

多重生态服务功能目标下的生产建设项目 土壤流失控制值研究

——以北京市为例

王志刚^{1,3}, 王家乐^{1,3}, 韩培^{1,3}, 杨坤², 张超², 王可^{1,3}, 张平仓^{1,3}

(1.长江水利委员会长江科学院, 湖北 武汉 430010; 2.北京市水土保持

工作总站, 北京 100036; 3.水利部 山洪地质灾害防治工程技术研究中心, 湖北 武汉 430010)

摘要: [目的] 探讨现有土壤流失控制值确定方法能否满足多元的现实需求, 尝试提出可以维护多重生态服务功能的生产建设项目土壤流失控制值确定方法, 为进一步细化控制值的制定提供科学支持。[方法] 以北京市为例, 选择易获取的容许土壤流失量和背景土壤侵蚀模数作为依据制定土壤流失控制值, 分析它们在不同区域维护生态服务功能的优缺点, 提出一个可以维护多重生态服务功能的生产建设项目土壤流失控制值确定方法。[结果] 基于容许土壤流失量确定的土壤流失控制值, 在山区可以同时满足维护供给和文化服务功能的需求, 但在平原和部分水土保持敏感区不能充分满足维护文化或调节服务的需求。基于背景土壤侵蚀模数确定的土壤流失控制值, 在平原和部分水土保持敏感区能满足维护文化和调节服务功能的需求, 但在山区不能满足维护供给服务功能的需求。将这两种方法结合起来确定北京市生产建设项目土壤流失控制值, 能够同时满足维护山区和平原区供给和文化服务功能的需求。[结论] 维护多重生态服务功能的生产建设项目土壤流失控制值的确定方法弥补了单纯依据容许土壤流失量确定土壤流失控制值的不足, 为完善生产建设项目水土流失防治目标的制定提供了新的思路。

关键词: 城市水土保持; 容许土壤流失量; 生产建设项目; 土壤流失控制比

文献标识码: C

文章编号: 1000-288X(2022)02-0347-07

中图分类号: S157.1

文献参数: 王志刚, 王家乐, 韩培, 等. 多重生态服务功能目标下的生产建设项目土壤流失控制值研究[J]. 水土保持通报, 2022, 42(2): 347-353. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.02.046; Wang Zhigang, Wang Jiale, Han Pei, et al. Soil erosion control values of production and construction projects with regard to multiple ecosystem service functions [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(2): 347-353.

Soil Erosion Control Values of Production and Construction Projects with Regard to Multiple Ecosystem Service Functions

—A Case Study in Beijing City

Wang Zhigang^{1,3}, Wang Jiale^{1,3}, Han Pei^{1,3}, Yang Kun², Zhang Chao², Wang Ke^{1,3}, Zhang Pingcang^{1,3}

(1. Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan, Hubei 430010, China;

2. Beijing General Working Station of Soil and Water Conservation, Beijing 100036, China;

3. Center for Mountain Torrent and Geological Disaster Prevention, Ministry of Water Resources, Wuhan, Hubei 430010, China)

Abstract: [Objective] In order to provide scientific support for specifying soil erosion control values of production and construction projects, this study discussed whether currently used methods of defining soil erosion control were capable of satisfying multiple needs, and attempted to implement a method for defining soil erosion control values that will maintain multiple ecosystem service functions. [Methods] Taking Beijing City as an example, soil loss tolerance and background soil erosion moduli were selected, which can be easily obtained, as the references for defining the soil erosion control values, to analyze their advantages and

收稿日期: 2020-08-17

修回日期: 2021-08-20

资助项目: 北京市水土保持工作总站项目“《北京市水土保持条例》配套制度: 北京市容许土壤流失量标准”(CKSK2017447/TB); 深圳市水务局水务科技创新项目“典型水土保持植物配置模式对消减城市面源污染的功能研究”(CKSK2017819/TB); 中央级公益性科研院所基本科研业务费项目“降雨和上方来水条件下植被防护工程堆积体侵蚀机制研究”(CKSF2021447/TB)

第一作者: 王志刚(1981—), 男(汉族), 湖北省枣阳市人, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事城市水土保持与工程水土流失防治方面的研究。
Email: 371381624@qq.com.

disadvantages on maintaining regional ecosystem service functions in different areas. A method was carried out for defining soil erosion control values of production and construction projects for maintaining multiple ecosystem service functions. [Results] Soil erosion control values obtained from soil loss tolerances could keep provisioning and cultural services in mountain areas, but could not in plain and some environmentally sensitive areas. The situation was reversed when soil erosion control values obtained from background soil erosion moduli. Defining the soil erosion control values of production and construction projects by combining the mentioned two methods could keep provisioning and cultural services both in mountain and plain areas. [Conclusion] The method for defining soil erosion control values of production and construction projects, by which multiple ecosystem service functions are maintained, could overcome the disadvantages of the values defined only by soil loss tolerance. The method provides a new pathway for setting prevention and control goals for soil and water conservation.

Keywords: soil and water conservation in megacity; soil loss tolerance; production and construction project; proportion of soil erosion control

当前生产建设项目水土流失防治工作中,尚未对土壤流失控制值进行明确定义,仅对土壤流失控制比进行了定义。本文参考土壤流失控制比的定义,将土壤流失控制值定义为生产建设项目水土流失防治责任范围内治理后每 1 km^2 年平均土壤流失量应达到的值,其量纲与土壤侵蚀模数相同。该值主要用于指导生产建设项目水土保持设计、评价和管理等。现行《生产建设项目水土流失防治标准(GB/T50434-2018)》中土壤流失控制值主要通过土壤流失控制比和容许土壤流失量确定。其中土壤流失控制比主要根据水土保持敏感程度、水土流失影响程度和水土保持区划一级分区确定,并在此基础上按背景土壤侵蚀强度差异进行调整^[1]。土壤流失控制比对背景侵蚀强度的调整以中度侵蚀为基准,轻度和微度的上调到 1 及以上,中度以上的可以下调 $0.1 \sim 0.2$ 。这种调整的程度主要依据经验确定,是否满足实际需求还需要科学论证。容许土壤流失量按《土壤侵蚀分类分级标准(SL190-2007)》执行,是从保持土壤肥力和维持土地生产力基本稳定的角度出发制定的^[2-4],主要反映水土保持的食物、纤维、薪材等供给服务功能。总体来说现行标准下土壤流失控制值的确定侧重的是水土保持的供给服务功能,对其他服务功能考虑的程度较弱。但是,生产建设项目除为人类提供农林物质资料外,更多的是提供工业物质资料和满足人类的生活质量、健康、文化、福利事业等需要。因此,生产建设项目水土保持需要达到的目标更加多元化。特别是当前中国城市化进程仍快速发展,城市建设等工程项目导致的人为水土流失仍在加剧,成为人民对美好环境需要的障碍因素之一^[5]。

水土保持生态服务指水土保持在生态系统服务方面满足人类福祉的各种作用和效能,主要包括支持服务、供给服务、调节服务、文化服务。近年来,随着生态文明建设的不断推进和对生态系统服务功能和

水土保持生态服务功能研究的深入,人们对水土保持生态服务的需求越来越多元化^[6-9],为确定维护多重服务功能,满足多元目标的生产建设项目土壤流失控制值提供了理论基础。本文以北京市为例,旨在探讨现有土壤流失控制值确定方法能否满足多元的现实需求,寻找可以维护多重生态服务功能的生产建设项目土壤流失控制值确定方法。

1 研究区概况

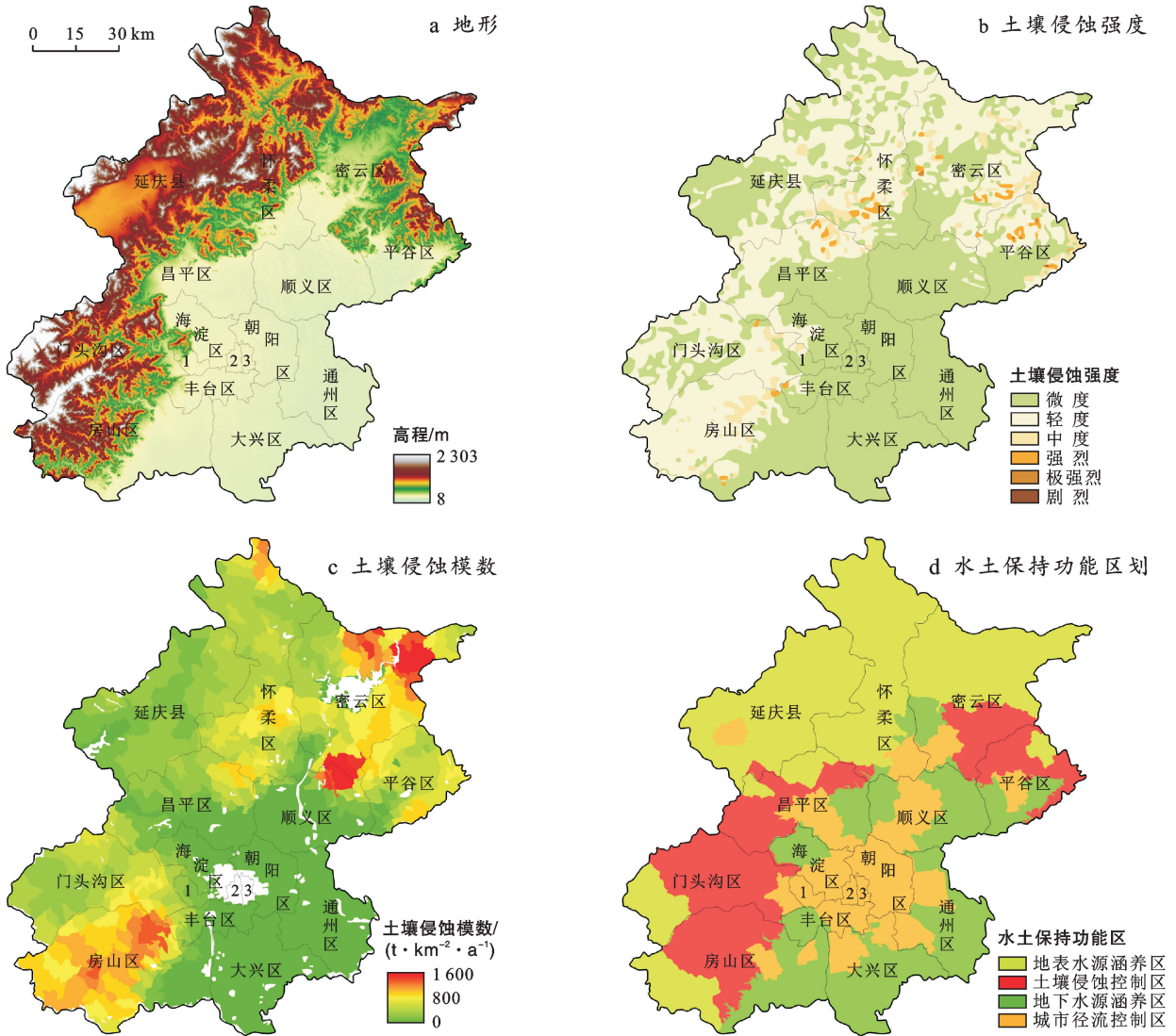
北京市是中国首都,是全国政治、文化中心和交通运输的枢纽,其生态系统具有非常多元化的服务功能,在全国具有较强的借鉴意义。刘宝元教授等在北京市开展了大量容许土壤流失量研究,形成了系统的容许土壤流失量成果^[4]。北京市地形西北高、东南低(图 1a),西部为西山,北部和东北部为军都山,东南部属华北平原^[10]。气候为典型的北温带半湿润大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥。多年平均降雨量 483.9 mm ,降水季节分配很不均匀,全年降水的 80%集中在夏季 6—8 月,7—8 月有大雨。根据沈汉的研究结果,北京市共有 19 个土壤亚类,山区土壤主要为棕壤、山地褐土,丘陵平原区土壤主要为普通褐土、潮土。地带性植被类型是暖温带落叶阔叶林并间有温性针叶林的分布。

北京市在土壤侵蚀类型区上属北方土石山区。土壤侵蚀强度较高的区域主要分布在西部和北部山区(见图 1b—1c,数据来源于 2020 年北京市水土流失动态监测)^[11],对应的水土保持功能主要为土壤侵蚀控制和地表水源涵养(见图 1d)^[12],土壤侵蚀模数一般高于容许土壤流失量^[10-11];土壤侵蚀强度较低的区域主要分布在东南部平原区,对应水土保持功能主要为维护城市人居环境和首都功能,土壤侵蚀模数一般低于容许土壤流失量。

2 研究方法

根据北京市水土保持重点防治区、敏感区和背景土壤侵蚀模数,按照《生产建设项目水土流失防治标准(GB/T50434-2018)》的规定,确定生产建设项目的土壤流失控制比。分别用容许土壤流失量(数据来源于2010年《北京土壤流失方程》)和背景土壤侵蚀模

数(数据来源于2020年北京市水土流失动态监测)除以土壤流失控制比,计算出基于容许土壤流失量和背景土壤侵蚀模数的北京市土壤流失控制值。然后对比两者的差异,探讨它们与水土保持多种生态服务功能的关系,分析其适宜性,选取两者中可以维护更多生态服务功能的值作为最终的北京市生产建设项目土壤流失控制值。



注:1为石景山;2为西城区;3为东城区。下同
图1 北京市地形、土壤侵蚀及水土保持概况

3 结果分析

3.1 土壤流失控制比

北京市全域皆属国家级或市级水土流失重点防治区(图2a,2b)^[12-13]。同时部分区域属于饮用水水源保护区、水功能一级区的保护区和保留区、自然保护区、世界文化和自然遗产地、风景名胜区、地质公园、森林公园、重要湿地以及县级及以上城市区

域^[14]。根据《生产建设项目水土流失防治标准(GB/T50434-2018)》,生产建设项目均执行水土流失防治一级标准(见图2c)。北京市轻度和微度侵蚀区域生产建设项目到设计水平年土壤流失控制比均大于等于1,中度侵蚀区域为0.9,中度以上侵蚀区域大于等于0.7。从图2d可知,北京市大部分区域的土壤流失控制比大于等于1,仅山区与平原之间过渡带的少量区域土壤流失控制比小于1。

3.2 基于容许土壤流失量的土壤流失控制值

通过容许土壤流失量^[4,10]除以土壤流失控制比(图2d),得到基于容许土壤流失量确定的北京市土壤流失控制值。其中,山区较低,大部分为 $100\sim 150\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$;山区和平原之间的过渡区较高,大部分为 $150\sim 200\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$;平原区较高,大部大于 $300\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ (图3)。采用这种方法确定的土壤流失控制值具备保持土壤肥力和维持土地生产力基本稳定的作用,可以维护生态系统的供给服务功能。另外,在山区及其与平原之间过渡区,背景土壤侵蚀模数大多在 $200\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 以上(图1c),高于土壤流失控制值,以此值控制生产建设项目治理后的土壤侵蚀模数,

工程建成后的土壤侵蚀不会较建设前加重,不会影响城市景观面貌,维护了生态系统的文化服务功能。但是在一些水土保持敏感区,如官厅水库和密云水库周边,由于地势平坦、土壤条件较好,容许土壤流失量较高,计算的土壤流失控制值高于其他区域,甚至大于 $200\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,可能不能充分满足保护水源的要求。在平原区背景土壤侵蚀模数大部分在 $100\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 以下(图1c),低于容许土壤流失量^[4,10]。基于容许土壤流失量确定的土壤流失控制值也高于背景土壤侵蚀模数,不能起到将工程建成后土壤流失强度限制在背景土壤侵蚀模数以下的作用,会出现工程建成后土壤侵蚀加重而降低城市景观面貌的现象。

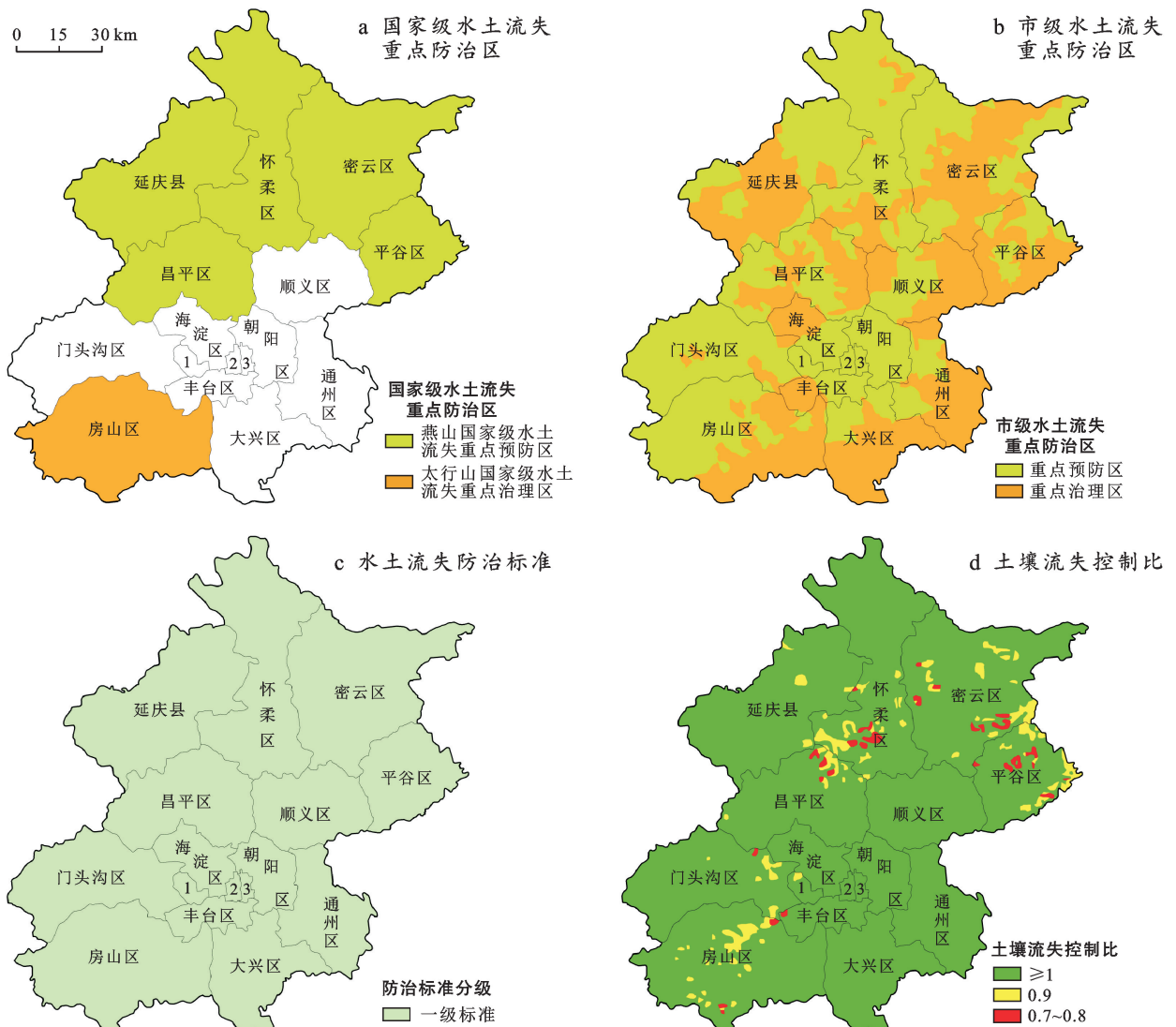


图2 北京市水土流失重点防治区与土壤流失控制比

由于北京市是中国首都,平原区分布着首都功能核心区、城市功能拓展区和城市发展新区^[14],其生态系统具有重要的文化服务价值。从这个角度出发北京市不允许出现大量工程建设活动导致土壤流失大

于背景值,应该将工程建成后的土壤流失控制在背景土壤侵蚀模数以下。因此,基于容许土壤流失量确定的土壤流失控制值,可以起到维护了生态系统供给服务功能的作用,在背景土壤侵蚀模数较高的山区也能

起到维护生态系统文化服务功能的作用,但是在平原区不能满足维护生态系统文化服务功能的需求,在部分水土保持敏感区不能充分满足维护生态系统调节服务功能的需求(表1)。

表1 利用不同方法确定的北京市土壤流失控制值维护生态服务功能分析

| 确定依据 | 维护的生态服务功能 | 山区 | | 平原 | |
|------------|-----------|------|-------|------|----|
| | | 一般区域 | 水源涵养区 | 一般区域 | 城区 |
| 容许土壤流失量 | 供给 | + | + | + | + |
| | 调节 | | — | | |
| | 文化 | + | — | — | — |
| 背景土壤侵蚀模数 | 供给 | — | — | + | + |
| | 调节 | | + | | |
| | 文化 | + | + | + | + |
| 取以上两者间较小的值 | 供给 | + | + | + | + |
| | 调节 | | + | | |
| | 文化 | + | + | + | + |

注:“+”表示可以满足维护该项生态服务功能的要求;“—”表示不能满足维护该项生态服务功能的要求;空格表示尚不明确能否满足

3.3 基于背景土壤侵蚀模数的土壤流失控制值

将背景土壤侵蚀模数(图1)除以土壤流失控制比(图2),得到基于背景土壤侵蚀模数确定的北京市土壤流失控制值。其中,山区及其与平原间的过渡区较高,一般高于 $200 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$;平原区较低,大部小于 $100 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ (图4)。采用这种方法确定的土壤流失控制值,可以将生产建设项目建成后的土壤流失限制在背景土壤侵蚀模数以下,工程建成后的土壤侵蚀不会较建设前加重,不会影响城市景观面貌,能起到维护生态系统文化服务功能的作用。

另外,基于背景土壤侵蚀模数确定的官厅水库和密云水库周边土壤流失控制值大部分低于 $100 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,较基于容许土壤流失量确定的土壤流失控制值小,可以更好地起到保护水源的作用。但是,在山区及其与平原之间的过渡区,因为背景土壤侵蚀模数大,确定的土壤流失控制值大部分大于 $300 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,比容许土壤流失量一般低于 $150 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[10]高(图3),不能充分满足保持土壤肥力和土地生产力稳定的要求。因此,基于背景土壤侵蚀模数确定的土壤流失控制值,可以满足维护文化服务功能的需求,但在山区不能满足维护供给服务功能的要求(表1)。

3.4 维护多重生态服务功能的土壤流失控制值

从以上研究结果可以发现,由于不同区域间水土流失特征差异和人们对水土保持生态服务功能需求的不同,单独基于容许土壤流失量或者背景土壤侵蚀

模数确定的土壤流失控制值都不能完全满足现实需求。北京市山区及其与平原间过渡区大部分区域的背景土壤侵蚀模数大于容许土壤流失量,水土保持的主要功能为控制土壤侵蚀,维护土地生产力和地表水源涵养^[11]。将生产建设项目土壤流失控制在较低的容许土壤流失量以下可以更好地达到这些目的。因此通过容许土壤流失量确定土壤流失控制值更为合理。然而,在官厅水库、密云水库周边等背景土壤侵蚀模数低于容许土壤流失量的区域,应将生产建设项目土壤流失控制在背景土壤侵蚀模数以下,以更好地涵养地表水源。北京市平原区大部分区域的背景土壤侵蚀模数小于容许土壤流失量,水土保持的主要功能为维护城市人居环境和首都功能,将生产建设项目土壤流失控制在较低的背景土壤侵蚀模数以下可以更好地满足人们对城市优美生活环境的需求,充分体现水土保持的文化服务功能。通过背景土壤侵蚀模数确定的土壤流失控制值更为合理。因此,将基于容许土壤流失量和背景土壤侵蚀模数两种方法结合起来,取两者中较小的值作为依据,确定的北京市生产建设项目土壤流失控制值(图5),能够维护不同区域更多的生态系统服务功能(表1)。

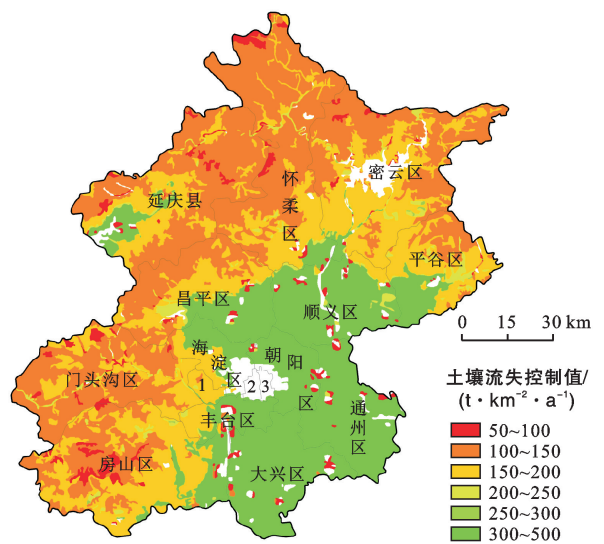


图3 基于容许流失量计算的生产建设项目土壤流失控制值

4 讨论

农业、林业水土保持更多地强调供给服务功能,而生产建设项目为人类提供的福祉更加多元化,其土壤流失控制值的制定需要从维护水土保持生态服务多项功能的角度进行考虑。水土保持维护的生态服务功能可以分为两个方面。一是维护支持服务。即从保护土壤本身出发,要求土壤流失控制值低于或等

于土壤形成速率。土壤的形成速率取决于母质、地形、气候、生物等成土因素,因此这主要是从土壤的自然属性出发制定土壤流失控制值。二是从维护土壤满足人类需求角度出发,主要包括以下 3 项服务功能:①供给服务。即土壤为人类提供粮食、纤维、薪材等的功能,需要控制土壤侵蚀模数低于能保持土壤肥力和维持土地生产力长期基本稳定的值;②调节服务。即土壤为人类调节水资源、净化水源、净化空气、防洪减灾、调节气候、控制疾病等的功能,需要控制土壤侵蚀模数低于可能威胁到人类安全、健康和财产的值;③文化服务。即土壤满足人类精神与宗教、消遣与生态旅游、美学、激励、教育、地方感、文化遗产保护等方面需求的功能,应将土壤侵蚀模数控制在可能危害生态系统文化服务的临界值以下,我们认为至少要低于背景土壤侵蚀模数。以往对于容许土壤流失量的研究,多是从保护土壤本身,维持土壤供给服务和少量调节服务功能角度出发的^[15],对维护生态系统和调节服务功能的考虑不够。

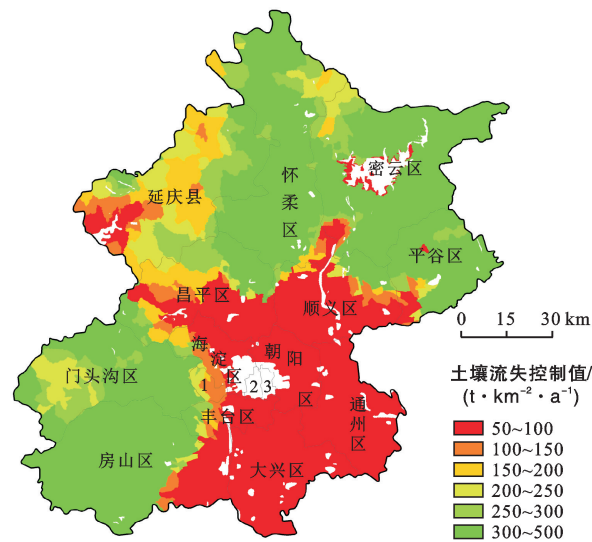


图 4 基于背景土壤侵蚀模数计算的北京市生产建设项目土壤流失控制值

现行《生产建设项目水土流失防治标准(GB/T50434-2018)》基于容许土壤流失量来确定生产建设项目土壤流失控制值,其主要目的是保护土壤本身和维持土壤的供给服务。另外,通过调节防治标准级别来考虑不同区域水土保持敏感性的差异,通过浮动土壤流失控制比来考虑背景土壤侵蚀模数的差异,在一定程度上考虑了水土保持的调节服务。然而从本研究的结果看,通过调节土壤流失控制比的方法还不能充分满足需求,特别是对于大城市。例如,现行标准指出土壤流失控制比在轻度背景侵蚀为主的区域不

应小于 1,但是关于到底需要高出多少的问题没有给出明确的确定方法。在背景土壤侵蚀模数显著低于容许土壤流失量的区域,会出现土壤流失控制值高于背景土壤侵蚀模数的情况,不能满足维护文化服务功能的需求。因此,在具有维护文化服务功能需求的区域,除将土壤流失控制值限制在容许土壤流失量以下外,还要明确提出应该将其限制在背景土壤侵蚀模数以下。或者规定在具有维护文化服务功能需求的区域,当背景土壤侵蚀模数低于容许土壤流失量时,应将土壤流失控制比上浮到容许土壤流失量与背景土壤侵蚀模数之比或以上。

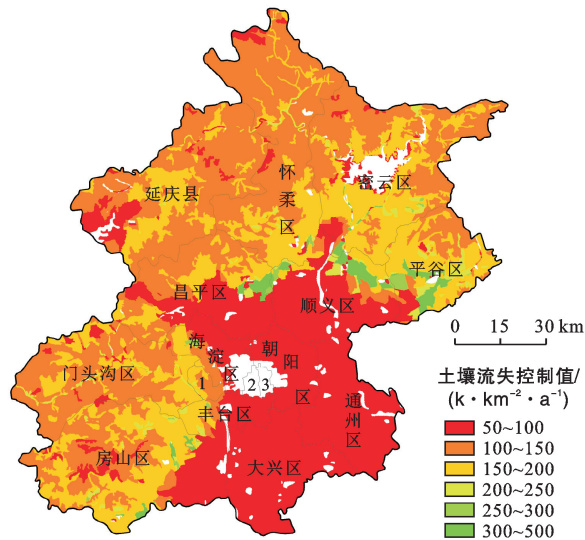


图 5 北京市生产建设项目土壤流失控制值

综上所述,对于生产建设项目,特别是人口聚集度高的城市区域的生产建设项目,维护多重生态服务功能的土壤流失控制值弥补了基于容许土壤流失量的土壤流失控制值主要反映供给服务功能的不足,更广泛地满足人们对水土保持调节和文化服务功能的需求,可以更加有效地指导生产建设项目水土流失防治工作。

5 结论

按照现行标准,生产建设项目土壤流失控制值主要根据容许土壤流失量制定,突出维护生态系统的供给服务功能。基于容许土壤流失量确定的土壤流失控制值一般在山区、丘陵区较低,在平原区较高。以它控制生产建设项目水土流失强度,可以起到维护生态系统供给服务功能的作用,但是在背景土壤侵蚀模数较低平原区不能满足维护生态系统文化服务功能的需求,在部分水土保持敏感区不能充分满足维护生态系统调节服务功能的需求。基于背景土壤侵蚀

模数确定的土壤流失控制值一般在山区、丘陵区较高,在平原区较低。以它控制生产建设项目水土流失强度,可以满足维护生态系统文化服务功能的需求,但在山区不能满足维护供给服务功能的要求。将基于容许土壤流失量和背景土壤侵蚀模数两种方法结合起来,选取两者中更为严格的值作为北京市生产建设项目土壤流失控制值,能够起到维护不同区域多重生态系统服务功能的作用。本研究提出的维护多重生态系统服务功能的土壤流失控制值确定方法可以为有关部门制定水土流失防治目标值提供有益的补充。

[参 考 文 献]

- [1] 水利部水土保持监测中心.GB/T50434-2018 生产建设项目水土流失防治标准[S].北京:中国计划出版社,2018.
- [2] 水利部水土保持司.SL190-96 土壤侵蚀分类分级标准[S].北京:中国水利水电出版社,1997.
- [3] 水利部水土保持司和水利部水土保持监测中心.SL190-2007 土壤侵蚀分类分级标准[S].北京:中国水利水电出版社,2008.
- [4] 刘宝元,毕小刚,符素华,等.北京土壤流失方程[M].北京:科学出版社,2010.
- [5] 王志刚,韩培,周耀华,等.超大城市水土流失空间分布格局及其防治策略:以武汉市为例[J].水土保持通报,2018,38(5):128-132,359.
- [6] 焦菊英,贾燕锋,景可,等.自然侵蚀量和容许土壤流失量与水土流失治理标准[J].中国水土保持科学,2008,6(4):77-84.
- [7] 余新晓,吴岚,饶良懿,等.水土保持生态服务功能评价方法[J].中国水土保持科学,2007,5(2):110-113.
- [8] 张甘霖.城市土壤的生态服务功能演变与城市生态环境保护[J].科技导报,2005,23(3):16-19.
- [9] 傅伯杰.生态系统服务与生态系统管理[J].资源环境与发展,2013,7(7):6-8.
- [10] 王志刚,王家乐,韩培,等.北京市容许土壤流失量特征分析与空间分布图制作[J].中国水土保持科学,2020,18(5):89-95.
- [11] 北京市水土保持公报 2020[M].北京:北京市水务局,2021.
- [12] 北京市水土保持规划(2016—2030年)[M].北京市水务局,2017.
- [13] 全国水土保持规划编制工作领导小组办公室,水利部水利水电规划设计总院.中国水土保持区划[M].北京:中国水利水电出版社,2016.
- [14] 北京市主体功能区规划[M].北京:北京市人民政府,2012.
- [15] 陈奇伯,齐实,孙立达.土壤容许流失量研究的进展与趋势[J].水土保持通报,2000,20(1):9-13.
- [27] 朱会义,李秀彬.关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J].地理学报,2003,58(5):643-650.
- [28] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估[J].自然资源学报,2003,18(2):189-196.
- [29] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.
- [30] 李晓赛,朱永明,赵丽,等.基于价值系数动态调整的青龙县生态系统服务价值变化研究[J].中国生态农业学报,2015,23(3):373-381.
- [31] 雷军成,王莎,汪金梅,等.土地利用变化对寻乌县生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2019,39(9):3089-3099.
- [32] 杨国清,吴志峰,祝国瑞.广州地区土地利用景观格局变化研究[J].农业工程学报,2006,22(5):218-221.
- [33] 刘亚茹,王聪,严力蛟.华北平原农区土地利用变化对生态系统服务的影响:以河南省商丘市为例[J].应用生态学报,2018,29(5):1597-1606.
- [34] 雷金睿,陈宗铸,吴庭天,等.海南岛东北部土地利用与生态系统服务价值空间自相关格局分析[J].生态学报,2019,39(7):2366-2377.
- [35] Anselin L. Local indicators of spatial association-LISA[J]. Geographical Analysis, 1995,27(2):93-115.
- [36] 孟雅丽,苏志珠,马杰,等.基于生态系统服务价值的汾河流域生态补偿研究[J].干旱区资源与环境,2017,31(8):76-81.

(上接第 329 页)