

# 基于遥感的区域经济土地利用依赖性格局分析

## ——以汉江上游为例

罗志慧<sup>1</sup>, 刘宇<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>广东机电职业技术学院外语商务学院, 广东 广州

<sup>2</sup>中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京

收稿日期: 2022年10月3日; 录用日期: 2022年11月1日; 发布日期: 2022年11月9日

### 摘要

以遥感监测获取的土地利用/覆被数据构建的人类活动强度指数为监测人类活动的空间格局及其变化提供了一个便捷有效的工具, 将其与区域经济产出相结合, 可反映区域经济对土地利用扩张的依赖性及其空间格局。以汉江上游为案例区, 将基于土地利用遥感监测构建的人类活动强度指数与区域经济产出和人口密度相结合, 分析了人类活动强度的空间格局和县域经济产出对土地利用的依赖性。结果显示, 人类活动强度指数反映出汉江上游人类活动强度与地形格局高度吻合; 经济产出和人口密度与人类活动强度指数存在很好的回归关系, 区域经济对土地利用扩张的依赖度较高。本研究也表明, HAIS能很好地反映通过土地利用面积扩张提高经济产出和人口承载力的人类活动强度, 而对提高集约程度的土地利用变化难以反映。

### 关键词

区域经济, 土地利用依赖性, 人类活动强度, 土地利用/覆被, 汉江上游, 遥感

# Assessing the Land-Use-Dependence Pattern of Regional Economy by Using Remote Sensing

## —A Case Application in the Upper Han River Basin

Zhihui Luo<sup>1</sup>, Yu Liu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>School of Foreign Language and International Business, Guangdong Mechanical and Electrical Polytechnic, Guangzhou Guangdong

<sup>2</sup>Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing

\*通讯作者。

## Abstract

The Human Activity Intensity Index (HAIS) that combines land use/cover data and the impact of land cultivation on landscapes provides a convenient and effective tool for monitoring the spatial pattern of human activity intensity and its evolution. By combining the HAIS and economy indicators, the dependence of regional economy on the expansion of land cultivation can be reflected. In this study, the upper Han River basin was selected as case region. The land-use-based HAIS was combined with regional economic output and population density to reveal the spatial pattern of human activity and the dependence of county-level economic output on land use. The results revealed the human activity in the upper Han River basin highly coincided with landform pattern as reflected by the spatial pattern of HAIS. There was significant correlation between human activity intensity and population and regional economic output, which implies a high dependence of regional economy on land use expansion. This study also reveals that the HAIS is a suitable indicator reflecting the human activity by expanding the land use to promote the economic output and population carrying capacity, and however, is not sensitive to land use change by improving the land use intensity.

## Keywords

Regional Economy, Land-Use-Dependence, Human Activity Intensity, Land Use/Cover, Upper Han River, Remote Sensing

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

土地是人类社会经济活动的空间和资源。土地的开发利用是经济发展的重要支撑。通过土地利用改变土地覆被是人类活动的突出表现[1], 因而人类对土地的开发利用活动是生态系统的主要压力来源[2] [3], 其强度反映了对生态系统施加的压力强弱[3] [4] [5], 直观地反映在地表覆被上。随着遥感技术的发展, 对土地利用类型的大范围高精度监测成为可能, 为刻画乡镇及以上尺度的行政单元的经济产出土地依存度空间格局提供了新型工具。遥感技术监测人类活动的重要途径之一就是监测土地利用/覆被[6], 为获取人类活动空间格局提供强大的手段, 能直观地展现人类活动的强度及其空间格局[7] [8]。近年来, 基于遥感监测获得土地利用/覆被数据, 结合对土地利用方式影响生态系统的强度的分析, 发展了多种的人类活动强度定量指标来刻画其空间格局[7] [9]。

随着产业结构的调整和科技发展对生产效率的促进, 特别是网络空间对经济的贡献和虚拟经济的快速发展, 降低了经济发展对土地利用扩张的依赖, 使得单位经济产出的土地利用依赖度降低。将土地覆被遥感与经济产出统计相结合, 可度量经济产出对土地利用的依赖度空间格局, 从而深入揭示经济发展的区域差异。本研究在利用基于土地利用/覆被遥感监测数据构建的人类活动强度指数, 结合经济产出的统计, 分析汉江上游人类活动的强度的空间格局, 揭示县域尺度经济产出对土地利用的依赖性格局。

## 2. 研究方法

### 2.1. 区域概况

汉江上游包括汉江流域丹江口水库及其上游的流域, 地处秦岭南坡、大巴山北麓, 位于中国地形第

二阶梯和第二、第三阶梯过渡带、北亚热带与温带分界线附近,是自然地理环境异质性高、生物多样性丰富的区域。汉中-安康盆地横贯中部。该区位于我国南北气候分界的过渡带上,属温暖半湿润的北亚热带季风气候区。冬暖夏凉,四季分明,雨热同季,降水分布不均,旱涝灾害严重。受高大地形起伏的控制,山地垂直气候分带明显。多年平均气温 13.71℃,多年平均年降水量 873.3 mm,5~10 月降水量占年降水量的 80%。多年平均年蒸发量为 854 mm,≥10℃积温 4174℃,年均日照时数为 1717 小时,无霜期平均 231 天。该区以其丰富的水资源和良好的水源区环境而成为南水北调中线工程的水源地,承担着南水北调中线工程水源涵养和水质保障的功能,是流域水源涵养的主要区域。因此,《全国生态功能区划》中将其列为对国家生态安全具有重要作用的水源涵养生态功能区和生物多样性保护生态功能区[10]。国务院 2010 年颁布的《全国主体功能区规划》[11]亦将水源区所处的秦巴山区定位为秦巴生物多样性生态功能区。区内分布有丰富的生物资源和有色、稀有金属等矿产资源。水源区东北部分布有亚洲最大的钼矿。区内的汉中、安康、十堰分别以飞机制造、化工、汽车等产业为主,是汉江流域重要的工业城市。该区处长江中游经济带、尤其是武汉城市圈的生态保障区,在国家和区域尺度社会经济发展中发挥重要的支撑作用。区内人类活动强度对水质、水量都存在影响[12][13]。地处秦巴山地的该区还是中国乃至世界的生物多样性热点区域[14][15]。

## 2.2. 区域人类活动强度指数

本研究将社会经济统计数据与土地利用/覆被遥感监测相结合,提出区域经济土地利用依赖性的定量表达。土地利用强度可用一定空间内的人类活动强度来表达。人类活动强度可定义为一定地域人类对地表自然覆被的利用、改造和开发程度,它可通过土地利用/覆被得到反映。本研究采用考虑各类土地利用对地表的改变程度提出的基于土地利用/覆被数据定量表达人类活动强度的方法[16]。

$$HAIS = \frac{S_i}{S} \times 100\% \quad (1)$$

$$S_i = \sum_{i=1}^n (SL_i \times C_i) \quad (2)$$

式中,HAIS 为人类活动强度; $S_i$  为建设用地当量面积,即将计算单元内各类土地利用/覆被面积折算为等当量的建设用地后的面积; $S$  为计算单元总面积; $C_i$  为计算单元内第  $i$  种土地利用/覆被的建设用地当量折算系数; $SL_i$  为第  $i$  种土地利用/覆被类型的面积; $n$  为计算单元内土地利用/覆被类型数。根据徐勇等[16]的研究,研究区土地利用/覆被的建设用地当量折算系数如表 1。

**Table 1.** Conversion factor of land use/cover type construction land equivalent [16]

**表 1.** 土地利用/覆被类型建设用地当量折算系数[16]

土地利用/覆被类型	建设用地当量折算系数(C)	说明
森林	0	天然林和非生产性的森林为主
灌丛	0	天然灌丛为主
草地	0.067	存在放牧等利用方式
耕地	0.4	以一年生作物为主
城市居民点	1	
农村居民点*	0.2	
工矿*	0.4	

Continued

水库水域	0.6	以河道型水库为主, 取平均水位线以下的区域
河流水域	0	非水库淹没区以外的河流水域
未利用地	0	主要包括高山裸岩石、河滩等类型

\*区内农村居民点较为分散, 与城市居民点区别较大, 与工矿相当, 故建设当量系数取 0.2。

### 2.3. 数据来源

研究区土地利用/覆被遥感数据解译自 2010 年中国环境减灾卫星影像, 分辨率 30 m, 采用面向对象的方法[17]提取。地形数据为 ASTER GDEM, 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>), 空间分辨率为 30 m。县域人口和社会经济统计数据从中国知网“中国经济社会大数据平台”(<https://data.cnki.net>)。

## 3. 结果分析

### 3.1. 汉江上游人类活动强度的空间分异

汉江上游经济发展水平总体上相对较低, 人类活动强度总体不高。按照人类活动强度分级标准[16], 全区绝大部分区域人类活动强度为中等以下, 极少数区域达到了较高水平(图 1)人类活动强度大于 4%的区域仅占全区总面积的 10%。汉江上游人类活动强度总体上与地形格局相吻合, 呈现沿中部汉江干流横贯全区和沿丹江河谷的两个高强度带(图 1)。汉中盆地、安康河谷、丹江口水库周边丘陵三个高强度区构成了汉江干流沿岸高强度带。沿丹江则有商洛谷地延续到丹江口水库周边丘陵区的高强度区。在区内存在几个人类活动强度较高的区域, 如汉江以北的山阳县周边、以南的竹山县周边。区内旅游资源丰富[18][19], 也有较高的色金属矿产资源禀赋[20], 而这些资源的利用相当部分分布于山顶等地形部位。因而在这些区域出现零星的人类活动强度高值区(图 1)。

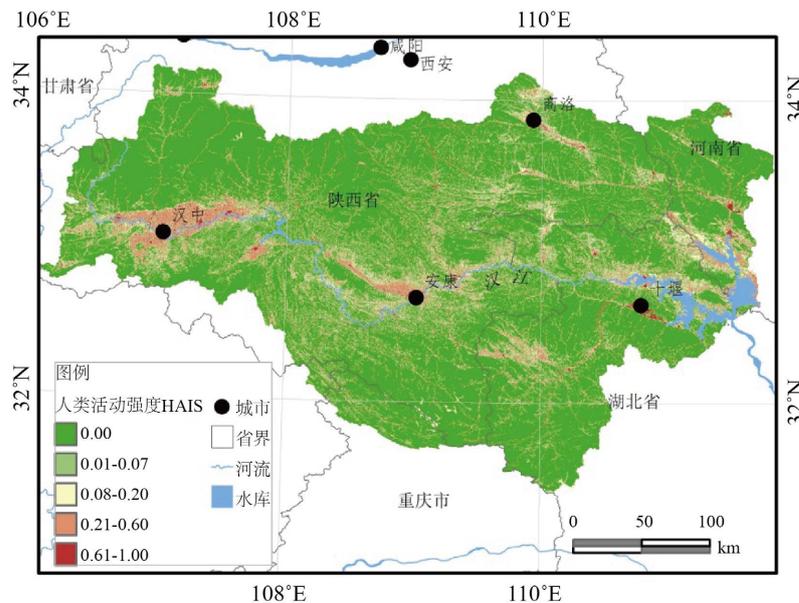
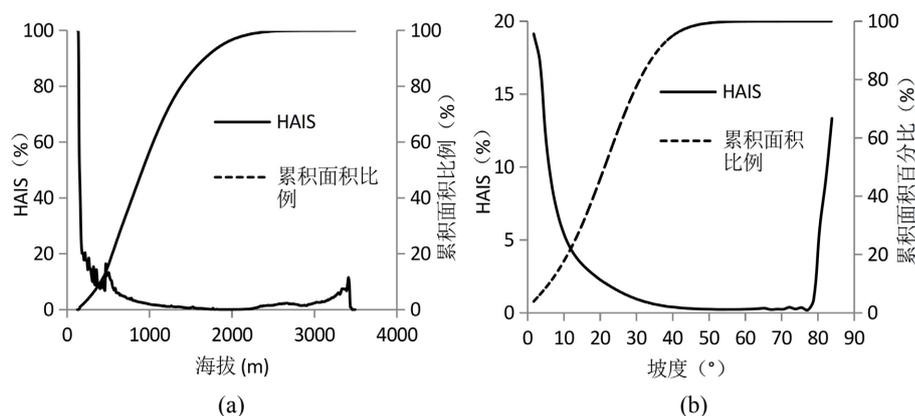


Figure 1. Spatial pattern of human activity intensity in the upper reaches of the Han River

图 1. 汉江上游人类活动强度空间格局

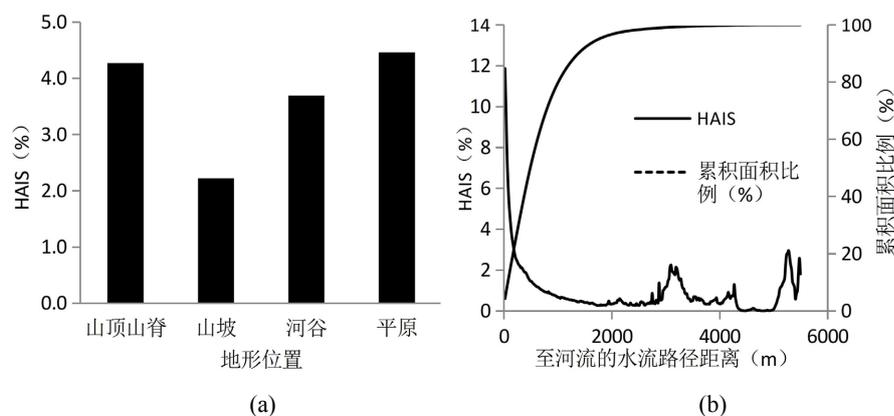
### 3.2. 人类活动强度的地形分异

地形坡度往往是人类利用土地资源的限制性因素。从人类活动强度随坡度的变化来看,随着坡度的增加,人类活动强度迅速降低;在坡度较高的区域存在一个人类活动随坡度增加迅速增强的区域,但占汉江上游总面积的比例较低,不到1%(图2)。如图2所示,人类活动强度总体上随海拔的升高而下降。在350 m以下,人类活动强度随海拔的升高迅速下降,随后在350~500 m之间出现一个上升趋势,形成一个局部峰值。在500~2500 m之间缓慢下降,之后又随海拔上升,直到3400 m左右转而降低。这进一步表明地形格局决定了汉江上游人类活动强度的基本格局。



**Figure 2.** Differences in slope (a) and elevation (b) gradients of human activity intensity  
**图 2.** 人类活动强度的坡度(a)和海拔(b)梯度的分异

人类活动强度指数的地形位置分异综合反映了汉江上游人类活动强度的宏观格局。山脊、山顶、河谷和平原相对于山坡具有更高的人类活动强度指数(图3(a))。这些地形位置适宜耕地、城镇用地等人类开发利用的土地类型的分布,因而具有较高的人类或多强度指数。平原是耕地、城镇等高利用强度的土地利用类型集中分布区,人类活动强度指数较高,达到4.5%左右,山顶山脊由于大量耕地的存在,也具有较高的人类活动强度指数,约为4.3%。汉江上游的河谷也是人口和城镇的重要分布区,但受狭窄的地形限制,多被河流占据,人类活动强度指数约为3.7%。在汉江上游地区,山坡往往坡度陡峭,开发利用的难度较大,主要为森林所占据,因此人类活动强度指数较低。



**Figure 3.** Average human activity intensity for each geographical location in the upper reaches of the Han River  
**图 3.** 汉江上游各地形位置平均人类活动强度

### 3.3. 人类活动强度沿汇流路径距离的分异

对汉江上游而言, 保证优良的水质是重要的河流环境保护目标[21]。人类活动区到河流的距离这里用水流路径长度来表达。由图 3(b)可看出, 汉江上游人类活动强度随至河流的水流路径距离呈指数函数型式降低。人类活动强度指数较高的区域主要分布在距离河道水流路径距离小于 2 km 的范围内。但在 2000 m 到 4300 m、4900 m 以上存在多个局部峰值区。这反映出汉江上游以河流为中心向周边减弱的人类活动强度分布格局。

### 3.4. 人类活动强度与人口密度的回归关系

在汉江上游, 人类活动强度指数与人口密度之间呈显著的指数回归关系(图 4)。县域人口密度、县域农村人口数量、县域城镇人口数量均与平均 HAIS 呈显著的指数关系(图 4(a)~(c))。如图 4(d)所示, 散点整体偏向标准化人口活动强度指数一侧, 表明人口承载的增加依赖于土地利用强度的提高。由于 HAIS 反映的是人类对地表景观的改造利用强度, 这一结果表明增加土地的开发面积是汉江上游地区提高人口承载数量的主要途径(图 4)。图 4 显示, 县域农村人口比县域城镇人口与县域 HAIS 具有更好的指数回归关系。农村人均居住、生产占地面积远大于城镇。这表明 HAIS 能更好地反映依赖扩大土地面积来承载人口的人类活动强度。

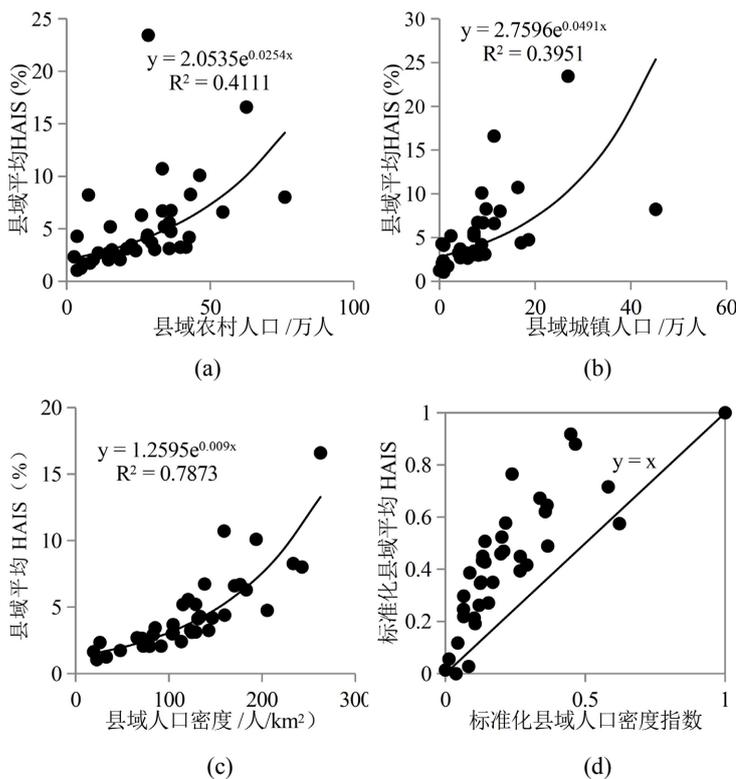


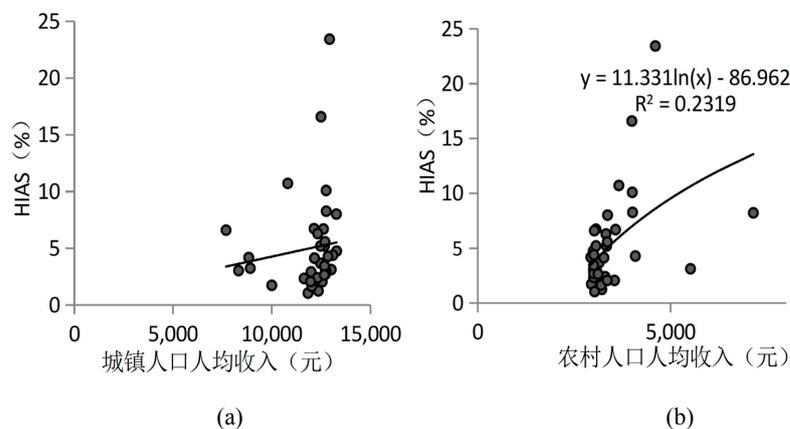
Figure 4. Relationship between human activity intensity index and population

图 4. 人类活动强度指数与人口的关系

### 3.5. 人类活动强度与经济产出的回归关系

汉江上游地区城镇人口人均收入和农村人口人均收入与人类活动强度的关系存在显著差异(图 5)。

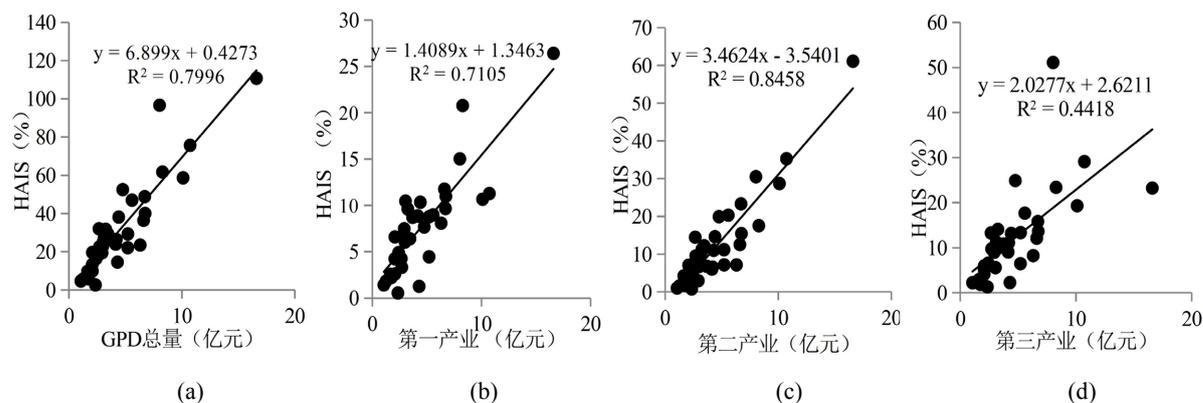
HAIS 与城镇人口人均收入之间的回归关系不显著, 而与农村人口人均收入存在显著的回归关系。城镇人口的收入主要通过商业、工业和服务业等对土地利用类型变更要求较少的行业获得, 因此与人类活动强度指数的统计关系不如农村人口平均收入。因为农村人口的收入来自种植等与土地利用面积变化和类型变更联系更为紧密行业, 与人类活动强度指数的关系相对较好。这表明对通过提高土地利用的集约程度、很少依赖土地利用面积的扩张以提高产出或收益的人类活动而言, HAIS 的有效性相对较低(图 5)。



**Figure 5.** Relationship between per capita income and human activity intensity (HAIS)

**图 5.** 人均收入与人类活动强度(HAIS)的关系

汉江上游县域人类活动强度指数与 GDP 之间(图 6(a))、与第一产业(图 6(b))、第二产业(图 6(c))和第三产业(图 6(d))之间都呈显著的线性关系, 其中第一、第二产业与人类活动强度指数的关系较第三产业更密切(图 6)。图 7 显示了极差标准化的 HAIS 与 GDP (图 7(a))和三大产业产值(图 7(b)~(d))对比。标准化 GDP 与 HAIS 散点图中(图 7(a)), 一半以上的点偏向 HAIS 一侧, 表明汉江上游大部分县域 GDP 依赖对土地开发利用。第一产业这种局面更为明显(图 7(b))。而二、三产业产值对土地开发利用强度的依赖性显著降低。整体上区内人类活动对土地的依赖程度较高, 增加土地的开发利用的面积在提高区域经济产出中非常重要。图 6 和图 7 也表明, 汉江上游各县域经济对土地利用强度的依赖性存在较大的差异。



**Figure 6.** Statistical relationship between total county GDP, output value of three major industries and human activity intensity (HAIS)

**图 6.** 县域 GDP 总量和三大产业产值与人类活动强度(HAIS)的统计关系

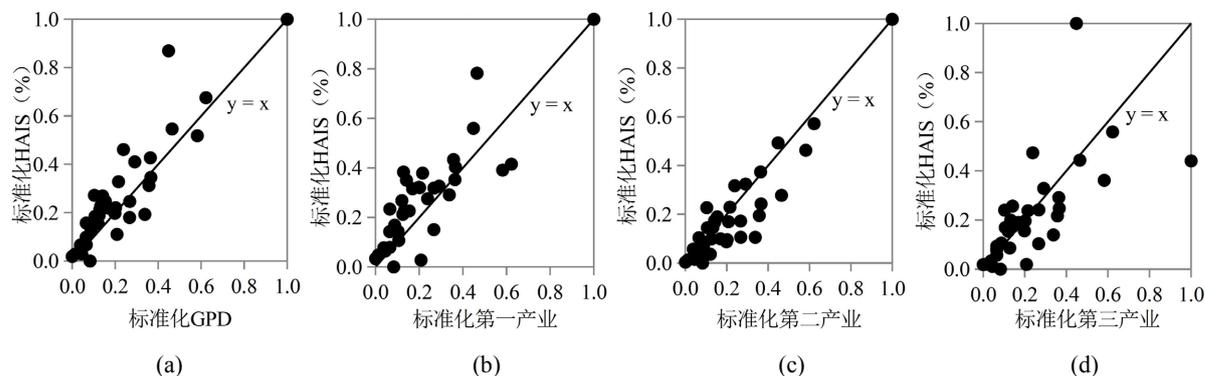


Figure 7. Relationship between normalized human activity intensity and normalized economic indicators

图 7. 标准化人类活动强度与标准化经济指标之间的关系

#### 4. 讨论

人类活动改造景观属性,引起多种多样的生态和资源环境效应[22],因而定量表达人类活动强度成为研究人-地相互作用的热点方法[22] [23]。遥感监测技术的发展为获取大范围多时相土地利用/覆被提供了快捷的途径[6] [24]。通过土地利用/覆被监测计算的人类活动强度指数是一个便捷的工具[7] [16]的基本出发点是认为人类生产和生活活动能在景观属性上有所体现,即不同强度的人类活动施加在各类型景观上的影响存在明显差异[7] [22]。产业产出、人口密度是人类活动强度的直接表现。理论上,人类活动强度指数应与经济发展水平、人口密度等指标紧密关联,能准确反映经济发展水平的空间变化和空间异质性。汉江上游地区土地利用类型及其空间格局发生了显著改变[25]。

扩大土地利用面积和提高单位面积产出是人类增加土地产出的两种基本途径,因而人类活动导致的土地利用/覆被变化包括类型的变更和集约程度的提高[26]。越依赖第一、第二产业的区域,单位产值需要开发利用的土地面积越大,而服务业比重较大的地区单位产值对土地面积的需求相对较低(图 7)。HAI 反映人类对地表景观的开发利用强度[16],能准确反映引起土地利用类型变更的人类活动强度,而对提高土地利用集约程度增加产出的人类活动强度则指示能力不足。人口密度是人类活动强度的最直接反映。提高人口承载力的途径亦包括扩大土地利用面积和提高单位面积承载量两种方式。扩大土地利用面积最能在土地利用遥感监测中反映出来,但通过增加高层建筑提高居住率或在较低人均居住面积水平上提高居住人口数量等提高单位面积人口承载量的方式则很难在土地利用覆被遥感监测数据反映。因此,未来需要结合除了土地利用/覆被以外的更多景观属性构建人类活动强度指标,以增强对人类活动强度的表达。

#### 5. 结论

人类活动强度指数与经济产值和人口密度的关系反映了人类活动对土地利用的依赖程度。研究结果表明,宏观地形格局是汉江上游人类活动空间格局的决定因素,区内人类活动强度的空间格局总体上与地形格局吻合,即河谷盆地和丘陵区等地形起伏和缓的区域人类活动强度高,陡峭的山区人类活动强度低;近河流地带人类活动强度高,远离河流则人类活动强度低。从河岸带向两岸山地递减。人类活动强度随坡度、海拔和至水流路径距离的分布型式表明,汉江上游人类活动在陡峭的高山区也有分布,其原因是一些区内旅游开发和矿产资源开发发生在这些区域。人类活动强度指数与经济产出和人口密度的关系分析表明:对汉江上游而言,提高经济产出和人口承载量的方式主要是扩大土地利用的面积,土地利用的集约化程度尚有较大提升空间。

## 基金项目

资助项目: 国家自然科学基金面上项目(42071239)。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 刘东生. 全球变化和可持续发展科学[J]. 地学前缘, 2002, 9(1): 1-9.
- [3] Running, S.W. (2012) A Measurable Planetary Boundary for the Biosphere. *Science*, **337**, 1458-1459. <https://doi.org/10.1126/science.1227620>
- [4] Franzese, P.P., Brown, M.T. and Ulgiati, S. (2014) Environmental Accounting: Emery, Systems Ecology, and Ecological Modelling. *Ecological Modelling*, **271**, 1-3. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.10.007>
- [5] Andersen, C.B. and Quinn, J. (2020) Human Appropriation of Net Primary Production. In: Goldstein, M.I. and Della-Sala, D.A., Eds., *Encyclopedia of the World's Biomes*, Elsevier, Amsterdam, 22-28. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12434-0>
- [6] 刘纪远, 庄大方, 王一谋, 周万村, 张树文, 李仁东, 江南, 吴世新. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12.
- [7] Brown, M.T. and Vivas, M.B. (2005) Landscape Development Intensity Index. *Environment Monitoring and Assessment*, **101**, 289-309. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-0296-6>
- [8] Reiss, K.C., Hernandez, E. and Brown, M.T. (2014) Application of the Landscape Development Intensity (LDI) Index in Wetland Mitigation Banking. *Ecological Modelling*, **271**, 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.04.017>
- [9] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. 自然资源学报, 1997, 12(2): 105-111.
- [10] 环境保护部, 中国科学院. 全国生态功能区划[Z]. 2009.
- [11] 中华人民共和国国务院. 全国主体功能区规划[M]. 北京: 人民出版社, 2015.
- [12] 夏军, 马协一, 邹磊, 等. 气候变化和人类活动对汉江上游径流变化影响的定量研究[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(1): 1-6.
- [13] 王金杰, 张克荣, 吴川, 等. 汉江上游金水河流域氮湿沉降[J]. 环境科学学报, 2014, 35(1): 66-72.
- [14] 唐志尧, 柯金虎. 秦岭牛背梁植物物种多样性垂直分布格局[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 108-114.
- [15] 吴波, 朱春全, 李迪强, 等. 长江上游森林生态区生物多样性保护优先区确定——基于生态区保护方法[J]. 生物多样性, 2006, 14(2): 87-97.
- [16] 徐勇, 孙晓一, 汤青. 陆地表层人类活动强度: 概念, 方法及应用[J]. 地理学报, 2015, 70(7): 1068-1079.
- [17] Zhang, L., Li, X., Yuan, Q., et al. (2014) Object-Based Approach to National Land Cover Mapping Using HJ Satellite Imagery. *Journal of Applied Remote Sensing*, **8**, 464-471. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.8.083686>
- [18] 刘宇峰, 孙虎, 原志华. 陕西秦岭山地旅游资源特征及开发模式探讨[J]. 山地学报, 2008, 26(1): 113-119.
- [19] 谢红霞, 任志远, 莫宏伟. 陕南秦巴山地岩溶地貌生态旅游资源开发与生态经济建设[J]. 国土与自然资源研究, 2005(1): 71-72.
- [20] 李乃英, 郭彩玲, 惠振德, 等. 陕南秦巴山区矿产资源开发利用与持续发展研究[J]. 资源科学, 1999, 21(4): 31-34.
- [21] 张全发, 苏荣辉, 江明喜, 等. 南水北调工程及其生态安全: 优先研究领域[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(2): 217-221.
- [22] Blüthgen, N., Dormann, C.F., Prati, D., et al. (2012) A Quantitative Index of Land-Use Intensity in Grasslands: Integrating Mowing, Grazing and Fertilization. *Basic and Applied Ecology*, **13**, 207-220. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2012.04.001>
- [23] Arts, B., Buizer, M., Horlings, L., et al. (2017) Landscape Approaches: A State-of-the-Art Review. *Annual Review of Environment and Resources*, **42**, 439-463. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060932>
- [24] 吴炳方, 苑全治, 颜长珍, 等. 21世纪前十年的中国土地覆盖变化[J]. 第四纪研究, 2014, 34(4): 723-731.
- [25] 胡砚霞, 黄进良, 王立辉. 丹江口库区1990-2010年土地利用时空动态变化研究[J]. 地域研究与开发, 2013, 32(3): 133-137+148.
- [26] 李秀彬. 土地利用变化的解释[J]. 地理科学进展, 2002, 21(3): 195-203.