

中国水土保持区划——回顾、思考与展望

王丹阳^{1,2}, 李忠武^{1,2,3}, 陈佳³, 王凌霞^{1,2}, 胡晓倩^{1,2}

(1. 湖南大学环境科学与工程学院, 长沙 410082; 2. 湖南大学环境生物与控制教育部重点实验室, 长沙 410082;
3. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 梳理近 70 年来中国水土保持区划发展, 概述其从定性到定量的方法进步和从单一到复合的体系完善, 在此基础上总结其理论框架并提出 3 个发展阶段。结合统计分析, 从理论和实践两方面评价区划实施效果; 提出经济管理模型失位、指标体系欠缺和实践衔接不足的 3 个问题, 并以情景模拟和案例介绍提出可能的解决方案。针对水土保持区划发展态势, 探究了定性和定量方法在区划中的平衡关系, 以及区划在水土保持工作中的定位。期望通过对水土保持区划的系统回顾与讨论, 为其未来的发展提供思路。

关键词: 水土保持; 水土流失; 区划

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)05-0008-010

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.05.002

Regionalization of Soil and Water Conservation in China—Review, Reflection and Prospect

WANG Danyang^{1,2}, LI Zhongwu^{1,2,3}, CHEN Jia³, WANG Lingxia^{1,2}, HU Xiaoqian^{1,2}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082; 2. Key Laboratory of Environmental Biology and Pollution Control (Hunan University), Ministry of Education, Changsha 410082; 3. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Based on thoroughly review of the past 70 years development of soil and water conservation in China, the authors outlined the methodical advance that from qualitation to quantitation and the progress of framework that from incompleteness to more perfect, and then summarized the three stages of regionalization of soil and water conservation's evolution. Statistical analyses were employed to determine to what extent these regionalizations have influenced soil and water conservation both theoretically and practically. Moreover, three main problems of the existing regionalization schemes were proposed which are absence of economics and management science, flaws of indicator system and lack of implementation, and their corresponding solutions were raised by scenario simulation and case study. Considering the trend of regionalization, two topics, the balance between quantitative and qualitative studies and the more attention paid on practice, were discussed in the end with the hope that it could present some inspired thoughts for further development of regionalization.

Keywords: soil and water conservation; soil and water loss; regionalization

水土保持区划识别水土流失特征相近、自然社会状况相似的区域, 将其组织为同一水土保持区, 以统一配置水土流失治理措施, 确定经济生产发展方向。自上世纪 50 年代提出以来, 历经近 70 年发展, 日趋成熟和完善。近年来更是掀起区划热潮, 尤其是 2011 年水利部首次完整提出全国范围水土保持三级区划, 划分出水土流失重点治理区和重点预防区, 极大带动了之后省、市县

和小流域等不同尺度的水土保持区划工作。

这些工作对各地水土流失防治起着重要的指导作用, 但如果区划制定过程科学性不足, 不同方案间缺少衔接或是难以落实, 更多的区划可能会带来更多的混乱。笔者在梳理相关政府文件及学术论文时, 也发现在指标体系构建、数理方法运用等方面尚有待完善。区划是规划的基础, 也是因地制宜布置水土保持

措施的依据,本文在系统回顾和总结我国水土保持区划发展历程的基础上,评价其对工作的影响,揭示存在的问题并探讨可能的解决方案,以期为进一步完善提供参考。

1 回顾

1.1 概述

我国水土保持区划始于1955年黄河中游水土保持综合考察队经济组对黄土高原陕甘两省139县市的科学考察^[1]。在1955—1957连续3年实地勘察黄河中游水土流失状况后,提出了为水土保持服务的局部经济区划,将西安、宝鸡各划分为3个小区,延安和绥德各划分为4个小区,为最早的水水土保持区划方案^[2]。但这仅属科学探讨,方案并未由职能部门批复,直到1957年,国务院成立水土保持委员会并编制《1958—1962年黄河中游水土保持规划》^[3],在其基础上明确了黄河中游水土保持分区,并以之布置具体治理工作,在政策层面首次确定了区划的重要地位。水土保持区划工作由此逐渐铺开,尤其在晋陕黄土高原侵蚀剧烈区域,区划与定位试验一起为当地水土保持工作提供理论支持^[4],但1958—1961年“大跃进”和1966—1976年“文化大革命”中断了这一进程。直到改革开放,1982年全国第四次水土保持工作会议召开,国务院颁布《水土保持工作条例》,确定由各级水利部主导全国水土保持区划^[5],将工作引回正轨。随后2015年全国水土保持三级区划被写入《全国水土保持规划(2015—2030)》^[6],极大带动了政策和学术层面的相关研究。

1.2 区划方法:从定性到定量

早期区划多定性。林俊青^[7]指出“早期区划方法仍没有超出自然区划的范围,而且多半是科学工作者对自然现象的综合描述和对合理利用土地、保持水土的意见,应该说还是很不成熟”。在惠安县,许伍权等^[8]总结自然和社会经济条件、水土冲刷情况及防治经验,将其划分为3个水土保持区;在兴国县,江西农委以地貌为主导因素将全县划分为9个水土保持区,又考虑积温、岩性、侵蚀土壤类型、水土流失现状和农林牧生产现状等因素对分区界线做了调整^[9]。

遥感技术是最早运用于水土保持区划的定量方法。1981年,山西省农业区划办公室抽调技术人员56名,选取晋西地区耕地、林地、草地、水体、侵蚀土壤和淤地坝等6大类23个样方(点),测得光谱曲线80条,照片200张,并根据测量成果完成了晋西黄土高原水土保持区划^[10]。紧随其后,江西赣州水土保持办公室于1982年1月在兴国举办遥感技术培训

班,教授MSS卫星照片判读制水土流失图和卫星磁带图像制水土流失图^[11]。认识到这一趋势,张凤洲^[12]指出必须重视土壤侵蚀遥感解译成果的开发利用,土壤侵蚀调查是水土保持区划的前提。

地理信息技术随计算机的普及而稍晚应用于水土保持区划。马力^[13]选取适于Arc GIS处理的坡度、植被盖度、土地利用类型、水土保持措施和土壤侵蚀模数5项指标,借助空间自相关分析,划定了县南沟小流域水土流失重点防治区;孙秀美^[14]使用Arc GIS叠置分析,叠加生态服务功能类型、土地利用类型、地貌高程和遥感影像图等多种静态特征因素,确定了沂沭泗小流域水土保持生态功能二级区界。

数理方法的运用最早溯至1990年。认识到用一般的经验方法来定性分析不够准确,特别是当分区指标和样本数较多时,很容易出现错分或漏分现象。张汉雄^[15]选取年降雨量、径流深等7项指标,使用模糊聚类法,计算延安市安塞区各乡镇之间的欧氏距离,得到以树形图表示的分区结果。这一方法很快被借鉴和推广,贝叶斯准则逐步判别法^[16]、模糊—动态聚类法^[17]等先后被应用于其他区域水土保持区划。定量方法的应用进一步细化到不同尺度上,如目前所使用的全国水土保持三级区划。该方案将全国自上而下划分为8个总体格局区、40个区域协调区、115个基本功能区。在不同尺度上选用了不同指标进行定量识别。格局区划主要考虑地形地貌、水热条件等分异特征,协调区划主要考虑区域优势地貌和水土流失特征,功能区划则兼顾社会经济因子^[18]。

由此可见,遥感技术应用于前,通过影像判读和解译,为分区提供数据支持;地理信息技术承接于后,Arc GIS以二维地图形式呈现空间数据,结合地图分析模块和数学计算,划分水土保持区。3S技术结合数理方法,实现了区划过程由定性向定量的转变。

1.3 区划体系:从单一到复合

最早我国以土壤侵蚀类型分区代替水土保持分区^[19]。虽简单便捷,但忽略了必然影响分区结果的其他因素。尤其是考虑到区域间自然条件差异、社会经济异质和开发方向不同均会对区划后的实际治理产生极大影响,独立开展水土保持区划势在必行。

因此,1980年到21世纪初的区划工作,也有意识的渐将水土保持区划区别于土壤侵蚀类型区划。这一区别主要体现在指标体系。如1988年辽宁省水电厅和水土保持研究所充分考虑了省内各方的自然特点和水土资源利用的一致性,水土流失的类型、特点、程度和发生发展规律的相似性,水土保持的主攻

方向和治理措施的统一性,将全省分为 8 个水土保持区,并根据侵蚀强度的不同,在每个区内续分 3~5 个亚区^[20]。而到了 2017 年,褚丽妹^[21]基于多法验证划分辽宁省水土保持区时,建立了包括目标层、要素层、因子层和指标层的指标体系,其中要素层明确分为自然、社会经济、土地利用和水土流失 4 层,且侵蚀类型仅是指标层内 21 项指标之一。

水土保持区划独立后,以之单独指导水土保持措施布置、物资调配却渐显单薄。尤其是在我国幅员辽阔、各地自然社会条件各异的地理背景和十七大提出生态文明建设的政策背景下,没有其他区划协助很难照顾全面。鉴于此,21 世纪以来,由水利部牵头,各地方水利机构协助,辅以学界研究成果,逐渐形成了一套较完整的水土保持区划体系(图 1)。

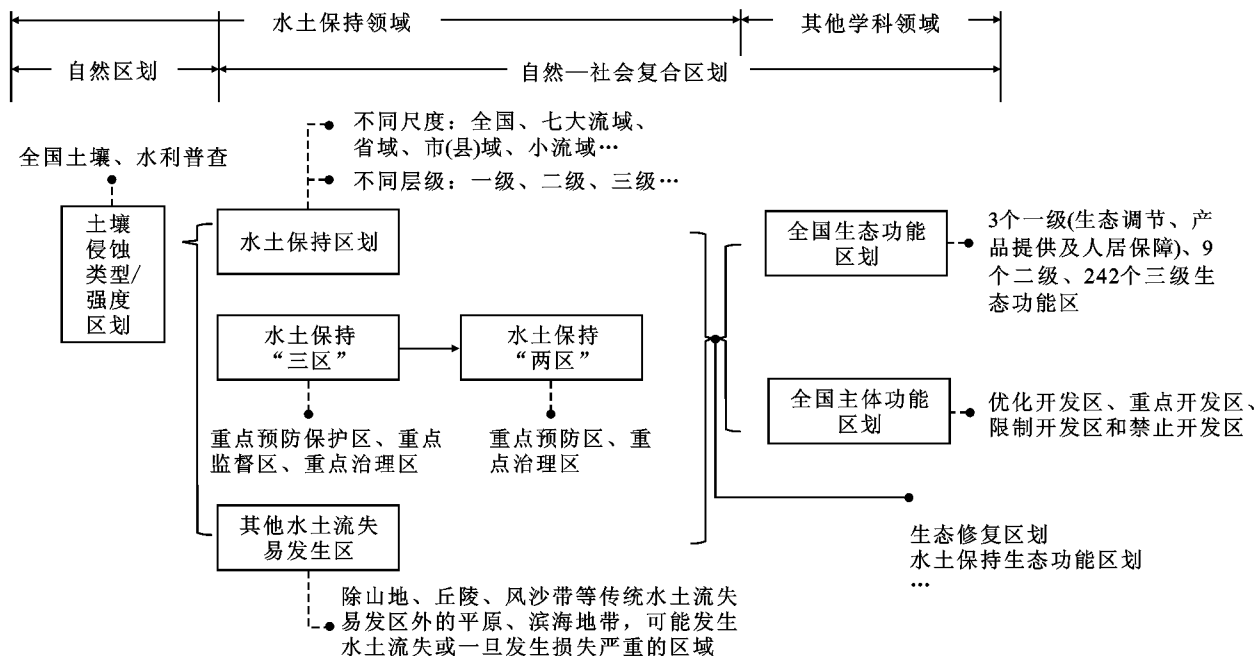


图 1 中国水土保持区划体系

狭义的水土保持区划体系是指水土保持学科内的区划。根据《中华人民共和国水土保持法》^[22](以下简称“《水保法》”)和《中华人民共和国水土保持法实施条例》^[23],以土壤侵蚀区划和水土保持区划为基础,又衍生出水土保持“三区”划分。2010 年水保法修订,“三区”调整为“两区”,并增加划分其他水土流失易发生区。

广义的水土保持区划体系还应包括对水土保持区划有影响或与之目标相近的其他领域区划。全国生态功能区划^[24]和全国主体功能区划^[25]是构建水土保持区划体系时应重点衔接和协调的。对于某一区域,其水土保持、生态功能和主体功能的定位应保证基本方向一致。

另外,在水土保持与生态学交叉领域,学者也开展了若干区划研究,客观上充实了水土保持区划体系。王治国^[19]提出生态修复区划必须在水土保持区划与“三区”划分的基础上进行,并与之衔接。杨永峰^[26]通过量化各县市水土保持的生态服务功能,如水源涵养、湿地保护、农田建设、风沙防治等,划分了山东省水土保持生态功能区。水土保持区划与生态系统服务功能及价值的结合是近年来的趋势,这种结

合主要体现在两个方面:一是命名,比如按照《全国水土保持区划导则》划定的 10 项水土保持生态服务功能,全国水土保持区划的三级区以“地理位置+地貌类型+关键生态服务功能”的命名方式突出了各区的水土保持目标;二是在区划后,定量计算并比较区内水土保持各项生态服务功能的价值,识别主导功能,为区域水土保持工作确定方向^[27-28]。以上各类侧重不同的区划,构成了水土保持区划体系,进一步又成为水土保持规划的基础。区划先行于规划,为规划提供纲领;规划充实了区划,在实施层面具体展开。

1.4 总结

1.4.1 区划理论框架 以往研究对区划的理论基础均有涉及,但提法各异且未有定式。水土保持区划是综合地理学、生态学 and 经济学等多学科的工作,其理论基础也应涵盖且不限于以上领域。总结为以下 4 点:(1)地域分异规律。分别由降水、热量和海拔控制的经度、纬度和垂直地带性决定了区域间差异,使区划有了可能和必要。(2)理性人假设。微观经济学的基本假设之一,认为从事经济活动的目标是追求利益最大化^[29]。区划的目标是因地制宜布置水土保持措施,即以最低的治理成本实现最大的效益。(3)系统

科学理论。唯物辩证主义认为联系是普遍存在的^[30]。不同级区划的嵌套与隶属、同级区划的空间联系,使区划体系成为有机整体,得以发挥最大作用。(4)人地关系理论。人口、资源与环境要素均应在区划指标中体现,三者的协调关系及可持续发展理念应反映于区划过程。

不难发现,这 4 点理论是逐一被纳入区划理论体系的。在定性分析为主、水土保持区划与土壤侵蚀区划混淆的时期,直观可见的植被、土壤等空间分异是区划的主要依据;逐渐意识到经济社会因素的影响后,以理性人假设为基础的一些经济学理论被自觉或不自觉地应用于区划;接着在构建区划体系过程中,系统科学观点应用于指导不同区划层级或不同区划之间的衔接;最后,生态文明建设热潮促使区划体现和反映人口—资源—环境系统平衡发展的可持续理念。可见区划的发展过程,也是不断融合各学科为己用、理论基础不断丰富

1.4.2 区划发展阶段 从我国水土保持区划的发展阶段(表 1)可以看出,时间更直观地展示了我国水土保持区划工作的进步,主要原因有:一是被动诉求,建国后以生态环境换取经济发展,土壤养分流失、肥力下降,迫切需要针对坡耕地、林下流和崩岗等不同水土流失环境采取不同措施,迫使区划从无到有、从粗到细;二是主观能动,包括对水土保持重要性和对水土保持区划作用的认识提高;另外值得一提的是向苏联等社会主义国家的学习也起了重要作用,如蒋长树^[31]翻译的全苏水土保持会议纪要中,明确提出进行侵蚀土壤的区划以规划各项水土保持措施;王礼先^[32]介绍的保加利亚水土保持区划所使用的 8 级土地适宜性分级标准也为之后区划所借鉴;三是客观进步,计算机及应用软件的普及为航片解译和大批量数据处理创造了条件。反过来,区划工作进步也使最终区划方案得以更加客观的反映区域差异、更加因地制宜的指导区域水土保持。

表 1 中国水土保持区划发展阶段

时间	阶段	节点	事件	意义
1955—1980 年	萌芽	1956 年	黄河中游水土保持综合考察队完成陕甘水土保持局部经济区划	首次针对水土保持的区划
		1957 年	国务院水土保持委员会编制《1958—1962 年黄河中游水土保持规划》	首次在政策层面确定区划地位
		1980 年	山西省农业办公室根据遥感影像完成晋西黄土高原水土保持区划	3S 技术首次用于水土保持区划
		1982 年	国务院颁布水土保持工作条例	明确了水土保持区划责任制
1980—2011 年	发展	1990 年	张汉雄使用模糊聚类法划分陕西安塞县水土保持区	数理方法首次用于水土保持区划
		1991 年	全国人大审议通过《水保法》	区划工作从此有法可依
		2010 年	全国人大修订《水保法》,水土保持规划(含区划)被列为单独章节	着重强调了区划工作的重要性
		2011 年	水利部发布全国水土保持三级区划	首个全国范围的水土保持区划
2011 年至今	融合	2015 年	国务院通过《全国水土保持规划(2015—2030)》	首部获批复的国家级水土保持规划

2 评价

水土保持区划的目标是因地制宜开展水土流失防治工作。要评价其作用究竟如何,也就是要评价这一目标的实现程度,应考虑 3 个方面:对水土流失及治理理论研究的推动;对水土保持实践的促进;是否使水土流失防治工作更加因地制宜。对区划作用的评价有其特殊性。一是无法开展对照试验,不可能设计另外一套区划方案并同时实施,对比 2 套方案效果;二是无法分离贡献率,直接作用于水土流失的是具体的生物、工程措施,而区划的影响是间接的。即使总的间接影响可以测得,也难以将技术进步、资金支持、劳动力投入等其他间接因素分离,从而无法量化区划与水土流失防治的对应关系。考虑于此,下面主要从定性层面阐述我国水土保持区划的价值。

2.1 推动理论研究

以知网(CNKI)为数据源,“水土保持区划”为关键词检索,被引最高的 10 篇论文^[14,15,28,33-39]共计被

引 267 次,除去重复和自引后余他引 204 次。按学科统计,水土保持学科是主要引用源,共 139 篇,占 68%。其中 32 篇为水土保持区划方向,主要是小尺度区划研究参考其所在大尺度的区划方案;另 107 篇为除区划外的其他方向,包括理论研究 83 篇,主要是对水土保持规划、水土保持功能及生态效益的探讨;水土流失治理措施、模式 24 篇,主要是依区划提出分区治理策略。其他引用学科主要是生态学(56 篇,多涉及生态补偿、生态效益和生态区划)和经济学(5 篇,多为区划的经济社会效益分析)。按内容统计,在所有 204 次被引中,只有 12%(24 次)涉及到 3S 技术和数理统计模型。

2.1.1 水保领域 区划丰富了规划。在《全国水土保持规划(2015—2030)》中,分别介绍 8 个水土保持一级区并提出相应治理重点的篇幅占了 26%。而 2000 年之前的规划文本,区划部分比重很小或几乎不涉及。区划带动了其前、后向研究。2005—2007 年,水利部联合中国科学院、中国工程院实地考察南

方红壤区水土流失,在制定红壤区水土保持区划时,提出了水土流失潜在危险性(I_e)和土壤侵蚀综合指数(E)两个指标^[40],计算公式为:

$$I_e = \sum_{i=1}^N W_i P_i$$

式中: N 为评价因子数; P_i 和 W_i 分别为第 i 个侵蚀因子的指标值和权重。

$$E = \sum_{i=1}^n C_i A_i / S$$

式中: n 为土壤侵蚀级数; C_i 和 A_i 分别为第 i 级土壤侵蚀的权重和面积; S 为评价单元土地总面积。

这两个指标不仅应用于此次水土保持区划,还在之后的土壤侵蚀研究中被借鉴^[41]。区划之后的研究也得以深入。赵乾坤等^[42]在山西省水土保持区划的基础上,量化了各三级区的生态脆弱性,判定晋陕甘高塬沟壑区为生态最脆弱区,并提出了各区生态建设的重点。

区划解决了一些历史遗留问题。西南岩溶区与南方红壤区的界线一直模糊,没有具体落实到县级行政区界上。直到 2011 年开展珠江流域水土保持三级区划时,考虑自然地理特征,并咨询广西各县区意见,确定河池市、百色市、崇左市各县,以及南宁市隆安县、马山县、来宾市忻城县为岩溶区边界,以东为红壤丘陵区^[43]。

区划促进了区域间的对比研究。分区划界凸显不同区域的异质性,启发学者通过对比研究探明土壤侵蚀规律。陈展鹏^[44]对比研究了红壤(样品采自 V-3-1nr)和紫色土(样品采自 VI-1-4tw)坡面加速侵蚀过程;张会茹^[45]对比研究了红壤(样品采自 V-4-4tw)和黄土(样品采自 IV-3-3tx)坡面侵蚀过程。

2.1.2 其他领域 约束其他领域的规划设计。尤其是生态文明建设提出后,水土保持区划作为生态环境领域的重要纲领,越来越多地影响其他领域规划工作。蒋廷杰^[46]在规划新化紫鹊界景区时,根据景区内水土保持区划,限制了部分高 I_e 区的旅游开发,并提出了不同水土保持区应发展的特色农业。祁有祥等^[47]参考宁夏自治区水土保持区划,确定了各区的树种、森林覆盖率,并以此制定了林业生态建设区划。

促进生态学的进一步研究。彭静波等^[48]使用 PSR 模型,借助土壤侵蚀模数、治理度等区划指标,定量评价了定西市安家沟小流域生态安全。徐元崇^[49]在江苏省水土保持区划基础上,定量计算了每个三级区的生态敏感性,并提出对应的生态补偿策略。王春红等^[50]阐述了水土保持与水生态文明的区别与联系,明确了水生态文明建设中的水保核心内容。推动学科交叉研究。传统研究多围绕某一学科开展。划

定不同水土保持区后,围绕某一区域的人地关系,水土保持学、生态学、经济学等的交叉增多。如水利部联合科学院和工程院,综合水土流失现状、生态恢复难度和人员物资成本,通过投入—产出分析,确定了不同区划区域、不同治理措施的成本和效益^[40]。

2.1.3 数据资料 水土保持区划促进了各类数据的收集、整理及法律法规的完善。一是水土流失数据,区划客观推动了水土流失数据的收集和整理。2010 年 1 月国务院下发通知,决定于 2010—2012 年开展第一次全国水利普查,要求掌握水土流失、治理情况及其动态变化。根据普查结果绘制的全国水土流失现状图,是全国水土保持区划的重要参考。二是自然和社会经济数据。郭历华^[51]把水土保持区划所需的自然数据归为 5 大项 12 小项,社会经济数据归为 3 大项 13 小项。有些数据在区划之前是未知或缺漏的,经过区划工作的补充而完善,并可为其他研究使用。三是影像资料。如 1.2 中所述山西省用于区划的遥感影像,已于 1982 年编制成册并出版^[10]。四是与区划有关的法律法规。尤其是 2010 年新修订的《中华人民共和国水土保持法》,将水土保持规划单独列为一章,这是多年来水土保持区划取得进步的反映^[22]。

2.2 指导实践开展

2.2.1 因地制宜治理水土流失 在区划方案指导下,不同区域布置各具特色的水保措施。鄱阳湖丘岗平原农田防护水质维护区(V-4-3ns)使用植物篱防治坡耕地土壤侵蚀。顺自然坡面相间布局香根草篱带和花生种植带,与顺坡耕作相比,年均径流量、冲刷量分别减少 66.8%,73.4%,流失泥沙中有机质、全氮、全磷、全钾含量分别减少了 46.4%,47.4%,38.5%,20.9%,花生增产 10.3%^[40]。闽西北山地丘陵生态维护减灾区(V-5-4wz)采取种草方式治理林下流。按一定比例撒播草籽,出苗后用 112.5 kg/hm² 尿素追肥 3 次。第 2 年牧草全部覆盖林地,土壤侵蚀量降低了 88%^[40]。岭南山地丘陵保土水源涵养区(V-6-2th)种植阔混交林改良侵蚀土壤肥力。混交栽种红锥和马尾松,6 年后马尾松的平均树高、胸径、单株材积比纯马尾松林分别增加 3.9%,18.8%,42.1%,林地表层土壤全磷、水解氮、速效钾的含量分别增加 9.5%,73.3%,15.5%^[40]。

2.2.2 水土流失治理责任制 50 年代实行计划经济,根据水土保持区划,确定不同区的水土流失防治任务,并分配到农业生产合作社或生产大队^[52]。80 年代后计划经济向市场经济的转型也反映在水土保持工作中。1984 年,四川省试点分级承包、落实到户的水土流失治理责任制。将 5 641.7 km² 治理面积

和1 960万元治理经费按“谁治理、谁所有;谁管理,谁受益”的原则下拨到各水土保持区,鼓励个体农户投入资本兴修水利、治理农田,使责任、权利、利益统一集中于农户^[53]。1986—2005年,同样实行农户承包的中国南方8省粮食单产由4 305 kg/hm²增加到5 600 kg/hm²,农民人均年纯收入由504元增加到3 630元^[40],这与以水土保持区划为基础的治理责任制密不可分。进入21世纪,这种责任制有了新发展,如江西省推广“公司+基地+农户”的运作,政府提供优惠政策,将黄栀子产业列入退耕还林工程建设,种植户5年内免征农业特产税,无偿提供苗木。这一方式成效显著,仅2004年就吸引社会资金2.64亿元,群众投工159万个,累计种植黄栀子4 670 hm²^[40]。

另外,区划工作也为小流域连片综合治理提供了可能。小流域内属于同一区划区域的村、组,可以联合采取治理措施。2000—2004年,甘肃省通渭县成立机修梯田服务队,统一调配全县推土机,累计机修梯田1.67万hm²^[54]。

3 问题

作为一项融合多学科的工作,水土保持区划不可能面面俱到。在阐明其价值后,我们更关注尚存哪些问题,并希望通过探讨这些问题的可能解决方案,为水土保持区划的未来发展提供建议。

3.1 经管方法失位

社会经济因素是水土保持区划的重要依据,但经济学和管理学在区划过程中的参与度却不高,从204篇他引文献中有涉经管的仅占3%可见一斑。此外,在所有与数理方法模型有关的65篇他引文献中,没有任何属于经济或管理范畴。目前社会经济因素仅在区划体指标体系中有所体现。但诸如人口数量、农业产值、城镇化率等指标远不够表达人类活动对水土保持区划的重要影响。经济学和管理学的模型或方法有必要也有可能应用于区划。

比如管理运筹学中的图论。图论是用节点、网络等模拟现实情景,通过流计算寻找最优解的方法^[55]。由图2可知,Z1和Z2分别为2个水土保持区,A、B为各自区域中心城市,集中了所在区域的全部物资和人员。Z3为待划定区域,有中心城市C1和C2。A、B、C1和C2之间互有道路a、b、c、d、e和f连接。假设经过聚类分析,Z3与Z1、Z2的欧氏距离相等,且除运输费用外其他一切自然、人文条件相同。这时可视城市为节点、道路为链,通过最小费用流算法,计算并比较Z3—Z1和Z3—Z2区域间的运输成本、时间等,并将Z3划分到费用较低的区域。

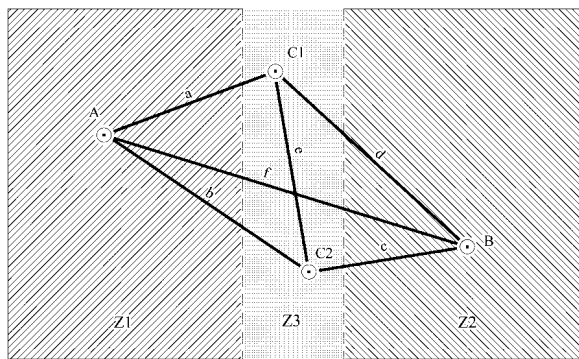


图2 最小费用流示意

3.2 指标体系欠缺

选取大流域尺度上3套(珠江、淮河、太湖流域)水土保持区划方案,区域尺度上4套(浙闽山地丘陵区,黄土丘陵沟壑区,滇黔川高原山地区,燕山山地丘陵区),省域尺度上4套(辽宁,江苏,山西,湖北),小流域尺度上4套(秃尾河小流域,窟野河孤山川流域,县南沟小流域,澧水流域),县域尺度上4套(山西方山县,陕西延安安塞区,福建邵武市,甘肃兰州西固区)。区划指标见表2。

定义指标分散度为各区划方案使用指标后数量与全部合计数量的比值,分散度越高,指标差异性越大。大流域、区域、省域、小流域和县域尺度的指标分散度依次为0.80,0.64,0.51,0.90,0.62。说明各地区区划工作没有统一的指标选用规范,导致不同区划研究使用的指标过于分散,尤其是小流域尺度上4个区划方案全部51个指标中,只有4个存在重复。

分散导致混乱。表现为盲目罗列与水土保持关系不大的指标。如澧水流域水土保持区划中,将渔业和服务业产值占一、三产业总产值比重、水库和坝塘容量、化肥施用量列入指标体系^[56]。盲目罗列又导致指标独立性减弱。如云南省水土保持区划中,将农业人口比例和非农业人口比例均列入指标体系,而二者是明显的线性函数关系^[57]。考虑到所有列入指标体系的指标都会对欧氏距离的计算结果产生影响,指标选用分散、不合理和共线性的情况,均会影响聚类分析的准度,从而损害区划结果的科学性。

将各尺度区划重复率最高的指标再次合计并去重,计算指标分散度为0.42,比任何尺度区划指标的选取都要集中,说明指标并未反映出尺度差异。比如人口密度和植被覆盖率均是大流域尺度和小流域尺度上重复最多的指标,以此反推,说明对于面积相差20~30倍的大流域和小流域来说,人口密度和植被覆盖率都是水土保持区划的关键指标。这显然与已有知识矛盾,因为热量、水分在大尺度上起主导作用,而人类活动的影响更多在局部。

表 2 区划方案指标统计

尺度	区划区域	指标数量	合计/去重	重复率最高 指标/次数	各尺度区划重复率最高指标		
					合计/去重	指标/次数	
大流域	珠江	10	25/20	人口密度/3	31/13	人口密度/5 植被覆盖率/5 年均降水量/4 土壤侵蚀模数/3 水土流失面积比重/2 平均海拔/2 人均 GDP/2 垦殖指数/2 沟壑密度/2 年均气温/2 第二产业比重/1 ≥10 ℃ 积温/1 林地面积比重/1	
	淮河	6		年均降水量/2			
	太湖	9		植被覆盖率/2			
				水土流失面积比重/2			
区域			36/23	人口密度/4			
				植被覆盖率/4			
	浙闽山地丘陵区	12		平均海拔/3			
	黄土丘陵沟壑区	6		土壤侵蚀模数/2			
	滇黔川高原山地区	10		年均降水量/2			
	燕山山地丘陵区	8		≥10 ℃ 积温/2			
省域			71/36	人均 GDP/2			
				垦殖指数/2			
				年均降水量/4			
				土壤侵蚀模数/3			
				水土流失面积比重/2			
	辽宁	21		平均海拔/3			
	江苏	22		年均气温/3			
	山西	8		人口密度/3			
小流域	湖北	20		人均 GDP/3			
				第二产业产值比重/3			
				水土流失面积比重/3			
				林地面积比重/3			
			51/46				
	秃尾河	7		土壤侵蚀模数/3			
	窟野河	10		沟壑密度/2			
	县南沟	5		植被覆盖率/2			
县域	澧水	29		人口密度/2			
			29/18	人口密度/4			
	方山县	5		植被覆盖率/4			
	安塞区	8		土壤侵蚀模数/4			
	邵武市	9		垦殖指数/2			
西固区	7	沟壑密度/2					
				年均降水量/2			

3.3 实践衔接不足

3.3.1 现存问题 数据难以共享。服务于区划的各项数据资料,在区划工作完成后,缺少整理和保管。水利、国土和环保等诸部门之间,以及不同区域之间,缺乏数据共享机制,这也是上文所提到指标选取分散和混乱的原因之一。

一些行政领导认为区划成图就已完成工作,缺乏用区划结果指导水土流失治理的观念。忽视自然规律,片面硬搬外地经验模式,而不能切合实际、实事求是提出本地区的水土流失治理和生态恢复、经济发展措施^[58]。

太多部门区划互相掣肘。包括国土、城建、交通、环保、水利、农业等多个部门均会制定区划或规划,如生态修复区划、农业发展规划、土地利用规划、矿产资源开发利用规划、交通建设规划等。部门之间如果缺乏沟通、各自为政,不仅会使水土保持区划与其他部

门区划发生冲突,在实际执行时也会出现问题。

3.3.2 国外经验 国外有类似的水土保持分区体系,其中以美国最为健全。20 世纪 30 年代,美国先后发生了 7 场沙尘暴侵袭农田事件,被称为“the Dust Bowl”。据统计,约 40 万 km² 农田被摧毁,平原地区超过 1 m 厚的肥沃表土被刮走,累计经济损失达 4.4 亿美元。在此背景下,联邦政府通过法律,建议各州立法以开展水土保持区划。来自北卡罗来纳州(North Carolina)安森县(Anson County)的 Hugh Hammond Bennett 博士最早意识到水土流失的严峻,推动该州通过《水土保持分区法》(Soil and Water Conservation Districts Law)并协助安森县划定了美国首个水土保持区——Brown Creek 水土保持区。此后各州先后完成水土保持区划,并形成了较为完善的管理机制,本文以北卡罗来纳州为例说明(图 3)。

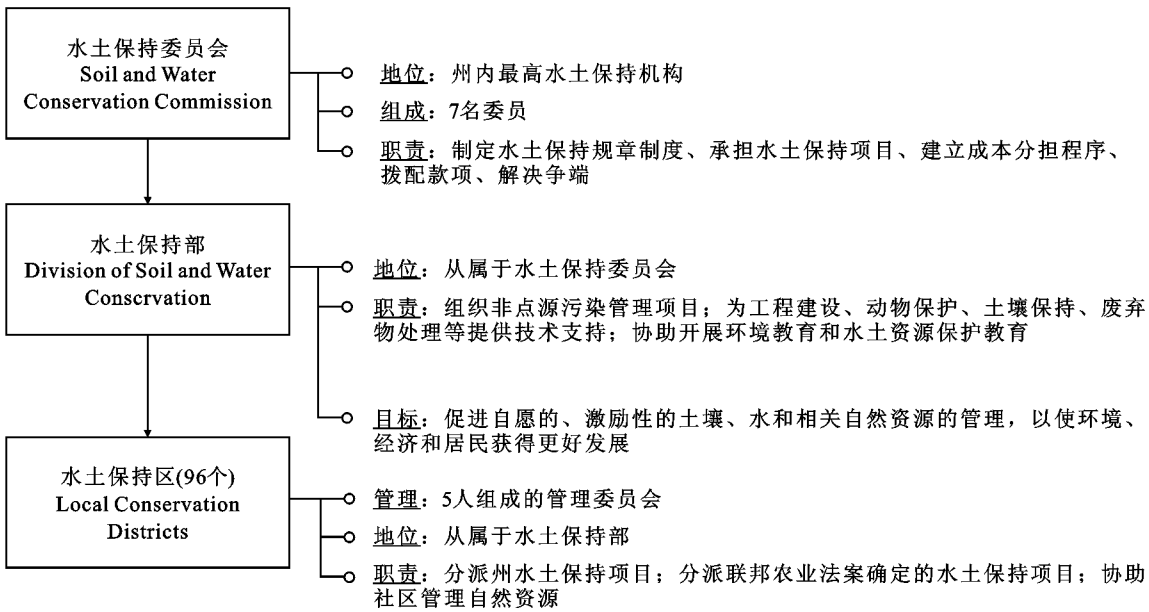


图 3 北卡罗来纳州水土保持分区管理体系

北卡罗来纳州有水土保持区 96 个,除 Albemarle 水土保持区是由 Camden、Chowan、Currituck、Pasquotank 和 Perquimans 5 个县组成外,其余各区区界均与县行政界重合。除 Albemarle 区管理委员会有 17 人组成外,其余各区均为 5 人,其中 3 人为无党派候选人通过正常选举程序产生,2 人由各区推荐、州水土保持委员会任命。管委会每月举行 1 次例会,确定水土保持工作重点。管委会与企业、非营利性机构和地方、州及联邦部门开展非强制性合作,为其提供技术和财政支持,并组织水土流失治理。州水土保持部是各区管委会的直接上级机构,但资金分配由州水土保持委员会负责。管委会的活动资金主要有县政府、州政府(水土保持委员会和水土保持部)、联邦政府(自然资源保护服务部, Natural Resources Conservation Service, NRCS)和独立融资 4 个来源。

美国水土保持区并非综合各类条件划分,而是直接使用行政区界,并配有较为完善的从联邦到各州再到各县的管理机制,可以理解为由上而下的分配与由下而上的自组织相结合,在一定程度上更易组织水土流失治理工作。相比下,我国水土保持区划更偏向于科学层面的探讨,在未来有可能借鉴这种管理体系,更好将区划与实践结合。

4 展望

已有的水土保持区划综述性文献具有相当的参考价值,但囿于年代,近年来区划的新趋势、新特征需更进一步总结分析。同时考虑尚未有对区划作用的评价文章,本文梳理中国水土保持区划从诞生至今的发展脉络,分析其价值和存在问题,并提出可能的解

决途径。认为定性和定量方法的进一步融合、实践和理论的进一步衔接是未来水土保持区划发展的方向。

4.1 定量和定性平衡

主成分分析、系统聚类等方法及 Arc GIS、RS 的应用,以直观计算结果明确区域间差异,提高区划工作的效率,也使区划结果更加精确。但不应忽视定量方法的局限性。

(1)2003 年,马力^[13]使用 Arc GIS 对黄土高原县南沟小流域进行水土保持区划,研究指出以 GIS 为研究手段,故参数选取、数据量化与集成等方面也充分考虑 GIS 的适宜性,因此只能选取具有空间分布的坡度、水土保持措施、土地利用类型、植被覆盖率、土壤侵蚀模数 5 个指标进行区划。而诸如人均 GDP、年均温等非空间性指标,则无法适用于 GIS 平台。另外,其他一些可能影响水土保持区划的因素,如农民投入水保劳作的积极性、水土流失治理经验,也很难在数学模型中体现。

(2)数理方法的大量运用也是指标分散、混乱的原因之一。尤其因为计算机程序可以帮助完成大量复杂运算,许多研究者把凡是能统计到的指标,都放入水土保持区划的指标体系。2017 年弥智娟等^[57]建立了包含 86 项指标的指标体系,用主成分分析和聚类分析做云南省水土保持区划,其中与坡耕地有关的指标就高达 10 项:坡耕地面积比例, <5°, 5°~8°, 8°~15°, 5°~15°, 15°~25°, >5°, >15°, >25°, 25°~35°坡耕地面积比例。显然这些指标是高度相关的。

(3)数理方法丢掉了数据属性,只进行数字计算。假设区域 R₂ 和 R₃ 分属两个水土保持区,指标仅考

虑 X_1 土壤侵蚀模数和 X_2 人口密度,且 $\mu(X_1)$ 和 $\mu(X_2)$ 为由三相模糊统计法确定的指标隶属度函数,将区域 R_1 、 R_2 、 R_3 指标值输入函数得到表 3。先需确定区域 R_1 归属。根据欧氏距离计算公式:

$$r_{ij} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [\mu(X_{ik}) - \mu(X_{jk})]^2}$$

式中: n 为指标数量; r_{ij} 为 i 区域和 j 区域的欧氏距离, X_{ik} 、 X_{jk} 分别为 i 区域和 j 区域的第 k 个指标值。

计算 r_{12} 为 0.4, r_{13} 为 0.5, 将 R_1 区域划归 R_2 。而如果关注 X_1 和 X_2 的数值属性,则可以发现, R_1 与 R_3 区域的土壤侵蚀和人类活动的程度均为高一低型,而 R_2 区域恰相反。那么将土壤侵蚀强度和人类干扰程度相反的 2 个区域划分到一起是否合适?是否利于统筹规划水土流失防治?这就可能需要定性分析帮助决定。

表 3 区域及对应隶属度函数值

区域	$\mu(X_1)$	$\mu(X_2)$
R_1	0.8	0.4
R_2	0.4	0.8
R_3	0.4	0.1

实际上,已经有很多学者提出水土保持区划要把自上而下的定性分析与自下而上的定量分析结合^[36,59],并提到了定量方法中参数设计误差和计算模式合理性的问题^[60],这也是水土保持区划方法的下一步发展方向。但具体应如何、在多大程度上用定性判别辅助定量计算?是否有更好的数理方法处理指标体系?自上和自下区划的结合点在哪里?这些问题都还有待解决。

4.2 实践仍是工作重心

水土保持区划、水土流失理论研究和水土流失治理实践三者是密切联系、相互促进的,三者都建立在自然和人为因素综合分析的基础上。区划既影响着水土保持理论研究,还与之一起为实际的治理工作提供指导;另一方面,理论研究和治理实践更直接的影响区划的形成,如对水土流失驱动因子的研究可以帮助筛选区划指标,不同区域因地制宜运行的不同治理措施已是客观上的区划。

近几年来,相继出现将空间自相关法、遗传算法等应用于区划的研究,丰富了水土保持区划的内容及方法^[61-62]。引入水土保持学科以外的数量方法对水土保持区划的重要意义,但更多精力应投入理论研究和治理实践中,尤其是后者。主要原因为内因起决定作用,深入的水土流失理论研究和治理实践是区划进一步完善的根本基础;从一定程度上说,对于水土流

失治理和生态环境恢复来说,实践活动起着更直接、更具体的作用。如果群众对水土流失危害的认识不够深刻、管理机构不能把区划与实际工作联系起来,那么再成熟的区划方案其效果也将大打折扣。

参考文献:

- [1] 王守礼. 1956 年黄河中游水土保持综合考察队经济组的工作[J]. 科学通报, 1957(增刊 1): 93-94.
- [2] 马溶之. 山西省西部水土保持土地合理利用区划[J]. 科学通报, 1956(2): 7-17.
- [3] 水利电力部黄河水利委员会. 1958—1962 年黄河中游水土保持规划[J]. 黄河建设, 1958(11): 1-5.
- [4] 朱显谟. 有关黄河中游土壤侵蚀区划问题[J]. 土壤通报, 1958(1): 1-6.
- [5] 李国库. 全国第四次水土保持工作会议简况[J]. 水土保持科技情报, 1982(4): 47.
- [6] 中华人民共和国水利部. 全国水土保持规划(2015—2030)[Z]. 北京: 2015.
- [7] 林俊青. 中国科学院应迅速开展水土保持的定位试验工作[J]. 科学通报, 1957(3): 128.
- [8] 许伍权, 李除森, 杨文坤. 关于惠安水土保持区经济区划工作的意见[J]. 福建林学院学报, 1961(2): 25-42.
- [9] 兴国县水土保持综合区划工作队. 兴国县水土保持综合区划报告(讨论稿)摘要[J]. 水土保持, 1981(3): 1-7.
- [10] 骆鸿固. 晋西地区航空遥感野外实例样方图集已刻印成册[J]. 山西水土保持, 1982(4): 57-58.
- [11] 石清滨. 赣州举办水保干部遥感技术培训班[J]. 中国水土保持, 1983(2): 35.
- [12] 张凤洲. 必须重视土壤侵蚀遥感译解成果的开发利用[J]. 人民珠江, 1989(3): 40-41, 16.
- [13] 马力. 基于 GIS 水土保持动态规划方法研究: 以县南沟小流域为例[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2003.
- [14] 孙秀美. 基于 GIS 的山东沂沭泗流域水土保持生态功能评价及区划研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2005.
- [15] 张汉雄. 模糊聚类在水土保持区划中的应用[J]. 中国水土保持, 1990(11): 52-54.
- [16] 周世波, 史玲芳, 刘乐融. 计算机在秃尾河流域水土保持治理分区中的应用研究[J]. 中国水土保持, 1990(6): 41-47.
- [17] 胡志勇, 严鹏, 程颐农, 等. 用模糊—动态聚类法对青海省东部进行水土保持综合治理亚区划分[J]. 水土保持研究, 1994, 1(1): 37-44.
- [18] 王治国, 张超, 纪强, 等. 全国水土保持区划及其应用[J]. 中国水土保持科学, 2016, 14(6): 101-106.
- [19] 王治国. 我国水土保持区划与生态修复区划若干问题思考[C]//北京林业大学. 中国水土保持学会会议论文集. 北京: 北京林业大学, 2004: 47-51.
- [20] 李云升, 黄毅. 辽宁省完成水土保持轮廓区划[J]. 水土

- 保持科技情报,1988(4):63-64.
- [21] 褚丽妹. 辽宁省水土保持规划方略与总体布局研究[J]. 水土保持应用技术,2017(2):16-19.
- [22] 全国人大法工委. 中华人民共和国水土保持法[M]. 北京:法律出版社,1991:3-9.
- [23] 全国人大法工委. 中华人民共和国水土保持法实施条例[M]. 北京:法律出版社,1993:16-21.
- [24] 中华人民共和国环境保护部,中国科学院. 全国生态功能区划(修编版)[Z]. 北京:2015.
- [25] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发全国主体功能区规划的通知[Z]. 北京:2010.
- [26] 杨永峰. 基于多重分析的山东省水土保持生态功能区划研究[D]. 北京:北京林业大学,2009.
- [27] 承志荣. 江苏省水土保持区划研究[D]. 南京:南京农业大学,2013.
- [28] 赵岩. 水土保持区划及功能定位研究[D]. 北京:北京林业大学,2013.
- [29] 张旭昆. 经济人、理性人假设的辨析[J]. 浙江学刊,2001(2):33-41.
- [30] 叶立国. 系统科学理论体系的重建及其哲学思考[D]. 南京:南京大学,2010.
- [31] 蒋长树. 全苏水土保持工作会议[J]. 黄河建设,1957(增刊1):54-56.
- [32] 王礼先. 保加利亚制定长期水土保持规划的方法[J]. 水土保持科技情报,1988(2):1-6.
- [33] 王治国,王春红. 对我国水土保持区划与规划中若干问题的认识[J]. 中国水土保持科学,2007,5(1):105-109.
- [34] 吴岚. 水土保持生态服务功能及其价值研究[D]. 北京:北京林业大学,2007.
- [35] 赵岩,王治国,孙保平,等. 中国水土保持区划方案初步研究[J]. 地理学报,2013,68(3):307-317.
- [36] 张超,王治国,王秀茹,等. 我国水土保持区划的回顾与思考[J]. 中国水土保持科学,2008,6(4):100-104.
- [37] 第宝锋,崔鹏,艾南山. 中国水土保持生态修复分区[J]. 四川大学学报(工程科学版),2008,40(5):32-37.
- [38] 张超. 水土保持区划及其系统架构研究:以山西省为例[D]. 北京:北京林业大学,2008.
- [39] 王玉俭. 山东省水土保持区划探讨[J]. 水土保持通报,1990,10(5):19-22.
- [40] 中华人民共和国水利部,中国科学院,中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全:南方红壤区卷[M]. 北京:科学出版社,2010:224-287.
- [41] 郑国权,张晓远,刘协亨. 基于GIS的广东省水土流失潜在危险度评价[J]. 水土保持通报,2014,34(2):139-141,146.
- [42] 赵乾坤,王治国,张光灿,等. 山西省水土保持功能区生态脆弱性评价[J]. 中国水土保持科学,2014,12(6):16-22.
- [43] 马永,丁凤玲. 珠江流域片水土保持区划三级区划分探讨[C]//北京林业大学. 中国水土保持学会会议规划设计专业委员会2011年年会论文集. 北京:北京林业大学,2011:74-80.
- [44] 陈展鹏. 红壤和紫色土坡面加速侵蚀过程研究[D]. 武汉:长江科学院,2009.
- [45] 张会茹. 红壤坡面与黄土坡面土壤侵蚀过程对比研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2009.
- [46] 蒋廷杰. 新化紫鹊界生态规划[D]. 长沙:湖南农业大学,2007.
- [47] 祁有祥,沈光涛,苏亚红,等. 宁夏回族自治区林业生态建设区划研究[J]. 水土保持研究,2007,14(5):147-199.
- [48] 彭静波,邸利,林斌,等. 基于熵权灰色关联分析的小流域生态安全评价:以定西市安家沟小流域为例[J]. 湖南农业科学,2010(7):84-87.
- [49] 徐元崇. 江苏省水土保持分区生态敏感性评价[D]. 南京:南京农业大学,2015.
- [50] 王春红,王治国,樊华. 水土保持与水生态文明的关系及其规划问题[J]. 中国水土保持科学,2017,15(6):134-139.
- [51] 郭历华. 论我国水土保持区划发展的现状[J]. 中国水运,2014,14(1):136-137.
- [52] 王守礼. 水土保持区经济区划的初步经验[J]. 经济研究,1956(2):30-39.
- [53] 黄筱林. 云贵川水土流失及治理建议[J]. 云南林业调查规划,1987(3):5-9.
- [54] 孙振国,马新元. 通渭县贷款建设机修梯田的成效与做法[J]. 中国水土保持,2005(10):44-45.
- [55] 韩伯棠. 管理运筹学[M]. 北京:高等教育出版社,2015:230-255.
- [56] 尹辉,李景保,廖婷,等. 湖南省澧水流域水土保持区划研究[J]. 水土保持通报,2009,29(3):45-50.
- [57] 弥智娟,朱艳艳,姜宏雷,等. 基于多元数据的云南省水土保持区划方法研究[J]. 水土保持研究,2017,24(2):64-69.
- [58] 龚维鹏. 试谈县级“农业区划以后”的经常性、长期性任务[J]. 农业区划,1983(4):37-40.
- [59] 张锋,沈波. 关于我国水土保持规划有关问题的思考[J]. 中国水土保持,2013(5):25-27.
- [60] 廖梦南. 我国水土保持规划有关问题的思考[J]. 硅谷,2014(4):138,132.
- [61] 吴海波. 黄土丘陵沟壑区水土保持区划与含沙量预测的研究[D]. 郑州:华北水利水电大学,2012.
- [62] 邹金浪,谢花林,杨子生,等. 基于USLE的土壤侵蚀敏感性评价及其空间自相关分析:以江西省兴国县为例[J]. 农业现代化研究,2011(6):761-765.