



关于云贵高原自然资源要素综合观测体系建设的思考与认识

杨朝磊 李灿锋 田瑜峰 马一奇 朱志平

Insight into the construction of a comprehensive observation system of natural resource elements in Yunnan Guizhou Plateau

YANG Chaolei, LI Canfeng, TIAN Yufeng, MA Yiqi, ZHU Zhiping

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0172>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

冀西北自然要素变化与水源涵养功能保持研究

Changes of natural elements and maintaining of water conservation function in northwestern Hebei Province

草业科学. 2020, 37(7): 1215 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0439>

基于能值生态足迹模型的青海地区可持续发展评估

Evaluation of sustainable development in Qinghai based on energy ecological footprint model

草业科学. 2019, 36(5): 1445 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0269>

荒漠化治理技术产业化过程中资源环境经济协调发展研究：以阿拉善盟为例

Coordinated development of resource-environment-economy system in the industrialization of desertification control technology: A case study of Alxa League of Inner Mongolia

草业科学. 2020, 37(2): 383 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0283>

中国草地类自然保护区生态环境质量动态评价指标体系构建与案例

Construction of an indicator system and a case study of eco-environmental quality assessment of China's grassland nature reserves

草业科学. 2017, 11(11): 2378 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0229>

加快构筑北方草原生态安全屏障产业和技术融合发展体系的思考

Accelerating the construction of an industry and technology integration development system of an ecological safety barrier in a northern grassland

草业科学. 2019, 36(11): 2727 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0175>

新农科背景下草类作物栽培学综合实践教学体系的构建

Development of a comprehensive practical teaching system for grass-like crop cultivation science under the emerging agronomy framework

草业科学. 2020, 37(9): 1926 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0549>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0172

杨朝磊, 李灿锋, 田瑜峰, 马一奇, 朱志平. 关于云贵高原自然资源要素综合观测体系建设的思考与认识. 草业科学, 2022, 39(12): 2629-2644.

YANG C L, LI C F, TIAN Y F, MA Y Q, ZHU Z P. Insight into the construction of a comprehensive observation system of natural resource elements in Yunnan Guizhou Plateau. Pratacultural Science, 2022, 39(12): 2629-2644.

关于云贵高原自然资源要素综合观测 体系建设的思考与认识

杨朝磊, 李灿锋, 田瑜峰, 马一奇, 朱志平

(中国地质调查局昆明自然资源综合调查中心, 云南 昆明 650111)

摘要: 随着全球气候变暖与人类活动影响地加剧, 云贵高原的生态环境系统正变得愈发脆弱与敏感, 生物多样性受损、水资源短缺、人地矛盾突出、湖泊湿地服务功能退化等资源环境问题不断凸显, 制约着区域生态系统, 资源环境系统和社会经济系统的协调式融合发展, 构建自然资源要素综合观测站网体系, 开展多站点—多尺度—多方法—多要素—多过程的立体化协同观测与科学研究实验, 成为了当前一项战略性、紧迫性、基础性的重要工作。基于云贵高原生态地理、气候环境、自然资源等多重特征, 结合现有观测站点概况, 本研究提出了构建高山峡谷冰川湿地水文气象生态植被综合观测网、高原盆地农田湿地水文气象生态植被综合观测网、中低山丘陵脆弱环境水文气象生态植被综合观测网 3 个自然资源要素综合观测站网的体系建设构想, 并从观测指标体系、站点融合共建、天空地立体化观测、重大科学问题研究 4 个方面对未来工作进行了思考与展望, 为云贵高原观测体系的建设与发展提供建议和参考。

关键词: 云贵高原; 资源环境问题; 可持续发展; 自然资源要素; 综合观测; 体系建设; 未来构想

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2022)12-2629-16

Insight into the construction of a comprehensive observation system of natural resource elements in Yunnan Guizhou Plateau

YANG Chaolei, LI Canfeng, TIAN Yufeng, MA Yiqi, ZHU Zhiping

(China Geological Survey Kunming General Survey of Natural Resources Center, Kunming 650111, Yunnan, China)

Abstract: With global warming and the increasing impact of human activities, the ecological environment of the Yunnan Guizhou Plateau has become increasingly fragile and sensitive. Various resource and environmental problems, such as biodiversity damage, water shortage, the contradiction between man and land, and degradation of lake and wetland service functions, are becoming increasingly prominent, restricting the coordinated and integrated development of regional ecosystems, resources and environment systems, and socio-economic systems. Building a comprehensive observation station network system of natural resource elements and carrying out three-dimensional collaborative observation and scientific research experiments of multi-station, multi-scale, multi-method, multi-element, and multi-process has become a strategic, urgent and important work. Based on the ecological geography, climate environment, natural resources, and other characteristics of Yunnan Guizhou Plateau, combined with the overview of existing observation stations, this study puts forward the construction conception of three natural resource elements comprehensive observation station network systems: Glacier wetland hydrometeorological ecological vegetation comprehensive observation network in the Alpine Canyon Area,

收稿日期: 2022-03-14 接受日期: 2022-06-06

基金项目: 中国地质调查局二级项目 (ZD20220145); 国家自然科学基金项目 (U2102209)

通信作者: 杨朝磊 (1991-), 男, 云南祥云人, 工程师, 硕士, 研究方向为矿床地球化学、自然资源要素综合观测。

E-mail: yangchaolei@email.cugb.edu.cn

<http://cykx.lzu.edu.cn>

Comprehensive observation network of farmland wetland hydrometeorological ecological vegetation in the Plateau Basin, Comprehensive observation network of hydrological, meteorological and ecological vegetation in the fragile environment in the middle and low mountain and hilly areas. At the same time, future work is considered and prospected from four aspects: an observation index system, station network integration and co-construction, three-dimensional collaborative observation, and research on vital scientific problems to provide suggestions and references for the construction and development of the Yunnan Guizhou Plateau observation system.

Keywords: Yunnan Guizhou Plateau; resource and environmental issues; sustainable development; elements of natural resources; comprehensive observation; system construction; future vision

Corresponding author: YANG Chaolei E-mail: yangchaolei@email.cugb.edu.cn

自然资源要素综合观测体系建设作为自然资源部十二项重大科技工程之一^[1],主要立足国家重大战略需求,围绕自然资源部“统一行使全民所有自然资源资产所有者职责,统一行使所有国土空间用途管制和生态保护修复职责”的“两统一”管理职责展开,即有效服务于自然资源经济价值和生态价值的科学管理,支撑自然资源从以要素管理为主向以综合管理为主的转型和升级。该工程的启动不仅是全面贯彻习近平生态文明思想、实现山水林田湖草整体保护、系统修复、综合治理的重要举措,同时对于优化自然资源开发利用格局,深入实施国家生态系统保护和修复重大工程也具有十分重要的科学意义与现实价值^[2-5]。

云贵高原作为西部的重要生态安全屏障,气候环境特征独特,自然资源禀赋优越,在中国自然地理环境中扮演着十分重要的角色^[6-9]。然而,近年来,随着全球气候变暖^[10]与人类活动影响加剧,整个高原的生态环境系统正变得愈发脆弱与敏感,生物多样性受损^[11-12]、高原湖泊萎缩与污染^[13-16]、湿地服务功能退化^[17-19]、人地矛盾突出^[20-21]、水资源短缺^[22-24]等资源环境问题不断凸显,对区域自然—社会—经济复合生态系统的维持与平衡造成了严重影响,成为了当前人与自然和谐共生所必须面对与解决的核心问题。

当前,云贵高原各类资源环境问题的出现一方面与区域的独特地理环境以及各类自然资源的结构、状态有关,然而更为重要的是人类对资源的不合理开发利用以及资源环境承载力与区域城镇化发展的不协调是导致这些问题出现的主要驱动因素,因此,在这样的背景下,构建云贵高原自然资源要素综合观测站网体系,通过多站点、多尺度、多方法、多要素和多过程的立体化协同观测与科学实

验,以及多学科数据整合与多过程模型模拟,系统地掌握区域不同自然资源的结构、状态、功能变化及其动态演变规律,实现区域自然—社会—经济复合生态系统的协调式融合发展与水土气生的自然环境及资源时空格局优化配置,就成为了当前一项战略性、紧迫性、基础性的重要工作。基于此,本文在系统分析云贵高原主要资源环境问题现状的基础上,详细梳理了现有野外观测研究站点概况,结合区域生态地理、气候环境和自然资源等多重特征,对云贵高原自然资源要素综合观测体系的构建进行了思考与展望,以期为该地区观测体系的建设与发展提供建议和参考。

1 区域概况

云贵高原是中国四大高原之一,位于西南边陲,地处南北走向和东北西南走向两组山脉交汇部位,整体地形破碎,地势西北高、东南低,覆盖范围较广,其主体以云南、贵州两省为主,故本文所指云贵高原将以两省的行政区边界为界,该区域总面积为 $57.02 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占中国国土面积 5.90%。由于地势较高、纬度较低,加之季风气候制约的综合影响,整个高原气候类型多样且垂直气候明显,横跨寒温带至热带的 7 个气候带,大部分地区年平均降水量为 800~2 100 mm,年平均气温为 5~24 °C,且不同地区差别明显,具有南高北低、西高东低、西南最高、西北最低的分布特征^[25]。

作为西部重要的生态安全屏障,云贵高原自然资源禀赋独具优势,具有种类多、总量大、潜在价值高的特点^[7-8]。整个地区矿产资源丰富,水资源总量居全国第一^[26-45],分布有金沙江、澜沧江、怒江、珠江等多条水系,并且水能蕴藏年发电量巨大^[46]。特殊的地理环境条件使云贵高原的生物资源禀赋十

分优越^[47-48], 森林覆盖率较高, 发育有从热带森林到高山苔原的多种植被类型, 区域林地面积更是高达 50.00% 以上^[20], 同时动物种类繁多, 分布有横断山南段、西双版纳、武陵山、桂西黔南石灰岩区等多个生物多样性保护优先区^[49], 是保障西南地区社会经济稳定发展的重要资源战略基地。

2 资源环境问题现状

2.1 生物多样性保护压力日益加大

云贵高原许多地区都处于工业化、城镇化加速发展期, 居民生活、资源开发、生产发展和基础设施建设等给生物多样性保护造成的压力正日益加大, 尤其是部分生物多样性保护区与资源开发地带高度重合, 随着人类活动影响的加剧, 一些生物的栖息地遭到人为损害, 自然通道被破坏, 生境不断被割裂和缩小, 质量严重退化^[12, 50], 以最为典型的梯级电站开发为例, 截至 2020 年, 云南境内各大流域水电站数量达 64 座 (含在建) 之多^[50], 电站库区建成后淹没大量土地^[51-53], 导致动、植物栖息地丧失, 森林覆盖率降低, 如李仙江流域的梯级电站开发淹没各类植被面积 $2\,715.16\text{ hm}^2$ ^[54]; 澜沧江中、下游的梯级电站建成蓄水后, 淹没的林地面积则高达 $1\,643\text{ hm}^2$ ^[55], 严重影响了区域植被的正常演替, 甚至产生生物迁移和基因交流的隔离, 对流域内的生物多样性造成了严重威胁; 而受人类活动与生产发展的影响, 一些高原湿地的生物多样性状况也极为不容乐观, 如滇中地区的多数湿地生物多样性指数普遍低于 0.413, 陆良湿地的指数值更是仅有 0.189^[56], 如何平衡生物多样性保护与社会经济发展之间的协调关系成为了当前亟需解决的一个重要科学问题。其次, 整个高原的外来物种入侵与遗传种质资源流失等现象, 目前仍未得到有效地控制与解决, 对生态环境和生物多样性构成了严重威胁^[50, 57-58], 数据显示, 云南省外来入侵物种为 209 种^[59], 贵州省则达 217 种^[60], 在云南热带、亚热带地区分布的 3 种野生稻种中, 普通野生稻 26 个分布点已经消失 24 个, 药用野生稻 13 个分布点已消失 11 个, 疣粒野生稻 105 个分布点已消失 70 多个, 尤其是随着全球气候变化地加剧, 极端气候现象频繁和次生气象灾害频发等给生物多样性保护带来了新的挑战^[59, 61], 而生态补偿机制的不健全以及现代化进程的加快

更使得生物多样性利用与保护的民族传统生态文化面临着前所未有的冲击, 导致与之相适应的可持续自然资源传统管理模式逐步消失^[62-64], 十分不利于生物多样性的可持续利用与发展。

2.2 高原湖泊湿地服务功能退化

云贵高原湖泊湿地众多, 其作为影响区域生态环境的关键因子, 不仅具有发育典型、类型多样、功能强大等多重特征, 同时还具有无可替代的环境、生态及社会功能, 是高原区域维持可持续发展的重要生态系统, 在社会经济发展过程中占据着重要的战略地位^[65]。然而, 近年来, 在自然因素与人类社会活动如围湖造田、农经种植、排水垦殖、生物资源过度利用、水资源过度开采以及无序旅游开发等多种因素影响下, 高原湖泊湿地生态系统承受了比其他自然生态系统更为巨大的胁迫压力, 尤其是多数湖泊、湿地流域内人口密度高, 工农业集中, 经济发展速度较快, 人类活动的干扰程度十分显著, 导致一些生态系统本身就较为脆弱的湖泊、湿地, 具有的功能与服务出现明显退化甚至丧失^[66-67], 以致其表面水体面积显著减少, 生态环境急剧恶化, 出现面积萎缩、水质污染与富营养化 (表 1)^[15-16]、水土流失、泥沙淤积和逆向演替等一系列问题^[13-19], 不仅严重影响水文调节、气候调节、环境调节等生态系统服务功能的发挥及其稳定性^[68-70], 同时更是显著地加大了当地生产、生活用水的压力, 影响了水资源的管理开发与利用。

2.3 土地保护与利用的矛盾突出

当前, 云贵高原的土地资源开发利用主要面临以下 3 个方面的挑战: 一是人均耕地面积较少, 陡坡耕地与旱地的占比较高, 水土资源存在空间不匹配的现象, 同时, 耕地破碎化程度高, 耕作层浅薄, 养分贫乏、有机质含量低, 蓄水保肥能力较差, 耕地存在酸化板结、潜育化等现象, 有大面积的中低产田发育, 整体投入产出率一般较低^[71-72]; 二是区域地处土壤侵蚀严重区, 水土流失问题突出, 数据显示 2020 年云南、贵州两省的水土流失总面积达 $14.76 \times 10^6\text{ hm}^2$, 占两省土地总面积的 25.87%, 其中强烈级以上的面积占水土流失总面积的 18.85%^[73], 水土流失不仅造成严重的土地质量退化, 同时大量的泥沙淤积还会对水能资源梯级开发及流域防洪等构成

表 1 云贵高原主要湖泊概况
Table 1 Overview of main lakes in the Yunnan Guizhou Plateau

湖泊 Lake	水质类别 Water quality class	水质 Water quality	是否达到水功能环境要求 To achieve the function of water environment	营养状态 Nutritional status	2005—2015年湖泊表面 水体面积变化 Surface water area changes of lakes (2005—2015)
滇池草海 Caohai of Dianchi Lake	Ⅳ类 Class Ⅳ	轻度污染 Light pollution	是 Yse	中度富营养 Medium eutrophication	增大 Increase
滇池外海 Waihai of Dianchi Lake	Ⅴ类 Class Ⅴ	中度污染 Moderate pollution	否 No	中度富营养 Medium eutrophication	
阳宗海 Yangzonghai Lake	Ⅲ类 Class Ⅲ	良好 Good quality	否 No	中度富营养 Medium eutrophication	缩小 Reduction
洱海 Erhai Lake	Ⅲ类 Class Ⅲ	良好 Good quality	否 No	中度富营养 Medium eutrophication	增大 Increase
抚仙湖 Fuxian Lake	Ⅰ类 Class Ⅰ	优 High quality	是 Yse	贫营养 Oligotrophic	缩小 Reduction
星云湖 Xingyun Lake	Ⅴ类 Class Ⅴ	中度污染 Moderate pollution	否 No	中度富营养 Medium eutrophication	缩小 Reduction
杞麓湖 Qilu Lake	劣Ⅴ类 Inferior class Ⅴ	重度污染 Severe pollution	否 No	中度富营养 Medium eutrophication	缩小 Reduction
程海 Chenghai Lake	Ⅳ类 Class Ⅳ	轻度污染 Light pollution	否 No	中度富营养 Medium eutrophication	缩小 Reduction
泸沽湖 Lugu Lake	Ⅰ类 Class Ⅰ	优 High quality	是 Yse	贫营养 Oligotrophic	缩小 Reduction
异龙湖 Yilong Lake	Ⅴ类 Class Ⅴ	中度污染 Moderate pollution	否 No	中度富营养 Medium eutrophication	缩小 Reduction

重大威胁；三是石漠化问题突出，云贵高原的石漠化经过多年的系统治理已取得了显著的阶段性成果，但总体来看，防治形势依然非常严峻，其治理过程具有长期性和艰巨性，局部地区石漠化土地仍在扩展，同时石漠化耕地与坡耕地加剧和产生新的石漠化的风险较高^[74]，而一些石漠化情况已经得到控制及恢复的区域，随着全球气候变暖，洪涝灾害的频发，将面临着再次石漠化，甚至石漠化扩大的风险^[75]，无形中显著加大了土地的承载压力，使得整个地区土地保护与利用的矛盾变得异常尖锐。

2.4 水资源短缺严重

云贵高原水资源总量十分丰富，但时空分布不均，各地区普遍存在不同程度的缺水现象，而随着人口增加(图 1)^[76-77]、经济发展(图 2)^[77-78]与气候变化加剧，许多地区的水资源承载力正逐步增大，脆弱性问题不断加重^[22-24, 78]。首先，在时间上整个地区全年降水较为集中，雨季时间较短，旱季时间较长，季节性缺水问题突出^[79-80]，尤其是部分喀斯特地区，地表河流少，区域河网密度较低，地表水资源量相对匮乏且涵养能力弱，地下水储量大但开采利用

困难^[81]，因此，降雨较少的干旱季节会出现水资源供给不足的现象；其次在空间上，区域水资源总量具有山区多，坝区(盆地)少的特征，而山区内的水资源又往往集中于深切沟谷中，地形地貌复杂，存在“人在高处居，水在低处流”的现象，水资源利用难度较大且开发成本高，工程性缺水严重^[7-8, 23, 82]，整个地区土地、人口、水资源空间分布不均的情况十分显著，特别是滇中、黔中等耕地、人口、工业比较集中的重点城市群，水资源本身相对贫乏，工农业需水量较高，人均水资源生态盈余较低，如昆明、贵阳等核心城市的人均水资源量多年低于国际公认的人均 1 000 m³ 下限标准(图 3)，处于重度缺水状态^[26-27]，同时水资源承载力濒临超载甚至已超过合理开发上限^[23, 83]，其区域水资源量已难以满足需水要求，水资源短缺的形势日趋复杂与严峻，已成为制约区域工农业发展的主要因素。

可以看出，随着全球气候变暖与人类活动影响加剧，一些突出的资源环境问题所带来的风险与挑战已成为制约云贵高原高质量可持续发展的重要阻碍，因此，如何全面有效地掌握区域自然资源的

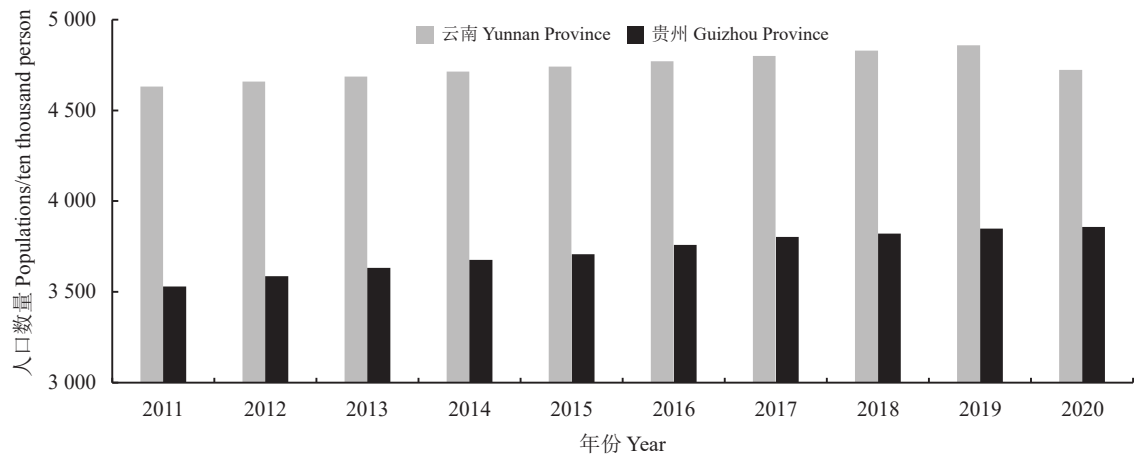


图 1 云南、贵州 2011—2020 年人口数量情况

Figure 1 Population situation of Yunnan and Guizhou provinces (2011—2020)

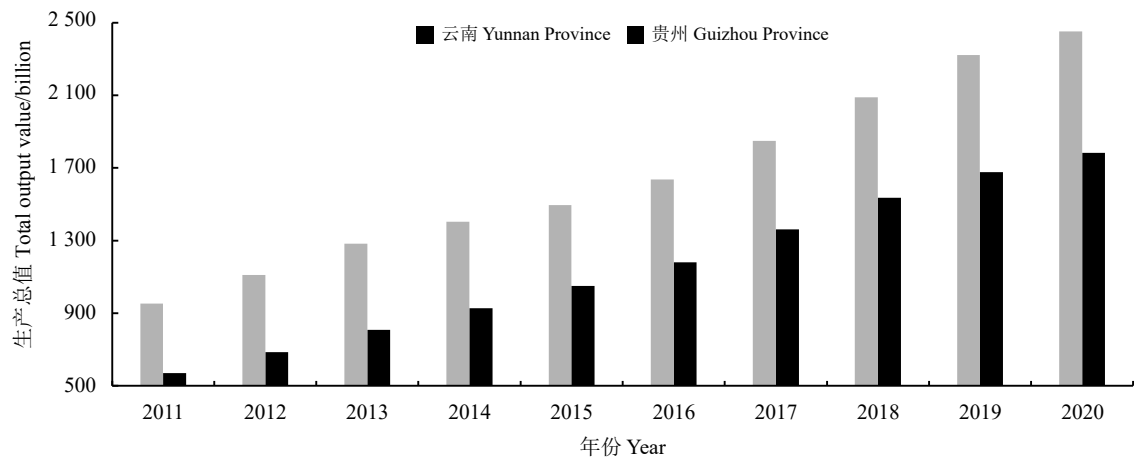


图 2 云南、贵州 2011—2020 年 GDP 变化情况

Figure 2 Changes in GDP of Yunnan and Guizhou provinces (2011—2020)

状态、功能及动态演变规律，科学认知自然资源变化与人类社会活动的互馈机制，优化资源空间配置，评估资源开发上限，合理管理与利用自然资源成为了解决问题的关键，而建立自然资源要素综合观测体系，获取不同时间(小时、日、季节、年代、时代)与空间(个体、样地、群落、集水区、流域、关键带和区域)尺度的自然资源特征数据，可为实现这一关键提供直接有效的参考数据与验证信息^[2-3, 84]。

3 野外观测研究站点概况

3.1 基本概况

目前，除国家气象监测站网、水文监测站网、土壤环境监测网、数字地震台网及水土保持监测网等部门业务网站点外，整个云贵高原还分布有各类野外定位观测研究站点四十多个，隶属于多家不同的

科研院所与单位，在空间上主要集中于滇中、滇西北、滇西南等地区，整体具有“西多东少、局部集中”的分布特征，根据观测研究对象，可分为自然资源类生态观测站、生态环境观测站及其他观测站 3 种主要类型，其中，自然资源类生态观测站的观测对象涉及森林、草地、湿地(湖泊)、农田和冰川等多种资源，研究内容包括自然资源的结构、功能特征及动态变化规律、资源开发与高效持续利用、资源环境效应及其影响等多个方面；生态环境观测站则以干热河谷、喀斯特脆弱区为主要观测研究对象，研究内容以脆弱生态环境的变化与驱动机制，以及生态环境的修复保护与治理为主。经过多年的建设与发展，整个云贵高原目前已基本形成覆盖重要生态地理单元的综合观测站网体系，为区域的社会经济稳定发展与生态文明建设提供了重要的支撑。

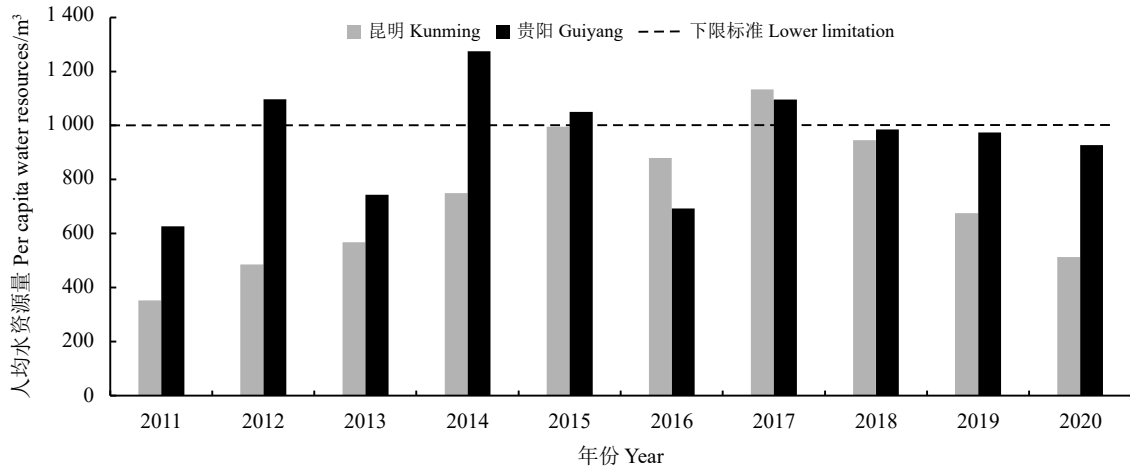


图 3 昆明、贵阳 2011—2020 年人均水资源量^[26-45]

Figure 3 Per capita water resources in Kunming and Guiyang (2011—2020)^[26-45]

3.2 存在不足

构建满足服务于自然资源管理需求的观测体系是一项庞大且复杂的艰巨任务,需要充分统筹协调现有的各类观测站点,建立协作机制,形成多尺度观测、多方法印证、多过程融合、多资源集成、多目标服务的综合站网体系^[2-3, 84],然而,从目前观测站点的分布格局与建设情况来看,现有站网体系在服务云贵高原自然资源的一体化统筹管理与自然—社会—经济系统的协调式融合发展方面还存在一定的不足,主要表现为以下两点:

一是现有观测研究站点分属于多家不同的部门、单位,不同站点的管理和运行机制各具特点,数据分散且表征指标不统一,存在数据壁垒,无法有效集中统一管理,尤其是不同台站之间缺少稳定的数据共享交换机制,站网之间衔接融合难度大,而要实现区域自然资源的一体化统筹管理,服务生态系统—资源环境系统—社会经济系统之间的协调式融合发展,形成多尺度、多过程、多方法、多来源数据的有效集成与融合是关键。

二是观测研究站点空间分布不均,空间上集中于局部区域,对乌蒙山生态带、苗岭生态带、南盘江—红水河流域生态带、大娄山—赤水河上中游生态带以及武陵山生态带^[85-86]等重要区带的控制程度明显不足,此外,部分观测站点建设规模较小,观测要素单一,站点建成后,由于后续资金投入不足,未能形成稳固的运维机制,无法稳定产出长时间序列的观测数据,对于系统掌握区域不同自然资源组成、结构、功能及其动态演变规律的数据支撑能力

还相对不足。

因此,基于现有观测站点格局,如何科学有效地整合观测站网资源与数据,形成跨台站与跨部门的合作模式,不断优化与完善观测站网体系,实现区域自然资源观测数据的集中统一管理与高效利用将是未来云贵高原观测体系建设的重点工作。

4 站网体系框架构想

4.1 构建思路

云贵高原地形地貌多样,立体气候显著,生态地理特征复杂,整体地势呈阶梯式下降,可分为 3 个梯层:高山峡谷区(第一梯层)、高原面区(第二梯层)与低山丘陵过渡区(第三梯层)^[7-8]。

1) 高山峡谷区主要以滇西北部地区为主,属于云贵高原的第一梯层,为寒温带—温带气候类型,区内河流切割侵蚀特征明显,高山峡谷相间分布,地形复杂且起伏较大,水分、温度、植被垂直地带性显著,山脉的隔离与特殊的自然地理气候,使该区具有环境异质性与生物多样性的双重特点,成为生物多样性程度较高的复杂栖息地,生物资源禀赋优越,是中国乃至世界生物多样性重点保护的核心区域^[87-88],同时,区内河网水系密布,高原湿地众多且海洋型冰川发育,因此,水资源亦较为丰富,属于水源涵养与生物多样性保护的重要生态功能区。

2) 高原面区主要以云南高原以及黔中、黔西和黔西北等贵州地区为主体,属于云贵高原的第二梯层,气候以温带—亚热带气候类型为主,该区为残留的古夷平面,起伏程度与侵蚀程度较低,高原地

貌典型且高原面特征明显,区内发育有众多地势平坦的断陷盆地,高原湖泊星罗棋布,可利用土地面积大,属于耕地资源的优势集中区^[89-90],围绕断陷盆地,形成了人口密度大、城镇化程度高的城市群、城镇群,如滇中城市群、黔中城市群、滇东北城镇群等^[85-86],属于云贵地区社会经济发展的核心地带,自然资源需求量大、开发利用程度高,区域城镇化、工业化、农业集约化等人类活动对生态环境系统的影响较为显著。

3) 低山丘陵过渡区属于第三梯层,其范围主要包括贵州向四川盆地,以及广西、湖南丘陵的过渡地区,同时还涵盖云南南部、西南部、东南部的边缘地带,整体为中低山丘陵地貌,以亚热带—热带气候类型为主,该区水热资源较好,耕地资源相对丰富,分布有西双版纳、武陵山、桂西黔南石灰岩区等多个生物多样性保护优先区^[49],生物资源禀赋优越^[91-92],是水土保持、水源涵养与生物多样性保护的重要生态功能区,但该地区自然环境特殊,整体生态系统较为脆弱、敏感,分布有喀斯特生态环境系统、热带雨林、季雨林生态环境系统等极易受到气候变化与人类活动影响的特殊自然生态系统,很大程度地制约了区域生态环境保护与自然资源的可持续开发与利用。

上述3个自然地理梯层的资源禀赋差异明显,涵盖了云贵高原的主要气候环境与自然生态系统,因此,自然资源要素观测站网体系的框架可整体围绕3个梯层进行构建,立足生态地理、气候环境、自然资源等多重特征,以控制各梯层内的重要自然保护节点、关键辅助廊道和重要生态区带为目标,以服务自然资源管理与重大生态环境修复保护工程为导向,结合云贵地区现有观测站点,构建高山峡谷冰川湿地水文气象生态植被综合观测网、高原盆地农田湿地水文气象生态植被综合观测网、中低山丘陵脆弱环境水文气象生态植被综合观测网3个自然资源要素综合观测站网。

4.2 高山峡谷冰川湿地水文气象生态植被综合观测网

高山峡谷冰川湿地水文气象生态植被综合观测网主要以老君山、普达措、白马雪山、梅里雪山、玉龙雪山、碧罗雪山和哈巴雪山等重要自然保护地为支撑节点,依托迪庆、丽江生物多样性保护廊道、怒

江生物多样性保护廊道^[85]两条关键辅助廊道进行衔接,控制青藏高原东南缘生态屏障。高山峡谷区内观测站点相对较多,分布有冰川观测站、湿地观测站、森林观测站、草地观测站等,对自然资源关键要素、生态地理重要区带的控制程度高,因此,高山峡谷冰川湿地水文气象生态植被综合观测网将主要基于区内的各类观测站点,以站网融合、站点整合、数据共享的方式进行构建。

观测网的观测对象以冰川资源、湿地资源与植被资源等为主,重点服务“独龙江流域生物多样性保育”和“三江并流区生物多样性保护与生态修复”^[79]等生态工程项目,主要研究与解决生物多样性可持续发展、高原湖泊湿地退化以及冰川萎缩等资源环境问题,重点开展冰川、湿地的变化过程与机理监测、水文过程与模拟监测、立体气候环境与植被分带变化监测等,以观测和积累低纬高山、亚高山地区的冰川、湿地、气象气候、水文、生态环境、植被和人类活动等方面的基础数据及资料为目的,建立高山峡谷区以冰川、湿地、植被为主的资源环境研究体系与评价体系,对高山峡谷区资源环境系统的服务、功能及其价值进行定量地分析、评估,以揭示气候变化与人类活动影响下高山峡谷区的资源环境系统特征、演变与退化规律等,服务区域自然资源的管理开发与生态环境保护。

4.3 高原盆地农田湿地水文气象生态植被综合观测网

高原面区的自然保护节点众多,主要以滇池、抚仙湖、杞麓湖、草海等高原湿地,以及乌蒙山、哀牢山、无量山、高黎贡山、元江、宽阔水等自然保护地为代表,乌江生态廊道、牛栏江—横江生态廊道、滇东北—滇中水土保持廊道、元江生物多样性保护廊道等关键辅助廊道与无量山—哀牢山生态屏障、滇东—滇东南石漠化地带、金沙江—元江干热河谷带、乌蒙山生态带^[85-86]等重要区带组成了该区的生态安全格局体系构架,高原盆地农田湿地水文气象生态植被综合观测网将基于该生态安全格局体系构架进行建设。高原面区内站点主要以农业观测站、湿地观测站、森林观测站、干热河谷观测站及其他观测站等为主,站点较多,但局部集中特征明显,存在观测空白区域,因此,高原盆地农田湿地水文气象生态植被综合观测网将以站点集中区域站网

融合、站点整合、数据共享为主,空白区域添建控制为辅相结合的方式构建。

观测网将以水资源为核心,土地资源为基础,重点围绕湿地、农田及植被等资源要素开展相关调查、观测与评价,主要研究与解决高原湖泊湿地退化、土壤侵蚀与水土流失防治、土地退化与耕地质量提升以及核心城市群水资源短缺等资源环境问题,有效支撑与服务“九大高原湖泊生态保护和修复”“乌蒙山生态保护与修复”“乌江上中游城镇生态修复与国土综合整治”“金沙江干热河谷生态修复”“珠江源头区水土保持与水源涵养”等生态工程项目^[85-86]。结合区域特点,该站网将主要观测城市群城镇化、工业化、农业集约化进程中淡水、土地、气候、生物等资源要素的组成、结构、功能及其变化、过程和机制,重点观测与积累不同进程中水、土、气、生、人生态要素与淡水、土地、气候、生物、经济等资源要素耦合作用关系的长期数据与资料,创新更多基于自然解决方案的河湖湿地生态系统保护修复治理模式、土地整治与功能服务提升模式以及生物资源开发利用与社会经济高质量发展的协同机制,探索水量型缺水、水质型缺水、生态型缺水(“量—质—生”)三维水资源短缺的应对机制,优化国土空间配置,缓解人地矛盾,不断调控与提高城市群城镇化与资源环境承载力的耦合协调度,维持区域工农业的可持续高质量发展。

4.4 中低山丘陵脆弱环境水文气象生态植被综合观测网

中低山丘陵脆弱环境水文气象生态植被综合观测网将基于铜壁关、黄连山、八宝、雷公山、梵净山、茂兰、习水、武陵山等重要自然保护节点,围绕滇东南水土保持廊道、普洱—西双版纳生物多样性保护廊道、黔西南—西双版纳生态廊道及黔西南—黔南—黔东南至武夷山区生态廊道^[85-86]等关键辅助廊道进行构建,控制南盘江—红水河流域生态带、大娄山—赤水河中上游生态带、武陵山—月亮山区生态带、苗岭生态带及南部边境生态屏障^[87-88]等重要区带。低山丘陵过渡区内以喀斯特观测站、森林观测站为主,站点稀疏,对自然保护节点、关键辅助廊道和重要区带的控制程度明显不足,观测空白区域较多,因此,结合实际情况,中低山丘陵脆弱环境水文气象生态植被综合观测网将

以现有的站点为基础,围绕区内重要节点、辅助廊道与关键区带采取站点添建控制为主,站网(点)融合共建为辅的方式开展建设。

观测网将主要对区内喀斯特、热带雨林、季雨林等脆弱生态环境系统的土壤、气象气候、水文以及植被等要素的变化过程与规律进行长期连续观测,重点开展水土流/漏失过程与机理监测、石漠化过程与生态修复效益监测、热带农经种植与资源环境效应监测等,主要研究与解决生物多样性保护、水土流/漏失防治、石漠化综合整治等资源环境问题,有效服务与支撑“赤水河生物多样性保护与石漠化治理”“武陵山水土保持与生物多样性保护”“苗岭南缘石漠化治理与生物多样性保护”“南汀河流域生物多样性保护与石漠化防治”“滇南热带森林保育”及“滇东南石漠化防治与生物多样性保护”^[85-86]等生态工程项目,建立脆弱生态环境保护与资源开发利用的可持续绿色发展模式,以提高脆弱环境的生态系统功能和服务价值为目标,形成水土保持、水源涵养、生物多样性“三位一体”的协同恢复模式与发展机制。

5 体系建设展望

自然资源要素综合观测体系建设是一项系统性、基础性工程,需要从地球系统科学的角度出发,综合考虑区域重要性、资源代表性和观测研究对象的典型性,多要素、多过程、多尺度地整体设计和系统推进,体系建设既要全面统筹地上、地表、地下不同自然资源,将各资源要素系统性的有机统合起来,确保完善山水林田湖草生命共同体,同时还要紧扣区域的资源环境管理需求实际,切实有效服务保障生存、生活、生产与生计“四生”问题,构建多要素交叉、多目标服务、多功能融合的综合观测站网体系。本文将从以下4个方面对云贵高原自然资源要素观测体系建设的未来重点工作进行展望与概述。

5.1 建立科学合理的观测指标体系

观测站网体系构建的最终目的是实现自然资源的可研、可预和可控,而科学合理的观测指标体系是实现这一目的基础,同时也是开展高水平多站联网观测的基本前提^[4],因此,观测指标体系的构建不仅要突出区域重要性、资源代表性和观测研究对象的典型性,更为核心的是能科学合理地反映云贵

高原高山峡谷区、高原面区、低山丘陵过渡区 3 个不同地理、气候、环境梯度带内的自然资源变化特征,尤其是一些特殊生态环境系统如高山复合生态环境系统、高原湖泊湿地生态环境系统、喀斯特生态环境系统、干热河谷生态环境系统、热带雨林、季雨林生态环境系统内的一般资源与特色资源的数量、质量变化情况、耦合作用关系及相互转化过程,获取各系统内自然资源要素在不同时空尺度组分、结构、过程、功能、服务变化的第一手基础数据,为观测和评估区域的自然资源状态变化,发现和理解自然资源响应机制,认知和描述自然资源演变规律,预测和预警自然资源演变趋势,系统评价资源环境承载力与多资源综合统一管理提供重要支撑。

5.2 探索站点融合共建运行模式

文中构想的 3 个综合观测网其所在区域内均分布有不同数量的各类观测站点,基于站网体系构架如何充分有效地利用与整合这些观测站点及其相关观测数据是观测网建立的关键与基础所在。但如前文所述,现有的定位观测站点一是所属部门、单位不同,管理运行模式存在一定差异,数据之间交换共享存在困难;二是观测要素表征指标不同,存在共性指标与差异指标,而共性指标在观测技术方法、观测标准、数据精度方面也存在一定不同;三是数据传输体系不同,观测站点归属不同观测网络,有其自身的数据通讯传输体系与管理体制,部分台站的观测数据以人工采集为主,仪器设备缺少实时传输功能;四是部分观测站属于专项科研台站、部门业务台站,观测要素不全,需要补充缺少的观测要素。基于此,本文认为探索站点融合共建运行模式,构建云贵高原自然资源要素综合观测网应从以下几方面着手:一是联合各观测站点及管理部门单位,初步建立观测网络,在数据交换、站点合建、数据传输、运维管理、科学观测计划方面开展相关工作;二是制定统一的自然资源要素综合观测标准规范、指标体系,科学统一共性指标的观测技术方法、标准规范、数据精度,保证数据能够集中统一管理;三是结合三个观测网的定位,针对云贵地区的特殊资源环境系统与特色资源,依据各现有站点的研究方向、定位及观测内容等,合理的设置差异性观测指标,规划观测内容与任务;四是开展已有观测站点的改建升级工作,包括站点(样地),

改建、仪器补充、设备升级、数据采集传输体系设计等,其目的主要是补充观测要素,实现站点观测数据的有效实时传输等,确保观测网络长期稳定运行。

5.3 构建天、空、地立体化观测体系

云贵高原地形地貌多样,自然生态、气候环境与资源特征存在显著的层次与差异,因此,仅依靠单一站点、单一尺度、单一方法和单一过程的观测无法实现对全域自然资源的系统覆盖与有效控制,建立天、空、地立体观测体系,将地面观测与卫星观测、航空观测紧密结合,开展个体、样地、群落、集水区、流域、关键带、区域到各圈层的跨尺度观测,对于获取系统性的云贵高原自然资源科学观测数据,形成多方法、多过程、跨尺度观测数据的有效集成融合和相互校正有着十分重要的作用。卫星观测具有覆盖范围大、历史数据周期长、分辨率中低的特点,主要用于大、中型河流流域、关键带、区域等大尺度范围内不同时期的资源环境特征动态变化监测、对比研究及模型反演等;航空观测主要以无人机观测为主,具有作业范围小、分辨率高、时间分辨率可控的特点,主要用于样地、群落、集水区、小型河流流域等中等尺度的短周期资源环境监测等;地面观测则具有覆盖范围小、实时化、无人化、智能化、高通量、高精度观测的特点,主要用于个体、样地、群落、集水区等小尺度的资源环境监测,该数据可为卫星遥感、航空遥感的数据验证、模型反演等提供高分辨率、高频次、高精度的信息数据与资料。3 种技术手段的互相结合与协同观测,对系统掌握与及时获取云贵高原各地理、气候、环境梯度带内的植被特征(如植被分布面积、物种多样性、植被盖度、植被指数、生物量等)、土地特征(如土地覆被、水土流失、土壤水分、土壤有机质、石漠化变化等)、气象气候特征(如降水、温度、辐射、蒸散发指数、碳水通量等)、水文水资源特征(如冰川边界、湖泊湿地面积、水深与水体面积、流域面积、水质状况等)将起到十分重要的支撑作用。

5.4 开展重大资源环境科学问题研究

云贵高原生态地理特征独特、自然资源丰富,对于维持西南地区的社会经济稳定发展起着至关重要的支撑作用,然而随着城镇化、工业化、农业集约化的不断推进,各类资源环境问题越发凸显,尤其是一些特殊生态环境系统,如高原湖泊湿地生态环境

系统、喀斯特生态环境系统、干热河谷生态环境系统、热带雨林、季雨林生态环境系统等,在气候变暖与人类活动下,其自身的结构、过程、功能、服务等特征已发生了明显变化,显著制约了区域资源的管理开发与生态环境保护。以云贵高原自然资源要素综合观测体系为基础,不断强化各自然资源要素的区域性、立体化、综合性协同观测与研究,围绕资源环境管理需要实际,可重点开展核心城市群“量、质、生”三维水资源短缺机制与应对措施;高原湖泊湿地水文过程、水量平衡与服务功能提升;生物

资源开发利用与生物多样性可持续发展;喀斯特石漠化脆弱环境生态恢复与资源环境效应评价;热带雨林、季雨林保育与农经种植资源环境效应;干热河谷水—热—人—地复合系统耦合与平衡;土壤侵蚀、土地退化关键因子、作用机制分析与土地质量提升等主要问题研究,不断推动相关领域的理论创新与技术实践,探索生态系统、资源环境系统、社会经济系统之间的协调发展模式,为实现区域生存、生活、生产与生计“四生”空间的合理匹配与协同互惠提供有效支撑。

参考文献 References:

- [1] 中华人民共和国自然资源部. 自然资源科技创新发展规划纲要. (2018-10-16) [2022-03-10]. http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201811/t20181113_2364664.html.
Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Outline of Scientific and Technological Innovation Development Planning for Natural Resources. (2018-10-16) [2022-03-10]. http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201811/t20181113_2364664.html.
- [2] 吴国雄, 郑度, 尹伟伦, 南志标, 傅伯杰, 于贵瑞, 夏军, 刘炯天, 高学民, 王凤鸣, 宋长青, 段晓男, 刘刚. 专家笔谈: 多学科融合视角下的自然资源要素综合观测体系构建. 资源科学, 2020, 42(10): 1839-1848.
WU G X, ZHENG D, YIN W L, NAN Z B, FU B J, YU G R, XIA J, LIU J T, GAO X M, WANG F M, SONG C Q, DUAN X N, LIU G. Insights: Building a national comprehensive observation system of natural resource elements from the perspective of multidisciplinary integration. Resources Science, 2020, 42(10): 1839-1848.
- [3] 刘晓煌, 刘晓洁, 程书波, 高学民, 郦文聚, 付宇佳. 中国自然资源要素综合观测网络构建与关键技术. 资源科学, 2020, 42(10): 1849-1859.
LIU X H, LIU X J, CHENG S B, GAO X M, YUN W J, FU Y J. Construction of a national natural resources comprehensive observation system and key technologies. Resources Science, 2020, 42(10): 1849-1859.
- [4] 杨斌, 陈映, 谭昌海, 赵阳刚, 段阳海, 张浔浔, 刘晓煌. 青藏高原自然资源要素综合观测实施进展与展望. 中国地质调查, 2021, 8(2): 37-46.
YANG B, CHEN Y, TAN C H, ZHAO Y G, DUAN Y H, ZHANG X X, LIU X H. Progress and prospect of integrated observation of natural resource elements on the Qinghai-Tibet Plateau. Geological Survey of China, 2021, 8(2): 37-46.
- [5] 王远超, 彭毅, 刘晓煌, 高阳, 代雪健, 绍玉祥. 全国自然资源要素综合观测体系建设需求及发展动态. 中国地质调查, 2021, 8(2): 47-54.
WANG Y C, PENG Y, LIU X H, GAO Y, DAI X J, SHAO Y X. Establishment needs and development trends of comprehensive observation system for national natural resource elements. Geological Survey of China, 2021, 8(2): 47-54.
- [6] 王震洪. 云贵高原典型陆地生态系统研究(一): 典型森林、灌丛群落格局、维持与过程. 北京: 科学出版社, 2011.
WANG Z H. Study on Typical Terrestrial Ecosystem of Yunnan Guizhou Plateau (I): Typical forest, Shrub community pattern, Maintenance and Process. Beijing: Science Press, 2011.
- [7] 明庆忠, 童绍玉. 云南地理. 北京: 北京师范大学出版社, 2016.
MING Q Z, TONG S Y. Yunnan Geography. Beijing: Beijing Normal University Press, 2016.
- [8] 殷红梅, 安裕伦. 贵州地理. 北京: 北京师范大学出版社, 2018.
YIN H M, AN Y L. Guizhou Geography. Beijing: Beijing Normal University Press, 2018.
- [9] 于贵瑞, 杨萌, 陈智, 张雷明. 大尺度区域生态环境治理及国家生态安全格局构建的技术途径和战略布局. 应用生态学报, 2021, 32(4): 1141-1153.
YU G R, YANG M, CHEN Z, ZHANG L M. Technical approach and strategic plan for large-scale ecological and environment governance and national ecological security pattern construction. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(4): 1141-1153.

- [10] IPCC. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: the Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge Press, 2021.
- [11] 高文荣, 朱万龙. 云南生物多样性现状及保护对策探究. *生物过程*, 2014, 4(3): 35-43.
GAO W R, ZHU W L. Study of biodiversity situation and it's conservation measure in Yunnan Province. *Bioprocess*, 2014, 4(3): 35-43.
- [12] 曾辉, 张光辉, 蒲应春. 贵州省生物多样性概况及其保护. *林业科技通讯*, 2013(9): 124-126.
ZENG H, ZHANG G H, PU Y C. Biodiversity and outlook in Guizhou Province. *Forest Science and Technology*, 2013(9): 124-126.
- [13] 于洋, 张民, 钱善勤, 李大命, 孔繁翔. 云贵高原湖泊水质现状及演变. *湖泊科学*, 2010, 22(6): 820-828.
YU Y, ZHANG M, QIAN S Q, LI D M, KONG F X. Current status and development of water quality of lakes in Yunnan-Guizhou Plateau. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(6): 820-828.
- [14] 倪兆奎, 王圣瑞, 金相灿, 焦立新, 李跃进. 云贵高原典型湖泊富营养化演变过程及特征研究. *环境科学学报*, 2011, 31(12): 2681-2689.
NI Z K, WANG S R, JIN X C, JIAO L X, LI Y J. Study on the evolution and characteristics of eutrophication in the typical lakes on Yunnan-Guizhou Plateau. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, 31(12): 2681-2689.
- [15] 肖茜, 杨昆, 洪亮. 近30 a云贵高原湖泊表面水体面积变化遥感监测与时空分析. *湖泊科学*, 2018, 30(4): 1083-1096.
XIAO Q, YANG K, HONG L. Remote sensing monitoring and temporal-spatial analysis of surface water body area changes of lakes on the Yunnan-Guizhou Plateau over the past 30 years. *Journal of Lake Sciences*, 2018, 30(4): 1083-1096.
- [16] 云南省生态环境厅. 云南省2020年环境状况公报. (2021-06-30)[2022-03-10]. http://sthjt.yn.gov.cn/hjzl/hjzkgb/202106/t20210603_225564.html.
Department of Ecology and Environment of Yunnan Province. Bulletin on Environment Situation of Yunnan Province in 2020. (2021-06-30) [2022-03-10]. http://sthjt.yn.gov.cn/hjzl/hjzkgb/202106/t20210603_225564.html.
- [17] 宋劲忻, 温庆忠, 华朝朗, 陶晶, 余昌元. 云南省湿地生态状况评价. *湿地科学*, 2015, 13(1): 35-42.
SONG J X, WEN Q Z, HUA C L, TAO J, YU C Y. Evaluation of ecological status of wetlands in Yunnan Province. *Wetland Science*, 2015, 13(1): 35-42.
- [18] 甘桂春, 蒋英华. 贵州省湿地资源现状、问题及对策. *安徽农学通报*, 2014, 20(24): 99-100, 136.
GAN G C, JIANG Y H. Present situation, issues and countermeasures of wetland resources in Guizhou Province. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2014, 20(24): 99-100, 136.
- [19] 秦趣, 黄艳, 崔小平. 基于PSR模型的云贵高原湿地生态系统健康评价. *水生态学杂志*, 2019, 40(5): 26-31.
QIN Q, HUANG Y, CUI X P. Ecosystem health assessment of the Yunnan-Guizhou plateau wetland based on the pressure-state-response model. *Journal of Hydroecology*, 2019, 40(5): 26-31.
- [20] 许玉凤, 陈宸, 陈洪升. 2001-2013年云贵高原土地利用动态变化分析. *中国水土保持*, 2018(11): 44-48.
XU Y F, CHEN C, CHEN H S. Analysis on dynamic changes of land use in Yunnan-Guizhou Plateau from 2001-2013. *Soil and Water Conservation in China*, 2018(11): 44-48.
- [21] 许开鹏, 王晶晶, 迟妍妍, 刘敏, 鲁海杰. 基于综合生态风险的云贵高原土地利用优化与持续利用对策. *生态学报*, 2016, 36(3): 821-827.
XU K P, WANG J J, CHI Y Y, LIU M, LU H J. Spatial optimization and sustainable use of land based on an integrated ecological risk in the Yun-Gui plateau region. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(3): 821-827.
- [22] 童绍玉, 周振宇, 彭海英. 中国水资源短缺的空间格局及缺水类型. *生态经济*, 2016, 32(7): 168-173.
TONG S Y, ZHOU Z Y, PEN H Y. Spatial pattern of scarcity of water and it's shortage types in China. *Ecological Economy*, 2016, 32(7): 168-173.
- [23] 伍文琪, 罗贤, 黄玮, 李运刚. 云南省水资源承载力评价与时空分布特征研究. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(7): 1517-1524.
WU W Q, LUO X, HUANG W, LI Y G. Research on the water resources carrying capacity and its temporal-spatial distribution characteristics in Yunnan province, China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(7): 1517-1524.
- [24] 杨大方, 周旭, 张继, 杨江州, 罗雪. 贵州省水资源脆弱性时空变化特征分析. *水资源与水工程学报*, 2020, 31(5): 70-79.
YANG D F, ZHOU X, ZHANG J, YANG J Z, LUO X. Spatio-temporal variation characteristics of water resources vulnerability in Guizhou Province. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2020, 31(5): 70-79.
- [25] 杨乐心. 云贵高原区域大气环境及气候资源时空特征分析. 南京: 南京信息工程大学硕士学位论文, 2015.

- YANG L. X. Temporal-spatial characterization of atmospheric environment and climatic resources over the Yunnan-Guizhou Plateau. Master Thesis. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2015.
- [26] 云南省水利厅. 云南省水资源公报2020年度. (2021-11-19) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2021/shuiziyuangongbao-tongji_1119/53712.html.
Department of Water Resources Yunnan Province. 2020 water resources bulletin of Yunnan Province. (2021-11-19) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2021/shuiziyuangongbao-tongji_1119/53712.html.
- [27] 云南省水利厅. 云南省水资源公报2019年度. (2020-12-01) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2020/qitafadingxinxi_1201/51245.html.
Department of Water Resources Yunnan Province. 2019 water resources bulletin of Yunnan Province. (2020-12-01) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2020/qitafadingxinxi_1201/51245.html.
- [28] 云南省水利厅. 云南省水资源公报2018年度. (2019-10-14) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2019/qitafadingxinxi_1014/50599.html.
Department of Water Resources Yunnan Province. 2018 water resources bulletin of Yunnan Province. (2019-10-14) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2019/qitafadingxinxi_1014/50599.html.
- [29] 云南省水利厅. 云南省水资源公报2017年度. (2018-10-29) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2018/qitafadingxinxi_1029/50116.html.
Department of Water Resources Yunnan Province. 2017 water resources bulletin of Yunnan Province. (2018-10-29) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2018/qitafadingxinxi_1029/50116.html.
- [30] 云南省水利厅. 云南省水资源公报2016年度. (2017-07-18) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2017/shuiziyuangongbao-tongji_0718/52738.html.
Department of Water Resources Yunnan Province. 2016 water resources bulletin of Yunnan Province. (2017-07-18) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2017/shuiziyuangongbao-tongji_0718/52738.html.
- [31] 云南省水利厅. 云南省水资源公报2015年度. (2016-09-06) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2016/shuiziyuangongbao-tongji_0906/52737.html.
Department of Water Resources Yunnan Province. 2015 water resources bulletin of Yunnan Province. (2016-09-06) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2016/shuiziyuangongbao-tongji_0906/52737.html.
- [32] 云南省水利厅. 云南省水资源公报2014年度. (2015-11-06) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2015/shuiziyuangongbao-tongji_1106/52736.html.
Department of Water Resources Yunnan Province. 2014 water resources bulletin of Yunnan Province. (2015-11-06) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2015/shuiziyuangongbao-tongji_1106/52736.html.
- [33] 云南省水利厅. 云南省水资源公报2013年度. (2014-10-08) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2014/qitafadingxinxi_1008/49166.html.
Department of Water Resources Yunnan Province. 2013 water resources bulletin of Yunnan Province. (2014-10-08) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2014/qitafadingxinxi_1008/49166.html.
- [34] 云南省水利厅. 云南省水资源公报2012年度. (2018-04-23) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2018/qitafadingxinxi_0423/49831.html.
Department of Water Resources Yunnan Province. 2012 water resources bulletin of Yunnan Province. (2018-04-23) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2018/qitafadingxinxi_0423/49831.html.
- [35] 云南省水利厅. 云南省水资源公报2011年度. (2012-10-31) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2012/shuiziyuangongbao-tongji_1031/52733.html.
Department of Water Resources Yunnan Province. 2011 water resources bulletin of Yunnan Province. (2012-10-31) [2022-03-10]. http://wcb.yn.gov.cn/html/2012/shuiziyuangongbao-tongji_1031/52733.html.
- [36] 贵州省水利厅. 2020贵州省水资源公报. (2022-03-02) [2022-03-10]. <http://mwr.guizhou.gov.cn/slgb/slgb1/202203/P020220302575854507494.pdf>.
Department of Water Resources Guizhou Province. 2020 water resources bulletin of Guizhou Province. (2022-03-02) [2022-03-10]. <http://mwr.guizhou.gov.cn/slgb/slgb1/202203/P020220302575854507494.pdf>.
- [37] 贵州省水利厅. 2019贵州省水资源公报. (2021-02-03) [2022-03-10]. <http://mwr.guizhou.gov.cn/xxgk/zdlygk/szygb/202102/P020210>

- 203352264177988.pdf.
- Department of Water Resources Guizhou Province. 2019 water resources bulletin of Guihzou Province. <http://mwr.guizhou.gov.cn/xxgk/zdlygk/szygb/202102/P020210203352264177988.pdf>.
- [38] 贵州省水利厅. 2018贵州省水资源公报. (2019-12-02) [2022-03-10]. http://mwr.guizhou.gov.cn/xxgk/xxgkml/zhgl/sltj/202009/t20200903_62866596.html.
- Department of Water Resources Guizhou Province. 2018 water resources bulletin of Guihzou Province. (2019-12-02) [2022-03-10]. http://mwr.guizhou.gov.cn/xxgk/xxgkml/zhgl/sltj/202009/t20200903_62866596.html.
- [39] 贵州省水利厅. 2017贵州省水资源公报. (2018-12-18)[2022-03-10]. <http://mwr.guizhou.gov.cn/xxgk/zdlygk/szygb/201812/W020190111579920331661.pdf>.
- Department of Water Resources Guizhou Province. 2017 water resources bulletin of Guihzou Province. (2018-12-18) [2022-03-10]. <http://mwr.guizhou.gov.cn/xxgk/zdlygk/szygb/201812/W020190111579920331661.pdf>.
- [40] 贵州省水利厅. 2016贵州省水资源公报. (2018-01-17)[2022-03-10]. <http://mwr.guizhou.gov.cn/slgb/slgb1/201801/W020180302403827494394.pdf>.
- Department of Water Resources Guizhou Province. 2016 water resources bulletin of Guihzou Province. (2018-01-17) [2022-03-10]. <http://mwr.guizhou.gov.cn/slgb/slgb1/201801/W020180302403827494394.pdf>.
- [41] 贵州省水利厅. 2015贵州省水资源公报. (2016-11-29) [2022-03-10]. http://mwr.guizhou.gov.cn/slgb/201611/t20161129_19964240.html.
- Department of Water Resources Guizhou Province. 2015 water resources bulletin of Guihzou Province. (2016-11-29) [2022-03-10]. http://mwr.guizhou.gov.cn/slgb/201611/t20161129_19964240.html.
- [42] 贵州省水利厅. 2014贵州省水资源公报. (2016-08-12)[2022-03-10]. http://mwr.guizhou.gov.cn/slgb/slgb1/201610/t20161021_19648513.html.
- Department of Water Resources Guizhou Province. 2014 water resources bulletin of Guihzou Province. (2016-08-12) [2022-03-10]. http://mwr.guizhou.gov.cn/slgb/slgb1/201610/t20161021_19648513.html.
- [43] 贵州省水利厅. 2013贵州省水资源公报. (2015-01-23)[2022-03-10]. http://mwr.guizhou.gov.cn/slgb/slgb1/201610/t20161021_19648512.html.
- Department of Water Resources Guizhou Province. 2013 water resources bulletin of Guihzou Province. (2015-01-23) [2022-03-10]. http://mwr.guizhou.gov.cn/slgb/slgb1/201610/t20161021_19648512.html.
- [44] 贵州省水利厅. 2012贵州省水资源公报. (2013-03-16)[2022-03-10]. http://mwr.guizhou.gov.cn/slgb/slgb1/201610/t20161021_19648511.html.
- Department of Water Resources Guizhou Province. 2012 water resources bulletin of Guihzou Province. (2013-03-16) [2022-03-10]. http://mwr.guizhou.gov.cn/slgb/slgb1/201610/t20161021_19648511.html.
- [45] 贵州省水利厅. 2011贵州省水资源公报. (2013-09-10) [2022-03-10]. http://mwr.guizhou.gov.cn/xxgk/zdlygk/szygb/201609/t20160928_19541953.html.
- Department of Water Resources Guizhou Province. 2011 water resources bulletin of Guihzou Province. (2013-09-10) [2022-03-10]. http://mwr.guizhou.gov.cn/xxgk/zdlygk/szygb/201609/t20160928_19541953.html.
- [46] 李锐, 杜治洲, 杨佳刚, 何思源, 张凌. 中国水电开发现状及前景展望. *水科学与工程* 技术, 2019(6): 73-78.
- LI R, DU Z Z, YANG J G, HE S Y, ZHANG L. The development progress and prospects of China's hydropower. *Water Sciences and Engineering Technology*, 2019(6): 73-78.
- [47] 朱华. 云南植物区系的起源与演化. *植物科学学报*, 2018, 36(1): 32-37.
- ZHU H. Origin and evolution of the flora of Yunnan. *Plant Science Journal*, 2018, 36(1): 32-37.
- [48] CAI J, YU W B, ZHANG T, WANG H, LI D Z. China's biodiversity hotspots revisited: A treasure chest for plants. *PhytoKeys*, 2019, 130: 1-24.
- [49] 中华人民共和国生态环境部. 关于发布《中国生物多样性保护优先区域范围》的公告. (2015-12-31) [2022-03-10]. <http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201601/t20160105-321061.htm>
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Announcement on Issuing the scope of priority areas for biodiversity conservation in China. (2015-12-31) [2022-03-10]. <http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201601/t20160105-321061.htm>
- [50] 杨宽, 巩合德. 云南省生物多样性保护路径研究. *西部林业科学*, 2021, 50(5): 9-15.

- YANG K, GONG H D. The status of biodiversity conservation in Yunnan Province. *Journal of West China Forestry Science*, 2021, 50(5): 9-15.
- [51] 张荣, 李英, 尹涛, 谢强富. 糯扎渡水电站的环境影响评价. *水力发电*, 2005(5): 23-25.
ZHANG R, LI Y, YIN T, XIE Q F. Environment impact assessment of Nuozhadu Hydropower Station. *Water Power*, 2005(5): 23-25.
- [52] 高润德, 张军伟, 伍晓涛. 乌东德水电站移民安置规划设计与研究. *人民长江*, 2014(20): 106-109.
GAO R D, ZHANG J W, WU X T. Design and study on resettlement planning for Wudongde Hydropower Station. *Yangtze River*, 2014(20): 106-109.
- [53] 李杰富. 小湾水电站水库淹没与移民初议. *云南水力发电*, 1998(4): 64-67.
LI J F. Discussion on reservoir inundation and resettlement of Xiaowan. *Yunnan Water Power*, 1998(4): 64-67.
- [54] 柳晓破, 李金文. 李仙江流域梯级电站开发对生态环境的影响及防治措施. *环境科学导刊*, 2007(2): 69-72.
LIU X A, LI J W. Ecological environmental impact and control measures on step Hydropower development in Lixianjiang River basin. *Environmental Science Survey*, 2007(2): 69-72.
- [55] 邓晴, 曾广权. 云南省澜沧江流域生态环境保护对策研究. *云南环境科学*, 2004, 23(S1): 135-136, 150.
DEGN Q, ZENG G Q. Research of countermeasures for ecologically environmental protection in Lan Can Jiang Watershed, Yunnan Province. *Yunnan Environmental Science*, 2004, 23(S1): 135-136, 150.
- [56] 白春昱. 云南湿地生物多样性评价. 咸阳: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2020.
BAI C Y. Assessment of wetland biodiversity in the Yunnan Province based on the Bayesian Network Model. Master Thesis. Xianyang: Northwest A&F University, 2020.
- [57] 杜雪飞. 云南民族地区农业生物多样性的形成及其保护. *生态经济*, 2015, 31(9): 110-113.
DU X F. Formation and protection of agro biodiversity in minority areas of Yunnan. *Ecological Economy*, 2015, 31(9): 110-113.
- [58] 周琼. 近代以来西南边疆地区新物种引进与生态管理研究. *云南师范大学学报(哲学社会科学版)*, 2018, 50(5): 76-85.
ZHOU Q. Introduction of new species to the borderland of southwestern China and its eco-management since early modern times. *Journal of Yunnan Normal University (Humanities and Social Sciences)*, 2018, 50(5): 76-85.
- [59] 云南省生态环境厅. 云南省生物多样性保护战略与行动计划(2012-2030 年). (2013-05-09) [2022-03-10]. http://sthjt.yn.gov.cn/zwx/zfwj/yhf/201306/t20130608_39091.html.
Department of Ecology and Environment of Yunnan Province. Biodiversity conservation strategy and action plan of Yunnan Province (2012-2030). (2013-05-09) [2022-03-10]. http://sthjt.yn.gov.cn/zwx/zfwj/yhf/201306/t20130608_39091.html.
- [60] 杨成. 贵州外来物种入侵的种类、危害、防治现状及其未来发展趋势. *农业灾害研究*, 2020, 10(4): 144-148, 150.
YANG C. Species, harm, prevention and control status and future development trend of alien species invasion in Guizhou. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 2020, 10(4): 144-148, 150.
- [61] 陈禹衡, 吕一维, 殷晓洁. 气候变化下西南地区12种常见针叶树种适宜分布区预测. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2019, 43(6): 113-120.
CHEN Y H, LYU Y W, YIN X J. Predicting habitat suitability of 12 coniferous forest tree species in southwest China based on climate change. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2019, 43(6): 113-120.
- [62] 吴学灿, 段禾祥, 杨靖. 西双版纳热带雨林保护与修复探讨. *环境与可持续发展*, 2020, 45(5): 118-121.
WU X C, DUAN H X, YANG J. Discussion on the protection and restoration of tropical rainforest in Xishuangbanna. *Environment and Sustainable Development*, 2020, 45(5): 118-121.
- [63] 裴盛基. 民族文化与生物多样性保护. *中国科学院院刊*, 2011, 26(2): 190-196.
PEI S J. Traditional culture and biodiversity conservation. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2011, 26(2): 190-196.
- [64] 邵桦, 杨京彪, 薛达元. 佤族传统文化在生物多样性保护中的作用. *生物多样性*, 2021, 29(8): 1120-1127.
SHAO H, YANG J B, XUE D Y. Applications of Wa traditional culture in biodiversity conservation. *Biodiversity Science*, 2021, 29(8): 1120-1127.
- [65] 李珂, 杨永兴, 杨杨, 韩大勇, 杨宇明, 田昆, 张昌兵. 中国高原湿地退化与恢复研究进展. *安徽农业科学*, 2011, 39(11): 6714-6716, 6719.
LI K, YANG Y X, YANG Y, HANG D Y, YANG Y M, TIAN K, ZHANG C B. Research progress of the degradation and restoration of the plateau wetlands in China. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(11): 6714-6716, 6719.
- [66] 李春卉, 张世涛, 叶许春. 云南高原湖泊面临的保护与开发问题. *云南地质*, 2005, 24(4): 462-470.

- LI C H, ZHANG S T, YE X C. Problem of development and protection of lakes on Yunnan Plateau. *Yunnan Geology*, 2005, 24(4): 462-470.
- [67] 张治中. 滇池氮与富营养化研究. *环境科学导刊*, 2007(6): 34-36.
ZHANG Z Z. Prognosis and realites for lake naivasha study on nitrogen and eutrophication of Dianchi Lake. *Environmental Science Survey*, 2007(6): 34-36.
- [68] 田昆, 陆梅, 常凤来, 莫剑锋, 黎良才, 杨永兴. 云南纳帕海岩溶湿地生态环境变化及驱动机制. *湖泊科学*, 2004 (1): 35-42.
TIAN K, LU M, CHANG F L, MO J F, LI L C, YANG Y X. The ecological environment degradation and degradation mechanism of Napahai Karst Wetland in southwestern Yunnan Plateau. *Journal of Lake Sciences*, 2004 (1): 35-42.
- [69] 崔保山, 翟红娟. 高原湿地功能退化的表征及其恢复中的生态需水量. *科学通报*, 2006(S2): 106-113.
CUI B S, ZHAI H J. Characterization of functional degradation of plateau wetland and ecological water demand in its restoration. *Chinese Scientific Bulletin*, 2006(S2): 106-113.
- [70] 廖君, 沈才明, 余晓珊. 气候变化及其对纳帕海湿地的影响. *西部林业科学*, 2016, 45(4): 136-140, 146.
LIAO J, SHEN C M, YU X S. Climate changes and its influence on Napahai Wetland. *Journal of West China Forestry Science*, 2016, 45(4): 136-140, 146.
- [71] 陈正发, 史东梅, 何伟, 夏建荣, 金慧芳. 基于“要素-需求-调控”的云南坡耕地质量评价. *农业工程学报*, 2020, 36(12): 236-246.
CHEN Z F, SHI D M, HE W, XIA J R, JIN H F. Quality evaluation of slope farmland in Yunnan Province based on “element-demand-regulation” framework. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(12): 236-246.
- [72] 杨朝磊, 李灿锋, 田瑜峰, 周洪, 何建宁, 刘建平, 马一奇. 云南省耕地“非粮化”现状及其生态环境效应. *矿产勘查*, 2020, 11(12): 2573-2591.
YANG C L, LI C F, TIAN Y F, ZHOU H, HE J N, LIU J P, MA Y Q. Situation of non-grain cropland and its eco-environmental effect in Yunnan Province. *Mineral Exploration*, 2020, 11(12): 2573-2591.
- [73] 中华人民共和国水利部. 中国水土保持公报 (2020年). (2021-9-30) [2022-03-10]. http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/zgstbcgb/202109/t20210930_1545971.html.
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. China soil and water conservation Bulletin (2020). (2021-9-30) [2022-03-10]. http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/zgstbcgb/202109/t20210930_1545971.html.
- [74] 中华人民共和国国家林业和草原局. 中国: 岩溶地区石漠化状况公报. (2018-12-14) [2022-03-10]. <https://www.forestry.gov.cn/main/138/20181214/161609114737455.html>.
National Forestry and Grassland Administration of the People's Republic of China. Bulletin on rocky desertification in karst areas of China. (2018-12-14) [2022-03-10]. <https://www.forestry.gov.cn/main/138/20181214/161609114737455.html>.
- [75] 陈朝军, 袁道先, 程海, YU T L, SHEN C C, R, EDWARDS R L, 吴尧, 肖思雅, 张键, 王涛, 黄冉, 刘子琦, 李廷勇, 李俊云. 人类活动和气候变化触发了中国西南石漠化的扩张. *中国科学: 地球科学*, 2021, 51(11): 1950-1963.
CHEN C J, YUAN D X, CHENG H, YU T L, SHEN C C, EDWARDS R L, WU Y, XIAO Y S, ZHANG J, WANG T, HUANG R, LIU Z Q, LI T Y, LI J Y. Human activity and climate change triggered the expansion of rocky desertification in the karst areas of Southwestern China. *Scientia Sinica (Terrae)*, 2021, 51(11): 1950-1963.
- [76] 云南省统计局. 2011-2020年云南省统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2011-2020.
Yunnan Provincial Bureau of Statistics. Statistical yearbook of Yunnan Province from 2011-2020. Beijing: China Statistics Press, 2011-2020.
- [77] 贵州省统计局. 2011-2020年贵州省统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2011-2020.
Guizhou Provincial Bureau of Statistics. Statistical yearbook of Guizhou Province from 2011-2020. Beijing: China Statistics Press, 2011-2020.
- [78] 韩丽红, 潘玉君, 马佳伸, 杨冬琪, 杨晓霖, 刘化. 云南省水资源生态足迹的时空演化特征分析. *人民珠江*, 2021, 42(4): 28-34.
HANG L H, PAN Y J, MA J S, YANG D Q, YANG X L, LIU H. Analysis of the spatial-temporal evolution of ecological footprint of water resources in Yunnan Province. *Pearl River*, 2021, 42(4): 28-34.
- [79] 孙鸿烈. 中国资源科学百科全书. 北京: 中国石油大学出版社, 1998.
SUN H L. China Encyclopedia of Resources Science. Beijing: China University of Petroleum Press, 1998.
- [80] 王学锋, 郑小波, 黄玮, 杨鹏武, 周德丽. 近47年云贵高原汛期强降水和极端降水变化特征. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(11): 1350-1355.

- WANG X F, ZHENG X B, HUANG W, YANG P W, ZHOU D L. Change characteristics of severe rainfall and extreme rainfall in flood season over Yunnan-Guizhou Plateau in recent 47 years. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(11): 1350-1355.
- [81] 陈清惠. 喀斯特生态环境脆弱性特征及其生态防治: 以贵州省为例. *山地农业生物学报*, 2007(3): 244-247, 260.
CHEN Q H. Fragility characters and ecological control strategy of Karst ecological environment in Guizhou: Taking Guizhou as case. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2007(3): 244-247, 260.
- [82] 蒋忠诚, 罗为群, 童立强, 程洋, 杨奇勇, 吴泽燕, 梁建宏. 21世纪西南岩溶石漠化演变特点及影响因素. *中国岩溶*, 2016, 35(5): 461-468.
JIANG Z C, LUO W Q, TONG L Q, CHENG Y, YANG Q Y, WU Z Y, LIANG J H. Evolution features of rocky desertification and influence factors in Karst areas of southwest China in the 21st century. *Carsologica Sinica*, 2016, 35(5): 461-468.
- [83] 周子琴, 苏维词, 郑群威. 2007-2016年贵州省水资源生态足迹的演化特征. *水土保持通报*, 2019, 39(2): 227-233, F0003.
ZHOU Z Q, SU W C, ZHENG Q W. Evolution characteristics of water resource ecological footprint of Guizhou Province from 2007 to 2016. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2019, 39(2): 227-233, F0003.
- [84] 于贵瑞, 张雷明, 张扬建, 杨萌. 大尺度陆地生态系统状态变化及其资源环境效应的立体化协同联网观测. *应用生态学报*, 2021, 32(6): 1903-1918.
YU G R, ZHANG L M, ZHANG Y J, YANG M. A coordinated three-dimensional network for observing large-scale terrestrial ecosystem status changes and the consequences on resources and environment. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(6): 1903-1918.
- [85] 云南省自然资源厅. 《云南省国土空间规划(2021-2035年)公开征求意见稿》. (2021-05-26) [2022-03-10]. http://dnr.yn.gov.cn/html/2021-11/100780_1_1.html.
Department of Natural and Resources of Yunnan Province. Public consultation draft of land and space planning of Yunnan Province (2021-2035). (2021-05-26) [2022-03-10]. http://dnr.yn.gov.cn/html/2021-11/100780_1_1.html.
- [86] 贵州省自然资源厅. 《贵州省国土空间总体规划(2021-2035年)》. (2021-07-14) [2022-03-10]. http://zrzy.guizhou.gov.cn/wzhdzyfbldm/opinion/202107/tOpinion_9489.html.
Department of Natural and Resources of Guizhou Province. Overall land and space planning of Guizhou Province (2021-2035). (2021-07-14) [2022-03-10]. http://zrzy.guizhou.gov.cn/wzhdzyfbldm/opinion/202107/tOpinion_9489.html.
- [87] 邓忠坚, 李晓娜, 甘淑. 云南县域生物多样性指数空间连续化研究. *西部林业科学*, 2021, 50(5): 16-22.
DENG Z J, LI X N, GAN S. Spatial continuity of county-level biodiversity index in Yunnan. *Journal of West China Forestry Science*, 2021, 50(5): 16-22.
- [88] MYERS N, MITTERMEIER R A, MITTERMEIER C G, FONSECA G A B, KENT J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 2000, 403(6772): 853-858.
- [89] 丁宇, 张雷, 马昕琳. 山地城镇化与资源环境承载力耦合协调发展的时空演变. *环境科学研究*, 2022(2): 592-600.
DING Y, ZHANG L, MA X L. Temporal and spatial evolution of coupling coordination of mountainous urbanization and its resource and environment carrying capacity. *Research of Environmental Sciences*, 2022(2): 592-600.
- [90] 冉玉菊, 雷冬梅, 刘林, 高丽萍. 滇中城市群2000-2020年土地利用变化对生态系统服务价值的影响. *水土保持通报*, 2021, 41(4): 310-322.
RAN Y J, LEI D M, LIU L, GAO L P. Impact of land use change on ecosystem service value in urban agglomeration of central Yunnan Province during 2000-2020. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2021, 41(4): 310-322.
- [91] 朱华. 云南热带雨林: 特征、生物地理起源与演化. *热带亚热带植物学报*, 2022, 30(4): 575-591.
ZHU H. Tropical Rain Forest of Yunnan (Southwestern China): Characteristics, Biogeographical Origin and Evolution. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2022, 30(4): 575-591.
- [92] 张雪梅, 祁向坤, 岳跃民, 王克林, 张信宝, 刘大元. 喀斯特峰丛洼地石漠化治理自然地域分区. *生态学报*, 2020, 40(16): 5490-5501.
ZHANG X M, QI X K, YUE Y M, WANG K L, ZHANG X B, LIU D Y. Natural regionalization for rocky desertification treatment in karst peak-cluster depression regions. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(16): 5490-5501.

(责任编辑 张瑾)