林和草地主要分布在鲁中南山地丘陵区和鲁东丘陵区;而水域和湿地集中分布在南四湖和莱州湾地区,荒漠零星分布(图 1)。研究期内土地利用结构转型较为明显,前期剧烈,后期趋缓,其中,水域、湿地和建设用地呈现增长趋势,农田、森林、草地和荒漠呈现减少趋势,建设用地扩张现象较为明显,土地供需矛盾进一步加剧,后备资源不足(表 1)。



(a) 2005年　(b) 2010年　(c) 2015年

图 1　2005—2015 年山东省土地利用空间格局

Fig. 1　Land use spatial patterns of Shandong Province from 2005 to 2015

(1)2005—2010 年,山东省各地类土地利用转型较为明显,农田、草地、森林和荒漠呈现减少趋势,湿地、水域和建设用地呈现增长趋势。其中,变化最为剧烈的是建设用地,面积增加 49.87 万 hm^2,表明城镇化进程的快速推进使得建设用地急剧扩张;其次是草地,面积减少 46.56 万 hm^2,主要原因是城市建设和农业生产对草地的占用;此外,受益于黄河三角洲地区生态保护政策的推行,研究区水域面积增长较为明显,由 46.92 万 hm^2 增加到 63.72 万 hm^2。

(2)2010—2015 年,山东省各地类土地利用转型的趋势变缓,整体土地利用结构趋于稳定,农田、湿地和荒漠面积减少,水域和建设用地面积增加,草

地和森林面积趋向稳定。其中,面积变化最大的是农田,面积减少 11.36 万 hm^2,主要原因是退耕还林还草政策的实施;其次是建设用地,面积增加 11.29 万 hm^2,增长幅度明显放缓。

表 1 2005—2015 年山东省土地利用结构变化

Tab. 1 Change of land use structure in Shandong Province from 2005 to 2015 万 hm^2

土地利用类型	面积			面积变化量		
	2005 年	2010 年	2015 年	2005—2010 年	2010—2015 年	2005—2015 年
农田	1 038.88	1 038.15	1 026.79	-0.73	-11.36	-12.09
草地	131.50	84.94	84.94	-46.56	0	-46.56
森林	98.63	89.95	89.95	-8.68	0	-8.68
湿地	17.79	19.80	18.89	2.01	-0.91	1.10
水域	46.92	63.72	64.76	16.80	1.04	17.84
建设用地	213.95	263.81	275.10	49.87	11.29	61.15
荒漠	16.06	3.36	3.30	-12.70	-0.06	-12.76

3.2 生态系统服务价值时空变化特征

以山东省 140 个县(市)区为基本研究单位,从 2005—2015 年 ESV 总值、ESV 变化量及地均 ESV 3 个方面,对山东省生态系统服务价值时空变化特征进行分析。

研究期间,山东省 ESV 总值呈现先大幅增加后小幅减少的趋势,由 2005 年 5 560.98 亿元增加至 2015 年 5 780.71 亿元,增加 219.73 亿元,主要原因是湿地和水域面积大幅增加。2005—2015 年山东省 140 个县(市)区 ESV 变化情况与土地利用转型情况较为一致,整体以减少为主,其中 100 个行政单元是减少趋势(图 2)。ESV 减少区域分布较为广泛,主要集中在鲁中山地丘陵、鲁西北平原和胶东半岛北部地区,建设用地大规模扩张占用其他地类导致生态系统服务价值减少;ESV 增加区域主要集中在潍坊市北部、东营市中部、滨州市北部以及胶东半岛南部等受人类活动干扰较少的区域,得益于水域和湿地自然生态系统面积增大。2005—2015 年地均 ESV 均值区域差异较为明显,高值区(8.83 ~ 51.14 万元/hm^2)在济宁市市中区和微山县,2005—2015 年地均 ESV 均值分别为 51.14 万元/hm^2 和 20.55 万元/hm^2,明显高于省内其他地区,该区域地属南四湖流域,水域面积占比较高,生态环境优异;低值区(0.28 ~ 2.93 万元/hm^2)集中在青岛市和鲁西北平原地区,其中青岛市四方区地均 ESV 最低,仅为 0.29 万元/hm^2,作为山东省城市发展核心区域,青岛市经济发展与生态安全之间的矛盾较为突出,而鲁西北平原地区以农田生态系统为主,地类较为单一(图 2)。

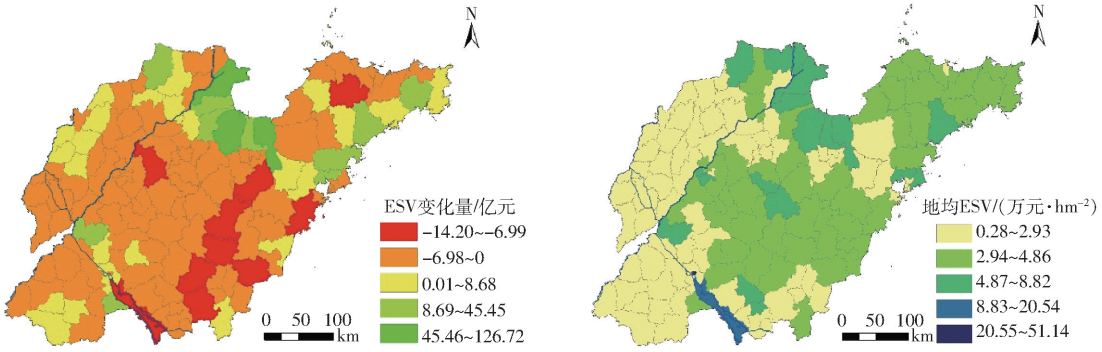


图 2 2005—2015 年山东省生态系统服务价值时空变化

Fig. 2 Time and space changes in value of ecosystem services in Shandong Province from 2005 to 2015

3.3 生态系统交叉敏感性分析

2005—2010 年和 2010—2015 年 2 个时间段 7 种地类之间 21 种转型的交叉敏感性系数如图 3 所示。由于 2 个地类间净转换面积是双向对称的,交叉敏感性也具有对称性,因此本文仅展示单向的敏感性系数。通过分析可知,研究区内农田和水域向其他地类的转型较为敏感,其中最敏感的是水域向湿地转型,其次是水域向建设用地、农田向建设用地以及农田向水域的转型,交叉敏感性系数均大于 1;而草地、荒漠向其他土地利用类型转型的交叉敏感性系数均较低,缺乏敏感性。

(1)农田与其他地类转型的交叉敏感性

2005—2010 年,农田与森林、草地和湿地之间的转型表现为农田向森林、草地和湿地净转出,2010—2015 年,随着生态环境保护力度的提高,农田向森林、草地和湿地净转入,研究期间 CICS 均为负值且 CICS 绝对值均呈现下降趋势,表明农田与森林、草地和湿地间的净转型对 ESV 的变化均起抑制作用,生态服务功能对此 3 类转型缺乏敏感且研究后期敏感性明显下降;农田和水域之间的转型导致农田减少、水域增加,ESV 增加,同时 CICS 由 0.57 降低至 -1.53,表明对 ESV 的变化由促进转变为抑制,生态服务功能对此类转型较为敏感且敏感性明显增强;农田和建设用地之间的转型导致农田减少、建设用地增加,CICS 由 -0.37 增加为 1.82,生态服务功能对此类转型较为敏感且敏感性明显增强,表

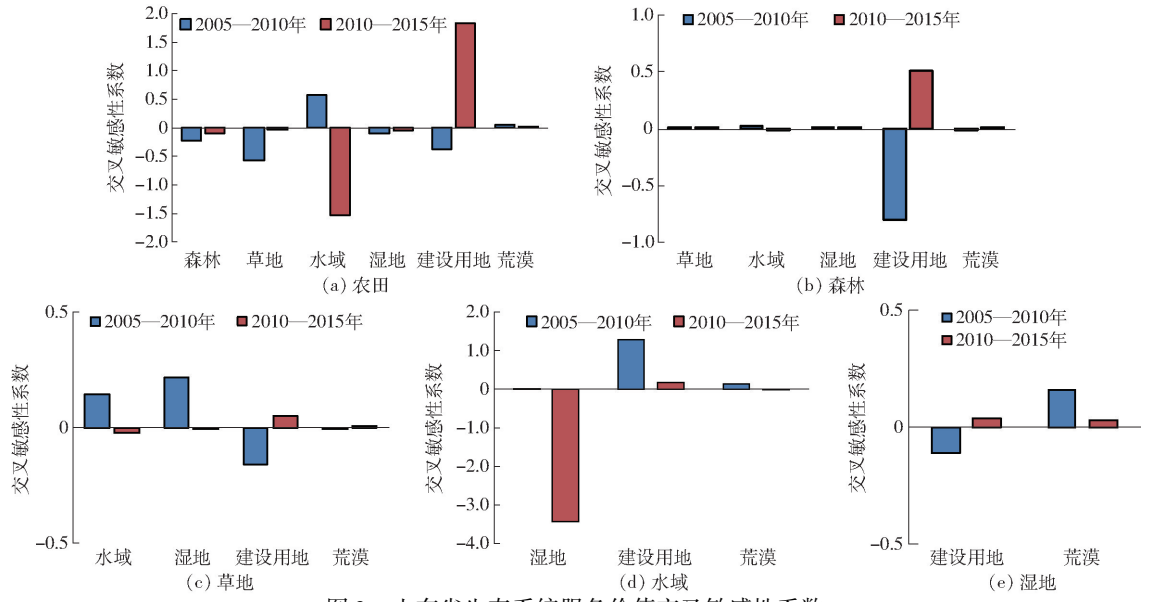


图 3　山东省生态系统服务价值交叉敏感性系数

Fig. 3　Cross-sensitivity coefficient of value of ecosystem services in Shandong Province

明区域建设用地急剧扩张占用大量农田，对生态系统服务价值影响较为显著；农田和荒漠之间的转型，前 5 年呈现荒漠向农田的净转入，后 5 年呈现农田向荒漠的净转入，CICS 值较低，均小于 0.05，生态服务功能对此类转型缺乏敏感。

(2)森林与其他地类转型的交叉敏感性

森林和草地之间的转型，2005—2010 年呈现草地向森林的净转入，ESV 增加，2010—2015 年呈现森林向草地的净转入，ESV 减少，对 ESV 的变化起促进作用，研究期间 CICS 绝对值由 0.01 增加到 0.02，生态服务功能对此类转型不敏感；森林与水域、建设用地和荒漠之间的转型导致森林减少、其余 3 种地类增加，其中森林向建设用地转型的 CICS 绝对值由 0.80 下降到 0.51，生态服务功能对森林与建设用地转型的敏感性下降，表明研究后期建设用地占用森林的现象发生明显改善，森林和水域、荒漠之间转型的 CICS 绝对值均小于 0.05，生态服务功能对此类转型缺乏敏感；森林和湿地之间的转型，前 5 年呈现森林向湿地的净转入，后 5 年呈现湿地向森林的净转入，对 ESV 的变化起促进作用，CICS 绝对值均小于 0.01，生态服务功能对此类转型敏感程度较低。

(3)草地与其他地类转型的交叉敏感性

草地与水域、湿地、建设用地和荒漠之间的转型导致草地减少、其余 4 种地类增加，其中由草地向水域和湿地的转型引起 ESV 增加，对 ESV 的变化起先促进后抑制的作用，草地向建设用地和荒漠的转型引起 ESV 的减少，草地与荒漠间转型对 ESV 的变化起先抑制后促进的作用，与建设用地间转型对 ESV 的变化起促进作用；草地与水域、湿地、建设用地和荒漠之间转型的 CICS 绝对值均小于 0.50，表明生态服务功能对上述转型均缺乏敏感。

(4)水域与其他地类转型的交叉敏感性

水域与湿地之间的转型导致水域增加、湿地减少，CICS 与 ESV 的变化符号相同，CICS 绝对值从 0.02 增加到 3.43，此类转型对生态服务功能影响最为显著；水域和建设用地之间的转型，前 5 年呈现建设用地向水域的净转入，ESV 增加，后 5 年呈现水域向建设用地的净转入，ESV 减少，CICS 绝对值由 1.29 降低为 0.19，敏感程度降低较为明显，反映出山东省施行的一系列生态保护制度政策已起到初步成效；水域与荒漠之间转型的 CICS 绝对值分别为 0.13 和 0.02，生态服务功能对此类转型缺乏敏感。

(5)湿地与其他地类转型的交叉敏感性

湿地与建设用地之间的转型导致湿地减少、建设用地增加，同时 CICS 由 −0.11 增加为 0.04，对 ESV 的变化起先抑制后促进的作用；湿地和荒漠之间的转型，前 5 年呈现荒漠向湿地的净转入，后 5 年呈现湿地向荒漠的净转入，对 ESV 的变化起促进作用；生态服务功能对这两类转型均缺乏敏感。

(6)建设用地与其他地类转型的交叉敏感性

建设用地与荒漠之间的转型导致建设用地增加、荒漠减少，ESV 减少，CICS 绝对值均小于 0.01，生态服务功能对此类转型缺乏敏感。

3.4　生态系统交叉敏感性分区

交叉敏感性等级反映了生态系统服务功能受土地利用转型的影响程度，交叉敏感性高的区域说明该区域生态系统服务功能受此类土地利用转型的影

响较大。基于前文对山东省土地利用转型生态系统交叉敏感性的分析,选取其中交叉敏感性较高的 6 种土地利用转型,在区分不同净转型方向的基础上,借助 ArcGIS 的自然断点法划分 4 类敏感性等级区,得到山东省土地利用转型的不同交叉敏感性等级分区面积统计结果(表 2)及空间分区图(图 4)。

表 2 山东省土地利用转型交叉敏感性等级分区面积

Tab. 2 Area of cross-sensitivity grade partition of land use transformation in Shandong Province

地类	交叉敏感性分区	草地		水域		建设用地		湿地	
		面积/万 hm^2	比例/%	面积/万 hm^2	比例/%	面积/万 hm^2	比例/%	面积/万 hm^2	比例/%
农田	高生态敏感区	72.33	4.63	140.49	8.98	58.36	3.73		
	中生态敏感区	261.38	16.72	216.47	13.84	514.50	32.90		
	低生态敏感区	283.57	18.13	427.28	27.32	544.70	34.83		
	非生态敏感区	927.06	59.28	776.99	49.69	444.69	28.44		
	无净转型区	19.39	1.24	2.49	0.16	1.49	0.10		
水域	高生态敏感区					22.70	1.45	70.14	4.49
	中生态敏感区					46.69	2.99	152.63	9.76
	低生态敏感区					186.39	11.92	324.13	20.73
	非生态敏感区					1 288.16	82.38	826.31	52.84
	无净转型区					19.79	1.27	190.53	12.18
森林	高生态敏感区					68.61	4.39		
	中生态敏感区					265.06	16.95		
	低生态敏感区					507.42	32.45		
	非生态敏感区					682.53	43.65		
	无净转型区					40.12	2.57		

农田与草地之间转型的非生态敏感区分布范围较广,占总面积 59.28%,主要分布在鲁西北平原区。农田与草地之间转型的中、低生态敏感区主要集中分布于鲁东丘陵区和胶东半岛北部地区;研究期间高生态敏感区分布范围最小,面积比例仅为 4.63%,包括莒南县、费县、苍山县和胶南市 4 个县(市)。分析发现:农田与草地之间的转型主要表现为草地向农田的转型,126 个县(市)区为草地向农田净转型区,主要分布于鲁中南山地丘陵区,作为全国粮食大省,在保障粮食安全和追求经济利益双重驱动作用影响下,区域内大量草地被开垦为农田,农田面积持续增加;7 个县(市)区为农田向草地净转型区,主要分布于山东省中部地区。

农田与水域之间转型的非生态敏感区面积最大,占总面积的 49.69%,集中分布在黄河冲击平原区以及南部低山丘陵区,中、低生态敏感区主要分布于东部半岛波状丘陵区。高生态敏感性区分布范围最小,占总面积的 8.98%,主要分布在东营市东部以及滨州市北部,作为黄河三角洲地区和京杭大运河流经地区,该区域的高生态敏感性主要源于水域被开发利用为农田和水土流失现象较为严重,高敏感区极易受到人为干扰,而且一旦破坏很难短期恢复,是生态保护核心区域。

农田与建设用地之间转型主要集中在鲁中地区和胶东半岛东部地区,以农田向建设用地净转型为主。中、低生态敏感区分布范围较大,面积比例分别为 32.90% 和 34.83%,而高生态敏感区面积最小,仅占总面积的 3.73%,主要分布在章丘市、历下区、历城区、兰山区和诸城市 5 个市区,该区域近 10 年间经济快速发展,大量农田被开发为建设用地,建设用地规模急剧扩张,对生态环境影响作用较为显著,应对区域内耕地实行严格的保护管理制度,适度控制建设用地规模,引导山东省城乡建设均衡发展。

水域与建设用地之间的转型主要以建设用地向水域净转型为主,集中分布在黄河三角洲地区,研究期间,在出台多项湿地保护政策法规背景下,区域内自然保护区及湿地公园建设力度加大,人工湿地面积大量增加。非生态敏感区所占面积比例最大,高达 82.38%,主要原因是由于人工生态系统形成后,对土地利用转型便不存在生态敏感性,成为非敏感区,土地利用方式较为稳定。低生态敏感区主要在山东省东部沿海呈南北带状分布;中、高生态敏感性分布范围很小,主要在潍坊市北部。

水域与湿地之间转型的非生态敏感区分布范围最广,占总面积的 52.84%,总体呈东北-西南方向分布。中、低生态敏感区所占比例分别为 9.76%、20.73%,主要集中分布于沂河和沭河沿岸等部分县(市)区;高生态敏感区所占总面积比例最小,约为 4.49%。相较于其他转型类型,水域与湿地之间转

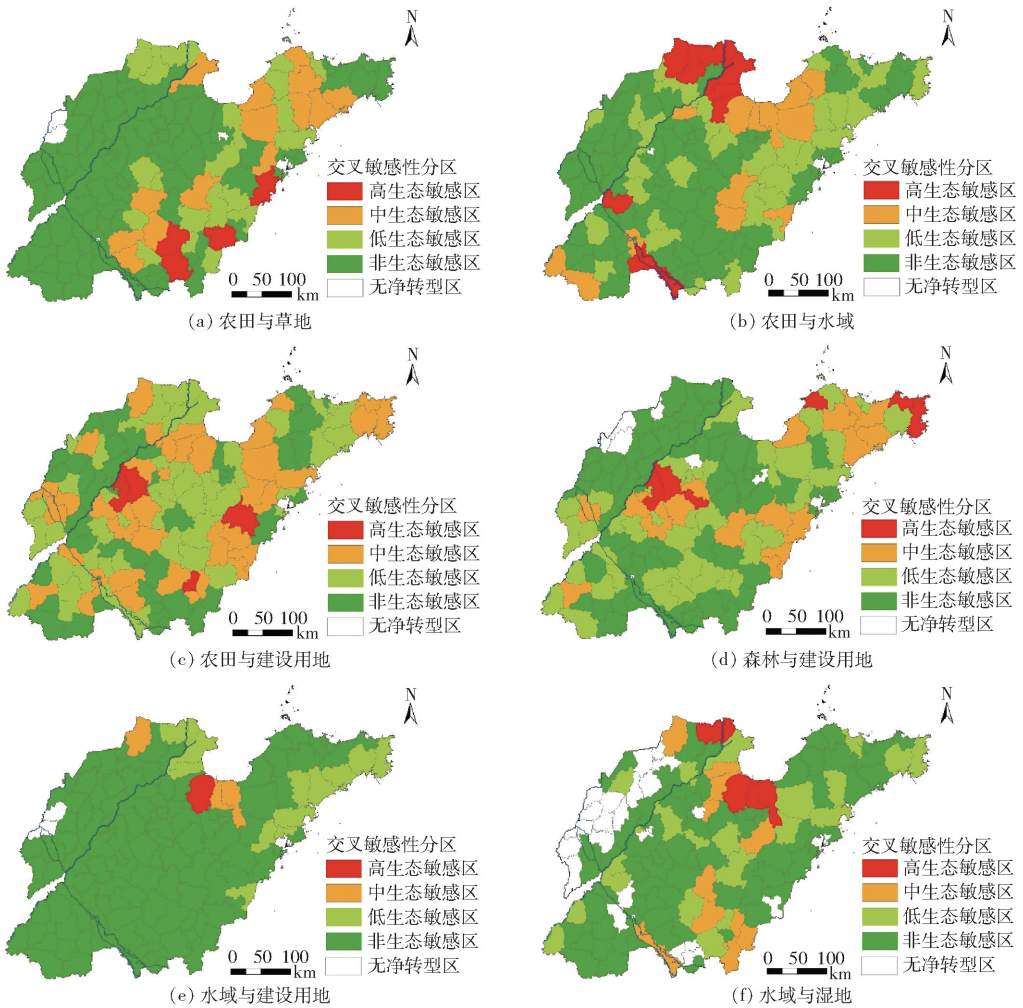


图 4　山东省土地利用转型的交叉敏感性等级分区

Fig. 4　Cross-sensitivity grade partition of land use transformation in Shandong Province

型的无净转型区所占面积范围较广，占总面积的 12.18%。

森林与建设用地之间主要表现为森林向建设用地净转型，森林与建设用地转型的非生态敏感区所占面积比例最大，为 43.65%，主要分布在鲁西北平原区和鲁中南山地丘陵区，该区域土地利用结构以农田为主，产业结构较为单一，森林与建设用地之间的转型不敏感。中、低生态敏感区所占比例分别为 16.95%、32.45%，主要分布在鲁东丘陵区以及鲁中南山地丘陵区。高生态敏感区所占比例最小，为 4.39%，主要分布在济南市和威海市，该区域经济发展迅速，应严格限制森林向建设用地的转型。

4　讨论

改进的交叉敏感性系数模型较好地反映了不同地类之间净转型对生态系统服务价值变化的影响程度。本文对山东省土地利用净转型驱动下的生态服务价值变化的影响程度，以及生态敏感性空间分布特征进行分析研究。研究期间，山东省内水域向建设用地、农田向水域、农田向建设用地及水域向湿地转型的交叉敏感性均处于较高水平，表明生态系统服务价值对以上 4 类土地利用转型的敏感性响应较强。一方面，在粮食安全和经济利益的驱动下，山东省山地丘陵区大量草地被开发利用成农田，生态系统服务价值下降；另一方面，在城镇化进程快速推进的背景下，建设用地规模急剧扩张，森林、草地面积下降，对区域生态环境造成较为严重的负面影响。因此，应适度控制建设用地规模，加强黄河三角洲及京杭大运河附近生态用地保护强度，减少国土空间资源不合理开发利用，引导城乡建设均衡发展，实现生态服务功能的延续和提升。

5　结论

(1)2005—2015 年，山东省土地利用转型主要特征表现为：农田分布较为广泛，土地利用结构转型较为明显，前期剧烈，后期趋缓；农田、森林、草地、荒漠呈现面积减小趋势，水域、湿地和建设用地呈现面积增加趋势，其中建设用地扩张现象较为明显，土地供需矛盾进一步加剧，后备资源不足。

(2)研究期内,山东省 ESV 总值呈现先大幅增加、后小幅减小的趋势,ESV 总值增加 219.73 亿元,水域和湿地对生态服务价值贡献最大。ESV 减小区域分布较为广泛,主要集中在鲁中山地丘陵、鲁西北平原和胶东半岛北部地区;ESV 增加区域主要集中在潍坊市北部、东营市中部、滨州市北部以及胶东半岛南部等人类活动干扰较少的区域。2005—2015 年地均 ESV 均值区域差异较为明显,高值区出现在济宁市市中区和微山县,低值区集中在青岛市和鲁西北平原地区。

(3)2005—2015 年,山东省 7 种地类之间 21 种转型的交叉敏感性分析结果表明,在土地利用转型过程中,农田和水域向其他地类转型对生态服务功能的影响较为敏感,其中最敏感的是水域向湿地的转型,其次是水域向建设用地、农田向建设用地以及农田向水域的转型,其敏感性系数均大于 1;草地、荒漠向其他土地利用类型转型的交叉敏感性系数均较低,缺乏敏感性。在受经济利益的驱动和缺少外部环保政策限制的情况下,生态价值当量因子较高的地类向生态价值当量因子较低的地类转型,是区域生态环境质量变化的重要影响因素。

(4)生态系统交叉敏感性分区结果表明:农田与水域之间转型的高生态敏感区面积占比最小,为 8.98%,主要分布在东营市东部以及滨州市北部;农田和建设用地之间转型的中、低生态敏感区面积比例均较大,分别为 32.90% 和 34.83%,以农田向建设用地净转型为主;水域与建设用地之间转型的非生态敏感区所占面积比例最大,为 82.38%,集中分布在黄河三角洲地区。研究期间,黄河三角洲地区水域向农田的净转型以及济南市农田向建设用地的净转型是引起生态系统服务价值变化的重点区域。

参 考 文 献

[1] 龙花楼. 论发展与土地土地利用转型与土地资源管理[J]. 地理研究, 2015, 34(9):1607 - 1618.
LONG Hualou. Land use transition and land management[J]. Geographical Research, 2015, 34(9):1607 - 1618. (in Chinese)

[2] 龙花楼, 屠爽爽. 土地利用转型与乡村振兴[J]. 中国土地科学, 2018, 32(7):1 - 6.
LONG Hualou, TU Shuangshuang. Land use transition and rural vitalization[J]. China Land Science, 2018, 32(7):1 - 6. (in Chinese)

[3] GRAINGER A. National land use morphology:patterns and possibilities[J]. Geography, 1995, 800(3):235 - 245.

[4] 龙花楼, 李秀彬. 区域土地利用转型分析:以长江沿线样带为例[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2):144 - 149.
LONG Hualou, LI Xiubin. Analysis on regional land use transition: a case study in transect of the Yangze River[J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(2):144 - 149. (in Chinese)

[5] 宋小青. 论土地利用转型的研究框架[J]. 地理学报,2017,72(3):471 - 487.
SONG Xiaoqing. Discussion on land use transition research framework[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(3):471 - 487. (in Chinese)

[6] 刘芳, 闫慧敏, 刘纪远, 等. 21 世纪初中国土地利用强度的空间分布格局[J]. 地理学报, 2016, 71(7):1130 - 1143.
LIU Fang, YAN Huimin, LIU Jiyuan, et al. Spatial pattern of land use intensity in China in 2000[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(7):1130 - 1143. (in Chinese)

[7] 石小伟, 冯广京, YI Yang, 等. 浙中城市群土地利用格局时空演变特征与生态风险评价[J/OL]. 农业机械学报, 2020, 51(5):242 - 251.
SHI Xiaowei, FENG Guangjing, YI Yang, et al. Temporal and spatial evolution characteristics and ecological risk assessment of land use landscape patterns in central Zhejiang urban agglomeration[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(5):242 - 251. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag=1&file_no=20200527&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.05.027. (in Chinese)

[8] 路昌, 张傲. 东北地区土地利用转型及其生态环境效应[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(4):123 - 133.
LU Chang, ZHANG Ao. Land use transformation and its eco-environment effects in Northeast China[J]. Journal of China Agricultural University, 2020, 25(4):123 - 133. (in Chinese)

[9] 杨清可, 段学军, 王磊, 等. 基于"三生空间"的土地利用转型与生态环境效应——以长江三角洲核心区为例[J]. 地理科学, 2018, 38(1):97 - 106.
YANG Qingke, DUAN Xuejun, WANG Lei, et al. Land use transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects:a case study in the Yangtze River Delta[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(1):97 - 106. (in Chinese)

[10] 吕立刚, 周生路, 周兵兵, 等. 区域发展过程中土地利用转型及其生态环境响应研究——以江苏省为例[J]. 地理科学, 2013, 33(12):1442 - 1449.
LÜ Ligang, ZHOU Shenglu, ZHOU Bingbing, et al. Land use transformation and its eco-environmental response in process of the regional development: a case study of Jiangsu Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(12):1442 - 1449. (in Chinese)

[11] 张杨, 刘艳芳, 顾渐萍, 等. 武汉市土地利用覆被变化与生态环境效应研究[J]. 地理科学, 2011, 31(10):1280 - 1285.
ZHANG Yang, LIU Yanfang, GU Jianping, et al. Land use/land cover change and its environmental effects in Wuhan City[J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(10):1280 - 1285. (in Chinese)

[12] 刘永强, 廖柳文, 龙花楼, 等. 土地利用转型的生态系统服务价值效应分析 ——以湖南省为例[J]. 地理研究, 2015, 34(4):691 - 700.

LIU Yongqiang, LIAO Liuwen, LONG Hualou, et al. Effects of land use transitions on ecosystem services value: a case study of Hunan Province[J]. Geographical Research, 2015, 34(4): 691 – 700. (in Chinese)
[13] ROUNSEVELL M D A, PEDROLI B, ERB K H, et al. Challenges for land system science[J]. Land Use Policy, 2012, 29(4): 899 – 910.
[14] 李双成, 张才玉, 刘金龙, 等. 生态系统服务权衡与协同研究进展及地理学研究议题[J]. 地理研究, 2013, 32(8): 1379 – 1390.
LI Shuangcheng, ZHANG Caiyu, LIU Jinlong, et al. The tradeoffs and synergies of ecosystem services: research progress, development trend, and themes of geography[J]. Geographical Research, 2013, 32(8): 1379 – 1390. (in Chinese)
[15] 王培俊, 孙煌, 华宝龙, 等. 福州市滨海地区生态系统服务价值评估与动态模拟[J/OL]. 农业机械学报, 2020, 51(3): 249 – 257.
WANG Peijun, SUN Huang, HUA Baolong, et al. Evaluation and dynamic simulation of ecosystem service value in coastal area of Fuzhou City[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(3): 249 – 257. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag=1&file_no=20200329&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2020.03.029. (in Chinese)
[16] 唐秀美, 刘玉, 刘新卫, 等. 基于格网尺度的区域生态系统服务价值估算与分析[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(4): 149 – 153.
TANG Xiumei, LIU Yu, LIU Xinwei, et al. Estimation and analysis of ecosystem service value based on grid scale[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(4): 149 – 153. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag=1&file_no=20170419&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.04.019. (in Chinese)
[17] 刘永强, 龙花楼. 长江中游经济带土地利用转型时空格局及其生态服务功能影响[J]. 经济地理, 2017, 37(11): 161 – 170.
LIU Yongqiang, LONG Hualou. Study on the spatio-temporal patterns of land use transition and its impact on ecological service function of the middle of Yangtze River Economic Belt[J]. Economic Geography, 2017, 37(11): 161 – 170. (in Chinese)
[18] 李益敏, 管成文, 郭丽琴, 等. 基于生态敏感性分析的江川区土地利用空间格局优化配置[J]. 农业工程学报, 2018, 34(20): 267 – 276.
LI Yimin, GUAN Chengwen, GUO Liqin, et al. Optimization of land use spatial pattern in Jiangchuan district based on ecological sensitivity analysis[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(20): 267 – 276. (in Chinese)
[19] 崔胜辉, 李方一, 黄静, 等. 全球变化背景下的敏感性研究综述[J]. 地球科学进展, 2009, 24(9): 1033 – 1041.
CUI Shenghui, LI Fangyi, HUANG Jing, et al. Review of sensitivity research in the context of global change[J]. Advances in Earth Sciences, 2009, 24(9): 1033 – 1041. (in Chinese)
[20] 朱昌丽, 张继飞, 赵宇鸾, 等. 岷江上游土地利用变化下的生态系统敏感性研究[J]. 人民长江, 2018, 49(11): 35 – 42.
ZHU Changli, ZHANG Jifei, ZHAO Yuluan, et al. Land-use change related ecosystem sensitivity study in upper reaches of Minjiang River[J]. Yangtze River, 2018, 49(11): 35 – 42. (in Chinese)
[21] KREUTER P U, HARRIS G H, MATLOCK D M, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas[J]. Ecological Economics, 2001, 39: 333 – 346.
[22] 普拉提·莫合塔尔, 海米提·依米提. 土地利用变化下的生态系统服务敏感性研究——以克里雅绿洲为例[J]. 自然资源学报, 2014, 29(11): 1849 – 1858.
POLAT Muhtar, HAMID Yimit. Ecosystem services sensitivity to land-use change: a case study of the Keriya Oasis[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(11): 1849 – 1858. (in Chinese)
[23] 丁振民, 姚顺波. 生态系统服务弹性敏感性系数的合理性与决策属性探讨[J]. 地理科学, 2019, 39(10): 1672 – 1679.
DING Zhenmin, YAO Shunbo. Rationality and decision-making attributes of sensitivity coefficient of ecosystem services based on elastic model[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(10): 1672 – 1679. (in Chinese)
[24] 张文信, 董光龙, 杨忠学, 等. 山东省耕地后备资源变化及驱动因素分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(1): 117 – 123, 139.
ZHANG Wenxin, DONG Guanglong, YANG Zhongxue, et al. The spatiotemporal variation of reserve cultivated land resources and its driving forces[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(1): 117 – 123, 139. (in Chinese)
[25] 林伊琳, 赵俊三, 张萌, 等. 滇中城市群国土空间格局识别与时空演化特征分析[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(8): 176 – 191.
LIN Yilin, ZHAO Junsan, ZHANG Meng, et al. Identification of territory space pattern and spatio-temporal evolution analysis of urban agglomeration in central Yunnan[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(8): 176 – 191. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag=1&file_no=20190820&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2019.08.020. (in Chinese)
[26] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值[J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1740 – 1746.
XIE Gaodi, ZHANG Caixia, ZHANG Changshun, et al. The value of ecosystem services in China[J]. Resources Science, 2015, 37(9): 1740 – 1746. (in Chinese)
[27] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 10 – 13.
XIE Gaodi, XIAO Yu, ZHEN Lin, et al. Study on ecosystem services value of food production in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2005, 13(3): 10 – 13. (in Chinese)
[28] 刘永强, 龙花楼, 李加林. 长江中游经济带土地利用转型及其生态服务功能交叉敏感性研究[J]. 地理研究, 2018, 37(5): 1009 – 1022.
LIU Yongqiang, LONG Hualou, LI Jialin. Study on the land use transition and its cross-sensitivity of ecological service function in the middle of Yangtze River Economic Belt[J]. Geographical Research, 2018, 37(5): 1009 – 1022. (in Chinese)