

DOI: 10.5846/stxb202006051461

张丹红,王效科,黄斌斌,张路.县区生态系统服务分布图编制——以北京市延庆区土壤保持服务为例.生态学报,2021,41(12):4765-4775.

Zhang D H, Wang X K, Huang B B, Zhang L. Ecosystem service distribution mapping at county scale: A case study on soil retention service mapping in Yanqing District, Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(12): 4765-4775.

县区生态系统服务分布图编制 ——以北京市延庆区土壤保持服务为例

张丹红^{1,2}, 王效科^{1,2,*}, 黄斌斌^{1,2}, 张 路¹

1 中国科学院生态环境研究中心,城市与区域生态国家重点实验室,北京 100085

2 中国科学院大学,北京 100049

摘要:地图是直观展示生态系统服务空间分布格局的手段,是确定重要生态保护目标和区域的主要方法。结合制图学理论方法及国家、行业相关制图规范,探讨生态系统服务分布图编制的目标、原则、流程和制图方法。以编制北京市延庆区 1:25 万土壤保持服务分布图为例,分析了地理基础确定、地理要素取舍以及土壤保持服务分级等关键制图方法,提出了土壤保持服务分布图的编制规范。研究表明,编制的图件能够详尽的展示土壤保持服务的分布特征,精细的反映生态系统服务与自然、人文要素的关系。通过详实的图面信息可进一步判别土壤保持服务分布重要区域,这将为区域生态环境保护规划提供重要技术手段。

关键词:生态系统服务制图;土壤保持服务;制图方法

Ecosystem service distribution mapping at county scale: A case study on soil retention service mapping in Yanqing District, Beijing

ZHANG Danhong^{1,2}, WANG Xiaoke^{1,2,*}, HUANG Binbin^{1,2}, ZHANG Lu¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Mapping is one best mean to visually display spatial patterns of ecosystem services, and has become an important method for determining significant targets and regions of ecological protection. This paper analyzes the objectives, principles, processes and methods for mapping distribution of ecosystem services in terms of cartography theory and related national or industrial standards for mapping. Taking a distribution map of soil retention service at 1:250000 scale in Yanqing District as a case study, the key mapping issues such as determination of geographic bases of the map, selection of natural and social geographic elements, and classification of soil conservation capacity are analyzed. Further, the specification of soil retention distribution maps at county scale is proposed. The results show that the map of soil retention service complied with the above method displays the distribution patterns of soil retention service, and reflects the spatial connection between soil retention service and geographical elements. Also, it helps to identify ecologically important areas with detailed and truthful information on the map. Thus, our study can provide important technical means for locally ecological environmental protection planning.

基金项目:国家重点研发计划(2018YFC0507303)

收稿日期:2020-06-05; 网络出版日期:2021-04-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangxk@rcees.ac.cn

Key Words: ecosystem service mapping; soil retention service; mapping methods

生态系统服务是社会经济发展的重要物质基础和支持^[1]。由于城市扩张、自然资源开采和不合理区域发展导致生态系统服务普遍下降,保护和提升生态系统服务已经成为自然空间管制的重要目标^[2]。生态系统服务制图是根据决策需求将生态系统服务空间分布及相关要素进行可视化展示的过程。其制图方法和内容丰富,如生态系统服务供给、需求及服务流制图等^[3-4],但制图最终目的是将生态系统服务纳入生态安全规划和自然资源管理^[5]。

生态系统服务空间规划和管理需兼顾自然-社会经济系统和多方面利益主体进行统筹规划和决策。这需要制图反映生态系统服务依存的自然条件、人为干扰因素、及其受益区的社会经济状况等详细的背景信息。绘制生态系统服务分布图直接作为辅助决策的工具,是综合制图学、地理信息学和生态学理论方法系统性的工作,是对传统制图方法和技巧的挑战。目前生态系统服务制图普遍存在缺乏与生态系统服务相关的高精度的地理空间信息^[6],及忽视制图基本规范而达不到制图较高的质量要求^[7]等问题。因此,生态系统服务分布图决策应用性受到较大的局限。大比例尺生态系统服务分布图绘制方法还缺少统一规范和要求,极大限制了生态系统服务评价结果直接服务于地方生态环境保护规划。

因此,为了提高生态系统服务分布图的质量、规范性和决策应用性,本研究系统的结合制图学理论方法及国家、行业规范,提出生态系统服务分布图的编制方法。以北京市延庆区土壤保持服务为研究案例,评价了生态系统土壤保持服务分布图编制方法的可操作性和应用价值。探寻生态系统服务分布图的编制方法以求从图面识别生态系统服务重要区域是本研究拟解决的科学问题。从而使编制的生态系统服务分布图可直接作为生态保护规划的基础图件。

1 生态系统服务制图方法

为提高制图的规范性、科学性和可读性,本研究参考制图学理论和国家行业相关制图规范,提出了生态系统服务制图的目的、原则、流程和基本方法。

1.1 制图目的和原则

1.1.1 制图目的

- (1)反映生态系统服务的空间分布规律及与相关自然、人文基础要素之间的关系。
- (2)以明确的应用性目的为导向,方便使用者直接查询生态系统服务高低值分布区域和关注地区的生态系统服务分布状况。
- (3)生态系统服务图件直接作为生态保护规划的基础图件,为保护优先区划定等生态保护规划决策服务。

1.1.2 制图原则

- (1)制图科学性。制图遵循数据资料的现势性,基本符号与国家、行业规范的统一性,空间位置精确性,表达艺术性和制图信息量合理性等要求。
- (2)尺度匹配性。由于生态系统服务与一定的自然和社会过程时空尺度相匹配^[8],生态系统服务制图尺度要与专题要素、地理基础要素以及决策的空间尺度相一致。
- (3)地理要素相关性。在有限的地图空间内,展示生态系统服务与地理要素的关系,需选择与生态系统服务、决策规划目标直接或间接关系密切的自然、人文要素。
- (4)重点突出性。突出反映生态系统服务空间差异特征及重要过程因素,服务于生态环境保护决策。

1.2 制图流程

本研究采用专题制图的方法编制土壤保持服务分布图,主要的制图过程为(图1):(1)确定制图的数学基础,以精确定位生态系统服务及其相关要素的地理位置。(2)选择自然、人文基础要素。并用地图学中的

综合方法,基于比例尺、制图目标和图面信息量控制等,对要素进行分类、简化。采用适当的符号和注记表示,展现各要素大小、密度、级别等主要信息。(3)通过生态系统服务数据分级和色彩组合绘制生态系统服务专题图层,展现生态系统服务的数量空间分布特征。(4)综合基础底图和土壤保持服务专题图层,进行图面配置。

1.3 基础底图设计

1.3.1 数学基础设置

在县域尺度的生态保护规划和落实需要协调村落管制单元,在合适的图幅范围内展现村落居民点及名称信息,制图适宜采取 1:250000 比例尺,其他数学基础设置参考 1:250000 比例尺国家、行业相关规范、图式^[9-10]。本图采用 Gauss Kruger 6 分带投影,1985 年国家高程基准、2000 年国家大地坐标系。设置 4km 间距公里网,及大格间距 10',小格间距 1'的经纬网。

1.3.2 地理要素选择与综合

(1)地理基础要素选择。

自然基础要素选择首先考虑县域尺度影响生态系统服务分布格局的生态因子。植被是生态系统服务产生和传递的基础^[11],中小尺度影响植被生长格局的主要生态因子有地形、降水和气温^[12],进而影响着生态系统服务。地形是其他因子的控制因素,因此,选为本图重要的基础自然要素。由于气温和降水变化较大,考虑降水和地表径流有密切关系^[13],选择较稳定的水系为另一自然要素。建设用地的扩张是生态系统服务变化的主要人为因素之一^[14],居民地(包括居民点和居民面)和交通要素为基础建设用地,作为制图的基础人文要素。进一步结合生态系统服务相关性、规划决策的可参考性及制图可行性三个方面阐述所选要素的代表性,如表 1。此外,地名是实现制图空间定位、查询功能必不可少的要素,也可显示空间管制单元信息。因此,也选取详细到村落的居民点名和自然地名要素为基础要素。

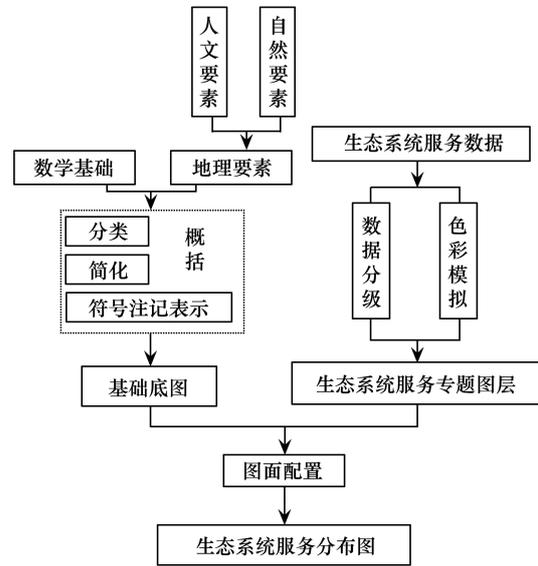


图 1 制图流程

Fig.1 Mapping process

表 1 地理基础要素选择及其代表性

Table 1 Selection and representativeness of geographical base elements

要素类别 Categories	要素 Elements	代表性 Representativeness	
自然要素 Natural elements	地形、水系	生态系统服务相关性	地形和水系与多种生态系统服务有直接或间接的密切联系,可揭示生态系统服务发生、流动等空间过程 ^[15-16]
		规划决策的可参考性	地形和水系是生态环境敏感性评价的重要因素之一 ^[17] ,是景观格局空间分异的重要控制因素,可为植被恢复等保护工程措施提供指导,绘制地形水系有助于生态系统服务纳入更精细的空间规划决策。
		制图可行性	地形可表示为线、点、阴影等多种符号。水系主要是以线、面为主,可与专题要素叠加绘制
人文要素 Social elements	居民地、交通要素	生态系统服务相关性	可代表人类基础建设对生态系统的改造程度。是影响生态系统服务格局的主要的人文要素 ^[18-20] 之一。也可视为多种生态系统服务主要的受益区
		规划决策的可参考性	县域尺度规划参考的重要基础要素,有助于将生态系统服务纳入更精细的空间规划管理。
		制图可行性	居民地以面状符号表示,在县域尺度面积比例较小,交通要素以线状符号表示,可与专题要素叠加绘制

(2)地理要素分类和筛选。由于地理基础要素信息量大,需对其分类和筛选,特别针对公路、居民点、自然地名和水系线。主要基础要素的分类依据和分类结果如表 2 所示。

表 2 地理基础要素分类和筛选

Table 2 Classification and selection of geographical base elements

要素 Elements	分类依据 Classification bases	分类结果 Classification results
公路 Roads	不同类型公路对生态系统服务的干扰程度不同 ^[19] ,参考《国家基本比例尺地图图式 第 4 部分》按照公路功能通过数据编码分类	高速、国道,省道,县道、乡道及专用公路
居民点 Residential areas (Points)	代表人口规模 and 经济发展程度,按照管制单元的行政级别划分	县政府驻地、镇政府驻地、乡镇府驻地、村落及其他居民点(企业、林场、农场等)
自然地名 Natural locations (points)	避免与其他要素图层重复(如交通要素、水系名等)	纪念地、古迹名、山名、自然地域名(如草地等)
水系线 Water lines	采取操作相对简易的河道级别分级法。按照河道影响力和划分部门、级别变动性分级 ^[21]	“一、二级河流”:将一、二级河道分为一类,代表跨两省或数省的大江大河;“三级河流”:将三级河道分为一类,代表跨一省或邻省的江河;“三级以上河流及沟渠”:将四、五级河道与沟渠分为一类,分批认定,变动性大

(3)地理要素简化。地形要素主要采用适于比例尺精度要求的 100m 高程数据^[22]通过高程点、等高线、山体阴影提取三种方式,增加地形要素的信息量和表现力。行政注记是体现管制单元的重要注记,首先显示镇、乡等重要级别的注记。化简除去乡、镇政府驻地周边较密集的村落注记,避免注记压盖。

(4)符号注记表示。符号注记基本样式参考相应比例尺的国家、行业规范图式^[9-10,23],以保证符号注记的通读性。对以上规范中没有涉及或与 ArcMap 平台不匹配的符号注记参数,通过制图实践进行调整补充。变量设置遵循符号注记设置原则^[24],由于注记较多,通过大小、位置、权重等多变量设置避免注记符号之间的压盖。

1.4 生态系统专题图层

生态系统服务分布专题图层主要通过等值线方法表现,包括分级方法选择和分级色彩模式设计。

1.4.1 生态系统服务数据分级方法

分级方法包括分级界限和分级数的选择。郭庆胜等研究提出为符合原始数据空间自相关分布的特征,分级数应设置在 5—8 级为宜^[25]。增加级数会减少专题数据信息量的损失,但过大也会降低读图效率^[26],增加颜色模拟的难度。级数选择也与制图尺度有关^[27]。在知网以“(生态功能 OR 生态系统服务) AND 县域”关键词进行检索,统计县、市、区尺度的生态功能或服务评价使用的分级数,共搜到的 19 篇文献中使用的分级数为 3—5 级^[28-46]。因此,综合空间自相关合理性,县市尺度生态系统服务评价常用分级数的范围,及降低制图的难度和提高读图效率,将分级数设为 5 级。表示为低级、中低级、中级、中高级和高级。分级界限设置方法参考《生态红线划定指南》^[47]生态功能重要性评估使用的累积比例法。

1.4.2 生态系统服务分级色彩模式

相关生态系统服务制图研究中少有学者对分级色彩模式进行探讨。而本研究编制生态系统服务分布图,将绘制出大比例尺生态系统服务规律,又能展示级别间破碎化小斑块的差异。同时色彩模式考虑与基础符号色彩的协调性,兼顾分布图表现的艺术性。由于多方面综合性要求,专题色彩模式的选择是本研究制图的难点。

在制图过程中,专题图颜色组合设置遵循用色逻辑^[48-50],选择亮度变化由浅到深的连续型逻辑颜色组合^[51]表示生态系统服务低值到高值的次序级别。综合考虑颜色的寓意和心理、“视觉对比”、“视觉平衡”等视觉效应。使用自然色调、与基础符号暖色产生对比的中冷色相。由于色相逐渐过渡的颜色组合各级别间辨识度差,设置中间色相为灰色^[50],以增加级别间的辨识度。

2 延庆区土壤保持服务制图

2.1 延庆区介绍

延庆区隶属北京市,东经 115°44'—116°34',北纬 40°16'—40°47',属于温带与中温带,半干旱和半湿润的过渡带,山区面积占 72.8%,平原占 26.2%^[52]。延庆是北京乃至整个京津冀地区的重要生态屏障和生态涵养区,是保障生态安全的关键区域。在延庆各种生态系统服务经济价值核算中,调节服务占总价值的 91.4%。其中土壤保持是延庆生态系统十分重要的调节服务^[53]。由于延庆地貌复杂破碎,山区植被郁闭度低,雨季集中于夏季,容易造成水土流失。近年来延庆加快设施建设,大力发展旅游业。城镇、村庄、交通用地增加迅速,天然草地和林地破坏,水土流失导致地质灾害,水库泥沙淤积问题增加^[54]。延庆以建设国际一流生态文明示范区为目标,在补齐设施短板的同时,保护山区的生态系统服务功能面临较大的挑战。通过本研究对延庆土壤保持服务分布图的绘制,可为延庆的生态保护规划管理和设施建设提供参考和借鉴。同时可为其他县区生态保护重要区域识别提供方法和技术参考。

2.2 数据来源

专题数据使用优化的土壤流失方程测算的 2015 年 90m 精度的土壤保持服务强度数据(单位: $t\ hm^{-2}\ a^{-1}$)代表土壤保持服务的功能量^[14],数据来源于中国科学院生态环境研究中心。底图数据使用了地理空间数据云网站(<http://www.gscloud.cn/>) ASTER GDEM V2 2009 30m 精度的高程数据及地理专业知识服务系统网站(<http://kmap.ckcest.cn/>)2015 年公众版 1:25 万矢量数据。土壤侵蚀强度数据来源于考虑提拨中国科学院生态环境研究中心(<http://www.ecosystem.csdb.cn/>),强度分级参考《土壤侵蚀分类分级标准(SL 190-2007)》。

2.3 制图方法

基于 ArcMap 平台绘制延庆土壤保持服务分布图,主要的制图方法、工具和参数如表 3 所示。

表 3 制图方法及参数

Table 3 Mapping methods and parameters

制图步骤 Mapping steps	方法工具 Methods and tools	
要素图层简化 Simplification of elements	等高线	等高距设置为 100m ^[55] 。设置 100m、150m、250m 网格抽稀法和 100m、500m、1000m 容许误差的 PEAK 线平滑法 ^[56] 6 种等高线简化方法,根据地形特征保留程度及高程误差筛选最优简化方法,除去周长小于 3.2mm 的细小的闭合曲线
	高程点	以 28 单元格矩形范围(约图面 1cm)提取最大高程点
	居民地点名	使用轮廓掩膜工具和擦除工具,去除乡镇注记周边掩膜范围为 36(约为 4 个字高)的村落图层注记
符号和注记制作 Making symbols and notes	使用 ArcMap 标注引擎设置点状注记、水系线和面注记、国道和省道;使用注记图层、轮廓线掩膜工具、擦除工具设置村道及专用道路、等高线等注记	
专题图层制作 Making thematic layer	数据分级	ArcMap 的分级模块和 R 语言工具完成数据分级,分级界限累积比例设置为 25%、50%、75%、90%
	色彩模拟	通过 ArcMap 的 HSV 等颜色模型及颜色转换平台(http://colorizer.org/)进行色彩模拟实验后确定各级配色参数,最终确定 HSL 颜色模型亮度参数 L 值从低级到高级分别为 90、80、76、48、25
图面配置 Map layout	首先对各图层进行排序(见图 1 图例顺序),专题图层透明度设置为 30%,置于山体阴影图层之上。使用 ArcMap 中的布局视图菜单栏模块设置各图面配置要素	

2.4 土壤保持服务分布图

从土壤保持服务分布图看(图 2),各地理基础要素分布信息清晰易读。其中,等高线、山体阴影和高程点综合展现了宏观立体的地形特征和微观的地貌细节。从图面(图 2)容易读取河流、湖库等水系分布及名称信息。居民面和居民点要素多分布于 800m 高程以下的盆谷区。居民面多聚集分布于延庆盆地,也有小面积分布于东北部山区的谷地如千家店镇、四海镇、珍珠泉乡等,居民点分布较为分散。级别较高的铁路、国道、省道多分布于人口集聚区或较开阔的山谷区。县道数量较多,在人口集聚区及地势较陡的山区都有分布。街道和

乡村道路多分布于城区及山区谷地。图中的行政注记层次分明,村落等居民点、自然地点名及道路注记都可清晰辨识。

图面(图 2)显示的专题要素看,土壤保持服务各级别颜色组合能够清晰详尽的显示出土壤保持服务的分布特征及其与底图要素的分布关系。总体上,土壤保持服务整体呈现低值区面积大,聚集分布在延庆区西南部及中部盆地,高值区面积小且破碎化分布在盆地周边山区的特征。最高级别土壤保持服务相对累积量为 24.9%(表 4),所占面积为 82.5km²,仅占全区面积 6.9%,远小于其他级别。最低级别相对累积量为 10.0%,总面积为 618.2 km²,约占全区面积 51.8%,占比远高于其他级别。

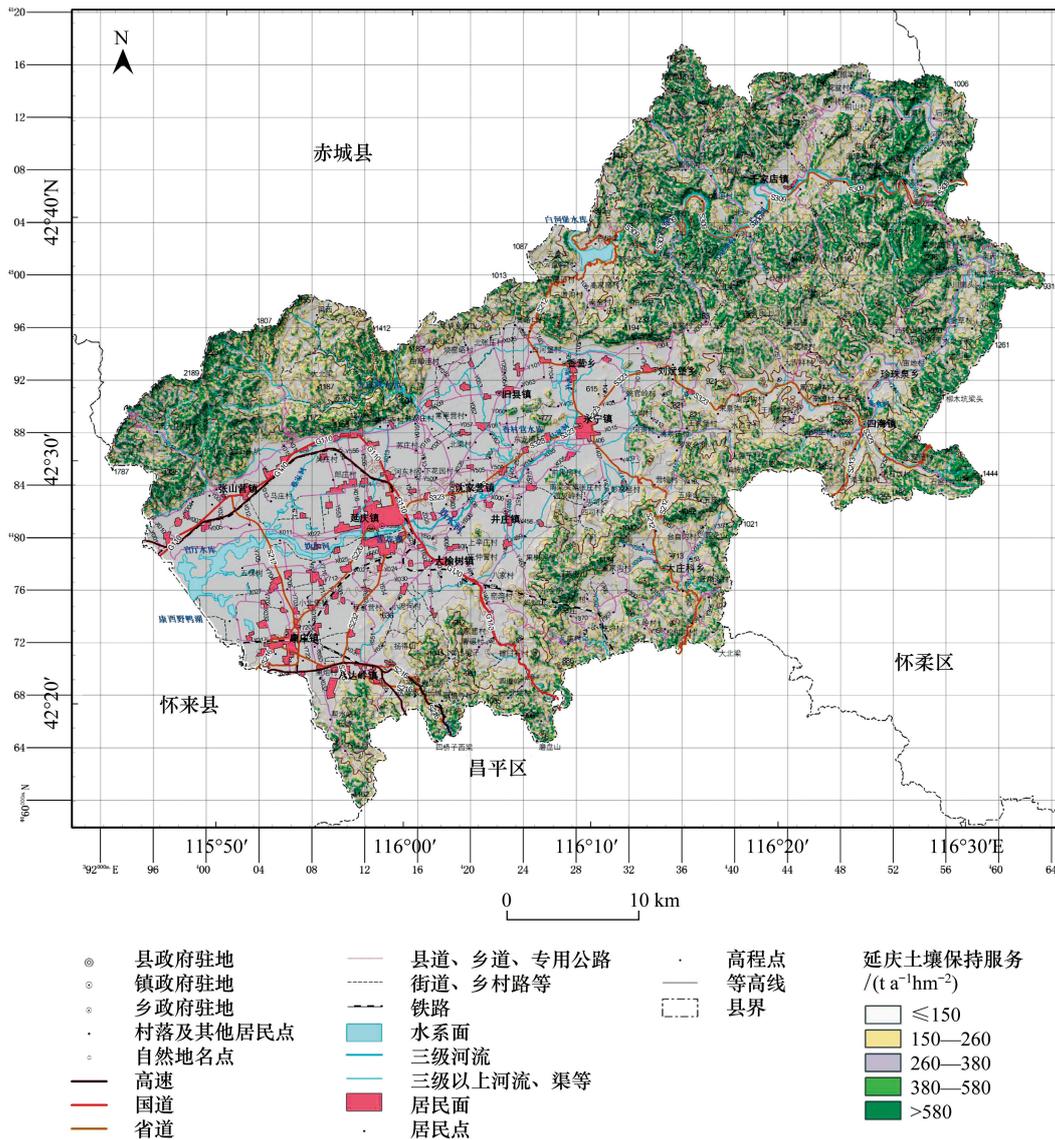


图 2 延庆土壤保持服务分布图

Fig.2 Distribution map of soil conservation services in Yanqing

使用 Gauss Kruger 6 分带投影,2000 年国家大地坐标系,1985 年国家高程基准;2015 年土壤保持服务强度数据,精度为 90m,数据来源于中国科学院生态环境研究中心;2015 年公众版矢量数据,误差为 125—200m(平面、丘陵),等高线采样高程标准差为 18m,最大误差为 73m

从图 2 反映的土壤保持服务分布与地形、水系、公路和居民地等要素关系看,土壤保持服务低值区主要分布在等高线较为稀疏的盆谷地,及狭窄的沟谷区,土壤保持服务较高值区主要分布在等高线较密集陡峭的山区,但山区等高线多蜿蜒曲折,地形复杂,土壤保持服务高值区呈破碎化分布。居民面和居民点周边土壤保持

服务多为低值,尤其在居民地密集区土壤保持服务呈现低值区大面积聚集分布。河流沿线土壤保持服务多为低值区。省道、高速、国道和县道等公路周边土壤保持服务多为低值区,山区村道等公路两侧土壤保持服务低值区较窄或与周边土壤保持服务没有明显差别。

表 4 延庆土壤保持服务各级面积和累积量分布

Table 4 Area and cumulative distribution of soil retention service in Yanqing

类别 Classes	一级 Class 1	二级 Class 2	三级 Class 3	四级 Class 4	五级 Class 5	总数 Total value
面积占比 Ratio of area/%	51.8	14.6	15.9	10.8	6.9	100.0
面积 Area/km ²	618.2	174.1	189.6	129.3	82.5	1193.8
服务累积量 Ratio of accumulation/%	10.2	15.1	24.9	24.9	24.9	100.0

综合分析各要素与土壤保持服务的关系,总体上呈现出土壤保持服务中高值区分布与交通要素、居民点和居民面等基础要素空间分异的特征。

3 讨论

3.1 地图要素综合和呈现

地图要素制图采用 500m PEAK 线平滑法绘制等高线,与其他等高线制图方法相比较,地貌宏观特征保留程度较好且较为平滑,高程标准差^[57]为 17.9m,符合高程精度的质量要求。从土壤保持服务分布图分析(图 2),等高线较符合实际的展现了土壤保持服务发生发展的地形因素。同时,地形要素结合水系要素可直观展示县区流域内由于水土流失导致的泥沙运移、堆积的可能路径,有助于识别土壤保持服务下降潜在的风险。目前也有学者绘制精细到村落注记的生态系统服务分布图^[45],绘制高程阴影展现地貌特征^[3, 34]。本图较其他学者更精细绘制公路、等高线等诸多要素符号注记,提供了更精准的定位和土壤保持服务发展的环境信息。

本图专题图层设计采用的累积比例分级方法相较于聚类法制图^[58]相比,可识别出破碎化的热点和被干扰的斑块,直观展现小尺度上土壤保持服务的干扰因素。颜色组合是呈现土壤保持服务分布特征的关键符号,本图的颜色组合辨识度高、次序感强、和谐美观,且避免了与底图符号色彩的冲突,有助于提高土壤保持服务分布信息读取的效率和准确性。

制图通过以上易于实现的多种要素的综合方法和制图技巧,有效的提高了图面信息量和精细程度,展现了土壤保持服务与基础自然和人文要素的关系。坡度和坡形对土壤保持的分布格局产生着关键的作用。山区复杂的地貌如沟谷是土壤保持服务重要的自然干扰因素,加上山区水系丰富,河流侵蚀加剧了对土壤保持服务的干扰。缓坡区土壤保持服务普遍较低,有村落、景区散落分布,村道等低级别公路交错分布,虽然规模相对较小,这些基础建设及周边其他人为因素对土壤保持服务产生了较大的干扰。盆谷地区基础建设规模较大,及其他未绘制的如农业要素是土壤保持服务普遍较低的重要人为因素。

3.2 土壤保持服务重要区域的识别

土壤保持服务分布图(图 2)显示出土壤保持服务自然、人为干扰要素分布情况,及其地形、水系、交通和居民地要素综合展现了供给区-流-受益区的关联信息。进一步通过这些信息,结合土壤侵蚀强度分布图(图 3),延庆地质灾害研究等资料,可通过图面识别土壤保持服务重要的分布区域。

从图面(图 2)分析,张山营镇周边山区是其水系下游重要经济建设区与水利设施的土壤保持服务重要供给区,如延庆城区、龙庆峡水库、香村营水库及北京市的饮用水源地之一官厅水库等。该山区水系丰富,多处为陡坡区,土壤受到的侵蚀力强。尤其是山区与盆地交界处的陡坡区,多为土壤侵蚀强度、中强度地区,如白石头坑附近为土壤侵蚀剧烈区,应梦寺山附近为极强区。相关研究也表明泥石流灾害频发区^[59]临近其山下 G110 国道西南段。同时,龙庆峡 4A 级旅游景区、玉渡山风景区(大北梁西部)等公路设施对山区的土壤保持服务产生了较大的干扰^[59],周边多为土壤保持服务低值区。综合来看,张山营镇北部山区为土壤保持服务重

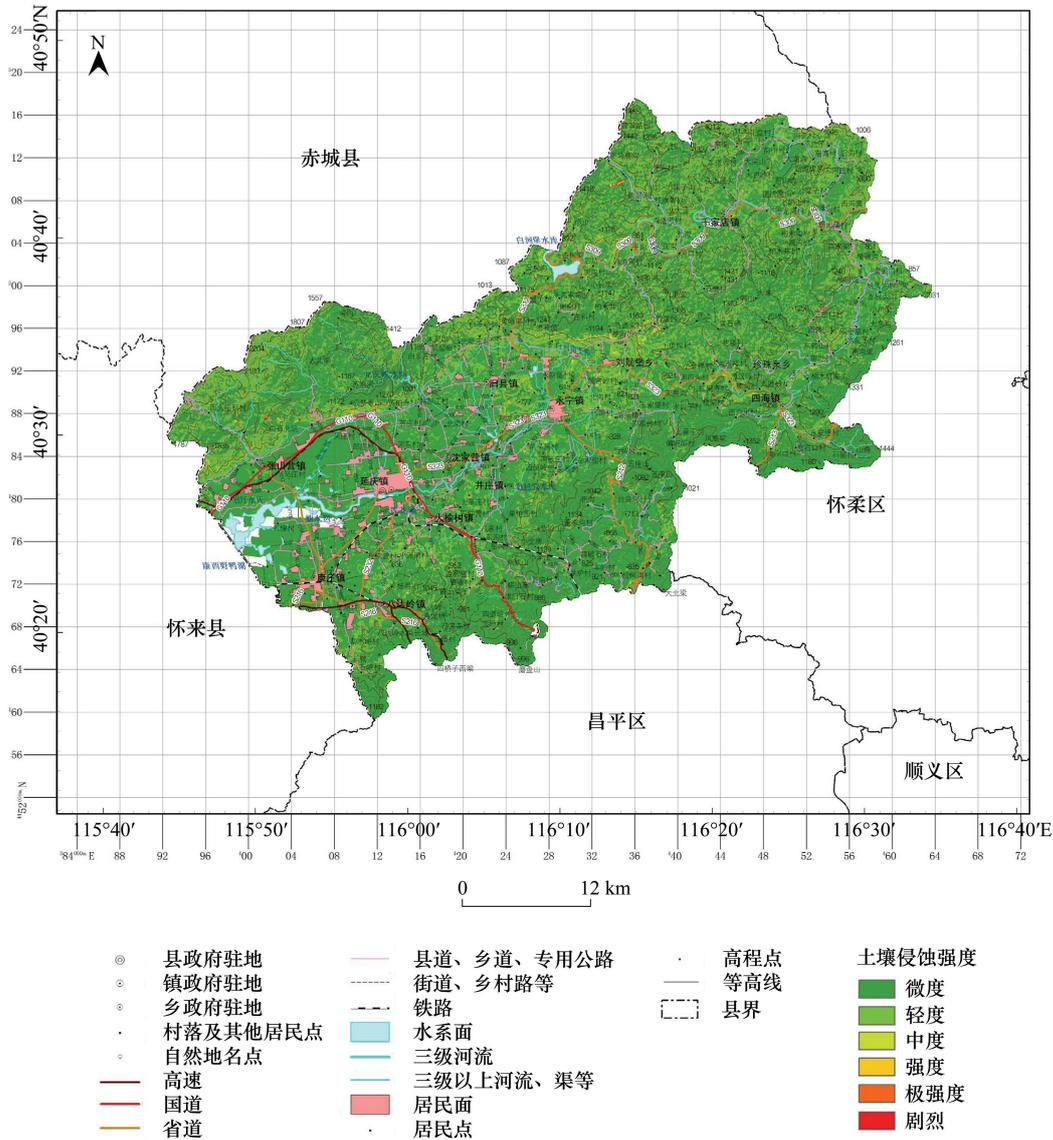


图3 延庆土壤侵蚀强度分布图

Fig.3 Distribution map of soil erosion intensity in Yanqing

使用 Gauss Kruger 6 分带投影,2000 年国家大地坐标系,1985 年国家高程基准;2015 年专题数据,数据来源于中国科学院生态环境研究中心;2015 年公众版矢量数据,误差为 125—200m(平面、丘陵),等高线采样高程标准差为 18m

要区域,需重点协调旅游开发建设和山区土壤保持服务的保护。

此外,四海镇南部山区沟壑险峻,水系呈放射状汇集于菜食河,里程较长,沿线分布着较多的居民建设区。研究也表明该山区是泥石流灾害的频发区^[59],如省道 213 四海镇南段海字口、省道 213 永安堡村附近。山区中凤凰驼、长城等自然景区受游人登山远足等活动干扰频繁,土壤保持服务多处为中低值区。从图面综合分析,四海镇南部山区也为土壤保持服务重要区域。

八达岭长城风景区为延庆长城文化带的核心区域,相较于其他山区是受旅游开发建设活动影响最剧烈的地区^[60],交通要道和观光线路纵横交错,土壤保持服务被分割为破碎化分布,研究也表明石峡-八达岭一带是地质灾害高发区^[59],多处发生崩塌,保护该地区的土壤保持服务对防止滑坡等地质灾害,保证游客安全有重要意义。

此外,其他的交通要道如省级公路 S309 千家店西部山区后坑、干沟等,及千家店镇东端上奶山村等,省道

S212 大庄科乡北段和南段这些交通要道临地势险峻的山区分布,研究也表明这些地区多处易发生崩塌、泥石流等地质灾害^[59] 损害公路设施,这些要道周边山区也为土壤保持服务重要区域。

3.3 决策服务功能评价

本研究编制的土壤保持服务分布图决策应用功能主要体现在以下三个方面:

(1)通过详实的专题要素和基础要素信息及联系,可实现从图面识别生态系统服务重要区域。这很大程度上提高了分布图辅助生态保护规划决策的效率。制图显示出延庆山区土壤保持服务功能的重要性和脆弱性,延庆土壤保持服务的保护应该注重山区保护,应对山区缓坡区村道等公路、景区建设及其他人类活动的干扰采取管控措施。

(2)制图实现了较精准的定位和查询功能。可识别土壤保持服务重要区的具体位置,查询关注要素周边的土壤保持服务分布情况。既为规划决策及实施提供便利,也有助于与其他相关生态评价规划成果关注点的比较和信息整合,对更合理的引导政府将资金投入更关键的区域有重要的意义^[61]。

(3)图件较详细的呈现了规划决策需要协调的多方面的利益主体信息,如乡镇政府、村落、景区或者工厂企业等。方便考虑需协调的多方面的利益相关者,以便保护规划决策开展和落实。

4 结论

结合制图学理论方法及国家行业相关标准和规范,提出了生态系统服务分布图编制的目标、原则、流程和制图方法。通过延庆区土壤保持服务分布图制图方法实践,显示出该制图方法能够准确详细的展示生态系统服务与相关自然、人文要素的分布特征,并通过土壤保持服务与基础地理要素的联系,有助于识别土壤保持服务重要区,为区域生态环境保护规划提供重要决策参考。

本研究提出的生态系统服务分布图编制方法可行性强。基于开源数据库,使用 ArcMap 工具一体化制图。图式与国家、行业相关规范图式基本统一,制图方法更简便易行,可为相关专业人员提供制图参考,促进生态系统服务制图的规范化和自动化。

致谢:饶恩明老师提供 2015 年生态系统土壤保持服务强度数据,特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] 肖玉, 谢高地, 安凯, 鲁春霞. 基于功能性状的生态系统服务研究框架. 植物生态学报, 2012, 36(4): 353-362.
- [2] 黄心怡, 赵小敏, 郭熙, 江叶枫, 赖夏华. 基于生态系统服务功能和生态敏感性的自然生态空间管制分区研究. 生态学报, 2020, 40(3): 1065-1076.
- [3] Nedkov S, Burkhard B. Flood regulating ecosystem services-Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. Ecological Indicators, 2012, 21: 67-79.
- [4] Owuor M A, Icely J, Newton A, Nyunja J, Otieno P, Tuda A O, Oduor N. Mapping of ecosystem services flow in Mida Creek, Kenya. Ocean & Coastal Management, 2017, 140: 11-21.
- [5] Burkhard B, Crossman N, Nedkov S, Petz K, Alkemade R. Mapping and modelling ecosystem services for science, policy and practice. Ecosystem Services, 2013, 4: 1-3.
- [6] Stepniewska M. Ecosystem service mapping and assessment as a support for policy and decision making. CLEAN-Soil, Air, Water, 2016, 44(10): 1414-1422.
- [7] Burkhard B, Maes J. Mapping Ecosystem Services. Sofia: Pensoft Publishers, 2017: 47-87.
- [8] 张立伟, 傅伯杰. 生态系统服务制图研究进展. 生态学报, 2014, 34(2): 316-325.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 20257.4—2017 国家基本比例尺地图图式 第 4 部分: 1:250 000 1:500 000 1:1 000 000 地形图图式. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12343.2—2008 国家基本比例尺地图编绘规范 第 2 部分: 1:250000 地形图编绘. 北京: 中国标准出版社, 2017.

- [11] 张琨, 吕一河, 傅伯杰. 黄土高原典型区植被恢复及其对生态系统服务的影响. 生态与农村环境学报, 2017, 33(1): 23-31.
- [12] 徐妍. 地形生态因子对山地森林景观格局影响分析. 农家参谋, 2018, (14): 122-122.
- [13] 朱宝文, 陈晓光, 郑有飞, 李英年. 青海湖北岸天然草地小尺度地表径流与降水关系. 冰川冻土, 2009, 31(6): 1074-1079.
- [14] Rao E M, Ouyang Z Y, Yu X X, Xiao Y. Spatial patterns and impacts of soil conservation service in China. Geomorphology, 2014, 207: 64-70.
- [15] Syrbe R U, Walz U. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics. Ecological Indicators, 2012, 21: 80-88.
- [16] Serna-Chavez H M, Schulp C J E, van Bodegom P M, Bouten W, Verburg P H, Davidson M D. A quantitative framework for assessing spatial flows of ecosystem services. Ecological Indicators, 2014, 39: 24-33.
- [17] 刘杰, 刘广虎, 王承洋. 基于 GIS 平台的北京市延庆县生态敏感性分析. 地理科学研究, 2018, 7(4): 346-352.
- [18] Wang J L, Zhou W Q, Pickett S T A, Yu W J, Li W F. A multiscale analysis of urbanization effects on ecosystem services supply in an urban megaregion. Science of the Total Environment, 2019, 662: 824-833.
- [19] 王娟, 崔保山, 刘世梁, 董世魁, 魏国良, 刘杰. 公路网对纵向岭谷区生态系统服务价值的影响. 科学通报, 2007, 52(S2): 155-165.
- [20] 寿飞云, 李卓飞, 黄璐, 黄绍荣, 严力蛟. 基于生态系统服务供求评价的空间分异特征与生态格局划分——以长三角城市群为例. 生态学报, 2020, 40(9): 2813-2826.
- [21] 中华人民共和国水利部. 河道等级划分办法. (1994-02-21) [2020-06-04]. http://www.mwr.gov.cn/zwgk/zfxxgkml/201707/t20170727_971749.html.
- [22] 全国地理信息标准化技术委员会. GB/T 17941—2008 数字测绘成果质量要求. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12343.2—2008 国家基本比例尺地图编绘规范 第 2 部分: 1: 250000 地形图编绘. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [24] 凌善金, 黄淑玲, 梁栋栋. 地图注记设计研究. 安徽师范大学学报: 自然科学版, 2007, 30(5): 603-606.
- [25] 郭庆胜, 李留所, 贾玉明, 孙艳. 顾及空间自相关的统计数据分级质量评价. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(3): 240-243, 251-251.
- [26] Tobler W R. Choropleth maps without class intervals? Geographical Analysis, 1973, 5(3): 262-265.
- [27] 党安荣. 人口密度分级的一般原则与定量标准的探讨. 地理科学, 1990, 10(3): 264-270, 292-292.
- [28] 张晓. 鲁山县生态空间的划定与时空演变[D]. 开封: 河南大学, 2019.
- [29] 袁鹏奇. 基于生态安全格局的汝阳县生态红线划定研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.
- [30] 李俊翰. 滨州市生态安全综合评价及其安全格局构建研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- [31] 王永丽. 基于 RS 和 GIS 的县域生态功能区划研究——以山西武乡县为例[D]. 西安: 陕西师范大学, 2009.
- [32] 刘军卫. 平山县生态用地重要性识别及空间格局优化研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2018.
- [33] 邓地娟. 万源市县域生态保护红线 RS 和 GIS 划定方法研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2018.
- [34] 韩旭. 青岛市生态系统评价与生态功能分区研究[D]. 上海: 东华大学, 2008.
- [35] 师江澜. 江河源区环境地域分异规律与生态功能分区研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [36] 石雪. 基于生态功能重要性的生态保护红线划定技术研究——以江华瑶族自治县为例[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2018.
- [37] 马伟龙. 基于 ESDA-GIS 的耕地生态系统涵养水源价值时空关联性研究——以成都平原经济区为例[D]. 成都: 四川师范大学, 2016.
- [38] 杨博. 土地利用总体规划中生态保护红线划定方法探索——以兰考县为例[D]. 郑州: 河南农业大学, 2016.
- [39] 郑婷婷. 高平市生态功能保护体系及区域划定研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2016.
- [40] 吕祥. 基于 RS、GIS 的县域生态功能分析及区划研究——以四川省犍为县为例[D]. 重庆: 西南大学, 2015.
- [41] 谢楠. 哈尔滨通河县国家重点生态功能区保护规划研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2018.
- [42] 苏泓宇. 祁连县生态服务功能、生态敏感性评价及生态红线划定的研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2018.
- [43] 彭佳捷, 麻战洪, 涂蕾. 县域生态空间识别与保护研究——以湖南省安化县为例. 安徽农业科学, 2018, 46(35): 63-67, 130-130.
- [44] 康薇. 基于敏感性和重要性的卢龙县土地生态功能分区研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2018.
- [45] 任鑫. 长子县生态功能区划研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2012.
- [46] 潘韬, 吴绍洪, 戴尔卓, 刘玉洁. 基于 InVEST 模型的三江源区生态系统水源供给服务时空变化. 应用生态学报, 2013, 24(1): 183-189.
- [47] 环境保护部办公厅, 发展改革委办公厅. 生态保护红线划定指南. (2017-07-20) [2020-06-04]. [http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201707/t20170728_418679.htm?keywords=环办生态\[2017\]48号](http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201707/t20170728_418679.htm?keywords=环办生态[2017]48号).
- [48] Borland D, Taylor I R M. Rainbow color map (still) considered harmful. IEEE Computer Graphics and Applications, 2007, 27(2): 14-17.

- [49] Halpern D. The end of the rainbow. *Trusts & Trustees*, 2016, 22(10): 1063-1067.
- [50] Carr D. Color Perception, the Importance of Gray and Residuals, on a Choropleth Map. *Statistical Computing and Statistical Graphics Newsletter*, 1994: 16-20.
- [51] 蔡孟裔, 毛赞猷, 田德森, 周占鳌. 新编地图学教程. 北京: 高等教育出版社, 2000: 34-85.
- [52] 北京市延庆区人民政府. 延庆概况. (2020)[2020-06-04]. <http://www.bjyq.gov.cn/yanqing/mlyq/yqgk60/index.shtml>.
- [53] 牟雪洁, 王夏晖, 张箫, 饶胜, 朱振肖. 北京市延庆区生态系统生产总值核算及空间化. *水土保持研究*, 2020, 27(1): 265-274, 282-282.
- [54] 刘世海, 胡春宏. 近廿年来官厅水库流域水土保持拦沙量估算. *泥沙研究*, 2004, (2): 67-71.
- [55] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 33181—2016 国家基本比例尺地图 1: 250 000 1: 500 000 1: 1 000 000 地形图. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [56] 杨得志, 王杰臣, 闫国年. 矢量数据压缩的 Douglas-Peucker 算法的实现与改进. *测绘通报*, 2002, (7): 18-19, 22.
- [57] 薛志伟. 基于 DEM 化简的等高线综合研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2012.
- [58] 彭建, 武文欢, 刘焱序, 胡熠娜. 基于 PSR 框架的内蒙古自治区土壤保持服务分区. *生态学报*, 2017, 37(11): 3849-3861.
- [59] 张有全, 宫辉力, 李巧刚. 基于 GIS 的北京市延庆县地质灾害易发性区域划分. *中国地质灾害与防治学报*, 2006, 17(4): 17-20, 24-24.
- [60] 赵敬. 基于 RS 与 GIS 的延庆县旅游生态环境质量评价[D]. 北京: 首都师范大学, 2006.
- [61] 胡云锋, 韩月琪, 曹巍, 张云芝. 中国水土流失研究热点区的空间分布制图. *生态学报*, 2019, 39(16): 5829-5835.