太行山淇河流域土地利用变化对生境的影响

任 涵,张静静,朱文博,王丽园,张立娟,朱连奇*

(河南大学环境与规划学院,河南 开封 475004)

摘 要:山地作为陆地表面的特殊地域单元,地形起伏较大,生态系统较为脆弱,对全球变化信号有放大作用。因此,研究山地土地利用变化对生境质量的影响,对于权衡区域生态保护与发展及土地资源的可持续利用具有重要意义。本文基于InVEST模型,结合土地利用数据,并从地形起伏度视角,对太行山淇河流域2000-2015年生境质量进行研究。结果表明:①2000-2015年期间,淇河流域土地利用变化表现为耕地、林地面积逐渐减少,草地、建设用地面积逐渐增加。②流域整体生境质量较好,平均生境质量指数均超过0.7,且2015年有明显提升。③淇河流域的生境质量变化受地类变化影响较大。耕地、草地、建设用地由于受到人为干扰的影响,其生境出现不同程度的退化;采伐、毁林开荒等行为导致林地的生境也开始缓慢退化,但由于林地的植被覆盖度较高,抗干扰能力较强,加上逐渐开始对其进行恢复,生境质量水平依然较高。④该流域生境质量在地形起伏度上的分布特征表现为平坦区和微起伏区以一般等级生境质量为主,小起伏区和中起伏区则以高度重要和极重要等级生境质量为主。

关键词:土地利用变化;InVEST模型;生境质量;淇河流域

1 引言

生境质量是与人类密切相关的自然资源的质量,同时也是人类生存环境的优劣程度,包括自然资源和整个环境的各种要素(李晓秀,1997)。土地利用变化不仅对全球社会、经济变化具有重要驱动作用(Fleskens et al, 2009),还能够通过影响生境斑块之间的物质流、能量流循环过程,对区域生境分布格局和功能产生重大影响(欧阳志云等, 2009)。随着世界人口数量与社会经济的快速发展,人们对土地资源的需求日益增加,土地的利用强度及方式的变化使得生态系统受到严重破坏,导致许多地区生态系统服务能力的降低和退化(Forman et al, 2002; Mckinney, 2002; 傅伯杰等, 2014)。因此,研究土地利用变化与生境质量变化之间的关系可为分析区域生态环境变化、制定区域生态保护政策及土地资源的可持续利用提供基础依据(吴健生等,

2015)。

目前,国内外基于土地利用变化对生境的影响研究主要分为2类:第一类是基于景观格局的指标体系方法,通过对地区、流域等小区域的植被、动物调查,获取各类生境质量参数,进而探讨土地利用变化对动植物生境质量影响(杨娟等, 2006; 刘华等, 2012; 杨建强等, 2014; 吴未等, 2015; 王琼等, 2017)。第二类是基于模型模拟的土地利用变化生态效应的定量研究(吴健生等, 2014; Häyhä et al, 2015; 周方文等, 2015),其中InVEST模型由于数据需求量低且空间分析能力强,是最为成熟且应用较为广泛的生态系统服务评估模型之一(Stoll et al, 2015; Wong et al, 2015; 褚琳等, 2015; 吴健生等, 2017; 赵志龙等, 2017)。如Mushet(2014)等基于参数化的InVEST模型对2007-2012年美国中部平原地区两栖生境进行评估,分析各种土地利用类型的两栖生境特征及变化趋势;杜世勋等(2015)以生境

收稿日期:2017-12-06;修订日期:2018-09-25。

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2015CB452702)[Foundation: National Key Basic Research Program of China, No.2015CB452702]。

作者简介:任涵(1994-),女,河南信阳人,博士研究生,主要从事山地资源与环境研究,E-mail: hren_edu@163.com。

通讯作者:朱连奇(1963-),男,河南郸城人,教授,博士生导师,主要从事山地地理环境与资源开发利用研究,E-mail: lqzhu@henu.edu.cn。

引用格式:任涵,张静静,朱文博,等. 2018. 太行山淇河流域土地利用变化对生境的影响[J]. 地理科学进展, 37(12): 1693-1704. [Ren H, Zhang J J, Zhu W B, et al. 2018. Impact of land use change on habitat in the Qihe River Basin of Taihang Mountains[J]. Progress in Geography, 37(12): 1693-1704.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2018.12.011

质量指数和生境退化指数2个指标代表生物多样性的功能,分析了土地利用变化对山西省生物多样性的影响;陈妍等(2016)利用模型模拟计算了北京威胁源对生境退化的影响程度,并分析了土地利用变化对生境质量变化的影响。

前人虽然运用InVEST模型开展了许多土地利用变化对生境质量影响的研究,但多基于地形相对平坦、起伏较小的假设和前提。山地作为陆地表面的特殊地域单元,地形起伏较大,生态系统较为脆弱,对全球变化信号有放大作用,所引起的生态系统服务功能的变化更为显著,不仅造成了山地本身生态系统服务能力变化,还会对区域可持续发展能力产生重要影响。因此研究山地土地利用变化对生境质量的影响,对于权衡区域生态保护与发展具有重要的理论意义和实践意义。本文在综合分析已有研究的基础上,以太行山南段淇河流域为研究区,利用InVEST模型生境质量模块,基于土地利用数据和威胁源数据,分别从土地利用变化和地形起伏度两方面对2000、2005、2010和2015年4个时期的淇河流域生境质量指数变化进行分析,从而揭示土地利用变化对生境质量的影响,探索流域生境质量在地形起伏度上的分布规律,以期为流域生态保护和土地利用规划提供一定的科学依据。

2 研究区概况

淇河流域地处华北平原的过渡地带,地理位置

为:113°17'E~114°23'E和35°32'N~36°04'N。淇河发源于山西省陵川县方脑岭棋子山,依次流经山西省陵川、壶关县和河南省辉县、林州市、鹤壁市淇滨区、淇县、浚县,在浚县淇门入卫河,流域面积2227 km²;地势呈西高东低,最高海拔为1862 m,最低海拔31 m(图1)。淇河流域具有较高的水源涵养、水质净化等生态系统服务功能。其水质常年保持在中国二类标准以上,是流域内居民生活及工农业生产的重要水源(杨朦等, 2016)。近年来人类活动逐渐向山区扩展,过度的开发和不合理利用自然资源的行为,导致淇河流域生境质量逐渐退化,自然植被逐年减少,野生动植物种群数量日益减少以及种质退化,流域生境质量越来越引起人们的关注。

3 数据与方法

3.1 数据来源

本文中2000-2010年土地利用数据来源于国家地球系统数据共享平台黄河下游科学数据中心(<http://www.geodata.cn/>),2015年土地利用数据是在2010年土地利用数据的基础上,对2015年的Landsat 8遥感影像(来源于地理空间数据云,<http://www.gscloud.cn/>)进行人工目视解译而得,根据中国土地资源分类系统(刘纪远, 1997)得到2015年土地利用二级类型图,经实地调研验证,解译精度达到86%。然后在ArcGIS中将土地利用二级类合并为一级类,分别为耕地、林地、草地、水体、建设用地和

图1 研究区位置及范围

Fig.1 The study area

未利用地6类。道路交通数据来源于黄河下游科学数据中心。本文的矢量数据均为1:10万的图件,栅格数据统一使用Grid格式,空间分辨率为30 m,地理坐标系采用WGS_1984_Albers。利用30 m分辨率的DEM数据,采用邻域分析法和均值变点分析法,计算了淇河流域地形起伏度的最佳统计单元大小为0.13 km²。基于此得到淇河流域地形起伏度为0~503 m,平均为105.7 m。参照相关文献(张磊, 2009; 陈学兄等, 2016; 张静静等, 2018)将淇河流域地形起伏度划分为平坦(0~30 m)、微起伏(30~70 m)、小起伏(70~200 m)和中起伏(>200 m)。

3.2 研究方法

InVEST模型是可以量化多种生态系统服务功能的评估模型(Tallis et al, 2013),生境质量模块是利用土地利用分类图,基于威胁源的影响距离及其空间权重、生境适宜性及其对威胁源的敏感性、保护区的建立和法律保护的准入性,来对研究区的生境质量进行评估。

生境质量是指生态系统中的生境因子组合体在特定的时间和空间范围内,与人类生存和社会经济可持续发展相结合的适宜性(叶亚平, 2000)。生境质量用生境质量指数来反映,其计算公式为:

$$Q_{xj} = H_j \left[1 - \left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + k^z} \right) \right] \quad (1)$$

式中: Q_{xj} 为土地利用类型 j 中栅格 x 的生境质量; H_j 为土地利用类型 j 的生境适宜度; D_{xj} 为土地利用类型 j 的生境退化度; k 为半饱和常数,当 $1 - (D_{xj}^z / (D_{xj}^z + k^z)) = 0.5$ 时, k 值等于 D 值; z 为归一化常量,通常取模型默认参数值2.5。 D_{xj} 公式为:

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \frac{\omega_r}{\sum_{r=1}^R \omega_r} r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (2)$$

式中: r 为威胁源; R 为威胁源的个数; y 为威胁源 r 的栅格数; x 为生境的栅格数; Y_r 为威胁源所占栅格数; ω_r 是威胁源 r 的权重,表明某一胁迫因子对所有生境的相对破坏力,取值为0~1; i_{rxy} 为栅格 y 的威胁源值 r_y 对生境栅格 x 的威胁程度; β_x 为栅格 x 的可达性水平,取值为0~1,值越接近1表示越容易到达; S_{jr} 为土地利用类型 j 对威胁源 r 的敏感性,取值范围为0~1,值越接近1代表越敏感。 i_{rxy} 的计算公式为:

$$i_{rxy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{rmax}} \right) \quad (3)$$

式中: d_{xy} 是栅格 x 与栅格 y 之间的直线距离; d_{rmax} 为威胁源 r 的最大影响距离。

本文通过对淇河流域进行实地调研和农户调查,将人类活动最为集中、对生境质量产生直接影响的耕地、城镇用地、农村居民点和道路4种土地利用类型定义为威胁源,并将林地、草地和水体定义为生境。同时参考《InVEST模型用户手册》并结合研究区特点及相关文献(吴哲等, 2013; 包玉斌, 2015; 杜世勋, 2015; 吴健生等, 2015; 陈妍等, 2016),以模型推荐值为基础,对威胁源属性进行赋值(表1)。

依据InVEST模型中生态因子的划分标准,根据各地类的生态重要程度,结合研究区实际情况,将各地类划分为天然地类、半人工地类和人工地类,生境适宜程度取值为0~1。每种生境类型对各威胁因子的相对敏感性都不同,其大小是基于景观生态学生物多样性保护的基本原则而确定的(Forman, 2003; Lindenmayer, 2008)。一般而言,对外来威胁因子的敏感程度从大到小依次为天然地类、半人工地类、人工地类,即森林、草地等天然土地利用类型敏感度较高,耕地、建设用地等人工土地利用类型敏感度较低,对威胁源的敏感性进行赋值(表2),范围为0~1,其中0表示生境对威胁因子不敏感,1则表示具有高度敏感性。

4 结果分析

4.1 土地利用变化情况

4.1.1 土地利用转移变化

研究区淇河流域最主要的土地利用类型为林地、耕地和草地,三者面积占流域总面积的90%以上(图2-3)。2000-2015年流域内土地利用变化表现为:耕地、林地面积逐渐减少,草地、建设用地面积逐渐增加,水体面积少量增加后保持稳定不变,未利用地面积呈先增后减趋势。

分别构建2000-2005、2005-2010和2010-2015年土地利用转移矩阵(表3)。结合图2a-2d可以看出,2000-2005年土地利用的转移主要发生在耕地、

表1 威胁源属性

Tab.1 Attributes of threats

威胁源	最大影响距离	权重	衰减线性相关性
耕地	8	0.7	线性
农村居民点	5	0.6	指数
城镇用地	10	1.0	指数
道路	3	0.5	线性

表2 生境适宜度及其对威胁源的敏感性
Tab.2 Habitat types and their sensitivity to each threat

土地利用类型	生境适宜度	耕地	农村居民点	城镇用地	道路
耕地	0.5	0.30	0.35	0.50	0.30
有林地	1.0	0.70	0.80	0.80	0.65
灌木林	1.0	0.60	0.65	0.70	0.60
疏林地	0.8	0.60	0.60	0.60	0.50
其他林地	1.0	0.80	0.85	0.85	0.70
高覆盖度草地	0.8	0.50	0.55	0.60	0.35
中覆盖度草地	0.7	0.55	0.60	0.65	0.40
低覆盖度草地	0.6	0.50	0.50	0.60	0.30
水体	0.9	0.65	0.65	0.75	0.60
城镇用地	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
农村居民点	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
其他建设用地	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
未利用地	0.1	0.10	0.20	0.20	0.15

图2 2000-2015年淇河流域土地利用类型分布及其变化
Fig.2 Land use distribution and changes of Qihe River Basin, 2000-2015

林地和草地之间,且三者间的转入和转出面积基本持平。耕地和建设用地发生了面积转移,但耕地转出至建设用地的面积比转入多了7.78 km²。2005-2010年耕地主要向草地和建设用地发生转移,林地则主要向草地发生转移,草地主要转移至林地、建设用地和耕地,建设用地主要与耕地相互转移,且转出面积明显小于耕地转入的面积。2010-2015年耕地依然是与林地、草地间的相互转移为主,但与2000-2005年不同的是,耕地和林地转出的面积均

少于转入的面积,草地也是转入面积较多;建设用地面积的增加主要来源于草地。
淇河流域2000-2015年各地类虽都发生了转移,但主要以耕地、林地、草地和建设用地的变化为主。15年间水体和未利用地由于面积基数较小,发生转移的面积极少,整体变化幅度不大。耕地面积大幅减少可能是:由于生态退耕,粮食种植的效益相对低下而进行农业产业结构调整,以及建设用地的占用。林地面积15年间共减少20.85 km²,减少

图3 2000-2015年各地类面积百分比
Fig.3 Percentage of land use types, 2000-2015

量较小且大都转移为草地,流域中游地区林地面积减少最为明显,可能是由于前期人们进行采伐、毁林开荒对林地造成了严重破坏,后期虽进行了人工恢复但仍需要一定的时间。

4.1.2 不同地形起伏度的土地利用变化

淇河流域地形复杂,地形起伏度在一定程度上也限制了土地利用类型的分布。结合淇河流域地形起伏度分级,在 ArcGIS 中将重分类的地形起伏度栅格图分别与 2000、2005、2010 和 2015 年土地利用图进行叠加,得到各地形起伏度等级上的土地利

用变化情况(图 4、表 4)。

结合图表可以看出,平坦区和微起伏区土地利用类型主要为耕地,小起伏与中起伏区则主要为林地和草地。2000-2015 年平坦区的变化主要发生在流域中部,耕地面积减少转为草地;微起伏区域变化集中在流域西部及北部地区,西部耕地变为林地和草地,中部则是草地转为建设用地;小起伏区的变化也集中在流域的北部,林地草地变为耕地和建设用地;中起伏区变化主要在流域南部,林地转变为草地。

4.2 土地利用变化与生境质量

4.2.1 生境质量时空变化

InVEST 模型一般用生境质量指数来代表生境质量的高低,模型中的生境质量指数在栅格图层上呈现为 0~1 的连续变化的值,值约接近 1 则代表生境质量越好,生境相对越完整,并具有相应的结构和功能,有利于维持生物多样性。通常随着土地利用强度的增加,会引起威胁源地的增加和强度的增加,进而使其附近的生境质量退化(余新晓等, 2012)。根据式(1)得到 2000-2015 年淇河流域生境质量变化情况,在 ArcGIS 中按自然间断点分级法,将淇河流域生境质量划分为一般生境(0.0~0.5)、中度重要生境(0.5~0.7)、高度重要生境(0.7~0.9)和极重要生境(0.9~1.0)4 个等级(图 5、表 5)。

从空间变化来看(图 5),淇河流域总体生境处于

表 3 2000-2015 年土地利用转移矩阵/km²
Tab.3 Land use change matrix/km², 2000-2015

时段	地类	耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地
2000-2005	耕地	708.50	9.08	7.89	0.41	0.61	0.00
	林地	9.08	668.30	4.93	0.04	0.05	0.01
	草地	7.85	4.96	681.00	0.10	0.12	
	水体	0.31	0.18	0.11	35.40	0.01	
	建设用地	8.39	0.36	0.46	0.01	78.15	0.01
	未利用地	0.01	0.01				0.09
2005-2010	耕地	647.74	1.55	3.93	0.74	7.86	0.01
	林地	6.17	664.08	8.40	0.02	0.63	
	草地	42.27	15.63	676.46	0.13	0.91	
	水体	3.76	0.18	0.89	35.07	0.74	
	建设用地	26.26	1.52	4.26	0.06	77.19	0.03
	未利用地	0.38	0.09	0.20		0.05	0.07
2010-2015	耕地	552.23	23.45	28.34		0.62	
	林地	43.81	540.54	77.54	0.00	0.13	
	草地	65.57	115.05	616.16	0.00		0.16
	水体		0.00	0.00	40.64		
	建设用地	0.22	0.27	13.37		108.58	
	未利用地						0.64

图4 各地形起伏度的土地利用变化
Fig.4 Land use change in each relief

表4 各起伏度土地利用面积变化

Tab.4 Change in total area of each land use type by relief class							
地形起伏度等级	年份	各地类面积比例/%					
		耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地
0~30 m	2000	9.75	0.11	0.27	0.63	2.24	0.00
	2005	9.57	0.11	0.27	0.63	2.42	0.00
	2010	9.29	0.11	0.24	0.62	2.73	0.00
	2015	7.99	0.17	1.47	0.62	2.75	0.00
30~70 m	2000	12.11	1.24	5.78	0.54	1.04	0.00
	2005	12.01	1.23	5.78	0.53	1.16	0.00
	2010	11.50	1.32	5.69	0.64	1.54	0.01
	2015	9.77	2.40	6.16	0.64	1.73	0.01
70~200 m	2000	10.49	23.15	23.35	0.43	0.28	0.00
	2005	10.49	23.10	23.31	0.44	0.36	0.00
	2010	8.53	23.18	24.89	0.56	0.55	0.01
	2015	8.82	22.47	24.92	0.56	0.94	0.01
>200 m	2000	0.44	6.05	2.07	0.03	0.00	0.00
	2005	0.47	6.02	2.07	0.04	0.00	0.00
	2010	0.36	5.70	2.45	0.04	0.03	0.00
	2015	0.56	4.55	3.42	0.04	0.02	0.00

较高水平,2000-2015年流域生境质量指数平均值分别为0.708、0.706、0.701、0.743。2000-2010年,高度和极重要等级生境主要分布在流域的东部地区,该地区用地类型主要为林地和草地,植被覆盖率较高,生境质量较好。一般等级生境主要分布在流域中部和东部地区,由于这2个地区主要用地类型为耕地和建设用地,受城镇、道路和耕地的影响程度较大,生境退化度较高,生境质量处于一般水平。2015年,流域中部地区的大面积一般等级生境转变为高度和极重要等级生境质量,说明淇河流域整体生境质量趋于好转。

从时间变化来看(表5),2000-2005年淇河流域生境质量变化不大,主要以一般等级生境质量为主,其他各等级生境质量面积变化较小;2005-2010年一般和高度重要等级生境面积略有减少,中度和极重要等级生境质量面积逐渐增加;至2015年流域一般等级生境质量面积大幅减少,中度重要等级生

境质量面积也呈现出减少趋势,而高度和极重要等级生境质量面积显著增加,生境质量转为以高度和极重要等级为主。以上变化表明,2000-2015年该流域生境质量逐渐提升。从该时期土地利用及其转移变化来看,2000-2005年该流域土地利用变化不明显;2005-2010年耕地面积开始逐渐减少,草地和建设用地面积少量增加,2010-2015年耕地面积大量减少,而草地面积显著增加,建设用地面积也有所增长。这说明流域生境质量受地类变化影响较大,作为威胁源的耕地面积大量减少和生境适宜性较高的草地面积的显著增加是该流域生境质量水平逐渐提升的重要原因。虽然作为威胁源的建设用地面积也在增加,但因其增加幅度小于耕地减少和草地增加的幅度,所以其对该流域整体生境质量水平的提升影响较小。

4.2.2 各地类的生境质量变化

从表6可知,2000-2015年淇河流域林地的生境

图5 2000-2015年生境质量指数
Fig.5 Habitat quality index, 2000-2015

表5 生境质量各等级面积变化
Tab.5 Change in total area of each habitat quality grades

生境质量等级	指数区间	面积比例/%			
		2000年	2005年	2010年	2015年
一般生境	0.0~0.5	36.64	36.65	34.71	25.06
中度重要生境	0.5~0.7	13.40	13.50	16.80	14.27
高度重要生境	0.7~0.9	24.34	24.16	22.48	29.37
极重要生境	0.9~1.0	25.62	25.69	26.01	31.30

质量最高,其次是草地和水体,生境质量指数最低的为建设用地。从15年间各地类的生境质量指数变化来看,耕地、草地、建设用地均呈现先减后增的趋势,可能因为三者均受人为干扰的影响,导致其生境出现不同程度的退化,但经过生态退耕、自然生态“绿色长廊”工程建设等生态保护的实施,三者的生境质量都开始提升。林地的生境质量指数在2000-2015年间呈缓慢下降趋势,但仍处于较高的水平,这可能是由于山区耕地面积较少,采伐、毁林开荒

等行为导致林地的生境开始退化;但由于林地的植被覆盖度较高,抗干扰能力较强,加上逐渐开始对其进行恢复,生境质量水平依然较好。水体和未利用地的生境质量水平在15年间呈缓慢提升的趋势。

4.3 地形起伏度与生境质量

结合淇河流域地形起伏度分级,在 ArcGIS 中将重分类的地形起伏度栅格图分别与2000、2005、2010和2015年生境质量栅格图进行叠加,得到各地形起伏度等级上的生境质量变化情况(图6、表7)。

表6 各地类生境质量指数
Tab.6 Habitat quality index of each land use type

地类	2000年		2005年		2010年		2015年	
	生境质量指数	比例/%	生境质量指数	比例/%	生境质量指数	比例/%	生境质量指数	比例/%
耕地	0.537	32.97	0.543	32.62	0.537	29.71	0.642	27.15
林地	0.910	30.67	0.908	30.67	0.908	30.50	0.900	29.72
草地	0.749	31.19	0.743	31.17	0.731	33.02	0.761	35.78
水体	0.728	1.62	0.737	1.62	0.749	1.82	0.772	1.82
建设用地	0.197	3.55	0.190	3.92	0.191	4.91	0.275	5.50
未利用地	0.497	0.00	0.500	0.00	0.499	0.04	0.549	0.03

图6 各起伏度生境质量指数变化
Fig.6 Variation of habitat quality index by relief class

表 7 各起伏度生境质量等级面积变化
Tab.7 Change in total area of each habitat quality grade by relief class

地形起伏度等级	年份	各等级面积比例/%			
		一般生境	中度重要生境	高度重要生境	极重要生境
0~30 m	2000	11.97	0.23	0.81	0.07
	2005	11.93	0.27	0.79	0.09
	2010	11.93	0.27	0.79	0.09
	2015	7.98	0.20	2.05	2.84
30~70 m	2000	12.89	3.03	3.66	1.16
	2005	12.85	3.01	3.69	1.19
	2010	12.74	3.07	3.66	1.27
	2015	8.16	2.60	5.50	4.48
70~200 m	2000	11.29	9.72	17.10	19.35
	2005	11.43	9.80	16.93	19.30
	2010	9.66	12.63	15.69	19.50
	2015	8.39	10.69	18.39	20.01
>200 m	2000	0.48	0.39	2.79	5.04
	2005	0.44	0.36	2.78	5.14
	2010	0.38	0.78	2.39	5.17
	2015	0.57	0.76	3.40	3.98

由图 6 可看出,平坦区(0~30 m)和微起伏区(30~70 m)的生境质量主要为一般等级生境质量,这是因为该区域的主要地类为耕地;而小起伏区(70~200 m)和中起伏区(>200 m)以高度重要和极重要等级生境质量为主,是因为该区域为林地和草地的面积比重较大。结合表 7 可知,2000-2010 年间平坦区的各等级生境质量变化不明显,2015 年一般等级生境质量面积比例减少了 3.95%,高度重要和极重要等级生境质量面积分别增加了 2.05%和 2.84%。微起伏区与之相似,各等级生境质量面积在 2000-2010 年间变化幅度极小,2015 年一般等级和中度重要等级的生境质量面积均在减少,高度和极重要等级生境质量面积皆有显著增加。平坦区和微起伏区的变化与这 2 个区域耕地转变为林地和草地有极大关系。在小起伏区,2000-2005 年一般等级生境质量面积增加,2005-2015 年逐年减少,极重要等级呈与之相反的趋;中度重要等级生境质量面积在 2000-2010 年逐渐增加;2015 年有所下降,高度重要等级生境质量也呈现相反趋势,这些变化与该区域林地草地向耕地和建设用地转变有关。在中起伏区,一般、中度和高度重要等级生境质量在 15 年间呈现先减后增的趋势,而极重要等级生境质量则呈现先增后减趋势,主要是由于该区域有部分林地转变为草地。就淇河流域整体而言,其生境质量在 2015 年有明显的提升。

5 结论与讨论

5.1 结论

本文在前人研究的基础上,以淇河流域为例,基于土地利用数据和地形起伏度因素,分析了流域土地利用时空变化及其在各起伏度上的分布规律,利用 InVEST 模型生境质量模块,从土地利用变化和地形起伏度两方面,采用生境质量指数对淇河流域 2000-2015 年的生境质量变化进行分析。结果表明:

- (1) 2000-2015 年流域内耕地、林地面积逐渐减少,草地、建设用地面积逐渐增加。生态退耕、农业产业结构调整以及建设用地的占用可能是耕地面积大幅减少的重要原因,林地减少可能是由于前期人们进行采伐、毁林开荒对林地造成了严重破坏。
- (2) 淇河流域 2000-2015 的平均生境质量指数均超过 0.7,位于高度重要生境水平。2015 流域整体生境水平较之前有所提升,重要原因是作为威胁源的耕地的面积大量减少和生境适宜性较高的草地面积的显著增加。
- (3) 土地利用类型的变化对生境质量有重要影响。林地的生境质量最高,其次是草地和水体,生境质量指数最低的为建设用地。15 年间耕地、草地和建设用地由于受人为干扰的影响,生境出现过不同程度的退化,但随着生态退耕、自然生态“绿色长

廊”等生态保护措施的实施,其生境质量都开始逐渐提升。

(4) 流域生境质量在地形起伏度上的分布特征表现为平坦区和微起伏区以一般等级生境质量为主,小起伏区和中起伏区则以高度重要和极重要等级生境质量为主。因此需要因地制宜地保护生态环境,提升流域生境质量水平。

5.2 讨论

本文研究得到淇河流域2000-2010年生境质量指数呈降低趋势,这一结果与杜世勋等(2015)发现的“山西省2000-2010年生境质量呈退化趋势”相吻合。这是由于该时段内研究区城镇化处于快速发展阶段,建设用地肆意扩张,严重侵占了耕地和生态用地面积,对生境造成了威胁,导致生境质量逐渐下降。而研究区生境质量在2010-2015年期间又呈现改善趋势,表明该时段内研究区土地利用规划更为科学,生态环境逐步向好的态势发展。一方面由于在研究时段后期淇河流域建设用地的扩张速率逐渐减缓,使得淇河中下游低海拔地区生态环境逐步改善;另一方面是由于退耕还林还草等生态保护政策的实施在研究时段后期已初有成效,使淇河中上游高海拔地区生境质量得到改善。此外,虽然淇河流域生境质量呈现逐步改善趋势,但其2015年生境质量指数平均值(0.743)与闽江流域生境质量指数(0.82)(白健等, 2015)还存在一定差距。因此,研究区生境质量还存在很大的提升空间,对于淇河中下游地区,要权衡经济发展与生态保护之间的关系,找到一个平衡点,以促进研究区经济发展与生态保护“双赢”目标的实现;对于淇河中上游地区,要坚持保护优先的原则,积极建立有效保护区,维持该区生物多样性,对于保障研究区整体生态安全具有重要意义。

与以往的生态系统服务评估模型相比, InVEST模型将RS和GIS的优势相结合,可更直观地将评估结果展现出来,为生境量化估算提供了可行方法。但由于受数据限制,本文只考虑了研究区内部各威胁源对生境的影响,未能考虑到研究区外部各威胁源对生境的影响,这可能使评估结果存在一定误差;部分参数数据是基于专家经验进行打分获得,而生境质量机理较为复杂,这也可能导致评估结果存在不确定性,但不会影响生境质量整体变化趋势。未来应注意搜集研究区边缘附近的威胁因子数据,同时加强对生境质量机理的研究,并进行野外调查获取实测数据,强化参数本地化处理,从

而更准确地评估生境质量时空变化特征。此外,本文仅考虑生境质量对土地利用变化的响应,未来将结合其他类型的生态系统服务评估模块,综合评估土地利用变化的生态效应,从而为淇河流域生态系统健康可持续发展提供科学依据。

参考文献(References)

- 白健, 刘健, 余坤勇, 等. 2015. 基于InVEST-Biodiversity模型的闽江流域生境质量变化评价[J]. 中国科技论文, 10(15): 1782-1788. [Bai J, Liu J, Yu K Y, et al. 2015. Evaluation of change in the ecological quality for Minjiang River Basin based on the InVEST-Biodiver model[J]. China Sciencepaper, 10(15): 1782-1788.]
- 包玉斌, 刘康, 李婷, 等. 2015. 基于InVEST模型的土地利用变化对生境的影响: 以陕西省黄河湿地自然保护区为例[J]. 干旱区研究, 32(3): 622-629. [Bao Y B, Liu K, Li T, et al. 2015. Effects of land use change on Habitat based on INVEST model: A case study of the Yellow River Wetland Nature Reserve in Shaanxi Province[J]. Arid Zone Research, 32(3): 622-629.]
- 陈学兄, 毕如田, 刘正春, 等. 2016. 基于ASTERGDEM数据的山西地形起伏度分析研究[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 36(6): 417-421. [Chen X X, Bi R T, Liu Z C, et al. 2016. Anakytical study of the relief amplitude in Shanxi Province based on ASTER GDEM data[J]. Journal of Shanxi Agricultural University: Nature Science Edition, 36(6): 417-421.]
- 陈妍, 乔飞, 江磊. 2016. 基于InVEST模型的土地利用格局变化对区域尺度生境质量的评估研究: 以北京为例[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 52(3): 553-562. [Chen Y, Qiao F, Jiang L. 2016. Effects of land use pattern change on regional scale habitat quality based on InVEST model: A case study in Beijing[J]. Journal of Peking University: Nature Science Edition, 52(3): 553-562.]
- 褚琳, 黄翀, 刘庆生, 等. 2015. 2000-2010年辽宁省海岸带景观格局与生境质量变化研究[J]. 资源科学, 37(10): 1962-1972. [Chu L, Hang C, Liu Q S, et al. 2015. Study on landscape pattern and habitat quality of Liaoning coastal zone in 2000-2010[J]. Resources Science, 37(10): 1962-1972.]
- 杜世勋, 荣月静. 2015. 基于InVEST模型山西省土地利用变化的生物多样性功能研究[J]. 环境与可持续发展, 40(6): 65-70. [Du S X, Rong Y J. 2015. Biodiversity function of land use change in Shanxi Province based on InVEST model[J]. Environment and Sustainable Development, 40(6): 65-70.]
- 傅伯杰, 张立伟. 2014. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展[J]. 地理科学进展, 33(4): 441-446. [Fu B J, Zhang L W. 2014. Land-use change and ecosystem services: Concepts, methods and progress[J]. Progress in Geography, 33(4): 441-446.]

- 李晓秀. 1997. 北京山区生态环境质量评价体系初探[J]. 资源科学, 19(5): 31-35. [Li X X. 1997. Study on Evaluation System of ecological environment quality in Beijing mountainous area[J]. Resources Science, 19(5): 31-35.]
- 刘华, 蔡颖, 於梦秋, 等. 2012. 太湖流域宜兴片河流生境质量评价[J]. 生态学杂志, 31(5): 1288-1295. [Liu H, Cai Y, Yu M Q, et al. 2012. Assessment of river habitat quality in Yixing district of Taihu Lake Basin[J]. Chinese Journal of Ecology, 31(5): 1288-1295.]
- 刘纪远. 1997. 国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[J]. 遥感学报, 1(3): 225-230. [Liu J Y. 1997. Research of national resources and environment remote sensing macro survey and dynamic monitoring[J]. Journal of remote sensing, 1(3): 225-230.]
- 欧阳志云, 郑华. 2009. 生态系统服务的生态学机制研究进展[J]. 生态学报, 29(11): 6183-6188. [Ouyang Z Y, Zheng H. 2009. Ecological mechanism of ecosystem services[J]. Acta Ecologica Sinica, 29(11): 6183-6188.]
- 王琼, 卢聪, 韩青, 等. 2017. 太子河流域生境质量及其与社会经济的关系[J]. 生态学杂志, 36(10): 2917-2925. [Wang Q, Lu C, Han Q, et al. 2017. Habitat quality and its relationship with social economy in Taizi River Basin[J]. Chinese Journal of Ecology, 36(10): 2917-2925.]
- 吴健生, 曹祺文, 石淑芹, 等. 2015. 基于土地利用变化的京津冀生境质量时空演变[J]. 应用生态学报, 26(11): 3457-3466. [Wu J S, Cao Q W, Shi S Q, et al. Spatio-temporal variability of habitat quality in Beijing-Tianjin-Hebei area based on land use change[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 26(11): 3457-3466.]
- 吴健生, 冯喆, 高阳, 等. 2014. 基于DLS模型的城市土地政策生态效应研究: 以深圳市为例[J]. 地理学报, 69(11): 1673-1682. [Wu J S, Feng Z, Gao Y, et al. 2014. Research on ecological effects of urban land policy based on DLS model: A case study on Shenzhen City[J]. Acta Geographica Sinica, 69(11): 1673-1682.]
- 吴健生, 毛家颖, 林倩, 等. 2017. 基于生境质量的城市增长边界研究: 以长三角地区为例[J]. 地理科学, 37(1): 28-36. [Wu J S, Mao J Y, Lin Q, et al. 2017. Urban growth boundary based on the evaluation of habitat quality: Taking the Yangtze River Delta as an example[J]. Scientia Geographica Sinica, 37(1): 28-36.]
- 吴未, 张敏, 许丽萍, 等. 2015. 土地利用变化对生境网络的影响: 以苏锡常地区白鹭为例[J]. 生态学报, 35(14): 4897-4906. [Wu W, Zhang M, Xu L P, et al. 2015. The impact of land use change on habitat network: A case study of *Egretta garzetta* in Su-Xi-Chang area[J]. Acta Ecologica Sinica, 35(14): 4897-4906.]
- 吴哲, 陈歆, 刘贝贝, 等. 2013. InVEST模型及其应用的研究进展[J]. 热带农业科学, 33(4): 58-62. [Wu Z, Chen X, Liu B B, et al. 2013. Research progress and application of InVEST model[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 33(4): 58-62.]
- 杨建强, 朱永贵, 宋文鹏, 等. 2014. 基于生境质量和生态响应的莱州湾生态环境质量评价[J]. 生态学报, 34(1): 105-114. [Yang J Q, Zhu Y G, Song W P, et al. 2014. The eco-environmental evaluation based on habitat quality and ecological response of Laizhou Bay[J]. Acta Ecologica Sinica, 34(1): 105-114.]
- 杨娟, 葛剑平, 洪军. 2006. 卧龙地区流域土地覆盖变化及其对大熊猫潜在生境的影响[J]. 生态学报, 26(6): 1975-1980. [Yang J, Ge J P, Hong J. 2006. The land cover changes of watersheds in Wolong and their impacts on Giant Panda potential habitats[J]. Acta Ecologica Sinica, 26(6): 1975-1980.]
- 杨朦, 龚毅, 何蕊. 2016. 资源枯竭型城市生态景观现状研究: 以鹤壁市淇河生态区为例[J]. 绿色科技, (15): 107-110. [Yang M, Gong Y, He R, et al. Resource exhausted city ecological landscape situation: A case study of Qihe River Ecological District of Hebi[J]. Journal of Green Science and Technology, (15): 107-110.]
- 叶亚平, 刘鲁君. 2000. 中国省域生态环境质量评价指标体系研究[J]. 环境科学研究, 13(3): 33-36. [Ye Y P, Liu L J. 2000. Research on index system of provincial eco-environmental quality evaluation in China[J]. Research of Environmental Sciences, 13(3): 33-36.]
- 余新晓, 周彬, 吕锡芝, 等. 2012. 基于InVEST模型的北京山区森林水源涵养功能评估[J]. 林业科学, 48(10): 1-5. [Yu X X, Zhou B, Lv X Z, et al. Assessment of forest water conservation function in Beijing mountainous area based on InVEST model[J]. Scientia Silvae Sinicae, 48(10): 1-5.]
- 张静静, 朱文博, 赵芳, 等. 2018. 山地平原过渡带地形起伏特征及其对景观格局的影响: 以太行山淇河流域为例[J]. 中国科学: 地球科学, 48(4): 476-486. [Zhang J J, Zhu W B, Zhao F, et al. 2018. Spatial variations of terrain and their impacts on landscape patterns in the transition zone from mountains to plains: A case study of Qihe River Basin in the Taihang Mountains[J]. Science China: Earth Sciences, 48(4): 476-486.]
- 张磊. 2009. 基于地形起伏度的地貌形态划分研究[D]. 石家庄: 河北师范大学: 31-35. [Zhang L. 2009. A study of the geomorphologic forms classification based on relief[D]. Shijiazhuang, China: Hebei Normal University: 31-35.]
- 赵志龙, 吴雪, 张懿铨, 等. 2017. 基于土地覆被变化和CA-Markov模型的喜马拉雅中部柯西河流域生态系统服务价值变化评估[J]. 资源与生态学报: 英文版, 8(1): 67-76. [Zhao Z L, Wu X, Zhang Y L. 2017. Assessment of changes in the value of ecosystem services in the Koshi River Basin, central high Himalayas based on land cover change and the CA-Markov model[J]. Journal of Resources and Ecology, 8(1): 67-76.]
- 周方文, 马田田, 李晓文, 等. 2015. 黄河三角洲滨海湿地生态系统服务模拟及评估[J]. 湿地科学, 13(6): 667-674.

- [Zhou F W, Ma T T, Li X W, et al. 2015. Ecosystem service simulation and evaluation of the Yellow River Delta Wetland[J]. *Wetland Science*, 13(6): 667-674.]
- Fleskens L, Duarte F, Eicher I. 2009. A conceptual framework for the assessment of multiple functions of agro-ecosystems: A case study of Trás-os-Montes olive groves[J]. *Journal of Rural Studies*, 25(1): 141-155.
- Forman R, Sperling D, Bissonette J, et al. 2003. *Road ecology: Science and solutions*[M]. New York: Island Press: 645-678.
- Häyhä T, Franzese P P, Paletto A, et al. 2015. Assessing, valuing, and mapping ecosystem services in Alpine forests[J]. *Ecosystem Services*, 14(4): 12-23.
- Lindenmayer D, Hobbs R J, Montague-Drake R, et al. 2008. A checklist for ecological management of landscapes for conservation[J]. *Ecology Letters*, 11(1): 78-91.
- Mckinney M L. 2002. Urbanization, biodiversity, and conservation[J]. *Bioscience*, 52(10): 883-890.
- Mushet D M, Neau J L, Jr N H E. 2014. Modeling effects of conservation grassland losses on amphibian habitat[J]. *Biological Conservation*, 174(3): 93-100.
- Stoll S, Frenzel M, Burkhard B, et al. 2015. Assessment of ecosystem integrity and service gradients across Europe using the LTER Europe network[J]. *Ecological Modelling*, 295: 75-87.
- Tallis H, Ricketts T, Guerry A, et al. 2012. InVEST 2.4.4 User's Guide: Integrated valuation of environmental services and tradeoffs[EB/OL]. 2012- 10- 24[2017- 04- 20]. http://ncp-dev.stanford.edu/~dataportal/invest-releases/documentation/InVEST_2.4.4_Documentation.pdf.
- Wong C P, Bo J, Kinzig A P, et al. 2015. Linking ecosystem characteristics to final ecosystem services for public policy [J]. *Ecology Letters*, 18(1): 108.

Impact of land use change on habitat in the Qihe River Basin of Taihang Mountains

REN Han, ZHANG Jingjing, ZHU Wenbo, WANG Liyuan, ZHANG Lijuan, ZHU Lianqi*

(College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China)

Abstract: Mountain areas are ecologically fragile and play an important role in providing ecosystem services and in regional sustainable development. Therefore, it is of great theoretical and practical significance to study the impact of land use change on habitat quality in these areas for balancing regional ecological protection and development. Taking the Qihe River Basin in the southern part of Taihang Mountains as the research area and based on land-use and ecological threat data, this study used the habitat quality module of the InVEST model to analyze the change of habitat quality index of the Qihe River Basin in four periods 2000, 2005, 2010, and 2015 from the aspects of land-use change and topographic relief. The aim of the study was to reveal the influence of land-use change on habitat quality and to explore the spatial distribution pattern of habitat quality, in order to provide a scientific basis for ecological protection and land-use planning in the river basin. The results show that: (1) During 2000-2015, in the Qihe River Basin cultivated land and forest land decreased gradually, and the area of grassland and construction land increased. (2) The overall habitat quality of the river basin was good, and the average value of habitat quality was over 0.7. Habitat quality had been significantly improved by 2015. (3) Change of habitat quality in the Qihe River Basin was greatly influenced by the changes of land-use types. The habitats of cultivated land, grassland, and construction land had degraded to varying degrees due to human disturbances; and the habitats of woodlands began to degrade slowly because of deforestation and land reclamation. However, due to the high vegetation coverage and strong ability to resist disturbances, and the gradual restoration of woodlands, the habitat quality is still high. (4) Moderate habitat quality is dominant in flat and slightly fluctuating areas, while the high and very high grades of habitat quality are dominant in topographically rugged areas.

Key words: land use change; InVEST model; habitat quality; Qihe River Basin