

文章编号: 1004-4353(2020)03-0277-06

基于生态足迹的珲春市生态承载力分析

焉恒琦^{1,2}, 金日¹, 朱卫红^{1*}, 王宗明^{2,1}, 毛德华²

(1. 延边大学 地理与海洋科学学院 湿地生态功能与生态安全重点实验室, 吉林 延吉 133002;

2. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所 湿地生态与环境重点实验室, 吉林 长春 130102)

摘要: 以吉林省珲春市为研究区,运用生态足迹理论对珲春市2006年和2017年的生态足迹、生态承载力及生态压力指数进行了定量计算,并对生物资源消费和能源消费的变化进行了分析.结果显示:珲春市的人均生态足迹呈增加趋势,即由2006年的 $10.116 \text{ hm}^2/\text{人}$ 增加到2017年的 $11.667 \text{ hm}^2/\text{人}$;人均生态承载力呈下降趋势,即由2006年的 $2.89 \text{ hm}^2/\text{人}$ 降到2017年的 $2.76 \text{ hm}^2/\text{人}$;生态压力指数由2006年的1.23降到2017年的0.63,即土地生态安全由较不安全变为较安全.本研究结果可为珲春市的生态发展提供科学依据和决策支持.

关键词: 土地生态安全评价;生态足迹;珲春市;可持续发展

中图分类号: X826; X24

文献标识码: A

Analysis of ecological capacity in Hunchun City based on ecological footprint

YAN Hengqi^{1,2}, JIN Ri¹, ZHU Weihong^{1*}, WANG Zongming^{2,1}, MAO Dehua²

(1. Key Laboratory of Wetland Ecological Functions and Ecological Security, College of

Geography and Ocean Sciences, Yanbian University, Yanji 133002, China;

2. Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Northeast Institute of

Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China)

Abstract: Taking Hunchun City of Jilin Province as the research area, the ecological footprint theory was applied to quantitatively calculate the ecological footprint, ecological carrying capacity and ecological stress index of Hunchun City in 2006 and 2017, and the changes of biological resources consumption and energy consumption and related policies were analyzed. The results showed that the per capita ecological footprint of Hunchun increased from $10.116 \text{ hm}^2/\text{person}$ in 2006 to $11.667 \text{ hm}^2/\text{person}$ in 2017. The per capita ecological carrying capacity showed a downward trend with a value decline from $2.89 \text{ hm}^2/\text{person}$ in 2006 to $2.76 \text{ hm}^2/\text{person}$ in 2017. The ecological tension index dropped from 1.23 in 2006 to 0.63 in 2017, indicating that the ecological environment changed safer from less safe. The findings of this study could provide decision support for the ecological development of Hunchun City.

Keywords: land ecological security evaluation; ecological footprint; Hunchun City; sustainable development

0 引言

近年来,随着城市化与工业化进程不断地加快,土地的生态问题日益突出,因此土地生态安全

问题受到人们的关注.生态足迹(ecological footprint)理论最早由 W.E.Rees^[1]提出,该理论可对区域的可持续发展进行定量测算,且计算简单,因此该理论常被学者用以预测某一国家或地区的可

收稿日期: 2020-06-08

* 通信作者: 朱卫红(1972—),女,教授,研究方向为湿地生态学和生态保护等.

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41771109);吉林省科技厅自然科学重大项目(20180101002JC)

持续发展程度. 2000 年, 张志强等^[2]首次将生态足迹的概念引入国内, 并随后利用该理论对 2000 年中国西部 12 省(区市)的生态足迹^[3]和甘肃省 1998 年的生态足迹^[4]进行了研究. 随着生态足迹理论的不断应用, 一些学者发现利用生态足迹理论研究土地生态承载力时会存在一些问题, 如生物生产性面积的确定以及均衡因子和产量因子的选取等. 为此, 研究者对生态足迹理论的相关参数进行了优化. 例如: 熊德国等^[5]利用生产性生态足迹测算了区域可持续发展, 并明确区分了生产性与消费性的生态足迹; 顾晓薇等^[6]利用国家公顷代替全球公顷对沈阳市的生态足迹进行了计算与分析; 刘某承等^[7-8]利用净初级生产力计算了我国的均衡因子和产量因子等. 上述优化方法不仅完善了生态足迹理论, 也使得该方法的评价结果更为客观合理.

2006 年, 赵先贵等^[9]首次提出了生态压力这一概念, 该概念可以很好地反映区域生态环境的承压程度. 2013 年, 黄海等^[10]依据生态足迹理论并结合生态压力指数对重庆市合川区的土地生态安全状况进行了评价, 结果表明采用生态足迹理论进行区域土地生态安全评价是科学有效的. 基于此, 本文以珲春市为研究对象, 利用生态足迹模型并结合 RS 与 GIS, 定量计算 2006 年和 2017 年珲春市的生态足迹与生态承载力, 并对其土地生态安全状况进行评价, 以期对珲春市的可持续发展提供依据.

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

珲春市位于吉林省东部(东经 130°03′~131°18′, 北纬 42°25′~43°30′), 地处中、朝、俄三国交界, 如图 1 所示. 珲春市的地貌主要包括山地、丘陵、盆地 3 个梯度^[11], 其东、南和北部以山地为主, 主要分布的是针叶林和针阔混交林, 西部是珲春河冲积平原^[12]. 珲春市作为我国唯一一处在中、朝、俄交界的边境城市, 目前已成为东北亚地区合作的重要平台.

1.2 数据来源及处理

研究数据通过以下方式获取: ①选取 2006 年和 2017 年的 Landsat TM/OLI 遥感影像(表 1)作

为本研究中土地覆被信息提取的基础数据源, 影像在美国地质勘探局(USGS)官方网站(<http://glovis.usgs.gov/>)下载获得. 遥感解译所选用的影像均为所对应的年份(5 月下旬到 9 月). ②通过珲春市统计年鉴、统计公报和中国统计年鉴获取生物资源和能源资源消费数据以及人口等数据. ③均衡因子和产量因子均参考相关文献获取.

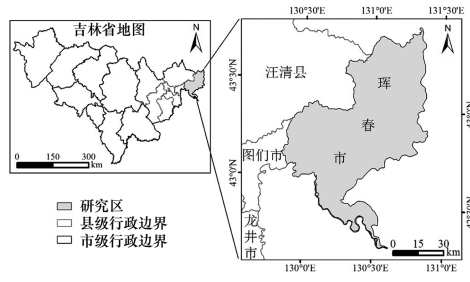


图 1 研究区的地理位置

表 1 所用遥感影像的信息

研究区	日期	行列号	传感器	分辨率/m
珲春市	2006-07-29	114/30	TM	30
	2006-09-22	115/30	TM	30
	2017-08-12	114/30	OLI	30
	2017-08-19	115/30	OLI	30

获得遥感影像数据后, 首先对其进行预处理, 包括辐射校正、大气校正. 预处理通过 ENVI 5.3 的 Radiometric Calibration 工具和 FLAASH 工具实现. 完成预处理后以 1:5 万地形图为准, 对遥感影像进行几何纠正, 并将误差控制在 1 个像元以内. 最后根据研究区的范围对影像进行拼接和裁剪. 参照国家土地覆被图集的分类系统^[13]并结合本研究目的, 确定本研究区的土地覆被分类系统. 确定的系统包括林地、草地、耕地(旱地和水田)、建设用地(居住地和交通用地)、水域(河流、湖泊、水库、坑塘、运河与水渠)、化石能源用地与其他用地共 7 种类型. 因其他土地类型包含的是没有生产能力的土地, 如沙地、裸土等, 因此本文在研究中不考虑该土地类型.

2 研究方法

2.1 分类方法与验证

分类土地覆被数据时, 首先运用 eCognition Developer 9.0 软件中的面向对象功能以及目视解译的分类方法, 并结合 NDVI、NDWI 和 NDBI

等指数,得到2017年珲春市土地覆被的初步结果;然后通过对初步结果进行验证和修改,得到最终的2017年珲春市的土地覆被数据;最后对照2006年珲春市 Landsat TM 遥感影像修改最终的2017年珲春市的土地覆被数据,以此得到最终的2006年珲春市的土地覆被数据.本文采用实地考察得到的GPS验证点和采样点分别对2006年和2017年的最终土地覆被数据进行精度检验.

2.2 生态足迹模型

生态足迹模型包括生态足迹和生态承载力两部分.其中生态足迹能较好地揭示地区人口、资源、环境和经济发展之间的关系,还可判断城市可持续发展的程度.计算生态足迹时,需确定绝大多数消费资源及其产生废弃物的量,然后将其转换成相应的生物生产性面积^[14].生态足迹的计算公式^[15]为

$$EF = N \times ef = N \times \sum_{t=1}^n \frac{c_t}{p_t} \times r_k.$$

式中: EF 为总的生态足迹, N 为人口数, ef 为人均生态足迹, c_t 为第 t 种消费品的消费量, p_t 为第 t 种消费品全国年平均生产量, t 为消费品和所投入的类型, r_k 为第 k 类生物生产性土地的均衡因子.

2.3 生态承载力模型

生态承载力是指一个地区所能提供给人类的生态生产性土地面积的总和,即一个地区环境所能承受来自人类生活压力的阈值,是生态足迹理论的核心内容之一^[16].依据世界环境与发展委员会报告,计算生态承载力时,需至少要留出12%的生物生产性土地面积来保护生物多样性.生态承载力的计算公式为

$$EC = (1 - 12\%) \times N \times ec = (1 - 12\%) \times N \times \sum_{i=1}^6 a_i \times r_k \times y_k.$$

式中: EC 为生态承载力, N 为人口数, ec 为人均生态承载力, a_i 为第 i 类生物生产性人均土地面积, y_k 为第 k 类生物生产性土地的产量因子.

2.4 生态压力指数模型

生态压力指数(ecological tension index)是某一国家或地区可更新资源的人均生态足迹与人均生态承载力的比值,表示生态环境承载压力的程度^[17].因化石能源属于不可再生能源,所以本文不将化石能源列入计算生态压力指数范围内.

生态压力指数的计算公式为

$$ETI = ef / ec.$$

式中: ETI 表示生态压力指数, ef 表示人均生态足迹, ec 表示人均生态承载力. ETI 指数越大,表明该地区的土地生态压力越大,土地生态安全性越差;反之,表明土地生态安全性越好.本文根据文献^[18]对生态压力指数进行等级划分,如表2所示.

表2 生态压力指数等级的划分标准

等级	指数特征	状态
1	≤ 0.50	很安全
2	0.51~0.80	较安全
3	0.81~1.00	稍不安全
4	1.01~1.50	较不安全
5	1.51~2.00	很不安全
6	> 2.00	极不安全

3 结果与分析

3.1 土地覆被分类结果

利用GPS验证点和采样点等数据分别对2006年和2017年的土地覆被数据进行混淆矩阵检验显示,2期的土地覆被数据的总体精度、用户精度和生产者精度均在85%以上,且kappa系数为0.88.上述结果表明,本文所用的土地覆被数据的精度可以满足研究需要.2006年和2017年的珲春市土地覆被空间格局如图2所示.

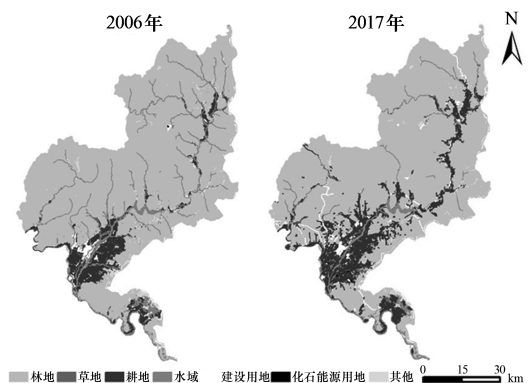


图2 2006年和2017年的珲春市土地覆被空间格局

3.2 珲春市土地生态承载力评价

3.2.1 均衡因子与产量因子的确定 由于不同生产性土地的生产力不同,因此计算生态足迹时,需将不同生产性土地的生产力转换为有可比性的生物生产性的土地面积,转换过程中使用的参数即为均衡因子^[19].根据珲春市的土地生产状况,

本文采用刘某承等^[7]提出的中国均衡因子计算珲春市的生态足迹。

由于区域内各土地类型与消费项目的生产能力不同,为保持生产能力与供给能力测算的一致性,本文利用均衡因子和产量因子将其转化为生态承载力,其中产量因子采用刘某承等^[7]根据全国不同生态系统 NPP 测算出的产量因子。

3.2.2 生态足迹的计算结果及分析 生态足迹主要包括生物资源消费、能源消费和贸易调整 3 个部分,但因进出口所占生态足迹的比例较小,且数据存在缺失,所以本文不考虑贸易调整部分。根据珲春市的统计年鉴和统计公报,珲春市的生物资源消费主要有农产品、动物产品、林产品和水产品,其中每一部分又包括不同的消费项目,结果如表 3 和表 4 所示。为减少误差,计算生态足迹时本文采用全国平均产量,并以世界上单位化石能源土地面积的平均发热量为标准,将能源消费(原煤和发电)折算成相应的生态生产性土地面积,结果如表 3 和表 4 所示。将计算得出的生物能源消费的生态足迹和能源消费的生态足迹进行汇总,得到珲春市 2006 年和 2017 年的人均生态足迹,如表 5 所示。

由表 3 和表 4 可知:在耕地类型中,禽蛋的消费最多,其人均生态足迹在 2006 年和 2017 年分别为 1.907 7 hm²/人和 0.633 0 hm²/人;其次为猪

肉,分别为 0.560 5 hm²/人和 0.300 5 hm²/人。在草地类型中,牛肉的消费最多,2006 年和 2017 年的人均生态足迹分别为 0.745 9 hm²/人和 0.505 1 hm²/人;其次是羊肉,分别为 0.044 6 hm²/人和 0.031 3 hm²/人。原煤为珲春市人均生态足迹中最大的消费项目,2006 年和 2017 年分别为 6.575 3 hm²/人和 9.934 2 hm²/人。其原因一是冬季供暖需要消耗大量煤炭,二是工业对原煤的需求量较大。

表 5 显示,2006—2017 年珲春市的人均生态足迹需求呈增加的趋势,即从 2006 年的 10.116 hm²/人增加到 2017 年的 11.667 hm²/人(年均增加 0.141 hm²/人),提高了 13.29%,增速约为 1.21%。该结果表明珲春市的经济发展与生态足迹需求呈正相关。在 6 种生态生产性土地类型中,增幅最大的为化石能源用地与建筑用地,其原因是城市化进程增加了对化石能源用地和建筑用地的需求;其次是水域和林地,但增幅不大。耕地与草地的人均生态足迹呈下降趋势,其中耕地的人均生态足迹由 2006 年的 2.665 hm²/人,降到 2017 年的 1.119 hm²/人,降幅达到 58.01%,该结果可能与 2017 年一些农作物的减产有关;草地的人均生态足迹由 2006 年的 0.817 hm²/人降到 2017 年的 0.538 hm²/人,降幅达到 34.15%,该结果可能与政府实施的生态环境保护政策相关。

表 3 2006 年珲春市生物资源与能源资源的消费情况

土地类型	均衡因子	消费项目	生物量/t	全国平均产量/(kg/hm ²)	生态足迹/hm ²	人均生态足迹/(hm ² /人)
耕地	1.74	水稻	53 698	6 279.60	14 879.06	0.068 4
		玉米	37 163	5 326.32	12 140.39	0.055 8
		大豆	11 057	1 620.93	11 869.22	0.054 5
		油料	402	2 249.29	310.98	0.001 4
		烟叶	385	2 065.67	324.30	0.001 5
		蔬菜	60 353	32 425.38	3 238.64	0.014 9
		瓜果类	1 361	33 405.71	70.89	0.000 3
		猪肉	3 796	54.14	121 999.26	0.560 5
		禽蛋	6 026	25.25	415 257.03	1.907 7
草地	0.44	牛肉	2 882	7.81	162 366.20	0.745 9
		羊肉	108	4.89	9 717.79	0.044 6
		奶类	400	30.67	5 738.51	0.026 4
林地	1.41	水果	10 963	13 016.11	1 187.59	0.005 5
水域	0.35	水产品	801	1 187.09	236.17	0.001 1
化石能源用地	1.41	原煤	2 667 410	55.00	1 431 249.76	6.575 3
建设用地	1.74	发电	182 665	1 000.00	11 442.14	0.052 6

注:表中原煤和发电的全国平均产量单位为 GJ/hm²,折算系数分别为 20.93 和 11.84 GJ/t,下表同。

表 4 2017 年珲春市的生物资源与能源资源的消费情况

土地类型	均衡因子	消费项目	生物量/ t	全国平均产量/ (kg/hm ²)	生态足迹/ hm ²	人均生态足迹/ (hm ² /人)
耕地	1.74	水稻	40 335	6 916.92	10 146.55	0.044 4
		玉米	79 306	6 110.30	22 583.58	0.098 7
		大豆	6 141	1 853.59	5 764.67	0.025 2
		油料	4 048	2 628.15	2 680.03	0.011 7
		烟叶	17	2 115.18	13.98	0.000 1
		蔬菜	18 785	34 629.11	943.89	0.004 1
		瓜果类	4 292	39 247.68	190.28	0.000 8
		猪肉	2 244	56.79	68 754.36	0.300 5
		禽蛋	2 684	32.25	144 811.16	0.633 0
草地	0.44	牛肉	1 736	6.61	115 558.25	0.505 1
		羊肉	80	4.91	7 169.04	0.031 3
		奶类	17	31.65	236.33	0.001 0
林地	1.41	水果	18 885	19 848.06	1 341.59	0.005 9
水域	0.35	水产品	2 240	435.48	1 800.31	0.007 9
化石能源用地	1.41	原煤	4 235 400	55.00	2 272 584.73	9.934 2
建设用地	1.74	发电	225 904	1 000.00	14 150.63	0.061 9

表 5 2006 年和 2017 年珲春市的生态足迹

土地类型	2006 年			2017 年		
	生态足迹/ hm ²	人均生态足迹/ (hm ² /人)	比例/ %	生态足迹/ hm ²	人均生态足迹/ (hm ² /人)	比例/ %
耕地	580 089.78	2.665	26.34	255 888.51	1.119	9.59
草地	404 142.03	0.817	8.08	122 963.62	0.538	4.61
林地	1 187.59	0.005	0.05	1 341.59	0.006	0.05
水域	236.17	0.001	0.01	1 800.31	0.008	0.07
化石能源用地	1 431 249.76	6.575	65.00	2 272 584.73	9.934	85.15
建设用地	11 442.14	0.053	0.52	14 150.63	0.062	0.53
合计	2 428 347.47	10.116	100	2 668 729.39	11.667	100

3.2.3 生态承载力的计算分析 由表 6 和表 7 可以看出,珲春市的土地生态承载力由 2006 年的 2.89 hm²/人下降到 2017 年的 2.76 hm²/人,降幅为 4.50%(年均降幅为 0.41%)。从各土地类型占生态承载力的比例来看,11 年间珲春市林地与耕地的人均生态承载力的所占比例略呈下降趋势(年平均分别下降为 0.009 hm²/人和 0.003 hm²/人),但林地和耕地一直占珲春市生态承载力的 95%以上;建设用地和草地在 11 年间呈增长趋势,但增加的不明显。11 年间珲春市的水域呈下降趋势,但下降趋势较弱。以上数据表明珲春市的人均生态承载力系统呈略微下降趋势,但仍处于可控状态。珲春市人均生态承载力系统下降的原因主要是由建筑用地和人口增加所致。

表 6 2006 年珲春市的生态承载力

土地类型	面积/hm ²	均衡因子	产量因子	生态承载力/hm ²	人均生态承载力/(hm ² /人)
耕地	50 273.04	1.74	1.74	133 941.86	0.62
草地	368.89	0.44	0.51	72.85	0.00
林地	435 682.45	1.41	0.86	464 911.51	2.14
水域	13 983.52	0.35	0.74	3 187.12	0.01
化石能源用地	225.46	1.74	0.00	0.00	0.00
建设用地	9 913.62	1.41	1.74	26 412.74	0.12
合计	510 446.98			628 526.08	2.89

表 7 2017 年珲春市的生态承载力

土地类型	面积/hm ²	均衡因子	产量因子	生态承载力/hm ²	人均生态承载力/(hm ² /人)
耕地	50 298.98	1.74	1.74	134 010.97	0.59
草地	403.89	0.44	0.51	79.76	0.00
林地	437 343.27	1.41	0.86	466 683.76	2.04
水域	12 487.06	0.35	0.74	2 846.05	0.01
化石能源用地	132.72	1.74	0.00	0.00	0.00
建设用地	10 803.30	1.41	1.74	28 783.10	0.13
合计	511 469.22			632 403.63	2.76

3.3 生态压力指数的分析

利用珲春市人均生态足迹与生态承载力的数据,计算珲春市的生态压力指数.计算结果显示,2006 年的生态压力指数为 1.23,2017 年的生态压力指数为 0.63.由表 2 可知,珲春市的土地生态安全已从 2006 年的较为不安全转变为 2017 年的较为安全.珲春市的土地生态安全转好的原因与珲春市政府近年来实施的环境保护政策及 2017 东北虎豹国家公园的建立密切相关.

4 结论

研究结果表明:①珲春市 2006 年和 2017 年的人均生态足迹分别为 10.116 hm²/人和 11.667 hm²/人,人均生态承载力分别为 2.89 hm²/人和 2.76 hm²/人,这表明珲春市的土地利用处于透支状态.②剔除化石能源用地生态足迹的影响后,珲春市 2006 年和 2017 年的生态压力指数分别为 1.23和 0.63,表明珲春市的土地生态安全已由不安全转变为较为安全,即土地生态安全呈好转趋势.本文研究结果可为珲春市今后的经济发展与生态保护提供参考.本文在研究中未能考虑经济发展与科技进步对生态承载力的影响,以及缺少对研究区域空间变化的分析等,因此在今后的研究中我们将结合更多的影响因素和评价指标,以此建立更为完善的评价体系和评价方法.

参考文献:

[1] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992,4(2):121-130.
[2] 张志强,徐中民,程国栋.生态足迹的概念及计算模型[J].生态经济,2000(10):8-10.
[3] 张志强,徐中民,程国栋,等.中国西部 12 省(区市)的生态足迹[J].地理学报,2001(5):598-609.
[4] 徐中民,张志强,程国栋.甘肃省 1998 年生态足迹计

算与分析[J].地理学报,2000(5):607-616.
[5] 熊德国,鲜学福,姜永东.生态足迹理论在区域可持续发展评价中的应用及改进[J].地理科学进展,2003(6):618-626.
[6] 顾晓薇,王青,刘建兴,等.基于“国家公顷”计算城市生态足迹的新方法[J].东北大学学报,2005(4):295-298.
[7] 刘某承,李文华.基于净初级生产力的中国生态足迹均衡因子测算[J].自然资源学报,2009,24(9):1550-1559.
[8] 刘某承,李文华,谢高地.基于净初级生产力的中国生态足迹产量因子测算[J].生态学杂志,2010,29(3):592-597.
[9] 赵先贵,肖玲,马彩虹,等.基于生态足迹的可持续发展评价指标体系的构建[J].中国农业科学,2006(6):1202-1207.
[10] 黄海,刘长城,陈春.基于生态足迹的土地生态安全评价研究[J].水土保持研究,2013,20(1):193-196.
[11] 李春景,南颖.基于 DEM 的延边地区农业地貌分类[J].延边大学农学学报,2006,28(4):229-232.
[12] 周昊昊,冯恒栋.基于遥感和 GIS 的珲春市生态环境动态监测与评价[J].延边大学学报(自然科学版),2018,44(2):183-188.
[13] 吴炳方,钱金凯,曾源,等.中华人民共和国土地覆被地图集(1:1 000 000)[M].北京:中国地图出版社,2017.
[14] 季凌雪,胡淑恒,许建,等.基于生态足迹模型的六安市土地生态承载力研究[J].湖北农业科学,2016,55(17):4551-4554.
[15] 赵正.大庆市土地生态承载力研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2018.
[16] 黄剑彬,戴文远,黄华富,等.基于景观指数和生态足迹的平潭岛生态承载力研究[J].福建师范大学学报(自然科学版),2017,33(1):75-81.
[17] 张婷婷,郑喜坤.基于生态足迹的四平市土地生态安全评价研究[J].上海国土资源,2016,37(2):17-20.
[18] 赵先贵,马彩虹,高利峰,等.基于生态压力指数的不同尺度区域生态安全评价[J].中国生态农业学报,2007(6):135-138.
[19] 韩韦笑.基于 GIS 与生态足迹法的土地生态安全评价研究[D].昆明:昆明理工大学,2018.