

贵州土地利用变化对淡水生态系统服务的影响

郜红娟¹, 韩会庆^{2*}, 罗绪强¹, 李金艳², 陈梦玲², 张新鼎²¹

(1. 贵州师范学院地理与资源学院, 贵州贵阳 550018; 2. 贵州理工学院建筑与城市规划学院, 贵州贵阳 550003)

摘要: 作为生态系统服务重要类型, 淡水生态系统服务供给能力深受土地利用变化的影响, 进而强烈影响着区域生态功能水平及社会经济可持续发展。基于贵州省土地利用、地形、土壤、植被、气候等数据, 利用 INVEST 和 ARCGIS 软件分析了 1995—2015 年贵州省土地利用变化对淡水生态系统服务的影响。结果表明: 在土地利用变化影响下, 1995—2005 和 2005—2015 年间产水和水土保持服务呈增加趋势, 而水质净化服务呈下降趋势。三种淡水生态系统服务变化的空间格局存在明显的异质性。1995—2005 和 2005—2015 年间产水与水土保持之间均为协同关系, 而水质净化与产水、水土保持之间均为权衡关系。耕地、林地和草地变化对 1995—2005 年贵州省淡水生态系统服务影响较为突出, 而建设用地增加对 2005—2015 年的影响较大。土地利用变化对水质净化服务的影响强度高于对产水和水土保持服务的影响。

关键词: 淡水生态系统服务; 土地利用变化; INVEST 模型; 时空变化

中图分类号: X171.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-6600(2020)01-0157-07

淡水生态系统服务是生态系统服务的重要组成部分, 包括产水、水土保持、营养物保持、水电等, 这些服务对人类生存和发展至关重要, 是社会经济可持续发展的基础^[1-2]。过去几十年间, 在人类活动以及自然环境影响下, 大部分生态系统服务(包括淡水生态系统服务)呈下降趋势^[3]。因此, 淡水生态系统服务变化及驱动机理成为国内外众多学者研究的重点。

目前, 淡水生态系统服务的研究由单一的淡水生态系统服务评估^[4-5]发展到淡水生态系统服务与自然和人文因素的关系研究^[6-7]。其中, 淡水生态系统服务评估方法包括价值量和物质质量评估, 前者主要采用市场价值法、影子成本法、当量因子法等^[4, 8], 后者主要利用生态模型进行功能评价^[9]。已有研究表明自然因素和人类活动作为影响淡水生态系统服务的重要因素, 它们直接或间接影响淡水生态系统服务供给能力^[3]。气候变化对淡水生态系统服务的影响已经受到学者的关注^[10]。土地利用作为影响淡水生态系统服务的重要人为因素之一, 它通过影响景观组成、结构及格局, 进而影响淡水生态系统服务^[11]。土地利用变化影响下淡水生态系统服务供给能力关系到水资源供给水平、生态环境质量等, 这对区域社会经济可持续至关重要。然而, 当前研究鲜有关注中国西南地区。西南地区为我国长江和珠江流域提供产水、水土保持、水质净化等重要淡水生态系统服务, 这些对长江和珠江流域生态安全及社会经济极其重要^[12]。但是, 在一系列人类活动影响下, 该区土地利用经历了巨大变化^[13-14], 进而深刻影响淡水生态系统服务供给能力。基于此, 以中国西南典型省份——贵州省为例, 分析土地利用变化对淡水生态系统服

¹**引用格式:** 郜红娟, 韩会庆, 罗绪强, 等. 贵州土地利用变化对淡水生态系统服务的影响 [J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2020, 38(1): 157-163.

收稿日期: 2019-03-13

基金项目: 国家自然科学基金(41563007); 贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合 KY 字[2018]262); 教育部人文社会科学研究项目(18YJCZH042); 贵州理工学院学术新苗培养及探索创新项目(黔科合平台人才[2017]5789-23)

通信联系人: 韩会庆(1983—), 男, 山东济南人, 贵州理工学院副教授, 博士。E-MAIL: HHUI q ING2006@126.COM

务的影响，以期为生态环境保护及社会经济可持续发展战略制定提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究数据包括由中国土地利用现状遥感监测数据库提供的 1995、2005 和 2015 年贵州省土地利用数据，贵州省气候中心提供的 2015 年 84 个气象站点逐日观测数据，中国土壤数据库提供的贵州省土壤数据（包括土壤类型、质地、深度等），地理空间数据云平台提供的 30M 分辨率高程数据以及贵州省水利厅提供的 2015 年贵州省水资源公报和水土保持公报。贵州省流域划分是基于高程数据，利用 ARCGIS 软件的水文分析工具进行提取。

1.2 研究方法

1.2.1 淡水生态系统服务评估方法

依据研究区特点，选取产水、水土保持、水质净化 3 种重要淡水生态系统服务，利用生态系统服务评估模型（INVEST）进行评估，该模型中参数见参考文献^[12]和^[15]，模型参数校验依据贵州省水资源公报和水土保持公报。

1.2.1.1 产水

依据水量平衡原理，利用降水量和 BUDYKO 曲线^[16]评估产水能力。

$$Y = (1 - A_{\text{act}}/P) \cdot P \quad (1)$$

式中：Y 是产水量，AAET 是实际蒸散量（由 BUDYKO 曲线计算），P 是降水量。

1.2.1.2 水土保持

水土保持服务等于最大水土流失量（假定地表无植被）减去实际水土流失量，其中实际水土流失量运用美国水土流失方程（USLE）进行计算。

$$S_{\text{sr}} = RK \cdot L_{\text{ls}} - RK \cdot L_{\text{ls}} \cdot CP \quad (2)$$

式中：R 是降水侵蚀力，K 是土壤可蚀性，LLS 是地形因子，C 是植被因子，P 是工程因子。

1.2.1.3 水质净化

水质净化服务评估是依据一定时间内土地覆盖因子对氮、磷营养物的持留能力进行计算。

$$W_{wp} = 1/A_{alv}, \quad (3)$$

$$A_{alv} = H_{hss} \cdot P_{pol}, \quad (4)$$

$$H_{hss} = \lambda_i / \lambda_w, \quad (5)$$

$$\lambda_i = \log(\sum_u Y_u). \quad (6)$$

式中：WPP 是水质净化值，AALV 是污染负荷值，PPOL 是输出系数，HHSS 是水文敏感分值， λI 是径流系数， λW 是平均径

流系数， $\sum_u Y_u$ 是产水量。

1. 2. 2 淡水生态系统服务之间权衡与协同关系分析方法

首先，利用 ARCGIS 软件将研究区的每种淡水生态系统服务变化值（栅格格式）按照 100M×100M 空间尺度进行重采样，然后将重采样后的数据导入 SPSS 软件，最后，利用 PEARSON 相关分析法分析两两淡水生态系统服务之间相关性。如相关系数大于 0，即为协同关系；小于 0，即为权衡关系^[17]。

2 结果与分析

2. 1 土地利用变化影响下贵州省淡水生态系统服务变化

在土地利用变化作用下，1995—2005 和 2005—2015 年间贵州省产水和水土保持服务整体呈增加趋势，而水质净化服务呈下降趋势，其中产水服务的增加幅度高于水土保持，而水质净化服务的变化幅度均高于产水和水土保持服务。从不同阶段看，1995—2005 年间贵州省 3 种淡水生态系统服务变化幅度均高于 2005—2015 年（表 1）。

表 1 土地利用变化影响下贵州省淡水生态系统服务整体变化

时间	变化率/%		
	产水	水土保持	水质净化
1995-2005 年	0.44	0.18	-0.69
2005-2015 年	0.32	0.08	-0.49

1995—2005 年间，在土地利用作用下贵州省产水服务增加区域主要分布在中西部，而下降区域主要位于东部和北部。水土保持服务增加区域主要集中在中西部和东部，下降区域多分散于中部和南部。水质净化服务增加区域主要位于东北部以及中西部的零星地区，下降区域多集中在南部和北部的大部分地区。2005—2015 年间，除东南部以及西部的零星地区外，全省大部地区产水和水质净化服务分别呈增加和下降趋势。除小部分地区外，全省大部分地区水土保持服务呈增加趋势（图 1）。

2. 2 土地利用变化影响下贵州省淡水生态系统服务权衡与协同关系

土地利用变化影响下, 1995—2005 年和 2005—2015 年间贵州省产水与水土保持之间均为协同关系, 而产水与水质净化之间、水土保持与水质净化之间均为权衡关系。从相关程度看, 1995—2005 年间产水与水土保持之间、水土保持与水质净化之间的相关性相对较强, 而产水与水质净化之间相关性相对较弱。2005—2015 年间, 产水与水土保持之间相关性相对较强, 而水土保持与水质净化之间、产水与水质净化之间相关性相对较弱 (表 2)。

2. 3 土地利用变化对贵州省淡水生态系统服务的影响机制

土地利用变化通过影响生态系统结构与格局, 影响淡水生态系统服务供给能力, 在此基础上, 又作用于淡水生态系统服务之间权衡与协同关系。如 1995—2005 年间贵州省耕地的增加以及林地、草地等自然植被下降, 降低了植被持水能力和水质净化能力, 从而导致产水服务增加, 水质净化服务下降。因此, 这两种服务之间出现权衡关系。同时, 自然植被的下降增强了水土流失量, 进而提高了水土保持量, 从而导致产水与水土保持之间呈现协同关系, 而水土保持与水质净化之间为权衡关系。另外, 2005—2015 年建设用地大幅增加使得自然植被下降, 同样使得产水服务和水质净化服务分别呈增加和下降趋势, 进而导致两种服务之间呈现权衡关系。

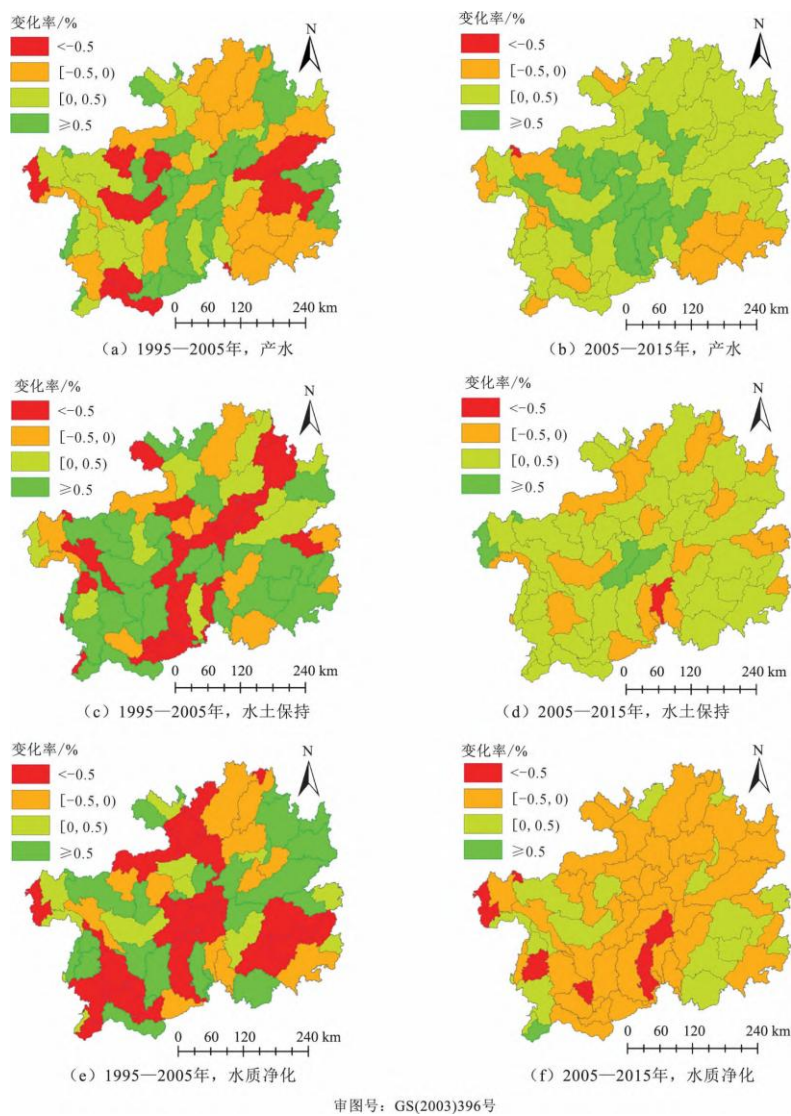


图 1 土地利用变化影响下贵州省淡水生态系统服务变化空间格局

表 2 土地利用变化影响下贵州省淡水生态系统服务之间相关系数

1995-2005 年	产水	水土保持	水质净化
产水	-	-	-
水土保持	0.462**	-	-
水质净化	-0.029	-0.362	-

2005-2015 年	产水	水土保持	水质净化
产水	-	-	-
水土保持	0.518*	-	-
水质净化	-0.176	-0.296	-

注：* * 代表在 0.01 级别上相关性显著；* 代表在 0.05 级别上相关性显著。

从空间上看，土地利用变化的空间格局与淡水生态系统服务变化的空间格局密切相关，如 1995—2005 年间贵州省东南部和北部的林地面积增加，使得该区产水功能呈下降趋势。同理，2005—2015 年间贵州省中南部林地呈下降趋势，故而中南部的产水服务呈增加趋势（表 3 和图 2）。

表 3 1995—2015 年贵州省土地利用整体变化

项目	更低	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
变化量/km ²	1228	-794	-417	12	42	-13
变化率/%	2.55	-0.83	-1.34	2.99	7.79	-26
变化量/km ²	-718	-211	-199	101	1027	0
变化率/%	-1.45	-0.22	-0.65	24.4	176.76	0

3 讨论与结论

本研究发现土地利用变化对水质净化服务的影响较大，而对产水和水土保持服务的影响较小。生态保护工程、植树造林等人类活动作用下自然植被的增加，可以使得产水和水土保持服务减少，水质净化服务增加。相反，毁林开荒影响下自然植被减少，将导致产水和水土保持服务呈增加趋势，水质净化服务呈下降趋势，这与郭洪伟等^[18]、卞鸿雁等^[19]、李屹峰等^[20]的研究结果较为一致。此外，在土地利用变化作用下，产水与水土保持之间为协同关系，水质净化与产水、水土保持之间均为权衡关系，这主要与三种淡水生态系统服务变化规律是否一致有关。此外，值得注意的是，建设用地扩张并没有导致水土保持服务下降，这主要与建设用地占耕主要来源于水田^[21]，且水田水土保持措施远高于旱地密切相关^[22]。鉴于土地利用与淡水生态系统服务之间的关系，为更好地利用喀斯特地区淡水生态系统服务，建议从以下方面进行土地利用结构调整：一是加快退耕还林还草工程实施，减少坡耕地比例，提高坡地植被覆盖度；二是加大石漠化治理，减少未利用地面积；三是控制建设用地扩张速度，减少建设用地占耕。

本研究假定气候要素无变化，仅考虑了土地利用变化对淡水生态系统服务的影响，而气候变化作为影响淡水生态系统服务的重要因素，尚未比较土地利用变化与气候变化对淡水生态系统服务影响的差异，这将是未来研究的重要方向。

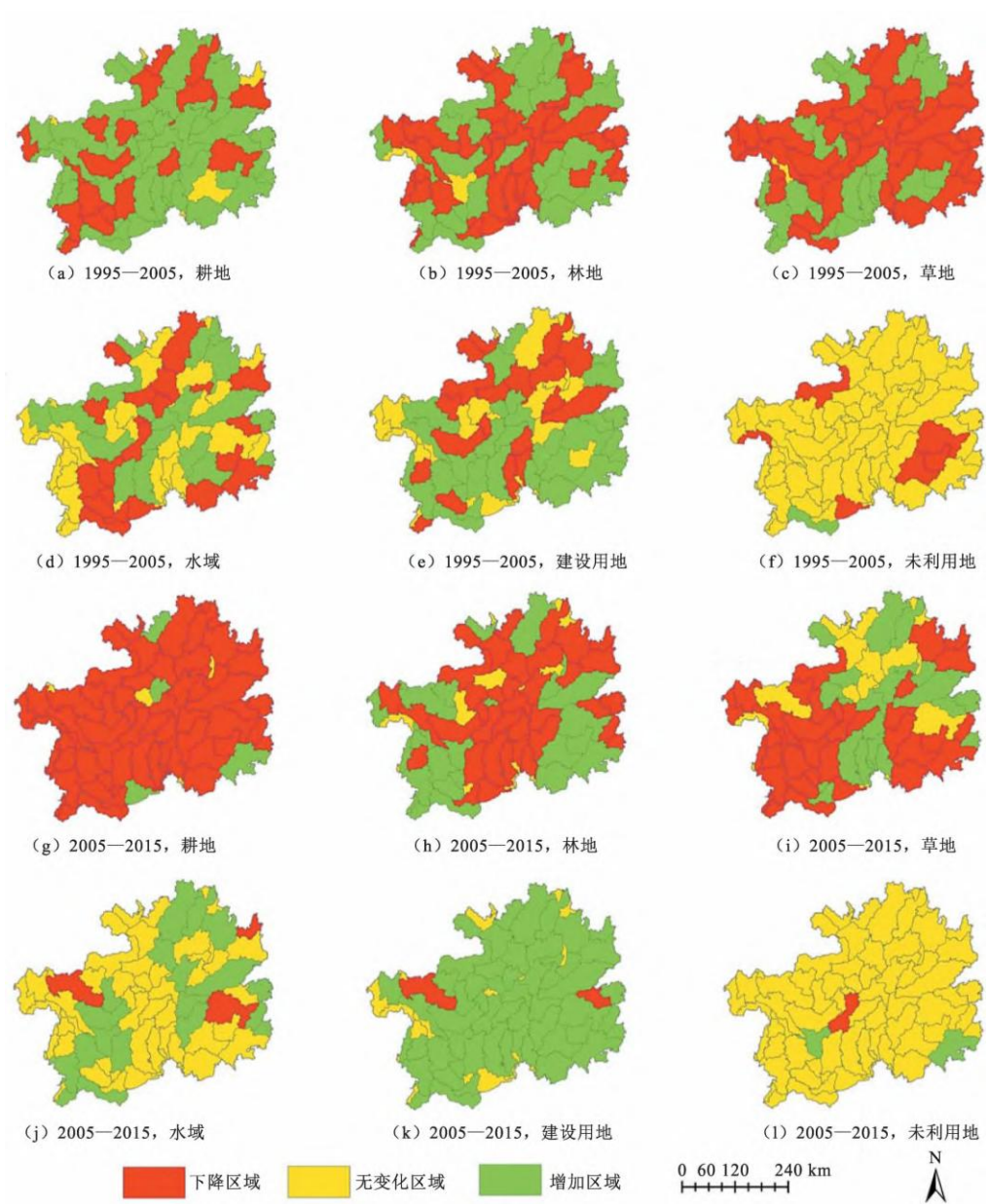


图 2 1995—2015 年贵州省土地利用变化空间格局

参考文献:

[1] 蔡庆华, 唐涛, 邓红兵. 淡水生态系统服务及其评价指标体系的探讨[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 135—138. DOI: 10.13287/J.1001-9332.2003.0030.

[2] HOYERR, CHANG. ASSESSMENT OF FRESHWATER ECOSYSTEM SERVICES IN THE TUALATIN AND YAMHILL BASINS UNDER CLIMATE CHANGE AND URBANIZATION[J]. APPLIED GEOGRAPHY, 2014, 53: 402—416. DOI: 10.1016/J.APGEOG.2014.06.023.

[3] MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MA). ECOSYSTEMS AND HUMAN WELL-BEING: CURRENT STATE AND TRENDS [M]. WASHINGTON DC: ISLAND PRESS, 2005.

[4] 宋福强, 李卓卿, 肖俞, 等. 西藏朋曲河流域淡水生态系统服务价值评估 [J]. 西南大学学报 (自然科学版), 2018, 40 (9): 142—149. DOI: 10. 13718 / J. CNKI. X D Z K. 2018. 09. 020.

[5] 郇红娟, 蔡广鹏, 罗绪强, 等. 乌江流域淡水生态系统服务时空变化特征分析 [J]. 西部林业科学, 2016, 45 (3): 6—12. DOI: 10. 16473 / J. CNKI. X BLYK X 1972. 2016. 03. 002.

[6] HUANG L , LIAO F H , LOHSEKA , ETAL . LAND CONSERVATION CAN MITIGATE FRESHWATER ECOSYSTEM SERVICES DEGRADATION DUE TO CLIMATE CHANGE IN A SEMI - ARID CATCHMENT : THE CASE OF THE PORTNEU F RIVER CATCHMENT, IDAHO, USA [J]. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, 2018, 651: 1796—1809. DOI: 10. 1016 / J. SCITOTENV. 2018. 09. 260.

[7] PHAM H V, TORRESANS, CRITTOA, ETAL. ALTERATION OF FRESHWATER ECOSYSTEM SERVICES UNDER GLOBAL CHANGE—A REVIEW FOCUSING ON THE PORO RIVER BASIN (ITALY) AND THE RED RIVER BASIN (VIETNAM) [J]. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, 2019, 652: 1347—1365. DOI: 10. 1016 / J. SCITOTENV. 2018. 10. 303.

[8] 肖飞鹏, 李晖, 尹辉, 等. 基于生态系统服务的青狮潭水库生态补偿研究 [J]. 广西师范大学学报 (自然科学版), 2014, 32 (2): 162—167. DOI: 10. 3969 / J. ISSN. 1001—6600. 2014. 02. 027.

[9] VIGERSTOLK L, AUKEMA J E. A COMPARISON OF TOOLS FOR MODELING FRESHWATER ECOSYSTEM SERVICES [J]. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, 2011, 92 (10): 2403—2409. DOI: 10. 1016 / J. JENVMAN. 2011. 06. 040.

[10] HANH , GAO H , HUANG Y , ETAL . EFFECTS OF DROUGHT ON FRESHWATER ECOSYSTEM SERVICES IN POVERTY - STRICKEN MOUNTAIN AREAS [J]. GLOBAL ECOLOGY AND CONSERVATION, 2019, 16: E00537.

[11] HU Q N , BRUNSA , RIBBEL . INTERACTIONS BETWEEN FRESHWATER ECOSYSTEM SERVICES AND LAND COVER CHANGES IN SOUTHERN BANGLADESH: A PERSPECTIVE FROM SHORT TERM (SEASONAL) AND LONG - TERM (1973 - 2014) SCALE [J]. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, 2018, 650: 132—143. DOI: 10. 1016 / J. SCITOTENV. 2018. 08. 430.

[12] HANH, DONG Y. ASSESSING AND MAPPING OF MULTIPLE ECOSYSTEM SERVICES IN GUIZHOU PROVINCE [J]. TROPICAL ECOLOGY, 2017, 58 (2): 331—346.

[13] 马世五, 谢德体, 张孝成, 等. 西南山区生态敏感区生态服务价值对土地利用变化的响应: 以重庆市万州区为例 [J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 2015, 40 (11): 80—87. DOI: 10. 13718 / J. CNKI. X S X B. 2015. 11. 014.

[14] 秦罗义, 白晓永, 王世杰, 等. 近 40 年来贵州高原典型区土地利用变化及驱动机制 [J]. 山地学报, 2015, 33 (5): 619—628. DOI: 10. 16089 / J. CNKI. 1008—2786. 000077.

[15] 雷军成, 刘纪新, 雍凡, 等. 基于 CLUE-S 和 INVEST 模型的五马河流域生态系统服务多情景评估 [J]. 生态与农村环境学报, 2017, 33 (12): 1084—1093. DOI: 10. 11934 / J. ISSN. 1673—4831. 2017. 12. 004.

[16] BUDYKOMI, MILLERDH. CLIMATEANDLI f E [M]. NEWYORK: ACADEMICPRESS, 1974.

[17] TURNERKG , ODGAARDMV , BOCHERPK , ETAL . BUNDLINGECOSYSTEMSERVICESINDENMARK : TRADE — O f f SAND SYNERGIESINACULTURALLANDSCAPE [J] . LANDSCAPEANDURBANPLANNING , 2014 , 125 : 89 — 104 . DOI : 10 . 1016 / J. LANDURBPLAN. 2014. 02. 007.

[18] 郭洪伟, 孙小银, 廉丽姝, 等. 基于 CLUE—S 和 INVEST 模型的南四湖流域生态系统产水功能对土地利用变化的响应 [J]. 应用生态学报, 2016, 27 (9): 2899—2906. DOI: 10. 13287 / J. 1001—9332. 201609. 039.

[19] 卞鸿雁, 庞奖励, 任志远, 等. 基于土地利用变化的土壤保持效益时空动态: 以黄土高原南部为例 [J]. 生态学杂志, 2012, 31 (9): 2391—2396. DOI: 10. 13292 / J. 1000—4890. 2012. 0341.

[20] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 等. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响: 以密云水库流域为例 [J]. 生态学报, 2013, 33 (3): 726—736. DOI: 10. 5846 / ST x B201205280787.

[21] 张勇荣, 周忠发, 马士彬. 工业—资源型城市土地利用变化机制分析: 以贵州省六盘水市中心城区为例 [J]. 湖北农业科学, 2012, 51 (12): 2461—2465. DOI: 10. 14088 / J. CNKI. ISSN0439—8114. 2012. 12. 003.

[22] 饶恩明, 肖焱, 欧阳志云, 等. 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素 [J]. 生态学报, 2013, 33 (3): 746—755. DOI: 10. 5846 / ST x B201203240400.