

基于土地利用变化的中国生境质量 时空演变分析

杨洁, 张德罡, 陈建纲

(甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业
可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要:评估土地利用变化引起的生境质量,揭示人类活动对该地区生态环境的影响程度,对生态环境保护和可持续发展具有重要意义。基于土地利用现状数据,应用 InVEST 模型、核密度估计法和标准差椭圆分析了我国 2000、2005、2010、2018 年生境质量时空演变与重心转移特征。研究结果表明:(1) 2000~2018 年我国的生境质量整体空间格局较为稳定,城乡接合部是生境质量降低最为剧烈的区域;(2)研究期内生境质量变化经历了活跃—相对冷却—活跃的阶段,由东南沿海向内陆转移,长江流域成为新的生境质量变化活跃区,反映了不同时期人们对自然环境的影响程度的差异;(3)2000~2018 年生境质量变化重心经历了先向东南,再向西北变化的反复过程,变化主要方向为西北—东南方向。

关键词:生境质量;时空演变;InVEST 模型;中国

中图分类号:X826 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)05-0036-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.05.006

生境质量是指自然环境为个体及种群的持续生存与发展提供适宜条件的能力^[1],是衡量生物多样性的指标^[2],区域内的生物多样性一般会随着生境质量的提高而提高。土地利用变化会改变区域生境的结构与组成要素,改变区域生境的生产能力和服务功能,生境质量的高低往往取决于土地利用的方式与强度^[3],土地利用变化是影响生境质量的主要驱动力。随着城市化的推进,我国的土地利用方式发生了快速的变化,对生态环境产生了重要的影响^[4],深刻地影响着生境质量的变动。在新型城镇化及生态文明建设背景下,为了合理利用土地与保护生物多样性,有必要对我国的生境质量变化进行分析。

目前基于土地利用变化的生境质量评估研究较

多。研究方法上,得益于 GIS 技术的发展,生态系统服务功能评估模型在生境质量评价中发挥了重要作用,常见评估模型有 InVEST 模型^[5]、SoLVES 模型^[6]、MIMES 模型^[7]、HIS 模型^[8]。其中,InVEST 模型生境质量模块通过分析土地利用/覆被图及不同地类对生物多样性的威胁程度来评估生境质量,是发展最成熟、应用最多的模型。研究内容上,学者们利用 InVEST 模型主要进行了针对不同时间段的土地利用现状以及重大土地整治工程前后的生境质量评估^[9-11]。研究尺度上,主要集中于京津冀^[12]、福建省^[13]、河北省张家口市^[14]、甘肃省榆中县^[15]等行政单元尺度,自然保护区^[16-17]、黑河中游^[18]、南四湖流域^[19]、祁连山地区^[20]、大别山区^[21]等特殊区域尺度,使中国重要生态功能区的生境质量研究更加丰富。综上所述,关于土地利用变化对生境质量影响的研究在尺度上,大多集中于地区、流域与项目区等中小型尺度上,缺乏国家级尺度的生态质量评价;在分析内容上,侧重于研究土地利用变化对生境质量的影响与生境质量的时空特征,忽略因土地利用变化而产生的生境质量的内部转移与变化。基于此,利用 2000、2005、2010 和 2018 年的中国土地利用现状数据,应用 InVEST 模

收稿日期:2020-07-06; **修回日期:**2020-09-14

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0501902);甘肃省教育厅高校科研项目(2018A-038)

作者简介:杨洁(1989-),女,甘肃甘谷人,博士研究生。

E-mail:40589957@qq.com

张德罡为通讯作者。

E-mail:zhangdg@gsau.edu.cn

型测算了不同时期的生境质量,对分析我国生境质量空间格局及演变特征提供理论支持。

1 材料和方法

1.1 数据来源

选择 2000、2005、2010 和 2018 年 4 个时段,对中国生境质量空间格局及演变特征进行分析。土地利用数据来自于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>),分辨率为 1 000 m,参考土地利用/土地覆被遥感监测数据分类系统,将土地利用类型分为包括耕地、林地、草地、水域、居民地和未利用土地 6 个一级类型以及 21 个二级类型。数据处理和图形生成通过 ArcMap 10.2 实现。

1.2 研究方法

1.2.1 InVEST 模型 InVEST 模型中的生境质量模块原理是在生境质量和威胁因子之间建立联系,通过计算得到威胁因子对生境的负面影响程度^[22]。生境质量评价包括对生境退化度和生境适宜度的计算,生境退化度是威胁源对生境的干扰强度,生境适宜度为评价单元作为生境的适宜程度。生境退化度计算公式为:

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

$$i_{txy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{\max}} \right) \quad (\text{线性衰减}) \quad (2)$$

$$i_{xy} = \exp\left(\frac{-2.99d_{xy}}{d_{\max}}\right) \quad (\text{指数衰减}) \quad (3)$$

式中, D_{xj} 为生境退化指数; R 为胁迫因子个数; ω_r 为胁迫因子 r 的权重; Y_r 为胁迫因子的栅格数; r_y 为栅格上胁迫因子的值; i_{rxy} 为栅格 y 的胁迫值 r_y 对栅格 x 的胁迫水平; β_x 为威胁因子对栅格 x 的可达性(即法律保护程度,受法律保护的区域为 0,其余区域为 1); S_{jr} 为生境类型 j 对胁迫因子的 r 的敏感程度; d_{xy} 为栅格 x 与栅格 y 的直线距离; $d_{\max}$ 为威胁源 r 的最大胁迫距离。计算得到的分值越高,说明威胁因子对生境造成的威胁程度越大,生境退化度越高。

基于上述生态退化指数结果,评估生境质量:

$$Q_{xj} = H_j \left(1 - \frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + k^z} \right) \quad (4)$$

式中, Q_{xj} 为土地利用 j 中栅格 x 的生境质量指数; H_j 为生境类型 j 的生境适宜度,取值在 0~1; k 为

半饱和常数,一般为生境退化度最大值的 1/2; z 为归一化常量,通常设置为 2.5^[22]。

该模块中需输入的参数主要有当前土地利用类型、主要生境胁迫因子、胁迫源因子权重和影响距离、土地利用类型对威胁源的敏感性程度参数等。本研究在 InVEST 模型手册上^[22],生境胁迫因子属性和不同生境类型对不同胁迫因子的敏感度均来自于文献资料^[12,21,23-24],由于建设用地是人类生产生活的主要场所,对生态环境影响最大,而沙漠、戈壁、裸地、盐碱地、裸岩石质地植被覆盖度低,环境条件恶劣,如果任意扩张,易造成土地沙化、盐碱化与荒漠化,开垦耕地易导致毁林开荒等现象的产生,会导致生境质量不同程度的降低。因此,本研究将上述情况均视为威胁因子。在 InVEST 模型中的 Habitat Quality 模块中输入参数(表 1),计算生境质量。

表 1 胁迫因子权重

Table 1 Weights for stress factors

胁迫因子	最大影响距离/m	权重	衰退类型
城乡建设用地	12	0.28	指数衰退
其他建设用地	8	0.19	指数衰退
耕地	3	0.11	指数衰退
沙漠	10	0.25	指数衰退
戈壁	6	0.14	指数衰退
裸地、盐碱地、裸岩石质地	3	0.03	指数衰退

注:其他建设用地包括交通用地与工矿用地

依据各地类越接近自然状态且动植物生长空间越大,则得分越高来确定生境质量得分,从生态系统的自我修复能力与胁迫因子的影响程度两方面来确定生境因子对胁迫因子的敏感程度。依据 InVEST 模型操作手册确定模型参数,最终得到胁迫因子属性与生境因子对胁迫因子的敏感度(表 2)。

1.2.2 核密度分析 核密度计算方法是一种非参数密度估计的统计方法,是热点和冷区识别和分析的一种有益的探测性的方法^[25]。本研究将核密度分析引入到生境质量变化规模分析,用以识别生境质量变化的活跃区域。计算公式为:

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N \frac{K(x_i - x)}{h} \quad (5)$$

式中, N 为研究区个数; h 为带宽; $K(x_i - x)$ 是随机核估计的核函数。

表 2 各类型生境对胁迫因子敏感度

Table 2 Sensitivity of habitats to stress factors

地类	生境适宜度	城乡建设用地	其他建设用地	耕地	沙漠	戈壁	裸地、盐碱地、裸岩石质地
水田	0.6	0.65	0.45	0.35	0.3	0.25	0.1
旱地	0.4	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2
有林地	1	0.7	0.5	0.6	0.45	0.3	0.1
灌木林	1	0.6	0.4	0.4	0.35	0.2	0.1
疏林地	1	0.9	0.8	0.7	0.65	0.3	0.1
其它林地	1	0.85	0.75	0.7	0.65	0.3	0.1
高覆盖度草地	0.8	0.55	0.6	0.5	0.8	0.35	0.1
中覆盖度草地	0.75	0.6	0.7	0.55	0.85	0.4	0.1
低覆盖度草地	0.7	0.65	0.8	0.6	0.75	0.4	0.2
河渠	1	0.8	0.3	0.65	0.65	0.35	0.1
水库、湖泊	1	0.85	0.35	0.7	0.85	0.4	0.1
滩涂、滩地	0.6	0.85	0.35	0.7	0.6	0.4	0.2
沙漠	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
戈壁	0.1	0.1	0.4	0.1	0.6	0.1	0.1
裸地、盐碱地、裸岩石质地	0.2	0.15	0.2	0.1	0.5	0.3	0.1
沼泽地	1	0.6	0.6	0.7	0.6	0.35	0.2
其他	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1

利用 ArcGIS 10.2 软件中的核密度分析组件,用自然断点分级法,将生境质量变化的核密度值从低到高分为 3 级,分别为较弱、一般和剧烈,据此对生境质量的变化程度进行空间识别和分析。

1.2.3 标准差椭圆 为了进一步明晰生境质量的变化方向,选择采用标准差椭圆来分析生境质量的重心

转移方向。标准差椭圆主要由重心、长轴、短轴、方位角等 4 个参数构成。重心反映地理要素的中心位置,长轴表示地理要素分布的主要方向,短轴表示地理要素分布的范围,方位角表示地理要素分布的主趋势方向^[26]。测算生境质量变化的方向分布计算公式如下:

重心: $(\bar{X}, \bar{Y}) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right)$ (6)

方位角: $\tan\theta = \left(\left(\sum_{i=1}^n w_i^2 \tilde{x}_i^2 \right) + \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2 \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n w_i^2 \tilde{y}_i^2 - 4 \sum_{i=1}^n w_i^2 \tilde{x}_i^2 \tilde{y}_i^2} \right) / 2 \sum_{i=1}^n w_i^2 \tilde{x}_i \tilde{y}_i$ (7)

长轴标准差: $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i x_i \cos\theta - w_i y_i \sin\theta)^2}{\sum_{i=1}^n w_i^2}}$ (8)

短轴标准差: $\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i x_i \sin\theta - w_i y_i \cos\theta)^2}{\sum_{i=1}^n w_i^2}}$ (9)

式中, x_i 与 y_i 为研究单元的中心坐标, w_i 为研究单元的权重, $\bar{X}$ 与 $\bar{Y}$ 为重心坐标, θ 为椭圆方位角, $\tilde{x}_i$ 与 $\tilde{y}_i$ 为各研究单元中心坐标到重心的坐标偏差, σ_x 与 σ_y 分别为沿 x 轴和 y 轴的标准差。

2 结果与分析

2.1 生境质量时空变化特征

4 个研究时点的生境质量总值为 5 711 941.79、5 703 457.49、5 700 033.12 与 5 687 986.35,相邻两

个时间点分别下降 0.15%、0.06%、0.21%，说明在保持整体稳定的同时，生境质量正在下降且下降趋势呈现出先升高后降低再升高的 N 型变化，尤其在 2010 年后下降幅度达到最大，在 4 个研究时点中，我国的生境质量不同等级之间的面积都保持着优>差>良>一般>较差的结构，但是优、一般与较差等级的生境质量面积保持着反复变化且整体下降的趋势，生境质量等级为良的面积则保持持续下降的趋势。

借助 ArcGIS 平台采用自然断点法，将全国的生境质量划分为优、良、一般、较差、差 5 个等级，得到生境质量等级图（图 1）。在 2000~2018 年我国的生境质量整体空间格局较为稳定。生境质量为优的区域在东北，主要集中于大兴安岭、小兴安岭与长白山脉，中部则主要分布于太行山与秦岭山脉，南部则分布在横断山脉南段、青藏高原东南角、云贵高原与东南丘陵之中，这些区域多为山地，大多植被覆盖良好，森林茂密，人类活动较少，是我国生境质量最好的地方；生境质量为良的区域则主要分布在内蒙古高原东北侧、青藏高原西南部以及东侧、新疆的阿尔泰山与天山山脉之中，其余区域则散布于云贵高原与黄土高原之中。这部分

区域覆盖了我军的大部分草地，整体上生境质量较好；生境质量一般的区域则分散于全国各地，在青藏高原内部、准噶尔盆地、塔里木盆地边缘以及长江中下游平原东侧分布较为密集；生境质量较差的区域主要分布于东北平原、华北平原、关中平原以及四川盆地内部。该部分区域城市密集、耕地数量多、人类活动频繁，对生态环境造成了一定程度的破坏。因此，该部分区域生境质量较差；生境质量差的区域则主要分布于西北部广阔的沙漠戈壁地带以及各个城市的周边，这部分区域要么是我国生态最为脆弱的区域，要么是经济最为发达，人类活动最为剧烈的地区。

由于城市规模的逐年扩张，除在西北地区聚集了我军最大的生境质量低值区外，其他地方的生境质量低值区大多以城市为中心，呈满天星似的分布并不断向外扩张，尤其在长三角城市群、珠三角城市群生境质量不断降低且向外蔓延，形成集中连片的生境质量低值区域，因此，城乡交错带成为生境质量下降最剧烈的区域，而生境质量低值区域以城市为中心向外扩张则成为了生境质量降低在空间上最直观、最主要的表现形式。

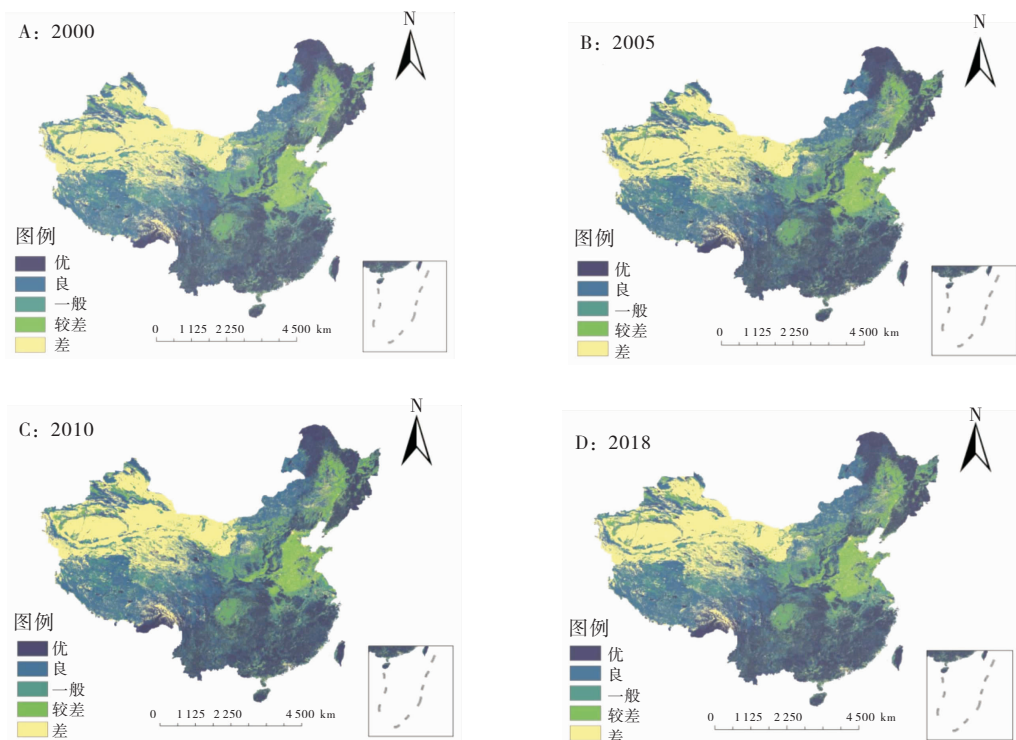


图 1 2000~2018 年中国生境质量等级图

Fig. 1 The Classes of habitat quality in China from 2000 to 2018

2.2 生境质量核密度变化特征

研究期内，生境质量变化经历了活跃—相对冷却

—活跃的阶段（图 2）。在 2000~2005 年变化剧烈的城市有 60 个，变化一般的城市有 110 个；在 2005~

2010 年,变化剧烈的城市有 26 个,变化一般的城市有 52 个;在 2010~2018 年,变化剧烈的城市有 50 个,变化一般的城市有 145 个,3 个时间段变化相对活跃的城市数量分别达到 170 个、78 个与 195 个,在 2005~2010 年无论是变化的城市数量还是变化的规模都不如其余时间段剧烈,所以我国的生境质量变化大致经历了活跃—相对冷却—活跃 3 个阶段。

生境质量变化活跃区的演变大致经历了由东南沿海向内陆转移的过程,长江流域成为新的生境质量变化活跃区。在 2000~2005 年我国的生境质量变化活跃的区域主要集中在东部沿海地带与黄土高原区域,在该时间段内,东部沿海地带凭借其得天独厚的区位条件与政策优势,率先发展经济并快速推进城市化,将大量的耕地、林地转换为建设用地,而在黄土高原则广泛开展退耕还林与防护林修建等生态修复工程,将原来的荒漠与耕地都转换为生态价值较高的林地,因此,在这一时期东部沿海地带与黄土高原成为了生境质量变化最活跃的区域;在 2005~2010 年,生境质量变化

活跃区域快速收缩,主要集中在长三角、珠三角等经济发达地区,且长三角的生境质量变化活跃区域表现出沿长江向内迁移的趋势,而珠三角的生境质量活跃区域则表现出收缩的趋势,说明在此时长三角城市群表现出更加明显的扩张趋势并有沿长江向内陆蔓延的趋势;在 2010~2018 年,生境质量变化活跃区域再次扩张,黄土高原与新疆等地成为较为活跃的生境质量变化区域,反映出人类对土地利用的改造活动在这两个区域重新变得活跃,尤其值得注意的是以长三角城市群为起点的生境质量变化活跃区进一步沿长江蔓延至武汉、长沙等地并形成集中连片的活跃区,在长江上游也形成了以成渝两座城市为核心的生境质量变化活跃区,而珠三角等东部沿海地区的生境质量虽有变动,但是其变动的面积与程度都无法与长江流域相比。这反映了我国生境质量变化的活跃区域由沿海转向内陆的过程,更折射出长江经济带成为新的生境质量活跃区与城市扩张的主要区域。

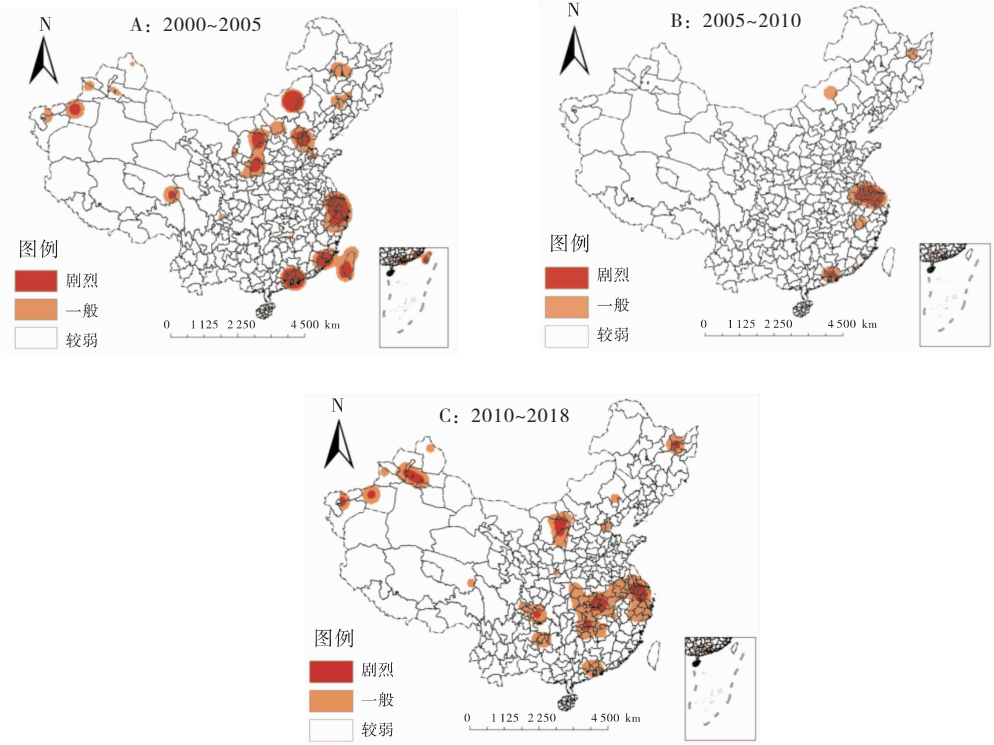


图 2 不同时间段生境质量变化规模核密度

Fig. 2 The kernel density of habitat quality changes in different periods

2.3 生境质量变化方向分布

为了进一步度量生境质量变化的方向分布,利用标准差椭圆对我国 2000~2018 年的生境质量变化规模进行分析(表 3)。结果表明,生境质量变化的重心

始终位于我国几何中心的东南方向,说明我国的生境质量变化的区域主要集中在我国的东部与南部,通过重心转移的轨迹发现,我国的生境质量变化的空间分布有一个反复的变化,即重心先向东南移动,再向西北

方向返回,这是由于在两个时间段城市扩张重心转移造成,当生境质量变化的重心向东南方向移动时,此时的城市扩张重心正处于我国的东南方向,而到 2010~2018 年,城市扩张的重心向内陆的长江经济带等地移

动,长江经济带成为城市扩张最快的区域,也成为生境质量变动最快的区域。同时,2005~2010 年的重心转移速率只是 2010~2018 年的一半。

表 3 2000~2018 年生境质量变化标准椭圆差
Table 3 Standard ellipticity of habitat quality changes from 2000 to 2018

时间/年	重心		重心转移			长轴/km	短轴/km	方位角/°
	X 坐标	Y 坐标	方向	距离/km	速度 /(km·a ⁻¹)			
2000~2005	593 296.55	4 283 056.01				1 605.29	1 064.95	122.54
2005~2010	796 765.29	4 235 022.41	东南	209.06	41.82	1 274.48	1 083.24	123.20
2010~2018	396 326.14	4 268 063.23	西北	401.80	80.36	1 565.70	1 108.74	116.94

3 讨论

生境质量是生态系统服务水平的重要表征,是区域生态安全保障和人类福祉提升的关键^[15]。近年来,学者们大多采用生态指标法、层次分析法等研究不同区域生境质量,但结果的准确性、精细化程度有待提高^[27],不同方法的评价结果也存在较大差异。随着定量模型的不断发展,InVEST 模型越来越广泛地被应用到生境质量评价中,模型评估法有利于减小评估差异,从而为生态系统管理和决策提供更加可靠的依据^[21]。本研究基于 InVEST 模型的评估结果,综合核密度估计、标准差椭圆进行我国生境质量活跃区域识别与重心转移研究,较好地揭示了 2000~2018 年生境质量时空演变规律。研究结果表明我国整个西北地区的生境质量都偏低,随着人类活动尤其是城市化的推进,生境质量低值区域不断扩大。因此,必须要在国土空间规划中,合理地配置生态用地,尤其在长江经济带与生态环境脆弱的区域更需要统筹好城市发展与生态保护两者的关系。本研究仍存在一些不足:一是评估生境质量采用的 InVEST 模型虽相对较为成熟,在空间表达、动态研究等方面优于传统评估方法^[10],但模型运行参数设置存在一定的主观性,尤其研究范围大时,不同区域生态条件差异较大,采用同一标准评估生境质量是否适宜还有待验证;二是本研究并未探究生境质量演化形成机制,这需要在后续的研究中深入探索。

4 结论

(1)2000~2018 年我国的生境质量整体空间格局较为稳定,城乡结合部是生境质量降低最为剧烈的区

域。生境质量优的区域主要分布于东北大兴安岭、长白山脉,中部太行山与秦岭山脉,南部横断山脉南段、青藏高原东南、云贵高原区域;生境质量良的区域主要分布在内蒙古高原东北侧、青藏高原西南部;生境质量一般的区域在青藏高原内部、准噶尔盆地、塔里木盆地边缘以及长江中下游平原东侧分布较为密集;生境质量较差的区域主要分布于东北平原、华北平原、关中平原以及四川盆地内部;生境质量差的区域则主要分布于西北部广阔的沙漠戈壁地带以及各个城市的周边。

(2)研究期内生境质量变化经历了活跃—相对冷却—活跃的阶段,由东南沿海向内陆转移,长江流域成为新的生境质量变化活跃区,反映了不同时期人们对自然环境的影响程度的差异。具体来看,2000~2005 年生境质量变化活跃的区域主要集中在东部沿海地带与黄土高原区域;2005~2010 年生境质量活跃区域快速收缩,主要集中在长三角、珠三角等经济发达地区;2010~2018 年生境质量活跃区域再次扩张,黄土高原与新疆等地成较为活跃的区域,以长三角城市群为起点的生境质量变化活跃区进一步沿长江蔓延至武汉、长沙等地并形成集中连片的活跃区。

(3)2000~2018 年生境质量变化的重心始终位于我国几何中心的东南方向,变化重心经历了先向东南,再向西北变化的反复过程,变化主要方向为西北—东南方向,说明生境质量变化的区域主要集中在我国的东部与南部,这是与东部与南部是我国人口最多、经济最发达的地区,也是人类对生态环境影响最深的地区有关。

参考文献:
[1] Fellman J B, Hood E, Dryer W, *et al.* Stream Physical

- Characteristics Impact Habitat Quality for Pacific Salmon in Two Temperate Coastal Watersheds[J]. *Plos One*, 2015,10(7):e0132652.
- [2] 王建华,田景汉,吕宪国. 挠力河流域河流生境质量评价[J]. *生态学报*,2010,20(2):481—486.
- [3] McKinney M L. Urbanization,Biodiversity,and Conservation: the impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems[J]. *BioScience*,2002,52(10):883—890.
- [4] 刘纪远,张增祥,徐新良,等. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. *地理学报*,2009,64(12):1411—1420.
- [5] Kareiva P,Tallis H,Ricketts T H,*et al.* Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services[M]. Oxford:Oxford University Press,2011.
- [6] Sherrouse B C,Semmens D J,Clement J M. An application of Social Values for Ecosystem Services (SolVES) to three national forests in Colorado and Wyoming[J]. *Ecological Indicators*,2014,36(37):68—79.
- [7] Boumans R,Costanza R. The multiscale integrated Earth Systems model (MIMES): The dynamics, modeling and valuation of ecosystem services[J]. *Issues in Global Water System Research*,2008,2(2):56—58.
- [8] Brown G,Brabyn L. The extrapolation of social landscape values to a national level in New Zealand using landscape character classification[J]. *Applied Geography*,2012,35(1/2):84—94.
- [9] 刘世梁,尹艺洁,杨珏婕,等. 漫湾库区景观破碎化对区域生境质量的影响[J]. *生态学报*,2017,37(2):619—627.
- [10] 钟莉娜,王军. 基于 InVEST 模型评估土地整治对生境质量的影响[J]. *农业工程学报*,2017,33(1):250—255.
- [11] 刘春芳,王川,刘立程. 三大自然区过渡带生境质量时空差异及形成机制——以榆中县为例[J]. *地理研究*,2018,37(2):419—432.
- [12] 吴健生,曹祺文,石淑芹,等. 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*,2015,26(11):3457—3466.
- [13] 刘智方,唐立娜,邱全毅,等. 基于土地利用变化的福建省生境质量时空变化研究[J]. *生态学报*,2017,37(13):4538—4548.
- [14] 王惠,许月卿,刘超,等. 基于地理加权回归的生境质量对土地利用变化的响应——以河北省张家口市为例[J]. *北京大学学报(自然科学版)*,2019,55(3):509—518.
- [15] 刘春芳,王川. 基于土地利用变化的黄土丘陵区生境质量时空演变特征——以榆中县为例[J]. *生态学报*,2018,38(20):7300—7311.
- [16] 尹楠,王俊. 西安市泾渭湿地自然保护区生境质量变化评估[J]. *水土保持通报*,2018,38(6):322—328.
- [17] 黄贤峰,杨永菊,武艺,等. 1990—2017 年喀斯特自然保护区土地利用变化对生境质量的影响[J]. *水土保持通报*,2018,38(6):345—351.
- [18] 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[J]. *干旱区研究*,2017,34(1):200—207.
- [19] 张大智,孙小银,袁兴中,等. 南四湖流域 1980—2015 年土地利用变化及其对流域生境质量的影响[J]. *湖泊科学*,2018,30(2):349—357.
- [20] 薛晓玉,王晓云,段含明,等. 基于土地利用变化的祁连山地区生境质量时空演变分析[J]. *水土保持通报*,2020,40(2):278—284.
- [21] 黄木易,岳文泽,冯少茹,等. 基于 InVEST 模型的皖西大别山区生境质量时空演化及景观格局分析[J]. *生态学报*,2020,40(9):2895—2906.
- [22] Sharp R,Tallis H T,Ricketts T,*et al.* InVEST 3. 2. 0 User's Guide[M]. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund,2014.
- [23] 包玉斌,刘康,李婷,等. 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*,2015,32(3):622—629.
- [24] 陈妍,乔飞,江磊. 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)*,2016,52(3):553—562.
- [25] 于杰,宁静,董芳辰,等. 1950—2013 年三江平原东北部耕地分布变化特征分析[J]. *干旱区资源与环境*,2017,31(12):79—86.
- [26] 周翼,谢保鹏,陈英,等. 基于灯光数据的中国县域城镇建设用地产出效率时空演变特征[J]. *地球信息科学学报*,2018,20(12):1733—1744.
- [27] 巩杰,马学成,张玲玲,等. 基于 InVEST 模型的甘肃白龙江流域生境质量时空分异[J]. *水土保持研究*,2018,25(3):191—196.

0.05). 4) The slope aspect and growth year affected the biomass of single turfgrass ($P < 0.05$). The biomass of 3 turfgrasses increased in 2nd and 3rd years, and decreased in 4th and 5th years ($P < 0.05$). In 2nd and 3rd years, the single plant biomass of tall fescue in slope B was higher than that in slope A and C, while those of ryegrass and bluegrass in slope C were higher than those in slope A and B ($P < 0.05$). In 4th year, the biomass of 3 turfgrasses in slope C all reached the highest and that of slope B was the lowest. 5) The slope aspect and growth year affected the root-shoot ratio of turfgrasses ($P < 0.05$). The influence degree of slope aspect on root-shoot ratio was $F. arundinacea < L. perenne < P. pratensis$, and it was $F. arundinacea > P. pratensis > L. perenne$ for growth year. The root-shoot ratio of 3 turfgrasses in slope B was higher than that on slope A and C. In conclusion, the slope aspect mainly affected community composition and dominant species, and the growth year mainly affected the biomass. The combination of slope direction and year reduced the important value, relative density, relative yield and growth of turfgrass, which lead to serious turf degradation.

Key words: slope aspect; growth year; turf; important value; root-shoot ratio

(上接 42 页)

Analysis on spatial-temporal variation of habitat quality in China based on land use change

YANG Jie, ZHANG De-gang, CHEN Jian-gang

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino- U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: It is of great significance for the ecological environmental protection and sustainable development by assessing the habitat quality changes caused by land use and revealing the impact from human activities on the ecological environment. This study analyzed the characteristics of the spatial-temporal variation of habitat quality and the evolution of key point in China in 2000, 2005, 2010 and 2018 based on the current land use data by applying the InVEST model, the kernel density estimation method and the standard deviation ellipse. The results showed that 1) The overall spatial pattern of habitat quality in China from 2000 to 2018 was relatively stable, and the habitat quality in urban-rural junction area reduced most severely; 2) In study period, the habitat quality changes experienced the stage of active-relatively cool-active, and the active area shifted from the south-east coast to the inland. The Yangtze River Basin became a new active area of habitat quality changes, reflecting the difference in the degree of human impact on the natural environment in different periods; 3) The core point of habitat quality changes from 2000 to 2018 experienced a repeated process of first to the southeast and then to the northwest. The main direction of change was northwest-southeast.

Key words: habitat quality; spatial-temporal variation; InVEST model; China