

县域水土保持区划方法的问题与改进*

王丹阳^{1, 2} 李忠武^{1, 2, 3†} 陈佳³ 朱小林⁴ 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)

(4 湖南省国土资源规划院, 长沙 410007)

摘要 在中国水土保持区划近70年的发展历程中, 其方法不断完善, 突出表现为“3S”技术和数理模型的应用、经济和生态学概念的引入, 但仍存在问题: 定量方法选用的指标冗杂、部分指标间共线性强、尺度差异未体现; 定性因子考虑不足, 指标数据实际含义削弱, 仅作为数值被计算; 生态系统服务功能的融入只体现在区划工作结束后, 无法影响区划过程。针对此, 依据已有区划实践和相关理论, 提出县域尺度水土保持区划方法的优化设计方案: 构建水土流失危险性、土壤侵蚀态势、水土保持能力的三维指标框架, 选用坡度、植被覆盖率、人口密度、土地利用强度、生态系统服务功能、土壤侵蚀综合指数、资金/技术投入、交通通达度和水保工作积极性共计9项指标, 结合定性分析将每个评价单元按其不同的三维组合类型划分到不同的水土保持区。

关键词 区划; 水土保持; 水土流失; 生态系统服务功能

中图分类号 S157.2 **文献标识码** A

水土保持区划将水土流失类型相同、强度相近, 自然社会经济情况相似的地域单元组织起来, 统一配置治理措施。它是因地制宜治理区域水土流失的基础, 也是保持区域水土资源的重要前提。自20世纪50年代提出以来, 历经近70年发展, 日趋成熟和完善。尤其自2011年水利部首次提出全国范围的水土保持三级分区方案并写入《中国水土保持规划(2015-2030)》后, 更加带动了省、市、县和小流域等层面的区划研究。

诚然, 这些工作对各地水土流失防治起着重要的指导作用。但如果区划的形成过程存在缺漏, 最终方案的准确性就会受影响, 科学价值削弱; 另一方面, 生态文明建设的新形式要求水土保持区划进一步提高学科综合性和动态适应性, 相应的, 区划

方法也亟需发展。鉴于此, 本文概述当前水土保持区划方法, 分析其不足和可能的改进方向, 提出县域尺度层面的区划优化设计, 以期为进一步完善提供参考。

1 区划发展历程及现状

中国水土保持区划方法的发展, 主要体现在两个方面, 一是技术进步, 从主观定性向客观定量逐渐过渡; 二是概念扩充, 主要是与生态学、经济学的结合, 如图1所示。

1.1 技术进步

技术进步表现为主观定性向客观定量转变。20世纪90年代之前的区划多基于水保工作经验。50年

* 国家重点研发计划(2017YFC0505401)项目资助 Supported by the National Key Research and Development Projects of China (No. 2017YFC0505401)

† 通信作者 Corresponding author, E-mail: lizw@hnu.edu.cn

作者简介: 王丹阳(1990—), 男, 山东泰安人, 博士研究生, 研究方向为水土保持与碳循环。E-mail: sapphire@hnu.edu.cn

收稿日期: 2018-06-15; 收到修改稿日期: 2018-10-05; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2018-12-06

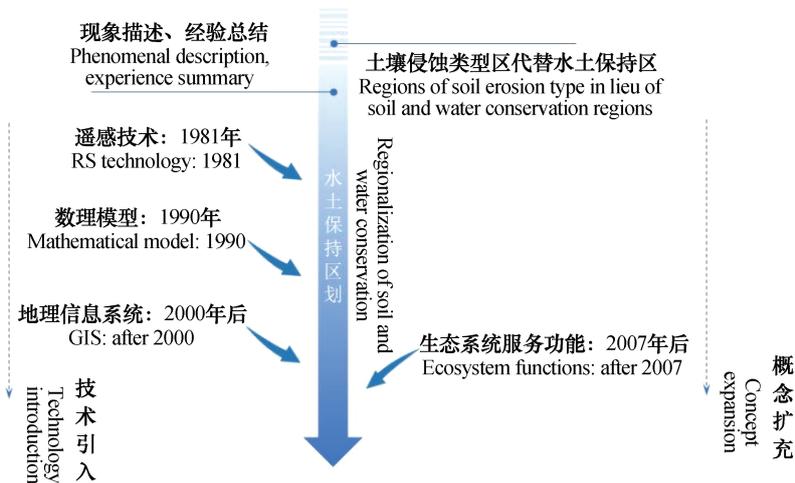


图1 水土保持区划方法发展过程

Fig. 1 Development process of methods for regionalization of soil and water conservation

代林俊青曾指出“其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成熟的。”^[1]如在惠安县，许伍权等^[2]总结自然和社会经济条件、水土冲刷情况及防治经验，将其划分为三个水土保持区；在兴国县，江西农委以地貌为主导因素将全县划分为九个水土保持区，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^[3]。

直至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，容易出现错分或漏分现象”，张汉雄^[4]选取年降雨量、径流深、沟壑密度、植被覆盖度、川台地比例、侵蚀模数和人均耕地面积7项指标，首次使用模糊聚类法，计算陕西安塞县各乡之间的欧氏距离，得到以树形图表示的定量分区结果。这一方法很快被借鉴和推广，贝叶斯准则逐步判别法^[5]、模糊-动态聚类法^[6]、聚类星座图法^[7]等一系列聚类分析先后应用于水土保持区划。进入21世纪后，数理方法以GIS为平台，进一步获得了发展。如马力^[8]选取适于ArcGIS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^[9]在ArcGIS上叠置分析生态服务功能类型、土地利用类型、地貌高程和遥感影像图等多静态特征图，确定了沂沭泗小流域水土保持生态功能二级区界。

1.2 概念扩充

概念扩充表现为与生态学、经济学等学科不断融合。最初中国以土壤侵蚀类型分区代替水土保持分区^[10]。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，也有意识地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。比如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”^[11]。而到了2017年，褚丽妹^[12]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。

水土保持区划与生态系统服务功能的结合是近年来的趋势。《全国水土保持区划导则》划定了10项水土保持的生态服务功能（水源涵养、土壤保持、蓄水保水、防风固沙、生态维护、防灾减灾、农田防护、水质维护、拦沙减沙和人居环境改善），初步区划方案形成后，计算并比较每个区水

土保持的各项生态服务功能价值，识别主导功能，并以“地理位置+地貌类型+主导生态服务功能”方式命名各水土保持区，以突出其水土保持的生态目标^[13-14]。

2 区划方法不足

2.1 指标体系欠缺合理

选取水土保持区划方案大流域尺度3套，区

域、省域、小流域和县域尺度各4套，统计其指标体系得（表1）。定义指标分散度为各方案使用指标去重后数量与全部合计数量的比值，分散度越高，指标选用差异越大。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和0.62，说明各地区划工作没有统一的指标选用规范，导致相同尺度内不同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次重复。

表1 各尺度区划方案指标统计

Table 1 Statistical analysis of indicator systems used in regionalization of different scales

尺度 Scale	区划区域 Area	指标数量 Number of indicator	合计/去重 Total/ Excluding repetition	重复率最高指标/次数 Most repeated indicators/ Repeated times	合计/去重 Total/ Excluding repetition	各尺度区划重复 率最高指标/次数 Most repeated indicators / Repeated times
大流域 Drainage basin	珠江	10	25/20	人口密度/3、年均降水量、 植被覆盖率、水土流失面 积比重/2		
	淮河	6				
	太湖	9				
区域 Region	浙闽山地丘陵区	12	36/23	人口密度、植被覆盖率/4、 平均海拔/3、土壤侵蚀模 数、年均降水量、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积 温、人均GDP、垦殖指数/2		
	黄土丘陵沟壑区	6				
	滇黔川高原山地区	10				
	燕山山地丘陵区	8				
省域 Province	辽宁	21	71/36	年均降水量、植被覆盖率/4、 平均海拔、年均气温、人 口密度、人均GDP、第二 产业产值比重、水土流失 面积比重、林地面积比重/3	31/13	人口密度/5 植被覆盖率/5 年均降水量/4
	江苏	22				
	山西	8				
	湖北	20				
小流域 Small watershed	秃尾河	7	51/46	土壤侵蚀模数/3、沟壑密度、 植被覆盖率、人口密度/2		
	窟野河	10				
	县南沟	5				
	澧水	29				
县域 Country	方山县	5	29/18	人口密度、植被覆盖率、土 壤侵蚀模数/4、垦殖指数、 沟壑密度、年均降水量/2		
	安寨县	8				
	邵武市	9				
	西固区	7				

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^[15]。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^[16]。考虑到所有列入指标体系的指标均会对聚类分析结果产生影响,所以指标选用分散、不合理和共线性的情况,均会影响区划准确度和科学性。

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,较任何尺度区划指标的选取均要集中,说明指标选取并未反映出尺度差异,也未服从尺度变化。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,说明对于面积相差20倍~30倍的大流域和小流域而言,人口密度和植被覆盖率均是水土保持区划的关键指标。这与已有知识矛盾,因为热量、水分在大尺度上主导,而人类活动的影响更多在局部。

2.2 定量计算存在局限

主成分分析、系统聚类等方法及GIS的应用提高了区划工作的效率。但不应忽视定量方法的局限性。首先,难量化指标的纳入分析受到了限制。以GIS为研究手段,则参数选取、数据量化与集成等

方面也需充分考虑GIS的适宜性^[8],因此具有空间分布特征的指标,如坡度、水保措施、地类、植被覆盖率、土壤侵蚀模数等更易被使用,而其他一些可能影响水土保持区划的主观因素,比如农民投入水保劳作的积极性、水土流失治理经验,均很难在其中体现。

其次,数理方法丢掉了数据属性,只进行数字计算。以系统聚类法为例,在假设情景下,区域 R_2 和 R_3 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2,现确定 R_1 归属。根据欧氏距离计算公式:

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

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。

表2 区域及对应隶属度函数值

Table 2 Membership functions values of the three regions

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

计算 r_{12} 为0.4, r_{13} 为0.5,将 R_1 区域划归 R_2 。而关注 X_1 和 X_2 的数据属性,则发现 R_1 与 R_3 区域的土壤侵蚀和人类活动的程度均为高-低型,而 R_2 区域恰好相反。在实际水土流失治理中,可能 R_1 与 R_3 区域更关注对不利自然条件的控制,而 R_2 区域更强调限制人为因素的影响。那么将土壤侵蚀强度和人类干扰程度相反的两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?

2.3 生态功能体现不足

生态系统服务功能是生态系统与生态过程所形成及维持的人类赖以生存的自然环境与效用,其价值是物化在环境中的社会必要劳动,其效益可通过货币表现^[17]。水土保持的生态系统服务功能就是运行各项水土保持措施对维持、改良和保护自然环

境的综合效用^[18]。2007年十七大首次将生态文明写入报告,以之为导向,外延水土保持价值范畴,确定并量化其生态功能,是将水土保持对接生态文明建设的重要举措。由此,生态功能识别及量化逐渐成为水土保持区划的重要工作。

但生态系统服务功能与水土保持区划的结合主要集中在区划工作后期,即先形成水土保持区,再计算每个区各类服务功能的相应价值,识别主导功能。因此严格而言,生态系统服务功能及其价值量的计算并不影响区划结果。在区域、省域等大尺度上,为了便于宏观把控、突出区域间差异,这样处理是可以接受的。但在县域、小流域范围,还应探讨将生态功能融入区划过程的更好方式,使水土保持区划真正可以面向区域生态系统服务功能的

提升。

3 改进县域尺度区划

针对水土保持区划方法的不足，归纳以下待解决问题：第一，如何优化指标体系设计，精简不必要指标、避免共线性、体现尺度差异？第二，如何补充定性和定量分析，处理难量化因子并考虑数据实际含义？第三，如何进一步将生态系统服务功能及价值与区划的密切结合？现有中国水土保持三级区划方案将全国划分为8个一级区、40个二级区和115个三级区，是各级水利部门进一步开展区划工作的依托，也是相关学术研究的重要参考。对县域尺度水土保持区划方法的探讨在其基础上展开。

3.1 设计思路

以水土流失危险性（P）、土壤侵蚀态势（E）、水土保持能力（C）为三个维度，构建三维指标框架。其中水土流失危险性是自然和人为复合维度，有前向和后向两方面含义，前向危险性是指水土流失诱发条件的充分程度，用气候、地貌等自然要素和人口、产业等社会经济要素衡量，后向危险性是指一旦发生水土流失造成损失的严重程度，以生态系统服务价值衡量，价值越高，潜在损失就越大。计算公式为

$$P = \sum_{i=1}^n V_i W_i \quad (2)$$

式中， n 为因子数， V_i 和 W_i 分别为第 i 个因子的指标值和权重。

土壤侵蚀态势是自然维度，表示当前土壤的侵蚀状况。按土壤侵蚀强度将评价单元地块划分为轻度、中度、强度、极强、剧烈侵蚀五类，根据每类土地面积确定单元总体土壤侵蚀态势，用土壤侵蚀综合指数表示。计算公式为

$$E = \sum_{i=1}^n A_i C_i / S \quad (3)$$

式中， n 为土壤侵蚀等级数， C_i 和 A_i 分别为第 i 等级侵蚀土壤的面积和权重， S 为评价单元的土地总面积。 E 在0到100之间取值，为0时表示没有任何水土流失发生，在许多平原地区普遍存在，为100时

表示评价单元全部剧烈侵蚀，除非单元面积很小，不然实际很难发生。

水土保持能力是人为维度，表示以个体、企业、政府等行为主体的社会系统采取措施治理流失、保持水土的能力。评价因子可分两类，一是可量化因子，如资金技术投入、交通便利度等，二是难量化因子，如水保工作参与积极性。计算公式为

$$C = \sum_{i=1}^n V'_i W'_i \quad (4)$$

式中， n 为因子数， V'_i 和 W'_i 分别为第 i 个因子的指标值和权重。

其次，根据以上三维框架，参考以往研究，考虑县域尺度自然过程的主导因子和数据获取性，得到指标体系如表3。在水土流失危险性维度中，坡度以 $>15^\circ$ 坡地占评价单元面积的比重（%）计算；植被覆盖率和人口密度单位分别为%和 $\text{人} \cdot \text{m}^{-2}$ ；土地利用强度以受人类干扰土地（如耕地、居民点、建筑及工矿用地）占评价单元面积的比重（%）表征；生态系统服务功能以评价单元10种水土保持的生态系统服务功能的价值（元）量化。土壤侵蚀综合指数单位为1，在0~100内取值。资金/技术投入以近三年年均投入治理费用（ $\text{元} \cdot \text{年}^{-1}$ ）计算，其中技术投入折算为等效资金投入；交通通达度以单位面积的道路长度表示，单位是 $\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$ ；水保工作积极性是定性指标，以问卷或访谈形式，调查农民、企业、政府部门等的水土保持意识和积极性并打分。考虑区域空间异质性，指标权重应借助主成分分析法，根据具体区划区域的自然、社会特征确定。

最后，以镇或村为基本评价单元，计算区划范围内各单元的三维数值。对水土流失危险性和土壤侵蚀态势两个维度，按数值分布直方图中由低到高累计频数的30%、40%、30%分为低、中、高三类，分别以A/B/C和1/2/3表示；对水土保持能力维度，按由低到高50%、50%的累计频数分为弱、强两类，以I/II表示。将不同三维组合类型划为不同水保类型区，如图2所示。

图2中A1为自然修复区，水土流失危险性低，土壤侵蚀强度弱；A2、B1、C1为预防保护区，特征是水土流失危险性高但流失情况尚不严重，或流

表3 县域尺度水土保持区划指标体系

Table 3 Indicator system developed for regionalization at county-scale

维度 Dimension	指标 Indicator	权重 Weight	类型 Type
水土流失危险性 Risk of soil and water loss (P)	坡度	主成分分析法确定	前向, 自然、定量
	植被覆盖率		前向, 人为、定量
	人口密度		
	土地利用强度		后向, 复合、定量
生态系统服务功能			
土壤侵蚀态势 Soil erosion condition (E)	土壤侵蚀综合指数	1	自然、定量
水土保持能力 Capacity of soil and water conservation (C)	资金/技术投入	主成分分析法确定	人为、定量
	交通通达度		人为、定性
	水保工作积极性		

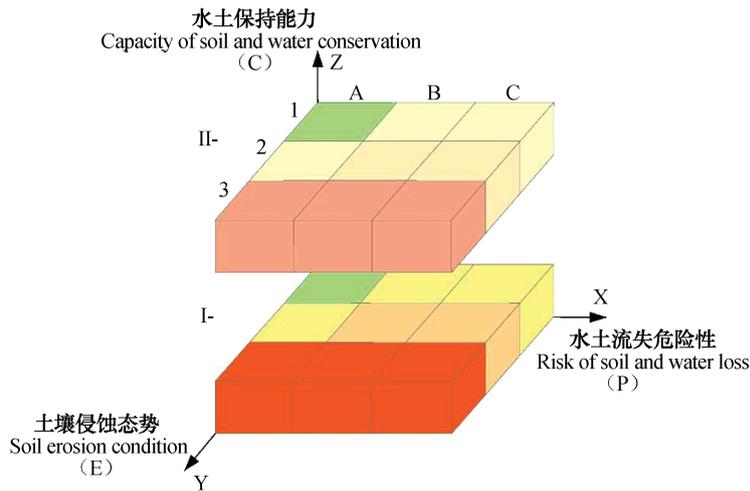


图2 水土保持类型区划分

Fig. 2 Types of soil and water conservation regions

失情况已引起注意但危险性尚低；B2、C2为防治结合区，区内土壤侵蚀强度较预防保护区更高；A3、B3、C3为重点治理区，区内水土流失危险性可能不高，但侵蚀状况已相当严峻。

无论是水土保持能力较强的II类自然修复区还是较弱的I类自然修复区，均可以凭借环境本身的恢复能力有效地保持水土，无需另投入，统称为自然修复区。对I类预防保护区、防治结合区和重点治理区，因区域经济条件较差、基础设施落后或保水保土意识不强，需要做好前期工作，完善基础建设、加强科普宣传和吸收民间资本，如江西省实行“公司+基地+农户”运作方式，有效推动了社

会资金多元化投入^[19]。相比之下，II类预防保护区、防治结合区和重点治理区的水土保持能力较强，水土流失治理效率更高，但仍需注意资金、人力的合理调配。

3.2 设计依据

压力-状态-响应模型。又称PSR模型，由经济合作与发展组织提出，用于系统的压力、状态和响应分析，基本架构如图3，工农业、城镇建设等人类活动对资源环境造成的压力以一定状态指标传导到个人、企业、政府等行为者，迫使其做出响应^[20]。PSR模型已广泛应用于生态安全、土地利用和自然资源评价。保留模型框架，适当外延概

念，将三个水土保持区划维度分别视为压力、状态和响应三个模块。水土流失危险性对应压力，但与模型中纯粹人类活动的压力不同，这一危险性包括了自然和人为两方面；土壤侵蚀态势对应

状态，其态势是对自然过程和人类活动的响应，进而影响各类行为者的福利；水土保持能力对应响应，行为者的态度和行为决定响应的方向和强度。

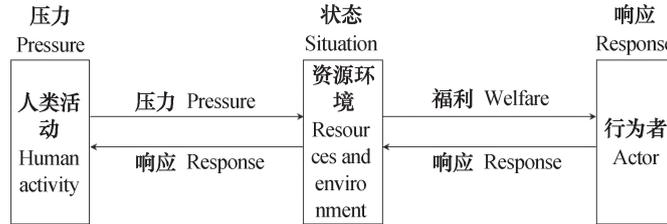


图3 PSR模型架构

Fig. 3 Structure of PSR model

已有水保区划工作。水利部和中国科学院、工程院在南方红壤区开展水土保持区划时，提出水土流失潜在危险性 (I_c) 和土壤侵蚀综合指数 (E) 概念^[19]。前者是指诱发水土流失的人为不可控自然因素，以坡度、高程、 K 值、花岗岩区、年均降水量、暴雨频次指标衡量；后者概念与本文相同。而后以100 m × 100 m的地块为基本评价单元，计算每个单元的 I_c 和 E 值，按两值的不同组合确定各单元所属的水土保持区，如表4。再以县界为基

准，统计每个县内各类水土保持区的单元数量，以占比超过60%的优势单元类型作为该县的水土保持区类型。本文借鉴土壤侵蚀综合指数概念，并扩充水土流失潜在危险性为自然人为复合维度；为方便社会经济数据统计，对接未来以行政单元为主体的水土流失治理工作，将基本评价单元由地块调整为村镇；简化五级土壤侵蚀综合指数为三级，并以动态频数分布而非固定数值确定三个维度的低、中、高分界点，以适应不同区划区域的差异。

表4 水土保持类型区划分标准

Table 4 Classification standard of types of soil and water conservation regions

I_c \ E	低	中低	中	中高	高
	Low (<2.0)	Lower moderate ($2.0 \sim 3.0$)	Moderate ($3.0 \sim 4.0$)	Higher moderate ($4.0 \sim 6.5$)	High (>6.5)
低 (<0.3) Low	A	A	C	D	D
中 ($0.3 \sim 0.5$) Moderate	B	C	C	D	D
高 (>0.5) High	B	B	D	D	D

注：A-自然修复区；B-预防保护区；C-防治并重区；D-重点治理区
Note: A-Natural restoration region; B-Prevention and protection region; C-Prevention and administration region; D-Key administration region

水土流失驱动因子的尺度效应。全国水土保持分区使用海拔、 $>10^\circ\text{C}$ 积温、年均降水量和干燥指数为一级区划指标；特定优势地貌类型、若干次要地貌类型的组合、水土流失类型及强度和植被类型（主要植被区带）为二级区划指标；地貌特征指标

（如相对高差、特征地貌）、社会经济发展状况指标（如人口密度、人均收入、人均GDP、工业产值比例）、水土流失防治需求和特点（如坡耕地治理、小流域综合治理、崩岗治理、石漠化防治）、土壤侵蚀程度和强度（土层厚度）为三级区划指

标。不同指标在不同尺度区划的应用反映了水土流失驱动因素的尺度效应：一级区划指标使用地势、气候等大尺度上起主导作用的自然因子，二级使用地貌、植被等中尺度自然因子，三级则侧重考虑人类活动。而借鉴县域、小流域等较小尺度水土流失影响因子的研究^[21-25]，本文共确定指标9项，其中自然指标3项，人为指标5项，复合指标1项；定量指标8项，定性指标1项。

基于以上依据的县域水土保持区划方法设计，可初步回答前面的三个问题。对问题一，依据县域尺度水土流失的驱动因子重新设计指标体系，精简冗余，各项指标相关性不显著，避免了指标共线性，指标体系科学性得以提升；对问题二，打破自然、人为的简单分类，将9项指标按其内涵归入压力、状态和响应三个维度，避免了数据属性被定量计算方法掩盖，同时加入水保工作积极性等定性指

标，补充了行为主体能动性对水土流失治理的重要影响；对问题三，将生态系统服务功能作为从属于水土流失危险性维度的指标，对评价单元生态系统服务价值的计算直接作为影响区划的重要因素，进一步密切了生态功能与水土保持区划的结合。

3.3 案例说明

指标数据获取、加权计算等可参考相关文献，不再赘述。为突出重点，现简化条件，假设拟区划区域有评价单元100个，以10×10矩阵形式列出，每一评价单元由其所在行和列的坐标唯一确定。经过数据收集、归一化处理、加权计算等，得到各评价单元的三维属性，如图4。红色框线内单元为强水土保持能力区，以外为弱水土保持能力区；各单元的水土流失危险性和土壤侵蚀态势两个维度由“字母+数字”形式表示，含义同图2。

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	B3	B3	B3	C3	C3	A2	A2	A2	A1	A1
b	B3	B3	C3	C1	C1	A2	A2	A1	A1	A1
c	B3	C3	C3	C1	A2	A2	B1	A1	A1	A1
d	B3	B3	C3	C2	B2	B1	B1	A1	A1	A1
e	B3	C2	C3	C2	B2	B2	B2	A1	A1	A1
f	B3	C3	C3	A3	A3	B2	B2	A1	A1	A1
g	C3	C3	B3	B3	C2	B2	B2	B2	A1	A1
h	C3	C3	C3	B3	C2	B2	B2	B2	A1	A1
i	C2	C2	C2	C1	C1	A2	B1	B1	A1	A1
j	C2	C2	C2	C2	C1	A2	A2	A1	A1	A1

图4 评价单元的三维属性叠置

Fig. 4 Superposition of 3-dimension data of each evaluating unit

将不同的三维组合划分到不同水土保持类型区，得图5，100个评价单元共识别为6个水土保持类型区。对于自然修复区（A1），除图3中7j属于弱水土保持能力区外，其余25个单元均属于强水土保持能力区，因自然修复区水土保持可主要靠生态系统自身恢复，受行为主体能力强弱的影响不大，故将图4中7j和其余25个村落同划为II类自然修复区。预防保护区（A2、B1、C1）和防治结合区（B2、C2）均进一步分为I类和II类，I类区域可投入的人、财、物力有限，相较II类区域，需优先治理重点流失地块，优化资源调配，最大化提高有限资源的使用效率。重点治理区（A3、B3、C3）与自然修复区相反，完全属于弱水土保持能力区，

土壤侵蚀情况最严峻，自然环境和人类活动最易诱发水土流失，且治理能力十分有限。要发展该区域水土保持工作，需借助外部帮助，如财政倾斜，人才、技术引进等。

值得注意的，单元图5中1e为高水土流失危险性-中土壤侵蚀态势-弱水土保持能力的三维组合，应属II类防治结合区，但在图4中被归为I类重点治理区。这是定性判断对定量分析的修正结果。主要是避免产生“飞地”，减少破碎斑块，并保证区划后水土保持措施布置的空间连续性。类似的，村落图5中4f为低水土流失危险性-高土壤侵蚀态势-强水土保持能力的三维组合，应属II类重点治理区，但却被归为了II类防治结合区。这主要是出于两点考

考虑：第一，以一个评价单元作为一个类型区，增加了分区的复杂性，且不利于后续工作开展；第二，将其划入II类防治结合区，可以接受经济发达地区辐射，共享技术、资金和基础设施。可见，定性判断不仅体现在前期计算过程，也体现在初步区划后

的斑块整合、边界调整，这也是对如何补充定性和定量分析的进一步回答。与聚类分析相比，通过每个评价单元的三维属性确定其归属的区划方法，在精简指标并保留指标内涵的前提下，实现了定性与定量的结合，并一定程度上简化了计算过程。

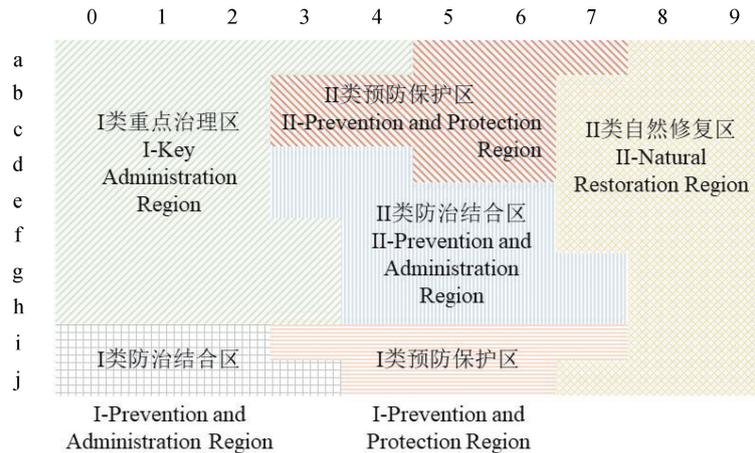


图5 假设情景中水土保持区划

Fig. 5 Regionalization of soil and water conservation in hypothetical scenario

4 结 论

技术引入使水土保持区划从主观定性向客观定量逐渐过渡，概念扩充使区划与生态学、经济学等学科不断融合，是近70年来中国水土保持区划方法发展历程的主要特点。现有区划方法存在问题有三：一是指标体系科学性不足，尺度和空间差异未体现，并且指标冗杂，部分指标间高度相关；二是定量方法限制了对定性因子的考虑，并弱化了数据的实际含义；三是生态系统服务功能的融入只体现在区划工作结束后，而无法影响区划过程。针对于此，对县域尺度水土保持区划方案加以改进，提出包含水土流失危险性、土壤侵蚀态势和水土保持能力的三维指标框架，并以坡度、植被覆盖率、人口密度、土地利用强度、生态系统服务功能、土壤侵蚀综合指数、资金/技术投入、交通通达度和水土保持工作积极性等9项自然、人为或复合指标构建指标体系，划分不同的三维组合类型，辅助定性分析，将评价单元归属于不同的水土保持类型区。值得注意的是，一是本文所述三维水土保持区划方法针对于县域尺度，若以之适用于大尺度，需做相应调整：比如以村镇为基本评价单元在县域是可行的，

而若扩展到省域，在数据采集和处理等方面就会非常复杂；又比如水土流失危险性维度的五项指标，若转换到大尺度，也要根据水土流失驱动因子的尺度效应相应调整。

参 考 文 献

- [1] 林俊青. 中国科学院应迅速开展水土保持的定位试验工作. 科学通报, 1957 (3) : 128
Lin J Q. The Chinese academy of sciences should carry out the localization experiment of soil and water conservation rapidly (In Chinese) . Chinese Science Bulletin, 1957 (3) : 128
- [2] 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. 福建林学院学报 (自然科学版), 1961 (00) : 25—42
Xu W Q, Li C S, Yang W K. Comments on regionalization of soil and water conservation of Hui' an (In Chinese) . Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition) , 1961 (00) : 25—42
- [3] 兴国县水土保持区划工作队. 兴国县水土保持综合区划报告 (讨论稿) 摘要. 水土保持, 1981 (3) : 1—7
Work Team on Regionalization of Soil and Water Conservation in Xingguo. Report (draft) of

- regionalization of soil and water conservation in Xingguo (In Chinese). *Soil and Water Conservation*, 1981 (3): 1—7
- [4] 张汉雄. 模糊聚类在水土保持区划中的应用. *中国水土保持*, 1990 (11): 52—54
Zhang H X. The use of fuzzy clustering in regionalization of soil and water conservation (In Chinese). *Soil and Water Conservation in China*, 1990 (11): 52—54
- [5] 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. *中国水土保持*, 1990 (6): 41—45
Zhou S B, Shi L F, Liu L R. Computer used for regionalization of soil and water conservation (In Chinese). *Soil and Water Conservation in China*, 1990 (6): 41—45
- [6] 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. *水土保持研究*, 1994, 1 (1): 37—44
Hu Z Y, Yan P, Cheng Y N, et al. Application of fuzzy-dynamic clustering in division of comprehensive control for soil and water conservation in east part of Qinghai Province (In Chinese). *Research of Soil and Water Conservation*, 1994, 1 (1): 37—44
- [7] 邓根松, 危煦春, 王建玲. 灰色系统理论在水土保持区划中的应用——邵武市水土保持区划方法初探. *福建水土保持*, 1995 (4): 13—18
Deng G S, Wei X C, Wang J L. Apply grey system theory to regionalization of soil and water conservation (In Chinese). *Fujian Soil and Water Conservation*, 1995 (4): 13—18
- [8] 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. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2003
Ma L. Study of soil and water conservation dynamic planning based on GIS—A case study on Xiannangou Watershed (In Chinese). Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2003
- [9] 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. 济南: 山东师范大学, 2005
Sun X M. Appraise on water and soil conservation ecological function and regionalization in Yi-Shu-Si basin of Shandong Province based on GIS (In Chinese). Jinan: Shandong Normal University, 2005
- [10] 王治国. 我国水土保持区划与生态修复区划若干问题思考. *中国水土保持学会会议论文集*. 北京: 北京林业大学, 2004: 47—51
Wang Z G. Thoughts on regionalization of soil and water conservation and of ecological restoration (In Chinese). Beijing: Beijing Forest University, 2004: 47—51
- [11] 李云升, 黄毅. 辽宁省完成水土保持轮廓区划. *水土保持科技情报*, 1988, 04: 63—64
Li Y S, Huang Y. Liaoning province have finished its regionalization of soil and water conservation (In Chinese). *Scientific and Technical Information of Soil and Water Conservation*, 1988, 04: 63—64
- [12] 褚丽妹. 辽宁省水土保持规划方略与总体布局研究. *水土保持应用技术*, 2017, 02: 16—19
Chu L M. Soil and water plan and general distribution of Liaoning province (In Chinese). *Technology of Soil and Water Conservation*, 2017, 02: 16—19
- [13] 承志荣. 江苏省水土保持区划研究. 南京: 南京农业大学, 2013
Cheng Z R. Study on soil and water conservation regionalization in Jiangsu Province (In Chinese). Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013
- [14] 赵岩. 水土保持区划及功能定位研究. 北京: 北京林业大学, 2013
Zhao Y. Study on soil and water conservation regionalization and function orientation (In Chinese). Beijing: Beijing Forest University, 2013
- [15] 尹辉, 李景保, 廖婷, 等. 湖南省澧水流域水土保持区划研究. *水土保持通报*, 2009, 29 (3): 45—50
Yin H, Li J B, Liao T, et al. Soil and water conservation regionalization of Lishui River Watershed in Hunan Province (In Chinese). *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009, 29 (3): 45—50
- [16] 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. *水土保持研究*, 2017, 24 (2): 64—69
Mi Z J, Zhu Y Y, Jiang H L, et al. Regionalization method of soil and water conservation in Yunnan Province based on multivariate data. *Research of Soil and Water Conservation*, 2017, 24 (2): 64—69
- [17] de Sosa L L, Glanville H C, Marshall M R, et al. Quantifying the contribution of riparian soils to the provision of ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 2018, 624: 807—819
- [18] 吴岚. 水土保持生态服务功能及其价值研究. 北京: 北京林业大学, 2007
Wu L. Function and value of soil and water conservation ecological services (In Chinese). Beijing: Beijing Forest University, 2007
- [19] 中华人民共和国水利部. 中国水土流失防治与生态安全-南方红壤区卷. 北京: 科学出版社, 2010
Ministry of Water Resources of the PRC. Management of soil loss and ecological security of China-red soil region of Southern China (In Chinese). Beijing:

- Science Press, 2010
- [20] 吴海萍, 刘彦花. 基于PSR模型的区域土地利用可持续水平测度. 水土保持通报, 2018, 38(1): 270—275
Wu H P, Liu Y H. Sustainable level measurement of regional land use based on PSR model (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 270—275
- [21] Kennech G R, George R F, Gelnn A W, et al. RUSLE revised universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation, 1991, 46(1): 30—33
- [22] Dennis L C, Keith L, Timothy R E. GIS-based modeling of non-pointed source pollution in the vadose zone. Journal of Soil and Water Conservation, 1998, 53(1): 34—38
- [23] Bostanmaneshrad F, Partani S, Noori R, et al. Relationship between water quality and macro-scale parameters (land use, erosion, geology, and population density) in the Siminehrood River Basin. Science of the Total Environment, 2018, 639: 1588—1600
- [24] Chen H, Zhang X P, Abia M, et al. Effects of vegetation and rainfall types on surface runoff and soil erosion on steep slopes on the Loess Plateau, China. Catena, 2018, 170: 141—149
- [25] Garosi Y, Sheklabadi M, Pourghasemi H R, et al. Comparison of differences in resolution and sources of controlling factors for gully erosion susceptibility mapping. Geoderma, 2018, 330: 65—78

Problems and Improvements of Methods of Regionalization for Soil and Water Conservation at a County-Scale

WANG Danyang^{1,2} LI Zhongwu^{1,2,3†} CHEN Jia³ ZHU Xiaolin⁴ WANG Lingxia^{1,2} HU Xiaoqian^{1,2}

(1 College of Environmental Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

(2 Key Laboratory of Environmental Biology and Pollution Control (Hunan University), Ministry of Education, Changsha 410082, China)

(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, China)

(4 Hunan Planning Institute of Land and Resources, Changsha 410007, China)

Abstract Regionalization of soil and water conservation in China is to, based on the inhomogeneous of natural characteristics and socio-economic conditions, and also takes into consideration, where available, already developed maps of spatial variations of soil erosion, divide a certain area into functional regions, with the hope that region-specific management rather than site-specific management could be applied without too much adjustment in each region. China spans nearly 50 degrees in latitude and has almost all existing landform patterns; types and rates and controls of soil erosion vary substantially from one region to another (e.g. the Loess Plateau versus the Tibet Plateau). In light of these particularities, appeals for regionalization of soil and water conservation could be justified. Hence this article examined the nearly 70 year's development of regionalization of soil and water conservation in China with the purpose to recognize its characteristics and if exist, drawbacks, and thus put forward a new method for regionalization of soil and water conservation at a county-scale with the hope to help with further improvement of the regionalization. To catch sight of the characteristics in the developing process of regionalization of soil and water conservation, a total of more than 400 articles were downloaded from CNKI and reviewed and studied. To detect the drawbacks of existing regionalizations of soil and water conservation, statistical analysis is used here. To design the new method of regionalization at county-scale, scenario simulation is employed and the P-S-R model were adopted. Based on thoroughly retrospection of the nearly 70 year

history of development of regionalization of soil and water conservation in China, the authors characterized the methodical advance that from qualitation to quantitation, including the employment of “3S”(RS/GIS/GPS) technology and mathematical models, and the progress of regionalization’s conceptional framework, especially the introduction of knowledge within economics and ecology disciplines. These methods, however, have their limits because of the conflict between old fashions and new prospect which could be concluded to three point: first, indicators used by quantitative methods are miscellaneous, making some of which have strong correlation, while the scale effect have not been reflected by indicator system; second, some of the key qualitative factors (such as enthusiasm for soil conservation practice) are difficult to be included in the process of regionalization because quantitative methods are unable to process indicators identified by descriptions but not data, moreover, mathematical methods only calculate indicators as numbers without concerning their actual meanings of the data in calculate; third, ecosystem functions are integrated in the process of regionalization in a manner that could hardly influence the result of regionalization scheme. In this end, based on the already existing schemes and theories of other discipline, methods of regionalization of soil and water conservation at county-scale are re-designed: risk of soil and water loss, soil erosion condition, capacity of soil and water conservation are used to build a three-dimension indicator framework, and a total of nine indicators are included in the indicator system, which are slope ($^{\circ}$), vegetation coverage (%), population density ($\text{person}\cdot\text{m}^{-3}$), land use intensity (%), ecosystem functions (Yuan), index of soil erosion (1), capital/technique input ($\text{Yuan}\cdot\text{a}^{-1}$), traffic accessibility ($\text{m}\cdot\text{m}^{-2}$), and enthusiasm on soil conservation practice (1). For each evaluating unit, combination type of the three dimensions are employed to determine its region in the regionalization of soil and water conservation. Compared with the existing regionalization schemes where cluster analysis is also integrated, this new county-scale-oriented regionalization method eliminates unnecessary indicators into the indicator system while also maintains their practical implications. By combining qualitation and quantitation in determining the region of each evaluating unit belongs to, this new method could to some extent contribute to a more accurate regionalization of soil and water conservation and therefore, contribute to further soil and water conservation practice.

Key words Regionalization; Soil and water conservation; Soil and water loss; Ecosystem functions

(责任编辑: 檀满枝)