

南方传统农区乡村生态空间时空演变分析

费建波¹ 夏建国¹ 胡佳² 马黛玉¹ 赵涛³ 吴玺³

(1. 四川农业大学资源学院, 成都 611130; 2. 广元市利州区农业农村局, 广元 628000;
3. 四川省国土整治中心, 成都 610041)

摘要:以川中丘陵区为例,在提出乡村生态空间分类体系基础上,采用转移速率、动态度、转移矩阵、洛伦兹曲线和生境质量评估等方法分析传统农区生态空间在数量、组成结构和空间分布的时空演变特征及其对生境质量的影响。研究表明:川中丘陵区乡村生态空间约占国土空间总面积的98%,人均生态空间面积达1 640.68 m²;2000—2018年,乡村生态空间从88 298.72 km²降至87 322.22 km²,年均缩减量为54.25 km²,综合动态度为0.41%,生态空间转移率为0.20%,农田和森林生态系统是构成乡村生态空间的主要成分,两者在近20年间的保留率均超过90%,这表明随着时间的推移,传统农区生态空间数量虽在减少,但整体结构依然稳定。生产生态空间和基础生态空间分布基尼系数分别在0.08和0.34左右,表现为绝对平均和相对合理的空间分布形态,说明传统农区生态空间总体上呈现出均衡且稳定的空间分布格局。川中丘陵区生境质量整体不高,2000年、2010年和2018年的生境质量指数分别为0.310、0.311和0.309,生境质量指数呈先上升后下降的趋势,与乡村基础生态空间的数量改变呈正相关关系。

关键词:传统农区;生态空间;分类体系;时空演变;川中丘陵区

中图分类号:Q149 文献标识码:A 文章编号:1000-1298(2020)02-0143-10

OSID:



Spatio-temporal Evolution Analysis of Rural Ecological Space of Traditional Agricultural Areas in Southern China

FEI Jianbo¹ XIA Jianguo¹ HU Jia² MA Daiyu¹ ZHAO Tao³ WU Xi³

(1. College of Resource and Environmental Sciences, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China
2. Agriculture and Rural Affairs Bureau of Lizhou District of Guangyuan City, Guangyuan 628000, China
3. Center of Land Consolidation and Rehabilitation in Sichuan Province, Chengdu 610041, China)

Abstract: Attempting to study the classification and spatial evolution of rural ecological space in traditional agricultural areas, in order to lay a foundation for the utilization of natural resources and the reconstruction of spatial pattern in traditional agricultural areas. Taking hilly areas of central Sichuan Province as an example, based on the rural ecological space classification system, the spatio-temporal evolution of ecological space in traditional agricultural areas in terms of quantity, composition and spatial distribution were analyzed by using the change rate, dynamic attitude, transfer matrix and lorenz curve. The results showed that the rural ecological space accounted for about 98% of the total land area in the hilly area of central Sichuan Province, and the per capita ecological space area reached 1 640.68 m². The rural ecological space was reduced from 88 298.72 km² to 87 322.22 km² between 2000 and 2018, with an average annual decrease of 54.25 km². The comprehensive dynamic attitude of ecological space was 0.41%, and the transfer rate of ecological space from 2000 to 2018 was 0.20%, the farmland and forest ecosystems was the main structure of ecological space in the study area, the retention rate were more than 90% in the past 20 years, it was shown that with the passage of time, although the amount of ecological space in traditional agricultural areas was decreasing, the structure of ecological space was still stable overall. The Gini coefficient of the two type ecological space was 0.08 and 0.34 respectively, which indicated absolute average and relatively reasonable spatial distribution, it was shown that

收稿日期: 2019-07-04 修回日期: 2019-08-18

基金项目: 四川省国土资源科研项目(KJ-2018-1、KJ-2019-1)

作者简介: 费建波(1989—),男,工程师,博士生,主要从事土地资源管理研究,E-mail: fei.372001608.bob@qq.com

通信作者: 夏建国(1967—),男,教授,博士生导师,主要从事土壤资源与环境研究,E-mail: xiajianguo@126.com

ecological space presented a balanced and stable spatial distribution pattern in the traditional agricultural areas. The overall habitat quality in the hilly area of central Sichuan Province was not high. In 2000, 2010 and 2018, the mean value of habitat quality was 0.310, 0.311 and 0.309, respectively. The values showed a trend of first decline and then rise, which was positively correlated with the quantity change of rural basic ecological space.

Key words: traditional agricultural areas; ecological space; classification system; spatio-temporal evolution; hilly area of central Sichuan Province

0 引言

生态空间是国土空间的重要组成部分,是发挥生态服务功能、提供生态产品的核心载体。生态空间相关研究因工业化发展带来诸多城市问题而兴起^[1],因此,城市地区是生态空间研究的热点区域^[2-3]。在国外,霍华德的著名田园城市理论描绘了城乡空间中理想的生态空间网络^[4],开启了生态空间研究与探索热潮,生态思想成为解决所有与生命现象有关问题具有普遍意义的指导思想,美国学者提出了“生态导向”这一概念,迅速在全球范围内得到积极响应^[5]。此后,生态基础设施、区域绿地、生态廊道、生境网络和环境廊道等概念相继出现^[6]。在国内,生态空间研究同样集中在城市地区,乡村生态空间研究未受到足够重视。由于乡村地区的人口、土地和社会经济发展程度等都与城市地区存在很大区别,甚至分属两个极端,因此,乡村生态空间在规模数量、组成结构、空间格局和功能目标等方面都有所不同。姚娜等^[7]对北京市平原地区的生态空间研究表明,自中心城区向郊区,生态空间比例逐渐升高,斑块更加聚集;王甫园等^[1]在对国内外城市生态空间研究进展进行梳理后指出,城市生态空间的总体目标应注重可持续多元化利用,改善人居环境,增进人类福祉,加强社会-生态空间的交互关系与机理研究。

近年来,随着生态文明建设和乡村振兴等战略的实施,乡村生态空间研究逐渐受到学术界的关注。目前,乡村生态空间的研究可以归纳为两类:①与城市地区一起作为整体对象^[8-9],从多种尺度开展研究。孔令桥等^[10]以长江流域为对象,探讨了面向流域生态空间规划的方法与管理对策;陈永林等^[11]以长株潭城市群为例,对城市群生态空间进行了预测模拟研究;谢花林等^[12]以鄱阳湖生态经济区为例,从生态系统服务功能重要性评价和生态系统敏感性辨识了鄱阳湖生态经济区关键性生态空间;李国煜等^[13]以平潭岛为例,探讨了自然生态空间用途管制分区划定的逻辑框架和技术方法。②与生产生活空间一起作为整体对象开展研究。王娜等^[14]从“三生空间”的概念解析入手,分析了城市边缘区绿色生

态空间的保护困境和原因,并提出创新规划理念、转变发展思路和注重规划实施 3 方面的规划对策;邓春等^[15]基于农户间共生界面的分析,研究了村落生产生活生态空间重构的共生路径。

综上,当前大多数研究没有将乡村与城市生态空间严格区分开来,而是作为一个整体开展研究,这不利于真正理解乡村生态空间的本质内涵、空间分布特征和演变规律。乡村生态空间是指直接或间接提供生态产品和服务,承担着维护乡村地区生命安全、保障社会经济活动正常进行的国土空间,不仅要为乡村地区提供生态产品和服务,而且还是构建区域生态网络、消纳城市污染的重要生态源地。科学地分析乡村生态空间演变规律是开展乡村生态空间评价、规划、利用和保护的研究基础。

本研究以长江上中游典型传统农区——川中丘陵区为例,在生态空间分类基础上,开展乡村生态空间时空格局演变及其生境质量响应的实证分析。传统农区往往是在农业现代化程度低、生产组织方式相对陈旧的情况下,为了获得充足的农产品,不断开垦土地,原生生态空间不断被挤占,从而导致产生区域水土流失、土壤板结、腐殖质减少、地力退化等生态问题,使生态环境不断恶化。传统农区的生态问题代表着广大农村地区的生态现状,对其开展乡村生态空间演变规律分析,可为乡村地区生态安全格局构建、土地利用方式优化提供参考和借鉴。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

川中丘陵区 (103° 15' ~ 108° 30' E, 27° 35' ~ 32° 52' N) 介于龙泉山和华蓥山之间,是长江上游重要生态屏障和水源涵养区,包括 69 个县级行政区,面积约 8.96 × 10⁴ km²,海拔 250 ~ 600 m,地势自西南向东北逐渐变高。出露的地层主要为中生代紫色红砂岩和泥岩,质地松软,极易遭受侵蚀和风化,中度及中度以上侵蚀面积占总面积的 34.55%^[16];气候属亚热带湿润季风气候,年降雨量 900 ~ 1 000 mm,人口密度达 616 人/km²,土地垦殖率高达 55%,农用地以坡耕地为主,作物主要有水稻、玉米、小麦、甘蔗、油菜等^[17],植被以桉木、柏木和松树为主,平均

森林覆盖率不到7%。由于研究区降雨量大、垦殖率高、植被覆盖率低等,该区域水、土、肥流失严重,土地大多坡大土薄,土层厚度多在50 cm以下。川中丘陵区是四川省粮食、经济作物的主产区,属传统农区,也是长江上游水土流失最严重的区域,在嘉陵江、涪江和沱江流域,每年冲走的泥沙多达 2.5×10^9 t,大多数县市土壤侵蚀的平均流失量为土壤允许流失量的4~10倍^[18]。

1.2 数据来源与研究方法

采用的基础数据包含2000年、2010年和2018年3个不同时期的遥感影像解译结果数据,空间分辨率为30 m×30 m,来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)和四川省自然资源主管部门,基于遥感影像的土地类型划分参照刘纪远等研究结果,具体为耕地、林地、草地、水域、居民地和未利用土地6个一级类型以及25个二级类型^[19]。人口数据、经济数据主要来源于四川省2001、2011、2019年统计年鉴。在对比分析已有研究成果,界定乡村生态空间内涵基础上,采用归纳比较法构建乡村生态空间分类体系,将遥感影像解译结果按照分类体系进行传统农区生态空间的分类^[20],快速提取出不同时期生态空间的现状信息;然后分别采用转移速率、动态度、转移矩阵和洛伦兹曲线分析近20年传统农区生态空间在数量、组成结构及其空间分布等方面的时空演变规律,并分析环境质量对生态空间变化的响应结果。

1.2.1 生态空间分类

当前,国内学者对于生态空间的内涵还未形成共识,因此在生态空间分类上还没有形成统一的分类体系。生态空间分类大致可分为归纳比较法^[21]、适宜性评价法^[19]、综合评价法^[12,22-24]和直接定义法^[11,13-14,25-26]4种。其中归纳比较法和直接定义法都是根据土地利用方式/地表覆盖类型是否具有生态服务功能来判定其是否属于生态空间的范畴;适宜性评价法和综合评价法则是通过构建生态空间识别指标体系,基于评价单元的地形地貌、气候水文、土壤植被等条件来判定其是否属于生态空间的范畴。两类方法在范围界定上存在较大差异,主要表现为农用地和养殖水面是否作为生态空间存有较大的争议^[2]。传统农区的土地利用方式主要以耕地为主,也正是由于大量的开垦性农业生产造成诸如水土流失、土壤质量下降和耕地地力退化等生态环境问题。将耕地、坑塘等地类纳入生态空间的范畴进行科学管理和利用,对于协调农业生产与生态保护之间的矛盾、提升区域生态服务功能价值和促进社会经济全面发展具有重要作用。本文采用现状分

类法,综合考虑基础数据可获取性、研究尺度、分类结果应用和自然资源管理的需要,将乡村生态空间划分为基础生态空间和生产生态空间2类。其中基础生态空间是指以发挥土地生态功能为目标的用地空间,是人类与大自然长期以来和谐共处,自然衍生出来的空间范围,是构建区域生态安全格局和稳定持续供给生态服务功能和生态产品的底线型空间,包括林地、草地、水域和未利用地;生产生态空间是指以发挥土地生产功能为主,兼具生态功能的用地空间,该类生态空间是将自然资源转换为人类生活所需物质的重要场所,是持续稳定供给人类所需物质的空间载体,主要包括耕地。

1.2.2 生态空间转移速率和动态度

生态空间转移速率和动态度用以定量分析一段时期内生态空间数量变化关系。生态空间转移速率是指某种生态空间类型在一定时期内的转移量,计算式为

$$T_i = \frac{A_{ia} - A_{ib}}{A_{ia}t} \times 100\% \tag{1}$$

式中 T_i ——第*i*种生态空间类型的转移速率
 A_{ia} ——研究基期第*i*种生态空间类型的总面积
 A_{ib} ——研究末期第*i*种生态空间类型的总面积
 t ——研究时段

转移效率为正值时,表明生态空间数量处于减少态势,反之表明生态空间数量处于增加态势,值越大表明变化趋势越明显^[27]。

生态空间动态度表征研究区生态空间变化的综合活跃程度^[19],计算式为

$$D_D = \frac{\sum_{ij} \frac{\Delta A_{i-j}}{A_i}}{t} \times 100\% \tag{2}$$

式中 D_D ——生态空间综合动态度
 A_i ——研究基期第*i*类生态空间类型的面积
 ΔA_{i-j} ——基期到末期第*i*类生态空间类型转换为*j*类型的数量
 n ——生态空间类型数量

1.2.3 生态空间转移矩阵

生态空间转移矩阵是指在一定时期内,一种生态空间转换为另一种生态空间类型的过程,用以表征生态空间组成结构的变化关系。其数学表达式为

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \tag{3}$$

式中 A_{ij} ——研究初期与研究末期的生态空间状态

1.2.4 生态空间分布洛伦兹曲线与基尼系数

洛伦兹曲线与基尼系数被广泛应用于收入、消费、财富等分配的均衡程度^[28]。本文通过绘制生态用地分布洛伦兹曲线, 求算生态用地分布基尼系数, 研究区域内生态用地空间分布及演变规律。具体方法如下:

求出各村各类生态空间的区位熵。计算式为

$$L = \frac{\frac{A_i}{A_{ie}}}{\frac{A_l}{A_{il}}} \times 100\%$$

(4)

式中 L ——区位熵

A_{ie} ——研究区内 i 类生态空间的总面积

A_l ——某县土地总面积

A_{il} ——研究区土地总面积

将计算得到的区位熵从小到大排序, 计算累积百分比, 以研究区土地总面积累积百分比为横坐标, 以某类生态空间的面积累积百分比为纵坐标, 生成空间洛伦兹曲线。

进一步引入基尼系数对各类生态空间分布的均匀程度进行定量分析, 参考以往土地利用结构基尼系数的计算方法^[29], 得到生态空间结构基尼系数计算式为

$$G = \sum_{c=1}^{n-1} (M_c N_{c+1} - M_{c+1} N_c)$$

(5)

式中 G ——生态空间结构基尼系数

M_c ——第 c 县某类生态空间的面积累积百分比

N_c ——第 c 县土地面积占研究区土地面积的累积百分比

M_{c+1} ——第 $c+1$ 县某类生态空间的面积累积百分比

N_{c+1} ——第 $c+1$ 县土地面积占研究区土地面积的累积百分比

本研究选择的区域包括行政区县个数, c 的取值范围为 $0 < c < 70$, c 为整数。生态空间结构基尼系数越小, 表示该类生态空间在研究区分布越平均; 反之, 表示分布越不平均。

1.2.5 生境质量评估

由斯坦福大学研究开发的 InVEST 模型 Habitat 模块是评估生境质量的重要模型^[30], 该模块可以计算生态系统能供给物种生存繁衍的潜力, 评估结果指数越大, 生境质量越高, 计算式为

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

(6)

其中

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \frac{W_r}{\sum_{r=1}^R W_r} r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr}$$

(7)

$$i_{rxy} = 1 - \frac{d_{xy}}{d_{rmax}}$$

(8)

式中 j ——生境类型

Q_{xj} ——土地利用/覆被 j 中栅格 x 的生境质量

D_{xj} ——土地利用/覆被 j 中栅格 x 所受的胁迫程度

k ——半饱和常数, 通常取 D_{xj} 最大值的一半

H_j ——土地利用/覆被 j 的生境适宜性

z ——常量, 通常取 2.5^[31]

R ——威胁因子

y ——威胁因子 r 栅格图层的栅格数

Y_r ——威胁因子所占栅格数

W_r ——威胁因子权重

r_y ——栅格的威胁因子 (0 或 1)

i_{rxy} ——栅格 y 的威胁因子 r_y 对生境栅格 x 的威胁水平

β_x ——栅格 x 的可达性水平值 (0 ~ 1), 1 表示极易达到

S_{jr} ——生境类型 j 对威胁因子 r 的敏感程度

d_{xy} ——栅格 x 和栅格 y 之间的直线距离

d_{rmax} ——威胁因子 r 的最大影响距离^[32]

生境质量以土地利用/覆被数据为基础, 将城镇、工矿用地、农村居民点和交通运输等纯人工环境作为威胁因子, 设定生境质量为 0, 参考钟莉娜等^[33]的研究, 分别对各威胁因子的最大影响距离、权重、衰退类型及土地利用类型对威胁因子的敏感度进行赋值, 借助 ArcGIS 软件获取相关基础数据图层。

2 结果与分析

2.1 传统农区生态空间数量特征

2.1.1 生态空间面积变化特征分析

由表 1 可知, 2000—2018 年间, 川中丘陵区生态空间总量由 88 298.72 km² 降至 87 322.22 km², 年均缩减 54.25 km², 其中 2000—2010 年, 年均缩减 26.64 km², 2010—2018 年, 年均缩减 88.76 km²。从总体变化趋势来看, 川中丘陵区生态空间的总量在不断下降, 特别是近年来下降趋势更为显著, 主要原因可能是受到快速城镇化和工业化发展, 大量建设占用挤压了生态空间。从生态空间的类型来看, 基础生态空间从 2000 年的 18 399.54 km² 增长到 2018 年的 18 528.27 km², 年均增长 7.15 km², 主要得益于研究区多年的退耕还林、还草活动, 使得植被迅速恢复, 加之乡村地区人类活动对基础类生态空间本身的干扰并不强烈, 因此基础性生态空间得到较好改善; 生产生态空间从 2000 年 69 899.18 km² 降低到 2018 年 68 793.95 km², 年均缩减达到 61.40 km²,

其主要原因是粗放式的城镇化建设导致大量农田被占用;此外,农村大量劳动力转移到城市,导致农村地区的耕地处于撂荒状态,从影像上解译出来为湿地、荒草地等地类,因此在数量上表现为生产生态空

间减少,基础生态空间增加的特征。分析表明,传统农区基础生态空间的面积处于不断增长的态势,生产生态空间处于逐年降低的态势,生产生态空间数量变化是造成研究区生态空间总量下降的原因。

表 1 2000、2010、2018 年川中丘陵区生态空间面积

Tab.1 Statistics of ecological space areas in hilly area of central Sichuan Province in 2000, 2010 and 2018				
类型	年份	基础生态空间	生产生态空间	总量
面积及占比/km ² (%)	2000	18 399. 54(20. 53)	69 899. 18(77. 99)	88 298. 72(98. 52)
	2010	18 574. 35(20. 72)	69 457. 99(77. 49)	88 032. 34(98. 21)
	2018	18 528. 27(20. 67)	68 793. 95(76. 75)	87 322. 22(97. 42)
人均面积/m ²	2000	350. 04	1 365. 51	1 724. 95
	2010	335. 80	1 289. 34	1 634. 13
	2018	335. 53	1 245. 81	1 581. 35

从人均生态空间数量来看,传统农区人均生态空间面积达到 1 640. 68 m²,人均基础生态空间和生产生态空间分别为 340. 46、1 300. 22 m²。2000—2018 年,平均每年人均基础生态空间下降 0. 81 m²、平均每年人均生态空间面积下降 7. 98 m²。结果表明,传统农区人均生态空间数量虽大,但下降的趋势明显,不仅对生态环境保护提出了挑战,也对区域粮食安全造成了影响。

2.1.2 生态空间动态度分析

川中丘陵区 2000—2018 年间生态空间变化率见表 2,综合动态度为 0. 41%,其中 2000—2010 年比 2010—2018 年综合动态度更高,表明研究区生态空间转入与转出在不断趋于稳定。从生态空间转移速率来看,3 个时间段的转移速率均为正值,分别为 0. 03%、0. 07% 和 0. 20%,表明近 20 年研究区生态空间数量处于不断减少的态势;而 2010—2018 年比 2000—2010 年减少速率更大,说明近年来生态空间减少的趋势更加明显。具体来看,研究区基础生态

空间呈先转入后转出的特征,2000—2010 年,基础生态空间以年均 0. 1% 的速率转入,2010—2018 年,基础生态空间以年均 0. 02% 的速率转出;转出的生态空间类型主要为湿地和其他特殊生态系统,转出速率分别为 1. 1% 和 0. 79%;其次是草地生态系统,转出速率为 0. 27%;转入生态空间类型主要为森林和水域生态系统,转入速率分别为 0. 16% 和 0. 53%。研究区生产生态空间主要为农田生态系统,2000—2010 年和 2010—2018 年的转移速率分别为 0. 06% 和 0. 08%,两者均为正值,表明生态空间处于不断转出的状态,且随着时间推移,转出的速率还在增加,主要是由于大量的人类建设活动导致非生态空间扩张迅猛,挤占了生态空间。综合来看,2000—2010 年,基础生态空间以转入为主、生产生态空间以转出为主。2010—2018 年,基础生态空间以转出为主、生产生态空间转出速率加快,这是造成两个时间段的生态空间总量转移速率与综合动态度不呈正相关关系的原因。

表 2 川中丘陵区 2000—2018 年生态空间变化率

Tab.2 Ecological space changing rate in hilly area of central Sichuan Province from 2000 to 2018										%
年间	基础生态空间						生产生态空间		生态空间	综合动态度
	转移率	森林	草地	水域	湿地	其他	转移率	农田	转移率	
2000—2010	-0. 10	-0. 12	0. 07	-0. 08	0. 08	-0. 03	0. 06	0. 06	0. 03	0. 16
2010—2018	0. 02	0. 03	0. 06	-0. 17	0. 43	0. 38	0. 08	0. 08	0. 07	0. 10
2000—2018	-0. 13	-0. 16	0. 27	-0. 53	1. 10	0. 79	0. 28	0. 28	0. 20	0. 41

综上,在社会经济发展不断压缩生态空间和国家近年来不断加大生态环境保护力度等多方因素的综合影响下,传统农区生态空间呈现出总体数量减少、局部生态改善的局面。其中对于区域生态安全格局具有极重要作用的基础性生态空间受到人类活动的干扰越来越弱,其数量有所增加;对于改善区域生态环境质量和保障区域粮食安全具有极重要作用

的生产生态空间的数量呈不断减少态势,且减少的趋势还在增强。

2.2 生态空间组成结构及变化特征

传统农区生态空间占据着国土空间的主导地位,总面积约占到研究区国土空间的 98%,生产生态空间和基础生态空间各占 77% 和 21% 左右。其中农田和森林生态系统是研究区最主要的生态空间

组成部分,其次是草地和水域生态系统,湿地和其他类生态空间仅占研究区很小比例。本文通过计算各类型生态空间在保持自身面积不变的保留率来表征该类生态空间的稳定性,保留率越大,表明稳定性越高。从表3可以看出,研究区在2000—2018年间农田保留率最高,达到96.11%,其次是湿地和森林生态系统,保留率分别为93.92%和91.52%,草地和其他生态系统保留率相对较低,分别为85.60%和81.90%,但所有生态系统类型的保留率都高于

80%,说明川中丘陵区生态空间的组成结构比较稳定。从转移规模来看,农田系统转移规模最大,转移去向主要为森林、建设用地和草地,体现了近20年西南地区退耕还林还草活动与城市扩张活动两方面的综合影响结果。此外,森林、草地、水域和建设用地主要转移为农田生态系统,说明自2000年以来,开展的农用地整治和建设用地整治活动取得了一定成效。分析表明,川中丘陵区生态空间数量在不断减少的同时,其组成结构也在发生着剧烈变化。

表3 川中丘陵区2000—2018年生态系统类型转移面积和保留率

Tab.3 Ecosystem type transfer area and retention rate in hilly area of central Sichuan Province from 2000 to 2018								km ²	
	2000年	2018年							
	面积合计	森林	草地	水域	湿地	其他	农田	建设用地	
森林	1 465 229	1 341 564 (91.52%)	2 707	3 077	45	29	112 687	5 120	
草地	216 110	5 685	185 061 (85.60%)	218	25	4	23 951	1 166	
水域	140 983	1 731	191	126 821 (89.92%)	586	107	10 575	972	
湿地	14 527	171	25	1 335	12 191 (93.92%)	2	537	266	
其他	2 289	19	1	153	2	1 875 (81.90%)	189	50	
农田	6 988 791	127 960	24 685	12 472	673	166	6 717 862 (96.11%)	104 973	
建设用地	133 112	1 136	195	1 055	111	6	12 400	118 209 (88.80%)	
2018年面积合计		1 478 266	212 865	145 131	13 633	2 189	6 878 201	230 756	

2.3 生态空间分布格局及演变特征

2.3.1 生态空间分布特征分析

由图1可知,生态空间几乎覆盖了整个研究区。生产生态空间是川中丘陵区最主要的生态空间类型,主要分布在研究区中心的浅丘地带,呈现出一定的水平差异性,分布最广的区域是介于长江以北和涪江以南的区域,以沱江流域两侧最为集中;其次在嘉陵江流域两侧分布着大量生产生态空间。基础生态空间主要分布在研究区周边的低山深丘区,分布

最为集中的是渠江流域的平行山一带,包括巴州区、平昌县、宣汉县、大竹县、前锋区和华蓥市等区县,其次是川南地区的宜宾县、高县、长宁县、纳溪区、泸县;此外,龙泉山脉南部的井研县、仁寿县、荣县、威远县等地也是基础生态空间的主要分布区域。近20年来,川中丘陵区非生态空间的区域扩张非常明显,特别是位于丘区中部的城市扩张更为显著。

2.3.2 生态空间分布演变特征分析

选择洛伦兹曲线和基尼系数分析近20年来川

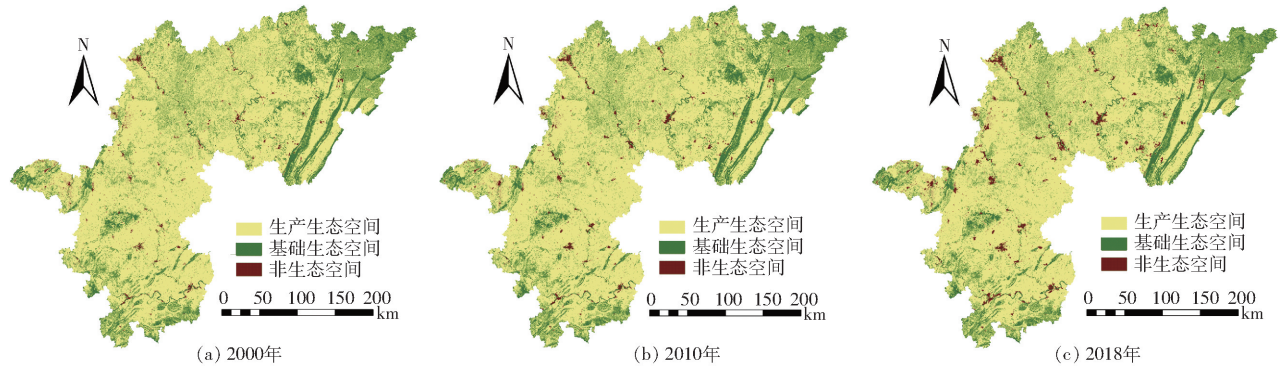


图1 2000、2010、2018年川中丘陵区生态空间分布

Fig.1 Distribution of ecological space in hilly area of central Sichuan Province in 2000, 2010 and 2018

中丘陵区生态空间分布格局演变规律,根据空间洛伦兹曲线的下凹程度判定生态空间在研究区内的分布差异性。若基尼系数小于 0.2 表示分布绝对平均,0.2~0.3 表示比较平均,0.3~0.4 表示相对合理,0.4~0.5 表示差距较大,0.5 以上表示差距悬殊^[24]。从图 2 可知,研究区 3 个典型年份的生产生态空间分布洛伦兹曲线非常接近绝对平均线,基尼系数始终保持在 0.08 左右,属于绝对平均的分布状态。基础生态空间分布的洛伦兹曲线下凹程度较大,说明其空间分布均衡性相对较差,3 个典型年份的基尼系数均在 0.34 左右,属于相对合理的分布状态。对比分析不同时期空间分布洛伦兹曲线和基尼

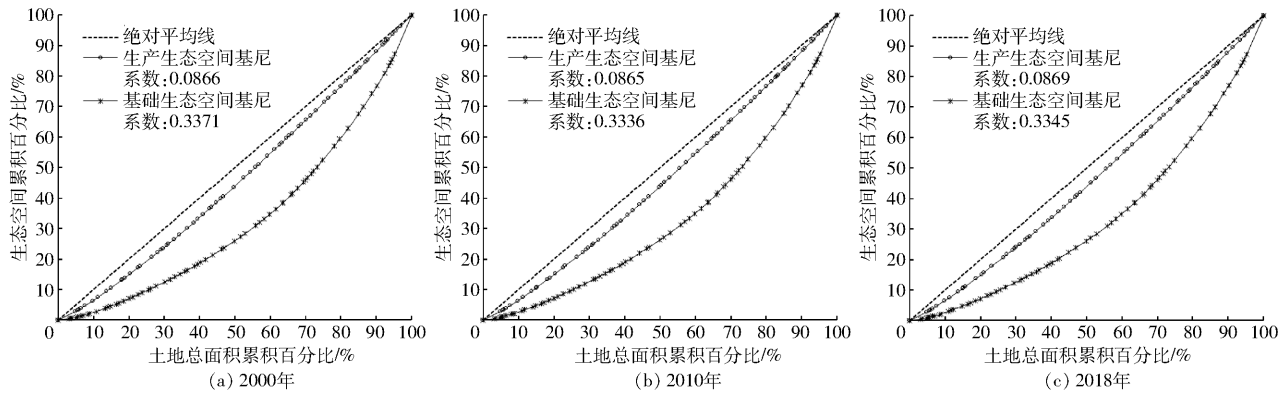


图 2 2000、2010 和 2018 年川中丘陵区生态空间分布洛伦兹曲线

Fig. 2 Lorenz curves for ecological space distribution of central Sichuan Province in 2000, 2010 and 2018

2.4 生境质量时空演变特征

基于 InVEST 模型的 Habitat 模块得到研究区 2000、2010、2018 年的生境质量空间分布,在 ArcGIS 软件辅助下,进行重分类处理结果见表 4 和图 3。川中丘陵区生境质量指数介于 0~0.9 之间,本文将生境质量指数均分为 5 个等级。总体来看,生境质量主要为中低等级,指数介于 0.18~0.36 之间,土地面积比例达到 67% 左右,其次是中高和高等级,生境质量指数介于 0.54~0.90 之间,土地面积比例分别达到 11% 和 9% 左右,说明川中丘陵区生境质量整体不高,且呈现出两极分化的态势。生境质量高值区占比与基础生态空间面积占比相当,生境质量低值区占比与生产生态空间面积占比相当,是因

系数说明,近 20 年研究区生态空间分布特征无明显变化。从生产生态空间洛伦兹曲线来看,69 个县级行政区在生产生态空间曲线上分布比较均匀,说明各县之间的生产生态空间面积占比相对均衡;从基础生态空间洛伦兹曲线来看,69 个县级行政区在曲线上的分布呈现出从密集到稀疏的规律,这说明各县基础生态空间占比呈现出两极分化的特征。分析表明,在传统农区生态空间分布格局总体上比较均衡,特别是生产生态空间分布形态属于绝对平均,且随着时间的推移,其研究区生态空间分布形态并无明显变化。但是,不同类生态空间之间的分布均衡性具有差异性,生产生态空间比基础生态空间分布更为均衡。

为基础生态空间主要由高生境质量的林地、草地和水域构成,生产生态空间主要由生境质量一般的耕地构成。从生境质量变化趋势来看,生境质量低值区(0~0.18)面积不断增加,主要是由于近年城市和工业园区的大量建设,导致城镇周边生态空间不断受到挤占,生境质量不断下降,另外,基础设施的兴建也使得在乡村地区出现大量非透水地面,是导致生境质量下降的另一个原因。生境质量中值区(0.18~0.54)面积占比从 2000 年的 78.17% 下降到 2018 年的 76.94%,由于生境质量中值区主要由耕地构成,近年大量良田沃土被城市建设占用,生产生态空间数量的不断下降是导致中值区生境质量面积下降的主要原因。生境质量高值区(0.54~0.90)

表 4 不同等级生境质量土地面积及比例

Tab. 4 Area and proportion of land with different grades of habitat quality

等级	生境质量指数	2000 年		2010 年		2018 年	
		面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
低	0~0.18	13 312	1.49	15 977	1.78	23 078	2.57
中低	0.18~0.36	608 992	67.95	604 581	67.45	597 940	66.71
中	0.36~0.54	91 682	10.22	91 693	10.23	91 634	10.23
中高	0.54~0.72	99 884	11.14	100 793	11.25	100 591	11.22
高	0.72~0.90	82 430	9.20	83 256	9.29	83 057	9.27

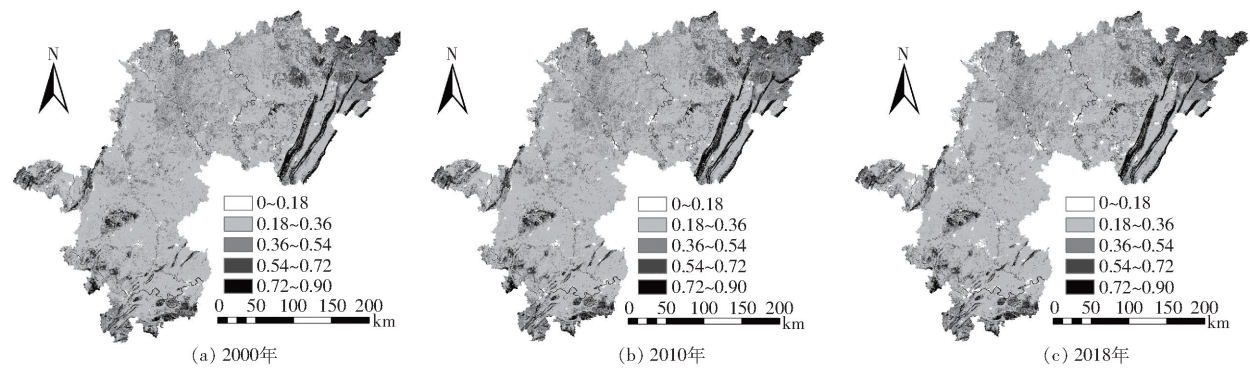


图 3 2000、2010、2018 年川中丘陵区生境质量空间分布

Fig. 3 Distribution maps of habitat quality in hilly area of central Sichuan Province in 2000, 2010 and 2018

面积先增加后减少,是由于生境质量高值区主要由林地、草地等基础性生态空间用地类型组成,受益于多年以来的退耕还林和地质灾害治理工程的实施,川中丘陵区基础生态空间范围的内的生境质量有所提高,同时,在 2010—2018 年川中丘陵区城镇化率平均增速达到 1.5%,高于 2000—2010 年 1.3% 的增速,因此在近年,研究区生境质量高值区面积有所减少。

川中丘陵区生境质量整体较差,主要是由于生境质量较低耕地面积较大且分散,其次是研究区城镇建设规模大,作为主要威胁因子对周边生态空间的生境质量产生较大的负面影响。对比图 1 和图 3 可知,川中丘陵区生境质量高值区分布与基础生态空间的分布比较吻合,都是集中分布在研究区东北角和西南角的低山丘陵区。通过对 3 个典型年份生境质量的栅格平均值进行统计分析可知,2000、2010、2018 年生境质量指数分别为 0.310、0.311 和 0.309,生境质量呈先上升后下降的趋势,其变化趋势与基础生态空间数量变化规律一致,说明乡村生境质量变化与乡村基础生态空间的数量改变呈正相关关系。

3 讨论

(1)研究对象限定在乡村地区生态空间,未将城市生态空间纳入研究范围,主要是考虑到城市生态空间范围小、受到人类活动的影响比较深刻,变化特点十分明显,而乡村地区生态空间的特点是范围广、人口密度相对较小,其时空变化特点不明显,城市与乡村生态空间呈现出完全相反的特征,若将两者看作一个整体进行研究,可能会有较大的误差。

(2)将耕地和坑塘水面纳入乡村生态空间范畴开展研究,主要是基于两个方面的考虑。一方面,学者们对于耕地和养殖水域等用地类型是否可以归类为生态空间有不同的观点,但对于它们具有生态价值的看法则较为一致。另一方面,在传统农区,耕地

和坑塘水面往往是最主要的用地类型,将其纳入生态空间识别的范围,不仅可以科学管护和利用生态空间,同时也可以为区域粮食生产格局的优化,协调区域生产发展和生态保护之间的矛盾提供帮助。

(3)选择川中丘陵为研究区,从生态空间的数量、组成结构和空间格局变化等方面对乡村生态空间进行详细解析,在了解传统农区生态空间分布特征和时空演变规律等方面取得了一定成果,但对其变化的深层次原因分析还很欠缺,下一步将继续在此基础上开展传统农区生态空间布局影响因素、变化趋势预测和空间结构优化等方面深入研究。更多地揭示传统农区生态空间的客观规律,以便更科学地为乡村生态空间保护和合理利用提供参考。

4 结论

(1)传统农区生态空间数量虽不断减少,但总体结构稳定。川中丘陵区生态空间数量在近 20 年减少了 976.50 km²,年缩减量达 54.25 km²,综合动态度为 0.41%;2000—2010 年、2010—2018 年和 2000—2018 年 3 个时间段的转移速率分别为 0.03%、0.07% 和 0.20%,这说明传统农区生态空间数量在减少,特别是近年下降趋势更为显著。川中丘陵区生态空间组成结构以农田和森林生态系统为主,近 20 年,农田、湿地和森林生态系统保留率均超过 90%,说明生态空间的组成结构总体稳定;从转移的规模和去向来看,农田系统转移规模最大,转移去向主要为森林、草地生态系统和建设用地,森林、草地、水域和建设用地主要转移去向均是农田生态系统。

(2)传统农区生态空间分布格局总体上比较均衡且稳定,但不同类型生态空间之间的分布差异性明显。生产生态空间主要分布在川中丘陵区中心的浅丘地带,基础生态空间主要分布在川中丘陵周边的低山深丘区,生产生态空间和基础生态空间基尼系数分别在 0.08 和 0.34 左右,表现为绝对平均和

相对合理的空间分布形态,生产生态空间比基础生态空间分布更为均衡;从2000年到2018年,传统农区各类生态空间的洛伦兹曲线和基尼系数变化不大,表明生态空间的分布格局总体稳定。

(3)川中丘陵区生境质量整体不高,中低等级生境质量的土地面积比例达到67%左右,中高和高

等级生境质量土地面积比例仅分别为11%和9%左右;研究区2000年、2010年和2018年的生境质量指数分别为0.310、0.311和0.309,生境质量呈先上升、后下降的趋势,其变化趋势与研究区基础生态空间数量变化规律一致,说明乡村生境质量变化与乡村基础生态空间的数量改变呈正相关关系。

参 考 文 献

[1] 王甫园,王开泳,陈田,等. 城市生态空间研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2017, 36(2): 207-218.
WANG Fuyuan, WANG Kaiyong, CHEN Tian, et al. Progress and prospect of research on urban ecological space[J]. Progress in Geography, 2017, 36(2): 207-218. (in Chinese)

[2] 陈爽,刘云霞,彭立华. 城市生态空间演变规律及调控机制——以南京市为例[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2270-2278.
CHEN Shuang, LIU Yunxia, PENG Lihua. Dynamics of urban ecological space evolution and policy responses: a case study of Nanjing City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2270-2278. (in Chinese)

[3] 董菁,左进,李晨,等. 城市再生视野下高密度城区生态空间规划方法——以厦门本岛立体绿化专项规划为例[J]. 生态学报, 2018, 38(12): 4412-4423.
DONG Jing, ZUO Jin, LI Chen, et al. Research on ecological spatial planning method in high-density area under the urban regeneration vision: a case study of a three-dimensional greening plan on Xiamen Island[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12): 4412-4423. (in Chinese)

[4] HOWARD E. To-morrow: a peaceful path to real reform[M]. London, UK: S. Sonnenschein & Co, 1898.

[5] MANSOUX L S, POPOFF A, MILLET D. A simplified model to include dynamic product-user interaction in the eco-design Process[J]. Journal of Industrial Ecology, 2014, 18(4): 529-544.

[6] NGOM R, GOSSELIN P, BLAIS C. Reduction of disparities in access to green spaces: their geographic insertion and recreational functions matter[J]. Applied Geography, 2016, 66: 35-51.

[7] 姚娜,马履一,杨军,等. 北京市平原地区1992—2013年生生态空间演变[J]. 生态学杂志, 2015, 34(5): 1427-1434.
YAO Na, MA Lüyi, YANG Jun, et al. Changes of ecological spaces in Beijing's plain areas between 1992 and 2013[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(5): 1427-1434. (in Chinese)

[8] 王戈,于强, YANG Di, 等. 包头市层级生态网络构建方法研究[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(9): 235-242, 207.
WANG Ge, YU Qiang, YANG Di, et al. Construction method of hierarchical ecological network in Baotou City[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(9): 235-242, 207. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190928&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.09.028. (in Chinese)

[9] 于强,刘智丽,岳德鹏,等. 磴口县生态网络多情景模拟研究[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(2): 182-190.
YU Qiang, LIU Zhili, YUE Depeng, et al. Multi-scenario simulation of ecological networks in Dengkou County[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(2): 182-190. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180224&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.02.024. (in Chinese)

[10] 孔令桥,王雅晴,郑华,等. 流域生态空间与生态保护红线规划方法——以长江流域为例[J]. 生态学报, 2019, 39(3): 835-843.
KONG Lingqiao, WANG Yaqing, ZHENG Hua, et al. A method for evaluating ecological space and ecological conservation redlines in river basins: a case of the Yangtze River Basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(3): 835-843. (in Chinese)

[11] 陈永林,谢炳庚,钟典,等. 基于微粒群-马尔科夫复合模型的生态空间预测模拟——以长株潭城市群为例[J]. 生态学报, 2018, 38(1): 55-64.
CHEN Yonglin, XIE Binggen, ZHONG Dian, et al. Predictive simulation of ecological space based on a particle swarm optimization-Markov composite model: a case study for Chang-Zhu-Tan urban agglomerations[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(1): 55-64. (in Chinese)

[12] 谢花林,姚干,何亚芬,等. 基于GIS的关键性生态空间辨识——以鄱阳湖生态经济区为例[J]. 生态学报, 2018, 38(16): 5926-5937.
XIE Hualin, YAO Gan, HE Yafen, et al. Study on spatial identification of critical ecological space based on GIS: a case study of Poyang Lake ecological economic zone[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(16): 5926-5937. (in Chinese)

[13] 李国煜,曹宇,万伟华. 自然生态空间用途管制分区划定研究——以平潭岛为例[J]. 中国土地科学, 2018, 32(12): 7-14.
LI Guoyu, CAO Yu, WAN Weihua. Research on ecological space classification and land use zoning regulation: a case study of Pingtan Island[J]. China Land Science, 2018, 32(12): 7-14. (in Chinese)

[14] 王娜,张年国,王阳,等. 基于三生融合的城市边缘区绿色生态空间规划——以沈阳市西北绿楔为例[J]. 城市规划, 2016, 40(增刊1): 116-120.
WANG Na, ZHANG Nianguo, WANG Yang, et al. Green space planning in urban fringe based on industrial-residential-ecological spatial fusion: a case study of Shenyang northwest green wedge[J]. City Planning Review, 2016, 40(Supp.1): 116-120. (in Chinese)

[15] 邓春,王成,王钟书. 村落生产生活生态空间重构的共生路径研究——基于农户间共生界面的分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(3): 96-103.
DENG Chun, WANG Cheng, WANG Zhongshu. The restructuring symbiotic path of rural production, living and ecology space-based on the analysis of symbiotic interfaces among peasants[J]. Journal of China Agricultural Resources and Regional

- Planning, 2018, 39(3): 96–103. (in Chinese)
- [16] 孙凡, 袁红叶, 朱波, 等. 紫色土丘陵区典型林地土壤温室气体释放研究[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2008, 25(4): 16–21.
SUN Fan, YUAN Hongye, ZHU Bo, et al. A study of emission of greenhouse gases from soil in different forestland of hilly area in central Sichuan Province[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science Edition), 2008, 25(4): 16–21. (in Chinese)
- [17] 罗新蕊, 杨武年, 陈桃. 川中丘陵区植被遥感动态监测及其驱动力分析[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(1): 103–111.
LUO Xinrui, YANG Wunian, CHEN Tao. Dynamic monitoring of vegetation and its driving force analysis using remoting sensing in hilly area of central Sichuan Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(1): 103–111. (in Chinese)
- [18] 陈治谏, 刘邵权, 杨定国, 等. 长江上游水土流失与防治对策研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 1–5.
CHEN Zhijian, LIU Shaoquan, YANG Dingguo, et al. Soil and water loss and its controlling countermeasures in the upper reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(4): 1–5. (in Chinese)
- [19] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3–14.
LIU Jiyan, KUANG Wenhui, ZHANG Zengxiang, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land-use changes in China since the late 1980s[J]. Journal of Geographical Sciences, 2014, 69(1): 3–14. (in Chinese)
- [20] 吕雅慧, 张超, 鄢文聚, 等. 高分辨率遥感影像农田林网自动识别[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(1): 157–163.
LÜ Yahui, ZHANG Chao, YUN Wenju, et al. Automatic recognition of farmland shelterbelts in high spatial resolution remote sensing data[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(1): 157–163. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180120&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.01.020. (in Chinese)
- [21] 张合兵, 于壮, 邵河顺. 基于多源数据的自然生态空间分类体系构建及其识别[J]. 中国土地科学, 2018, 32(12): 24–33.
ZHANG Hebing, YU Zhuang, SHAO Heshun. Construction of classification system and identification of ecological spatial based on multi-sources data[J]. China Land Sciences, 2018, 32(12): 24–33. (in Chinese)
- [22] 陈薇羽. 浠水县城镇-农业-生态空间识别及其格局研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2018.
CHEN Weiyu. Urban area, agricultural area and ecological area's space identity and spatial pattern of Xishui County[D]. Wuhan: Central China Normal University, 2018. (in Chinese)
- [23] 李昭阳, 宋明晓, 张赢月, 等. 基于生物多样性保护的生态空间辨识研究——以吉林省辽河流域为例[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(7): 220–224.
LI Zhaoyang, SONG Mingxiao, ZHANG Yingyue, et al. Study on identification of ecological space based on biodiversity conservation: taking Liaohe River basin of Jilin Province as an example[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(7): 220–224. (in Chinese)
- [24] 迟妍妍, 许开鹏, 王晶晶, 等. 京津冀地区生态空间识别研究[J]. 生态学报, 2018, 38(23): 8555–8563.
CHI Yanyan, XU Kaipeng, WANG Jingjing, et al. Identifying regional ecological space in Beijing, Tianjin, and Hebei[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(23): 8555–8563. (in Chinese)
- [25] 许尔琪, 张红旗. 中国核心生态空间的现状、变化及其保护研究[J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1322–1331.
XU Erqi, ZHANG Hongqi. Land use structure and change of important ecological space in China and protection research[J]. Resources Science, 2015, 37(7): 1322–1331. (in Chinese)
- [26] 范晨璟, 田莉, 申世广, 等. 1990—2015 年间苏锡常都市圈城镇与绿色生态空间景观格局演变分析[J]. 现代城市研究, 2018(11): 13–19.
FAN Chenjing, TIAN Li, SHEN Shiguang, et al. Analysis on the landscape pattern change of the urban and green ecological space in Suzhou–Wuxi–Changzhou metropolitan area from 1990 to 2015[J]. Urban Research, 2018(11): 13–19. (in Chinese)
- [27] 刘欣, 赵艳霞, 武爱彬, 等. 河北省浅山丘陵区土地利用变化及人文驱动分析[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(1): 126–131.
LIU Xin, ZHAO Yanxia, WU Aibin, et al. Land use changes and its anthropogenic driving factors in hilly region, Hebei Province[J]. Research of Agricultural Modernization, 2015, 36(1): 126–131. (in Chinese)
- [28] 安国强. 基于 EKC & Lorenz Curve 的山东省生态用地时空演变及保护区划研究[J]. 中国土地科学, 2018, 32(9): 89–96.
AN Guoqiang. Spatio-temporal evolution and conservation zoning of ecological land in Shandong Province based on EKC & Lorenz Curve[J]. China Land Science, 2018, 32(9): 89–96. (in Chinese)
- [29] 于莉, 宋安安, 郑宇, 等. “三生用地”分类及其空间格局分析——以昌黎县为例[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(2): 89–96.
YU Li, SONG Anan, ZHENG Yu, et al. The ecological–living–industrial land classification system and the analysis of its spatial distribution: case of Changli county[J]. Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(2): 89–96. (in Chinese)
- [30] THEOBALD D M, CROOKS K R, NORMAN J B. Assessing effects of land use on landscape connectivity: loss and fragmentation of western US forests[J]. Ecological Applications, 2011, 21(7): 2445–2458.
- [31] NELSON E, MENDOZA G, REGETZ J, et al. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2009, 7(1): 4–11.
- [32] HALL L S, KRAUSMAN P R, MORRISON M L. The habitat concept and a plea for standard terminology[J]. Wildlife Society Bulletin, 1997, 25(1): 173–182.
- [33] 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.
ZHONG Lina, WANG Jun. Evaluation on effect of land consolidation on habitat quality based on InVEST model[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(1): 250–255. (in Chinese)