

张志国,班高晗. 土地利用变化驱动下洛阳市生态系统碳储量时空变异[J]. 江苏农业科学,2021,49(14):226-230.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.14.040

土地利用变化驱动下洛阳市生态系统碳储量时空变异

张志国,班高晗

(商丘师范学院测绘与规划学院,河南商丘 476000)

摘要:碳储量变化是衡量陆地生态系统碳循环的关键指标之一。以河南省洛阳市为例,分析 2005—2015 年土地利用变化,利用 Invest 模型计算洛阳市碳储量并分析碳储量的变化。结果表明,洛阳市碳储量呈现南多北少、山多谷少的空间分布特征。10 年间洛阳市碳储量略有增加,说明在地形复杂经济较发达的区域,只要科学划分生态功能区,注重生态环境保护和建设,提高土地利用效率,就可以实现经济和生态的协调发展。

关键词:碳储量;时空变化;土地利用;生态系统服务和权衡的综合评估模型(InVEST);洛阳

中图分类号: F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)14-0226-05

陆地生态系统碳循环与温室效应是近些年国际地学、生态学和环 境科学共同关注的全球变化研究热点。我国学者方精云等系统分析我国陆地生态系统碳汇大小及其机制,并阐明我国陆地碳汇/源的时空格局及其机制,为我国制定相关政策提供依据^[1]。刘领等还对我国森林、土壤、草地等不同生态系统的碳储量变化及其影响因素进行研究^[2-4]。朱文博等认为,土地利用变化是引起陆地生态系统碳储量变化主要的因素,模拟淇河流域 3

种土地利用模式情况下碳储量的变化^[5]。生态系统服务和权衡的综合评估模型(integrated valuation of ecosystem services and trade-offs, InVEST)以土地利用数据为基础,可以实现多目标、多情景下的生态系统碳储量评估。国内学者陆续利用 InVEST 模型开展我国生态系统服务功能价值和区域碳储量的研究。韩晋榕利用 InVEST 模型对辽中南地区陆地生态系统的碳储量进行评估,用来研究城市扩张对生态系统碳储量的影响^[6]。张云倩等利用 InVEST 模型对江苏省海岸带生态系统的碳储量进行定量估算,获取长时间序列的碳储量变化数据,并探究江苏省海岸带碳储量的时空变异^[7]。蒋九华等借助 InVEST 模型评估北京市房山区森林生态系统的碳储量,将量化的森林生态系统碳储量以直

收稿日期:2020-10-12

基金项目:河南省高校重点科研项目(编号:19A170011);河南省教育厅人文社科项目(编号:2015-GH-277)。

作者简介:张志国(1974—),男,河北怀安人,博士,副教授,主要从事 GIS 与区域生态环境研究。E-mail: sxbertzzg@163.com。

[19]朱 源,王 志,彭光雄. 基于 SPOT-NDVI 的贺兰山植被覆盖的时空变化研究[J]. 遥感技术与应用,2012,27(1):142-148.

[20]赵安周,刘宪锋,朱秀芳,等. 2000—2014 年黄土高原植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. 中国环境科学,2016,36(5):1568-1578.

[21]李 欣,王连喜,李 琪,等. 宁夏近 25 年植被指数变化及其与气候的关系[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(9):161-166.

[22]李 超. 人口总量与结构变化影响植被覆盖的实证研究[J]. 广东农业科学,2015,42(12):186-192.

[23]Sun W Y, Song X Y, Mu X M, et al. Spatiotemporal vegetation cover variations associated with climate change and ecological restoration in the Loess Plateau [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2015, 209(1):87-99.

[24]史娜娜,肖能文,王 琦,等. 锡林郭勒植被 NDVI 时空变化及其驱动力定量分析[J]. 植物生态学报,2019,43(4):331-

341.

[25]钱 琛,陈海滨,侯现慧. 生态建设背景下陕西省植被覆盖时空变化及其影响因素研究[J]. 干旱区地理,2020,43(2):425-433.

[26]彭文英,张科利,陈 瑶,等. 黄土坡耕地退耕还林后土壤性质变化研究[J]. 自然资源学报,2005,20(2):272-278.

[27]王怡菲,姚顺波,邓元杰. 渭河流域水土流失治理效率的时空格局演化与影响因素[J]. 地理科学,2019,39(5):836-846.

[28]高 露,张圣微,朱仲元,等. 放牧对干旱半干旱草原植物群落结构和生态功能的影响[J]. 水土保持研究,2019,26(6):205-211.

[29]赵 钢,曹子龙,李青丰. 春季禁牧对内蒙古草原植被的影响[J]. 草地学报,2003,11(2):183-188.

[30]尤南山,董金玮,肖 桐,等. 退耕还林还草工程对黄土高原植被总初级生产力的影响[J]. 地理科学,2020,40(2):315-323.

观的可视化形式表现出来,这对于提高北京地区的森林碳储量估算精度和森林固碳增汇经营管理具有一定的现实应用价值^[8]。邱建慧使用 InVEST 模型分析 1995—2015 年围填海活动对滨海湿地土地利用和碳储量的影响,以及围填海对沿岸国家级自然保护区的影响^[9]。河南省洛阳市地处我国中部地区,是我国老工业基地,在地形地貌上属于第二级阶梯向第三级阶梯过渡的地带。该区域地形起伏较大,土地类型丰富,受人类活动影响较大,土地利用类型变化明显。因此,本研究以 2005、2015 年洛阳市土地利用数据为基础,运用 InVEST 模型的碳储量模块评估 10 年洛阳市生态系统碳储量变化。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

洛阳市位于河南省中西部(34°32′~32°45′N、112°16′~112°37′E),西依秦岭,东临嵩岳,北靠太行黄河,南望伏牛,东西长约 179 km,南北宽约 168 km,总面积 1.52 万 km²,总人口 717.02 万人,常住人口城镇化率 59.1%。洛阳市地势西高东低,境内山川丘陵交错,地形复杂,其中山区占 45.51%,丘陵占 40.73%,平原占 13.8%。境内有黄河、洛河、伊河、清河、磁河、铁滦河、涧河、瀍河等 10 余条河流,分属黄河、淮河、长江三大水系。年平均气温为 12.2~24.6℃,年降水量为 528~800 mm,属温带大陆性季风气候。

1.2 数据来源及处理

1.2.1 土地利用数据 遥感影像数据来源于地理空间数据云网站(<http://www.gscloud.cn/>),包括 2005 年 Landsat7 影像 3 景和 2015 年 Landsat7 影像 3 景影像,空间分辨率为 30 m,时间为 5—6 月。运用 ENVI 软件对遥感影像进行辐射定标、大气校正、镶嵌和影像裁剪等预处理;采用人机交互解译的方式对遥感影像得到的土地利用数据进行监督分类,根据国家标准《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017),同时结合洛阳市土地利用的实际情况进行判别,将洛阳市土地利用分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地等六大类型。借助 Google Earth 高分影像和野外采集的验证样本对解译结果进行精度验证。投影坐标统一为 Krasovsky_1940_Albers。

1.2.2 碳密度数据 碳密度是指单位面积上的碳储量。地上部分碳密度是指地表以上 0~20 cm 附

近单位面积上碳存储量的平均值;地下部分碳密度是指地表以下 0~20 cm 附近单位面积上碳存储量的平均值;土壤碳密度是指地表以下 20~100 cm 附近单位面积上碳储量的平均值。

碳密度主要通过查阅资料得到。首先,根据李克让等对全国范围内碳密度的研究,得到全国范围内的碳密度数据^[10-13]。其次,根据贾松伟等的研究成果,得到河南省内的碳密度数据^[14-16]。由此得到不同土地利用方式的碳密度数据。学者们普遍认为温度和降水是影响碳输入和输出的 2 个最主要因素,通过查阅资料可知洛阳市的年平均气温为 14.7℃,年降水量为 601.6 mm。最后,将洛阳市年平均温度和年降水量作为参考因子,代入陈光水等关于生物碳密度和土壤碳密度分别与温度和降水量的关系模型^[17]中,从而得到修正后的洛阳市碳密度估算值(表 1)。

表 1 洛阳市土地利用类型的碳密度 t/hm²

类型	$C_{i-above}$	$C_{i-below}$	C_{i-soil}
耕地	4.15	0.78	108.65
林地	58.72	13.24	180.86
草地	0.41	2.65	98.66
水域	0.04	0.00	58.19
建设用地	0.01	0.00	60.38
未利用地	0.01	0.00	61.64

注: $C_{i-above}$ 表示土地利用类型*i*的地上碳密度; $C_{i-below}$ 表示土地利用类型*i*的地下生物碳密度; C_{i-soil} 表示土地利用类型*i*的土壤碳密度。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用变化率 土地利用变化率主要用来研究某一区域土地利用变化的速度,其数学模型为

$$K_i = \frac{S_{i_2} - S_{i_1}}{S_{i_1}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:*i*表示某种土地利用类型; K_i 表示 $t_1 \sim t_2$ 时间段内第*i*类土地利用类型的变化率; S_{i_1} 、 S_{i_2} 分别表示 t_1 、 t_2 时间内第*i*类土地利用类型面积。

1.3.2 土地利用转移矩阵 运用 ArcGIS 软件对洛阳市 2005、2015 年 2 期土地利用数据进行空间叠合分析,再使用其空间统计的功能进行统计分析,从而得出 2005—2015 年土地利用的动态变化和转移矩阵,最后根据转移矩阵分析及计算 2 个时段土地利用的转化趋势和时空变化情况,进而可知各种土地利用类型之间相互的转移趋势。

1.3.3 碳储量估算 InVEST 模型是由美国斯坦福大学、WWF(世界自然基金会)和 TNC(大自然保护协会)联合开发的评估生态系统服务功能的专业 GIS 模型,主要通过估算地上、地下、土壤和死亡有机质四大基本碳库来计算陆地生态系统碳储量。由于死亡有机质碳库数据难以获取,一般估算碳储量只考虑地上、地下和土壤三大基本碳库。碳储量计算公式如下

$$C_i = C_{i-\text{above}} + C_{i-\text{below}} + C_{i-\text{soil}}; \quad (2)$$

$$C_{\text{tot}} = \sum_i C_i \times S_i。 \quad (3)$$

式中: C_{tot} 表示生态系统总的碳储量,t; S_i 表示土地利用类型*i*的面积, hm^2 。

2 结果与分析

2.1 2005—2015 年洛阳市土地利用变化特征

由图 1、图 2 可知,2005—2015 年 10 年间洛阳市耕地与林地一直都是占比最多的 2 种土地利用类型,也是变化最大的 2 种用地类型,耕地比重由 46.3% 降为 34.6%,下降了 11.7 个百分点;林地占比由 39.1% 增加到 51.3%,增加了 12.2 个百分点。耕地主要以洛阳市北部的宜阳县、洛宁县、伊川县、新安县、偃师市、孟津县所占比重大,林地主要以洛阳市南部的栾川县、嵩县和汝阳县所占比重大。

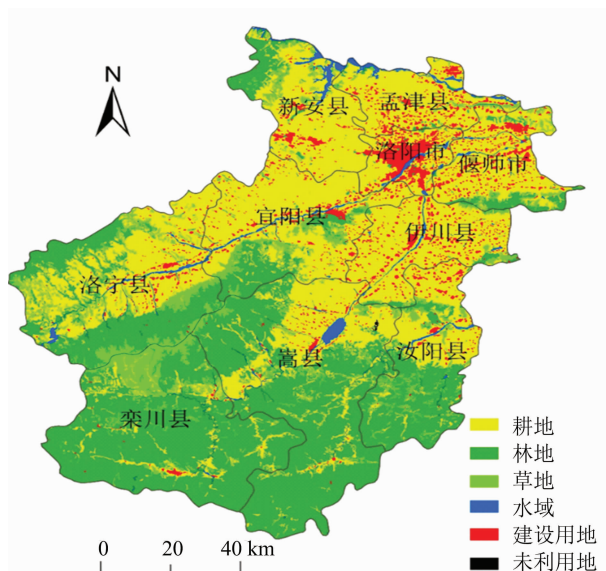


图1 2005 年洛阳市土地利用分布

利用 ArcGIS 10 对洛阳市 2005、2015 年 2 期土地利用数据建立转移矩阵(表 2),由此可知洛阳市 10 年内土地利用类型转移的变化特征。2005—2015 年耕地面积年均减少 1.8 万 hm^2 ,主要转出为

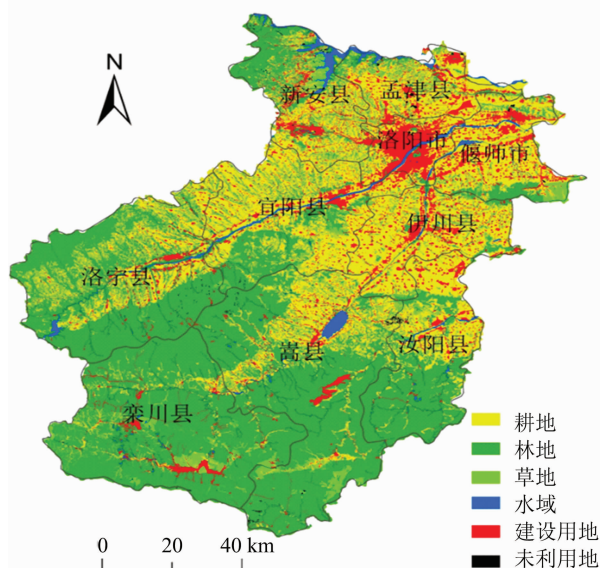


图2 2015 年洛阳市土地利用分布

林地、建设用地、水域等多种类型,其中转为林地的比例最大,达到 64.2%;其次为建设用地和水域,分别占耕地总转出量的 26.8%、4.8%。建设用地面积由 7.7 万 hm^2 增加到 13.6 万 hm^2 ,年均增长 0.6 万 hm^2 ,主要由耕地转入,转入率为 82.9%。林地面积显著增加,主要来源于耕地、草地的转入,转入率分别为 63.8%、32.0%。草地面积急剧减少,减少了 71.3%,主要转为林地和耕地,其转出率分别为 80.3%、14.8%。未利用地增长迅速,从 2005 年的 0.02 万 hm^2 增加到 2015 年的 0.3 万 hm^2 ,增长率为 1 071.8%,其中耕地转化为未利用地的比重占总比重的 57.6%。

2.2 生态系统碳储量和碳密度的时空变化

2.2.1 洛阳市总固碳量测算 根据洛阳市土地利用类型及碳密度表,通过 InVEST 模型分别计算出洛阳市 2005、2015 年碳储量值(表 3)。洛阳市 2005 年碳储量为 24 514.9 万 t,2015 年碳储量为 26 859.7 万 t,累计增长 9.6%。从总体上看,这 10 年来洛阳市碳储量向稳中有升的方向发展,虽然 10 年中洛阳市经济发展,建设快速,但是整体碳储量却略有增加,并没有因为经济的发展导致区域生态系统中 CO_2 增加,对于区域碳中和目标很有意义。

2.2.2 不同土地利用类型碳储量变化 根据 InVEST 模型得到洛阳市 2005—2015 年碳储量,利用 ArcGIS 对模型运行结果进行分析得到洛阳市 2005—2015 年不同土地利用类型对应的碳储量。耕地碳储量呈下降趋势,从 2005 年的 7 923.1 万 t

表 2 2005—2015 年洛阳市土地利用转移矩阵

土地类型	转移面积(hm ²)						2005 年土地面积 (hm ²)
	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地	
草地	4 533.5	9 136.8	185.9	16 476.6	175.7	49.9	106 417.1
耕地	15 053.6	442 981.0	16 862.3	31 948.0	6 593.1	136.0	697 578.3
建设用地	2 846.6	68 330.6	53 579.1	9 096.8	2 083.5	32.8	77 351.4
林地	81 843.6	163 333.9	5 821.4	520 278.6	4 879.2	31.0	587 093.2
水域	1 945.2	12 109.5	650.9	8 543.7	20 192.5	0.0	33 967.6
未利用地	194.6	1 686.5	251.8	749.5	43.6	0.0	249.7
2015 年的土地面积(hm ²)	30 558.4	513 574.0	135 969.4	776 187.7	43 441.8	2 926.0	1 502 657.3

表 3 洛阳市不同土地类型碳储量

年份	碳储量(万 t)						总计
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	
2005	7 923.1	14 842.9	1 082.5	197.8	467.1	1.5	24 514.9
2015	5 833.1	19 623.6	310.9	253.0	821.1	18.0	26 859.7

下降到 2015 年的 5 833.2 万 t, 累计减少量达到 2 089.9 万 t。林地碳储量由 2005 年的 14 842.9 万 t 增加到 2015 年的 19 623.6 万 t, 累计增加 4 780.7 万 t。草地碳储量由 2005 年的 1 082.5 万 t 锐减到 2015 年的 310.9 万 t, 年均减少 77.2 万 t。建设用地碳储量从 467.1 万 t 增加到现在的 821.1 万 t, 年均增加 35.4 万 t, 增加幅度为 75.8%。水域碳储量也呈增加趋势, 从 2005 年的 197.8 万 t 增加到 2015 年的 253 万 t, 增加了 27.9%。未利用地碳储量增加迅速, 由 2005 年的 1.5 万 t 增加到 2015 年的 18.0 万 t。

2.2.3 碳储量空间特征 洛阳市碳储量的空间特征受地形和土地利用类型影响。洛阳市碳储量主要存储在西南部和南部的伏牛上、外方山、熊耳山和崤山, 海拔基本都位于 500 m 以上。从行政区划分布看, 碳储量较丰富的县域主要是嵩县、栾川县和洛宁县。碳储量丰富的县域主要土地利用类型以林地为主。碳储量变化较大的县域是洛宁县、新安县和孟津县。洛宁县碳储量由 2005 年的 3 590.9 万 t 增加到 2015 年的 4 573.4 万 t, 增加率为 27.4%; 新安县碳储量由 2005 年的 1 434.7 万 t 增长到 2015 年的 1 753.3 万 t, 增加率为 22.2%; 孟津县碳储量由 2005 年的 819.7 万 t 增长到 2015 年的 967.6 万 t, 增加率为 18%。

2.3 碳储量影响因素

通过分析 2005—2015 年洛阳市社会经济发展状况和土地利用变化因素, 发现影响洛阳市碳储量变化的主要因素是国家生态保护政策和洛阳市经

济发展与城镇化。

2.3.1 国家生态保护政策的影响 近年来, 国家对生态环境保护越来越重视, 出台了许多生态保护政策并开展了许多生态保护工程。这些生态保护政策和措施促进了土地保护, 优化了区域土地利用类型。特别是退耕还林(草)重大工程, 洛阳市截至 2015 年年底, 全市共计划完成退耕还林工程计划任务 14.52 万 hm², 其中退耕还林 3.77 万 hm², 荒山造林 8.3 万 hm², 封山育林 2.45 万 hm²。受退耕还林工程影响, 洛阳市土地利用类型发生了巨大变化, 主要是耕地变为林地和草地, 继而使得碳储量也发生了巨大的变化。洛宁县和宜阳县的碳储量迅速增加得益于 2 县原有许多耕地和草地在“退耕还林”中变成林地。

2.3.2 经济发展与城镇化 洛阳市是河南省副中心城市, 也是经济第二大城市。2005—2015 年, 洛阳市的 GDP 总量增长了 68.3%。由于经济的发展, 第一产业的比重逐年下降, 第二、第三产业的比重逐年增加, 导致大量的农业用地转化为非农用地, 建设用地的面积增加明显。以位于洛阳市市区东邻的偃师市为例, 偃师市由于地理优势和其他因素, 10 年间经济发展迅速, 建设用地面积增长迅速, 以致于区域碳储量总量下降。由于经济发展和人口增加加快洛阳市城市化, 市区建设面积迅速扩大。2005 年洛阳市人口为 641.7 万人, 2015 年洛阳市人口增加到 700.28 万人, 城镇化率由 38.01% 迅速提高到 52.65%。洛阳市区建设面积由 2005 年的

16 946.3 hm² 增加到 2015 年的 23 112.5 hm², 用地占比由 36.2% 增长到了 49.5%, 增加了 13.3 百分点。这些都导致碳储量减少。

3 结论与讨论

3.1 结论

第一, 2005—2015 年洛阳市土地变化剧烈, 但是区域碳储量总量并没有随着经济建设的增长而减少, 反而略有增加。说明科学合理的生态保护政策和生态建设工程可以有效抵消由于经济建设带来的碳储量下降趋势。第二, 洛阳市碳储量主要集中在生态环境良好的洛阳市西南和南部山区。河谷平原经济建设较好, 碳储量较少, 并呈略微下降趋势。第三, 2005—2015 年洛阳市碳储量的变化说明地形复杂、经济快速发展的区域只要能够科学划分生态功能区、高效利用土地、重视生态保护并开展生态建设, 就能够做到生态环境改善与经济快速进步协调发展。

3.2 讨论

本研究在计算区域生态系统碳储量时, 其精度受到诸多因素影响, 今后应进一步开展高精度的区域碳储量的研究。(1) 受影像精度和分类方法的影响, 本研究中土地利用类型分类精度与实地真实物地类型存在一定的误差。本研究使用的碳密度值均是根据以往的文献资料和其他学者的研究成果, 并结合当地的温度和降水等影响因子进行修正而来。然而, 不同土地利用类型对应的碳密度值随着环境的变化、人类活动等因素的影响而发生动态变化。因此, 使用的碳密度值不能表示精准的碳密度值, 由此计算的碳储量值存在一定的误差。InVEST 模型是针对美国生态系统设计的服务模型, 是否完全适合我国的生态系统服务及其价值研究, 有待商榷。本研究按照一级用地类型统一进行碳密度赋值, 但是学者发现每一地类下面不同地物类型所对应的碳密度值不尽相同^[18], 因此计算得到的碳储量值与本地的真实碳密度值有所差异。

参考文献:

- [1] 方精云, 朴世龙, 刘 鸿, 等. 中国陆地植被碳汇估算: 整合观测数据及遥感信息[C]//生态学全面·协调·可持续发展——中国生态学会第七届全国会员代表大会论文摘要荟萃. 北京: 中国生态学会, 2004: 24–25.
- [2] 刘 领, 王艳芳, 悦飞雪, 等. 基于森林清查资料的河南省森林植被碳储量动态变化[J]. 生态学报, 2019, 39(3): 864–873.
- [3] 张 利, 周广胜, 汲玉河, 等. 中国草地碳储量时空动态模拟研究[J]. 中国科学(地球科学), 2016, 46(10): 1392–1405.
- [4] 徐 丽, 于贵瑞, 何念鹏. 1980s—2010s 中国陆地生态系统土壤碳储量的变化[J]. 地理学报, 2018, 73(11): 2150–2167.
- [5] 朱文博, 张静静, 崔耀平, 等. 基于土地利用变化情景的生态系统碳储量评估——以太行山淇河流域为例[J]. 地理学报, 2019, 74(3): 446–459.
- [6] 韩晋裕. 基于 InVEST 模型的城市扩张对碳储量的影响分析[D]. 长春: 东北师范大学, 2013.
- [7] 张云倩, 张晓祥, 陈振杰, 等. 基于 InVEST 模型的江苏海岸带生态系统碳储量时空变化研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(3): 100–105, 111.
- [8] 蒋九华, 齐 实, 胡 俊, 等. 基于 InVEST 模型的北京山区森林生态系统碳储量评估分析[J]. 地球与环境, 2019, 47(3): 326–335.
- [9] 邱建慧. 围填海活动对中国滨海湿地碳储量的影响研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2017.
- [10] 李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被和土壤碳贮量[J]. 中国科学(地球科学), 2003, 33(1): 72–80.
- [11] 奚小环, 杨忠芳, 廖启林, 等. 中国典型地区土壤碳储量研究[J]. 第四纪研究, 2010, 30(3): 573–583.
- [12] 罗怀良. 中国农田作物植被碳储量研究进展[J]. 生态环境学报, 2014, 23(4): 692–697.
- [13] 朱 超, 赵淑清, 周德成. 1997—2006 年中国城市建成区有机碳储量的估算[J]. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1195–1202.
- [14] 贾松伟. 河南省乔木林碳储量动态变化及其碳汇经济价值估算[J]. 河南农业科学, 2014, 43(5): 149–153.
- [15] 邸富宏. 黄河中游不同气候类型灌草丛碳密度比较[J]. 林业资源管理, 2015(5): 50–54.
- [16] 王艳芳, 刘 领, 李志超, 等. 豫西黄土丘陵区洛阳市森林植被碳储量和碳密度研究[J]. 草业科学, 2015, 24(10): 1–11.
- [17] 陈光水, 杨玉盛, 谢锦升, 等. 中国森林的地下碳分配[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5148–5157.
- [18] 张卓亚, 杨 欣. 铜壁关自然保护区不同森林生态系统碳储量及碳密度评估[J]. 林业调查规划, 2017, 42(5): 20–24.