

文章编号: 1672-3031(2009)01-0042-09

# 印度土壤侵蚀与防治研究概况及其对我国的启示

秦伟<sup>1</sup>, 刘孝盈<sup>2</sup>, 于琪洋<sup>2</sup>, 赵磊磊<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 国际泥沙研究培训中心, 北京 100048)

**摘要:** 土壤侵蚀导致水土资源流失和生态环境恶化, 已成为危及人类生存与发展的重要问题。印度与中国都是世界上水土流失严重的国家, 且具有许多相似的自然和社会条件。了解印度土壤侵蚀及其防治的有关研究进展, 对促进我国水土保持研究和实践具有现实意义。本文介绍了印度土壤侵蚀的基本状况和特点, 并从土壤侵蚀基础研究、土壤侵蚀预报研究和土壤侵蚀防治策略 3 个方面总结了印度在土壤侵蚀及其防治领域的研究成果和实践经验。在此基础上, 提出了对我国土壤侵蚀防治的参考建议。

**关键词:** 印度; 土壤侵蚀; 水土保持; 防治对策

中图分类号: S157

文献标识码: A

印度共和国位于南亚次大陆, 国土总面积 330 万 km<sup>2</sup> (中国公布的数据为 297.47 万 km<sup>2</sup>), 由 20 个行政邦和 9 个中央直辖区组成。全境按自然条件可划分为西北部边境高山区、恒河流域平原区和印度半岛区 3 个区域。其中, 高山区属山地气候、平原区属季风型亚热带森林气候、半岛区多属季风型热带草原气候<sup>[1]</sup>。全国多年平均降水量 1170mm, 但时空分布很不均匀。在年内, 75% 的降水集中在 6—9 月的季风期; 地区间, 东北部降水较丰富, 东部、中部和南部较少, 西北部最为干旱<sup>[2]</sup>。由于受热带季风影响显著, 各地的洪水、台风等自然灾害频发, 土壤侵蚀严重。

印度全国共有人口 10.9 亿 (2005 年印度中央统计局)<sup>[3]</sup>, 数量多、增长快, 造成严重的土地生产压力。印度拥有亚洲最大的耕地面积, 但依然存在巨大的人地矛盾、水土流失及其引发土地退化等生态问题十分突出, 已成为农业发展的重要障碍, 并在很大程度上制约着经济和社会发展。特别是自 20 世纪 80 年代以来, 为了满足经济发展的需求, 森林植被遭到极大破坏, 生态环境急剧退化, 水土流失问题更加严峻<sup>[4]</sup>。总体上, 由于气候条件、人口压力和经济发展等诸多因素的作用, 印度的土壤侵蚀和水土流失问题十分突出。

长期以来, 印度在土壤侵蚀和水土保持方面进行了大量的探索研究, 并在实践和理论方面取得了许多优秀成果。中国与印度具有同样复杂多变的自然条件, 又同是世界上的人口和农业大国, 水土保持在两国的农业生产及社会发展都具有十分重要的地位。了解印度土壤侵蚀和水土流失防治领域的研究概况, 借鉴有效的经验和成果, 对我国生态环境建设具有重要的参考价值。

## 1 印度土壤侵蚀概况

由于气候和人类活动的影响, 印度各地均存在不同强度和类型的土壤侵蚀 (见图 1)。全国年均土壤侵蚀强度约 1650t/km<sup>2</sup>, 相当于每年流失 1mm 深的土壤<sup>[5]</sup>, 远高于全国土壤侵蚀允许值 450~1120t/km<sup>2</sup><sup>[6]</sup>。全国每年因土壤侵蚀而流失的土壤和水分分别达 53.36 亿 t 和 180 亿 m<sup>3</sup>, 损失土壤养分 600~1000 万 t<sup>[2,7]</sup>。

由于长期无计划的土地开垦和人为破坏, 农地的土壤侵蚀最为严重。全国每年由农业及其耕作活

收稿日期: 2008-07-02

基金项目: 中国水利水电科学研究院科研专项 2007-2008 (ky-073)

作者简介: 秦伟 (1982-), 男, 陕西人, 博士, 主要从事水土保持研究。E-mail: qinwei\_office@sina.com

动造成的土壤侵蚀量高达 53.34 亿 t。其中, 29% 入海, 61% 淤塞在沟道、湖泊和河道, 10% 沉积在水库中<sup>[8,9]</sup>, 给生态环境造成极大的破坏。

水力侵蚀是印度主要的土壤侵蚀类型, 且侵蚀强度较高(见表 1)<sup>[6]</sup>。水力侵蚀主要表现为面蚀和沟蚀。全国约有 180 万 km<sup>2</sup> 的区域存在面蚀, 其中, 72 万 km<sup>2</sup> 分布在红壤区, 年侵蚀模数达 400~1000t/km<sup>2</sup>; 89 万 km<sup>2</sup> 分布在黑土区, 年侵蚀模数达 1100~4300t/km<sup>2</sup>。全国约有 4 万 km<sup>2</sup> 的区域存在沟蚀, 平均侵蚀模数为 3300t/km<sup>2</sup>, 主要分布在亚穆纳(Yamuna)、昌巴尔(Chambal)、马希(Mahi)等地区以及西部各河流沿岸地区<sup>[6]</sup>。另外, 全国还有约 13 万 km<sup>2</sup> 的边坡侵蚀, 侵蚀模数为 8000t/km<sup>2</sup><sup>[10]</sup>。除水蚀外, 印度的风蚀也十分严重, 主要发生在西部和北部干旱和半干旱地区。由于这些地区受荒漠与季风气候共同的影响, 气候恶劣, 加之人口密度较高, 土地压力过大, 植被遭到严重破坏, 荒漠化十分严重<sup>[11]</sup>。剧烈的风蚀导致该区 1.9% 的土地表层土流失, 1.2% 的土地地形变化, 0.5% 的土地被沙丘覆盖<sup>[12]</sup>。

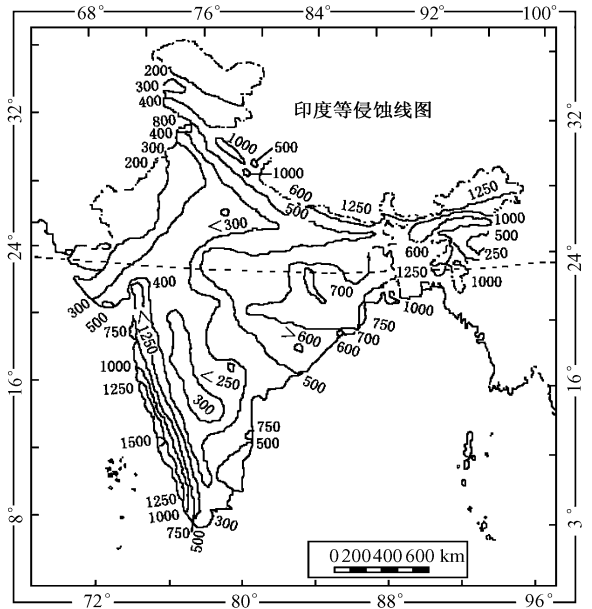


图 1 印度土壤侵蚀强度等值线(t/km<sup>2</sup>/a)

注: 图表来源于文献[6]

表 1 印度水力侵蚀分布及强度

区域	侵蚀面积/km <sup>2</sup>	侵蚀强度/(t·km <sup>2</sup> )
北喜马拉雅积雪覆盖区	116 000	微量侵蚀
北喜马拉雅高山草地和草甸区	98 250	16
北喜马拉雅森林区	131 750	287
旁遮普邦-哈里亚纳邦冲积平原区	101 250	330
恒河上游冲积平原区	200 000	1 410
恒河下游冲积平原区	145 500	287
东北喜马拉雅高山草地和草甸区	16 000	50
东北森林区	161 000	287
阿萨姆邦河谷区	88 500	2 815
拉贾斯坦邦荒漠区	191 000	很小
卡奇沼泽区	46 500	无侵蚀
古吉拉特邦冲积平原区	62 750	480
黄土、红土及黑土混合分布区	115 750	300
黑土区	67 350	6 448
东部红土区	573 500	346
恒河三角洲区	25 250	微量侵蚀
西部沿海区	61 000	3 930
南部红壤区	347 750	359
东部沿海区路边侵蚀	93 500	3 930
路旁侵蚀	10 000	1 969

注: 数据来源于文献[6]

由于全国普遍存在不同类型和强度的土壤侵蚀, 印度国内的大部分地区都亟待进行水土保持综合治理。据统计<sup>[6]</sup>, 全国约有 175 万 km<sup>2</sup> 的土地需要采取相应的水土保持措施(见表 2)。

表 2 印度不同土地类型的水土流失面积

	森林	可耕荒地	草地	耕地	休闲耕地	农田网络	不宜农林土地	合计
总面积/万 km <sup>2</sup>	61.17	17.36	14.81	4.22	20.50	137.90	50.19	305.95
水土流失面积/万 km <sup>2</sup>	20	15	14	1	15	80	0	145
百分比/%	32.70	86.40	94.54	23.71	73.17	58.01	0	47.39

注: 表中数据来源于文献[13], 其中 305.95 万 km<sup>2</sup> 为土地利用统计总面积

总体上,印度的土壤侵蚀主要呈现出侵蚀强度高、面积广、类型多、危害严重等特点,这与我国的土壤侵蚀状况十分相近。

## 2 土壤侵蚀研究现状

印度的土壤侵蚀防治始于 20 世纪 50 年代初,在实施中采取由发起部门牵头,有关邦州政府机构、非政府组织、国际资助机构和社区共同参与,以流域为单元,按项目管理的体制实施。涉及的部门机构可分为国家层和邦州层。其中,国家层包括农业部、联邦农村开发部、环境和林业部、联邦计划和实施部及流域综合开发项目;邦州层包括邦政府、林业部门、水保部门、农林院校、资源管理机构及农村发展署等<sup>[2]</sup>。

参与土壤侵蚀防治的部门机构按主要工作内容又可分为行政管理和科研两大体系。1954 年在原林业研究所下属的土壤保持中心和沙漠绿化研究站的基础上,印度成立了中央水土保持局。随后,在 1974 年又建立了中央水土保持研究和培训所。这些行政管理机构主要负责传达、协调和执行国家水土保持政策,帮助各邦政府制定水土保持整体规划,优化和利用国家土地管理工作,加速农业发展等。除此以外,在各邦政府内还设有水土保持局,主要负责水土保持工作的实施<sup>[15]</sup>。

印度国内有很多从事土壤侵蚀领域研究的科研机构。主要包括印度科技大学工程研究中心、印度罗克大学地球科学系、印度拉贾斯坦邦大学环境科学学院、印度安娜大学水资源研究中心、印度农业大学、国家水文学会、干旱区研究学会和印度干旱区农业研究学会等。通过中央和地方水土保持机构及众多科研单位的通力协作,印度在土壤侵蚀防治领域取得许多重要实践经验和研究成果。

### 2.1 土壤侵蚀基础研究

印度十分重视土壤侵蚀基础方面的研究,在侵蚀速率、成因等方面取得很多有益的成果。红壤和黑壤是印度的主要土壤类型,Bronger 等<sup>[16]</sup>通过实地观测得出印度红土和黑壤的允许侵蚀速率。Babu 等<sup>[17]</sup>通过分析印度喀拉拉邦(Kerala)的 Peppara 和奈亚(Neyyar)两个森林流域的水分平衡及产沙量,并评估了当地森林的水土涵养功能。

Wasson<sup>[18]</sup>根据泥沙观测数据,估算了 Ganga 河与 Brahmaputra 河流域的侵蚀产沙量,并利用 Nd/Sr 元素示踪将印度喜马拉雅丘陵区确定为这 2 个流域的主要产沙源。查克拉帕等<sup>[19]</sup>,分别用水质分析法和泥沙观测资料估算了印度马哈纳迪河流域化学侵蚀率和自然冲刷速率。Goswami 等<sup>[20]</sup>利用地形图和遥感影像,研究了印度 Subansiri 河的河床变化,并估算了河床在不同变化时期的总侵蚀量。Srinivasalu 等<sup>[21]</sup>通过实测数据,分析了 Kalpakkam 地区的海啸对海岸侵蚀的作用特征。这些基础研究的成果为衡量印度不同地区的土壤侵蚀强度和危害等级提供了重要的理论依据。

印度国土面积广大,不同地区内影响土壤侵蚀的主要因素不同。因此,区域侵蚀成因研究得到了印度学术界的广泛关注。已有的研究广泛采用地理信息系统、遥感等技术,通过野外观测和社会调查等多种方式确定了不同地区的侵蚀主要成因。Maji 等<sup>[22]</sup>采用地理信息系统分析阿鲁纳查尔邦(Arunachal)地区的土壤侵蚀,发现侵蚀强度区和极强度区都分布在气候湿热地带,并将强降雨确定为造成该区严重侵蚀的主要原因。Reddy 等<sup>[23]</sup>利用印度卫星遥感数据和地形图,在地理信息系统平台上,分析了印度中部维拉河(Vena)盆地岩性、地貌和地形等条件的特征及其对土壤深度、持水能力及侵蚀特性的影响。结果表明,地貌形态是决定当地侵蚀特征的重要因素。

Barbiero 等<sup>[24]</sup>在印度南部选取 4.5km<sup>2</sup> 的野外森林集水区,通过观察土壤剖面 and 地形系列,调查土壤电磁电导率、岩性和植被状况,研究了不同土壤类型的分布、动态变化及其与侵蚀过程间的关系,将该区域划分为转动滑移、渗水侵蚀,以及泥流与滑动结合侵蚀等 3 种侵蚀地貌类型,并探讨了不同侵蚀类型的形成与土壤类型间的关系,最终将地形和岩性确定为影响当地侵蚀分布的两个主要因素。Bhutiyan 等<sup>[25]</sup>利用实测的流量和沉积物数据,分析了努布拉河的泥沙输送和侵蚀速率,确定了当地不同范围的水沙关系方程。结果显示,海拔地貌和地质结构是造成当地高侵蚀强度的主要原因。Sen 等<sup>[26]</sup>测量了印度喜马拉雅丘陵区 Pranmati 流域内农田在雨季的土壤流失率,并通过调查将农业耕作和陡峭的地形确定为影响当地土壤侵蚀率的主要因素。Ram 等<sup>[27]</sup>根据来自家庭单元的调查访问数据,分析了印度塔

尔沙漠地区土地退化的原因。认为印度的继承法使土地在被继承的过程中不断被分割,农业耕作土地的破碎程度不断加剧,耕作缺乏统一性和规模性,导致了当地的粮食缺乏。在这种情况下,土地被连续耕种,而且始终种植单一作物,因此造成土地的生产力严重下降,成为土地退化的主要原因。Sah等<sup>[28]</sup>对印度库鲁河谷(kulu)的侵蚀因素和过程进行了大规模调查,得出陡峭的边坡和雨季不断渗出的毛细管水及松散物质是造成河谷山崩的直接原因。同时,从20世纪早期到中期,河谷内所发生的大规模侵蚀与游客数量及当地人口数量的增长有显著的相关性,这说明人类活动因素是加速该区泥石流和剥蚀等灾害的重要原因。印度有关侵蚀成因的研究,不仅包含了土壤侵蚀的自然发生过程,也关注了人类活动与土壤侵蚀的相互关系,为不同地区的土壤侵蚀防治提供了良好的决策基础。

**2.2 土壤侵蚀预报研究** 土壤侵蚀强度反映土壤侵蚀的危害程度,不仅是采取土壤侵蚀防治措施的依据,也是评价水土保持治理效果的标准。印度在引进和建立侵蚀预报模型方面做了大量的研究。一方面广泛引进国外侵蚀预报模型,改进参数,判断模型的适应性和应用条件;另一方面,通过积累基础数据,积极建立符合本国侵蚀特点的预报模型。

通用土壤流失方程(Universal Soil Loss Equation)作为国际上最重要的土壤侵蚀预报模型,在印度的水土流失评估领域得到了广泛应用。早在20世纪70年代末,关于模型参数计算和改进方面的研究便陆续出现。Babu等<sup>[29]</sup>利用分布在不同降雨带的43个测站的降雨数据,建立了一种降雨侵蚀力因子与年均或季节降雨量间的线性关系,并绘制了侵蚀因子图,用于确定在连续降雨数据无法获取的地区及全国范围内的降雨侵蚀力因子。Raghnath等<sup>[30]</sup>通过分析400个测站不同季节和不同年份的侵蚀量观测数据,绘制了印度降雨强度和降雨侵蚀力因子等值线。

此后,相继出现了大量有关通用土壤流失方程应用和评价的报道。Ismail等<sup>[31]</sup>通过土壤样品分析确定了土壤可蚀性因子,并运用遥感和地理信息系统技术获取地形、地表覆盖等因子,最终应用通用土壤流失方程计算了Veppanapalli流域的年均土壤侵蚀率。Jain等<sup>[32]</sup>基于遥感和地理信息系统技术,应用通用土壤流失方程评估了印度Nagva和Karso两个流域的土壤侵蚀量,并根据输沙率确定了每个集水区次降雨后的泥沙沉积量。通用土壤流失方程最初是以美国的试验数据为基础建立的,因此在其他地区应用的精度和适用性就成了研究的重点。Nisar等<sup>[33]</sup>应用通用土壤流失方程预报了印度卡纳塔克(Karnataka)州Kalyanakere流域的土壤侵蚀强度。

同时,采用灰色关联法,通过对降雨、坡长、坡度、土壤可蚀性、作物管护、保护措施等土壤侵蚀影响因子进行聚类,划分了流域土壤侵蚀强度等级。最终,将两种方法的结果进行了对比分析,认为通用土壤流失方程在该区具有一定适应性。Jain等<sup>[34]</sup>分别运用摩根模型(Morgan Model)和通用土壤流失方程评估了印度喜马拉雅地区Sitlarao流域的年均土壤侵蚀强度。通过对比认为,通用土壤流失方程的评估结果比实际值偏高,而摩根模型在当地具有更好的适应性。Pandey等<sup>[35]</sup>采用遥感和地理信息系统技术,在Karso流域检验了通用土壤流失方程用于评估多年平均土壤侵蚀量和泥沙沉积量的准确性。模型计算结果和实测值的分析结果表明,USLE计算的流域泥沙沉积量与实测值间的相关系数为0.99,各年土壤侵蚀计算结果与实测值的误差范围为1.37%~13.85%,模型评估结果比较可靠。Ali等<sup>[36]</sup>采用通用土壤流失方程分别位于半干旱和半湿润区的2个流域进行了侵蚀预报,并用实测值验证精度。结果表明,模型在湿润区的精度高于干旱区。同时,基于单独年份数据评估的精度较差,而基于多年平均数据评估的结果比较准确。

由于通用土壤流失方程作为经验模型的一些限制和不足,其他土壤侵蚀预报模型的引进和应用也得到广泛关注。有关SWAT(Soil and Water Assessment Tool)<sup>[37]</sup>、MPM(Morgan Parametric Model)<sup>[38]</sup>、HEM(Hillslope Erosion Model)<sup>[39]</sup>和ANSWERS(Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation)<sup>[40]</sup>等模型也在印度不同地区用于预报土壤侵蚀。

除了引进和应用国外模型,印度还致力于开发和建立本国模型。通过全国土壤调查项目的不断积累,1977年Bali<sup>[41]</sup>根据印度水土流失的基本特征建立了半定量化的含沙量指数模型(Sediment Yield Index),并逐渐成为印度国内使用范围最广的模型,目前在印度土壤侵蚀研究中的应用已超过60%。另外,Bhattacharyya等<sup>[42]</sup>选取入渗率、容重、水稳性团聚体、有机碳、肥力等反映土壤抗蚀性的指标,建立了

一个定量评价土壤允许流失量的模型(Soil Loss Tolerance Limits), 并利用该模型确定出印度土壤允许流失量为每年 $2.5 \sim 12.5 \text{ t/hm}^2$ 。Rai 等<sup>[43]</sup>利用有关流体力学的运动波浪理论, 建立了流体动态侵蚀数学模型。该模型综合了许多影响侵蚀过程的因素, 能够用简单的方式表达包括河内侵蚀、河外侵蚀在内的侵蚀过程以及传输过程。虽然在实际应用中还存在一定缺陷, 但对预报流域次降雨水沙量已具有一定的精度。

**2.3 土壤侵蚀防治研究** 印度在土壤侵蚀防治过程中, 重视科研与实践相结合, 注重科研成果的推广性与实用性, 经过多年的研究和实践, 积累了很多经验成果。目前, 全国被统一划分为 10 个水土保持区。各水土保持区内按照自然和社会特点分别确定了治理方向和重点治理措施<sup>[1]</sup>。根据防治措施的实施对象, 大致可分为耕地措施和非耕地措施两类。非耕地措施又包括保护性和生产性两种。具体做法与我国大致相同, 即工程措施、生物措施和保土耕作措施相结合。通常包括植树造林、控制放牧、作物轮种、合理灌溉、布设防风林带、改进培育方法、建造防护堤坝等<sup>[12]</sup>。

在北部丘陵地区, 针对农业耕作土地的措施主要包括等高耕种、带状种植、带状收割、秸秆覆盖、合理配置、植物屏障、作物间种、修建梯田、夏季休耕、植物绿篱等<sup>[44]</sup>。在土壤极端退化的地区还经常通过改变土地利用的途径来修复土地生产力, 具体措施包括农林复合、套种间作、作物残秆循环利用等<sup>[12]</sup>。总体上, 印度的土壤侵蚀防治措施主要遵循 2 条原则: (1) 保持充分的土壤渗透; (2) 控制地表径流以减少侵蚀<sup>[7]</sup>。水土保持措施的效果和特点是对不同土壤侵蚀区域进行对位配置的重要依据, 因此水土保持效益和实施标准等问题成为研究重点之一。

许多被普遍采用的工程<sup>[45-47]</sup>、生物<sup>[48-49]</sup>和耕作措施<sup>[50-53]</sup>在提高土壤水分、抑制地表径流、减少土壤侵蚀、改善土壤性质等方面都进行了比较全面的研究。为有效防止土壤侵蚀, 有关水土保持措施对位配置和土壤侵蚀治理决策的研究也较多。Jain 等<sup>[54]</sup>通过将印度 Ukai 水库上游的小流域划分为不同的集水区, 并分别评估不同积水区的泥沙沉积量及主要影响因素, 以此确定流域土壤侵蚀防治过程中的具体措施布置位置 and 不同区域的治理顺序。Shrimali 等<sup>[55]</sup>利用遥感和地理信息系统技术, 通过划分 Sukhna 湖地区的土壤侵蚀危险等级, 确定土壤侵蚀防治的重点区域。Khan 等<sup>[56]</sup>将 Guhiya 流域按汇水路径划分为 68 个子流域, 分别评估了各子流域的土壤侵蚀量和泥沙沉积量, 并据此确定了不同子区域的水土保持治理优先等级。Sekhar 等<sup>[57]</sup>通过遥感和地理信息系统技术, 评估了 Phulang Vagu 流域的土壤侵蚀量, 并根据流域特征确定了 12 个拦水坝的坝址, 以减少土壤侵蚀造成的下游水库淤积。

印度土壤侵蚀防治的主要途径是小流域综合治理。经过多年实践, 印度在小流域治理方面开展了大量工作, 投入了大量资金, 在防治土壤侵蚀、渍涝和盐碱化方面取得了明显的成效。印度的小流域治理始于 20 世纪 50 年代, 1956 年在台拉登(Dehradun)组建了国家水土保持研究和培训中心, 由此开始了最早的小流域开发治理工作。1994 年农业开发部颁布了《小流域开发导则》, 2001 年出台了新的流域发展计划指导原则<sup>[38]</sup>。自开展流域治理以来, 印度政府相继启动了国家流域发展计划(National Watershed Development Programme in Rainfed Areas)、综合流域发展项目(Integrated Wasteland Development Programme)、轮种区流域开发项目(Watershed Development Project for Shifting Cultivation Areas)等流域治理项目, 并陆续在 4400 个小流域内得到实施<sup>[2]</sup>。印度的流域治理项目包括国家、邦州、县市及非政府组织等多个层次。在一系列流域发展计划实施的过程中, 通过确定合理的土壤侵蚀防治措施进行对位配置, 有效地防治了土壤侵蚀。

此外, 还开展了河谷整治工程(River Valley Project)、易洪江河治理计划(Flood Prone River Programme)、易旱区域计划(Drought Prone Area Programme)和综合荒地发展计划(Integrated Wasteland Development Programme)等一系列水土保持专项计划, 显著减少了土壤侵蚀和河道泥沙淤积<sup>[59]</sup>。另外, 印度政府十分重视建立水土流失治理示范区和培训中心, 并直接向农民推广治理技术。中央政府在拉贾斯坦邦(Rajasthan)建立了世界银行水土保持贷款项目区和国家级项目区, 在世行专家和农业专家指导下开展工作, 项目管理由邦政府负责<sup>[1]</sup>。这些示范项目和示范区对提高民众水土保持意识和技能发挥了重要作用。

除了水蚀防治, 印度对风蚀灾害的控制和研究也十分重视。自 1951 年以来, 印度一直致力于西北

部荒漠化防治,并于1952年在拉贾斯坦邦(Rajasthan)创建了改良土壤和土壤保持试验站,这是研究印度荒漠化防治、干旱区开发和土地利用的重要基地。1959年在此基础上,建立了中央干旱区研究所。几十年来,该中心进行了多方面的具有理论和实用价值的研究工作。例如通过调控森林径流、控制地表水灌溉、控制牲畜饮水及提高家畜的荒漠环境适应性等,解决水资源紧缺和干旱问题;通过营造防护林、建立沙障,以提高移动沙地的稳定性、降低地表风速、控制荒漠化扩张等。同时,该所还协助农业研究委员会致力于全印度的非灌溉农业、作物品种改良、水资源管理、土壤盐渍化防治、干旱土地治理及太阳能利用等方面的研究和实践<sup>[1]</sup>。

### 3 对我国的启示

印度同中国类似,拥有广阔的国土和众多的人口,不同区域内的自然条件差异明显,土地资源的压力巨大。两国土壤侵蚀均表现出强度高、分布广、类型多、危害大的特点。同时,作为世界上两个主要的农业大国,水土保持对印度和中国的经济与社会发展具有重要意义。结合印度多年来在土壤侵蚀及其防治领域的研究和实践,笔者认为对我国的有关研究和工作的主要有以下几点启示:

(1) 继续加强全国水土保持研究和实践领域的统一协调和管理。印度的水土保持研究和实践是在中央水土保持研究和培训所的组织领导下,由总部及其下设的8个区域研究中心协调管理的。由于建立了比较健全和有力的管理体系,全国的水土保持研究和实践工作得到统一部署、统筹安排,目的性和系统性更强,通过有序组织和重点投入,先后取得了一系列全国性的基础理论和应用研究成果。发达国家通过法律条文将各有关部门的职责分工进行约束。我国由于水土流失防治在实际中涉及水利、林业、农业等多个行业,国家法律层面上却没有专门条款对涉及各部门的水土流失治理的职责进行分工界定,因此还存在一些缺乏统筹或重复研究、治理和管理重叠的问题。

(2) 继续加强水土保持研究的基础数据监测和搜集。印度十分重视水土保持基础数据的监测,为有关研究提供了良好的基础。我国的水土保持监测网络也已经初步建立,但由于基础监测网络建设工作的起步较晚,很多数据不全。同时,监测仪器和方法的差异也很大程度上影响了数据的精度。因此,应该继续完善水土保持监测网络,使监测站点覆盖和控制区域、监测数据和指标更全面。

(3) 继续加强社会公众的水土保持和生态保护意识。印度十分重视提高民众的水土保持意识,通过建立水土流失治理示范区和培训中心,不仅直接向农民传授治理技术,还促进了社会公众对水土保持社会意义的认识。我国在提高社会公众生态保护意识方面做了大量的工作,今后应该继续加强有关宣传和教育,进一步提高水土保持的社会认知度,为有关研究和实践提供更好的社会基础。

(4) 更加重视科学研究和生产实践的有效结合。印度十分重视将水土保持领域的研究与应用和生产相结合。通过将科研、示范、培训、推广4者有机的联系,构成了一条龙的科研生产体制,研究成果能够快速、有效地为生产实践服务。我国理应继续推进科研监管和审查,更加重视科研成果转化机制的建设,不断提高科研成果的针对性和实用性。

### 参 考 文 献:

- [1] 佟伟力. 印度小流域综合治理考察[J]. 水土保持科技情报, 1996, 4: 1- 3.
- [2] 刘东. 亚洲几个国家的水土保持和小流域管理状况[J]. 水土保持科技情报, 2004, 2: 8- 29.
- [3] 杨立杰. 印度概况[EB/OL]. [http://news.xinhuanet.com/ziliao/2002-2006/18/content\\_445486.htm](http://news.xinhuanet.com/ziliao/2002-2006/18/content_445486.htm).
- [4] 胡延杰, 施昆山, 等. 印度社会林业进展[J]. 世界林业研究, 2001, 14(3): 55- 60.
- [5] Honore G. Our Land. Ourselves——a Guide to Watershed Management in India[M]. New Delhi: Government of India, 1999.
- [6] Dhruva V V, Narayana R B, 唐德富. 印度土壤侵蚀的估算[J]. 水土保持科技情报, 1985, 3: 1- 10.
- [7] Sivanappan R K. Soil and water management in the dry lands of India[J]. Land Use Policy, 1995, 12(2): 165- 175.
- [8] Narayan D V V, Babu R. Estimation of soil erosion in India[J]. J. Irrig. Drain. Engg., 1983, 109(4): 419- 431.

- [ 9 ] Lekha K R. Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilized slopes——A case study[ J ] . Geotextiles and Geomembranes, 2004, 22: 399– 413.
- [ 10 ] 吴钦孝, 刘宝元. 印度的水土保持科学研究[ J ] . 水土保持通报, 1992, 12( 4 ) : 60– 63.
- [ 11 ] 慈龙骏. 以色列等四国的荒漠治理[ J ] . 西部大开发, 2001, 1: 60– 64.
- [ 12 ] Punjab State Council for Science and Technology. Land degradation & conservation [ EB/OL ] . http: // www. punjabenvironment. com/ land\_ soil\_ erosion. htm.
- [ 13 ] Dimakh Consultants. Soil water conservation[ EB/OL ] . http: // www. krishworld. com/ htm/ soil\_ water\_ con1. html.
- [ 14 ] 唐克丽. 中国水土保持[ M ] . 北京: 科学出版社, 2004.
- [ 15 ] 殷心. 印度水土流失严重[ N ] . 中国国土资源报, 2002– 6– 2( 3 ) .
- [ 16 ] Bronger A, Wichmann P, Ensling J. Over- estimation of efficiency of weathering in tropical “ Red Soils ” : its importance for geoecological problems[ J ] . Catena, 2000, 41: 181– 197.
- [ 17 ] Babu D S S, Padmalal D, Arun R R. Watershed analysis of two forest catchments from Western Ghats, South India and its significance for mitigation of Reservoir siltation[ J ] . Journal of The Geological Society of India, 2007, 69( 5 ) : 1077– 1087.
- [ 18 ] Wasson R J. A sediment budget for the Gangā Brahmaputra catchment[ J ] . Current Science, 2003, 84( 8 ) : 1041– 1047.
- [ 19 ] 刘忠清. 印度马哈纳迪河流域的冲刷和淤积速率[ J ] . 水利水电快报, 1994, 10: 20– 22.
- [ 20 ] Goswami U, Sarma J N, Patgiri A D. River channel changes of the Subansiri in Assam, India[ J ] . Geomorphology, 1999, 30: 227– 244.
- [ 21 ] Srinivasalu S, Thangadurai N, Switzer A D, et al. Erosion and sedimentation in Kalpakkam ( N Tamil Nadu, India ) from the 26th December 2004 tsunami[ J ] . Marine Geology, 2007, 240: 65– 75.
- [ 22 ] Maji A K, Nayak D C, Krishna N D R, et al. Soil information system of Arunachal Pradesh in a GIS environment for land use planning[ J ] . JAG, 2001, 3( 1 ) : 69– 77.
- [ 23 ] Reddy G P O, Maji A K, Gajbhiye K S. Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic, Central India—a remote sensing and GIS approach [ J ] . International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2004, 6: 1– 16.
- [ 24 ] Barbiero L, Parate H R, Desclotres M, et al. Using a structural approach to identify relationships between soil and erosion in a semi-humid forested area, south India[ J ] . Catena, 2007, 70( 3 ) : 313– 329.
- [ 25 ] Bhutiyani M R. Sediment load characteristics of a proglacial stream of Siachen Glacier and the erosion rate in Nubra valley in the Karakoram Himalayas, India[ J ] . Journal of hydrology, 2000, 227: 84– 92.
- [ 26 ] Sen K K, Rao K S, Saxena K G. Soil erosion due to settled upland farming in the Himalaya: A case study in Parmati watershed[ J ] . International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 1997, 4( 1 ) : 65– 74.
- [ 27 ] Ram K A, Tsunekawa A, Sahad D K, et al. Subdivision and fragmentation of land holdings and their implication in desertification in the Thar Desert, India[ J ] . Journal of Arid Environments, 1999, 41: 463– 477.
- [ 28 ] Sah M P, Mazari R K. Anthropogenically accelerated mass movement kulu valley, himachal pradesh, India [ J ] . Geomorphology, 1998, 26: 123– 138.
- [ 29 ] Babu R, Tejwani K, Agarwal G, et al. Distribution of erosion index and Isoerodent maps of India[ J ] . Indian J. Soil Cons, 1978, 6( 1 ) : 1– 14.
- [ 30 ] Raghunath B, Khullar A K, Thomas P K. Rainfall energy maps of India[ J ] . Indian J. Soil Cons, 1982, 10( 2 ) : 1– 17.
- [ 31 ] Ismail J, Ravichandran S. RUSLE2 model application for soil erosion assessment using remote sensing and GIS[ J ] . Water Resour Manage, 2007, 22( 1 ) : 83– 102.
- [ 32 ] Jain M K, Kothiyari U C. Estimation of soil erosion and sediment yield using GIS[ J ] . Hydrological Science Journal, 2000, 45( 5 ) : 771– 786.
- [ 33 ] Nisar A T R, Gopal R K, Murthy J S R. Fuzzy class membership approach to soil erosion modeling[ J ] . Agricultural Systems, 2000, 63: 97– 110.
- [ 34 ] Jain S K, Kumar S, Vaghese J. Estimation of soil erosion for a himalayan watershed using GIS technique[ J ] . Water Resources Management, 2001, 15: 41– 54.
- [ 35 ] Pandey A, Chowdary V M, Mal B C. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing[ J ] . Water Resour Manage, 2007, 21: 729– 746.
- [ 36 ] Ali S, Sharda V N. Evaluation of the universal soil loss equation (USLE) in semi-arid and sub-humid climates of India

- [J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2005, 21(2): 217– 225.
- [37] Mishra A, Kar S, Singh V P. Prioritizing structural management by quantifying the effect of land use and land cover on watershed runoff and sediment yield[J]. *Water Resour Manage*, 2007, 21: 1899– 1913.
- [38] 李巧宏, 许建初, PIK. JOSHI, 等. 应用遥感技术研究土地利用/ 土地覆盖变化及其对土壤侵蚀过程的影响——以印度北部 Pali Gad 山地流域为例[J]. *云南植物研究*, 2006, 28(2): 175– 182.
- [39] Cogle A L, Lane L J, Basher L. Testing the hillslope erosion model for application in India, New Zealand and Australia [J]. *Environment Modelling & Software*, 2003, 18: 825– 830.
- [40] Shama K D, Singh S. Satellite remote sensing for soil erosion modeling using the ANSWERS model[J], *Hydrological Science Journal*, 1995, 40(2): 259– 272.
- [41] Bali Y P, Karale R L. A sediment yield index for choosing priority basins[M]. *Indian: IAHS AISH*, 1977.
- [42] Bhattacharyya P, Bhatt V K, Mandal D. Soil loss tolerance limits for planning of soil conservation measures in Shivalik Himalayan region of India[J]. *Catena*, 2007, doi: 10. 1016/j. catena. 2008, 73(1): 117– 124.
- [43] Rai R K, Mathur B S. Event-based soil erosion modeling at small watersheds[J]. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2007, 559– 572.
- [44] 舒洪岚, 李沛然. 印度北部丘陵地区水土保持措施[J]. *江西林业科技*, 2005, 2: 47– 48.
- [45] Lekha K R. Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilized slopes——A case study[J]. *Geotextiles and Geomembranes*, 2004, 22: 399– 413.
- [46] Mandal U K, Rao K V, Mishra P K, et al. Soil infiltration runoff and sediment yield from a shallow soil with varied stone cover and intensity of rain[J]. *European Journal of Soil Science*, 2005, 56: 435– 443.
- [47] Mishra A, Ghorai A K, Singh S R. Rainwater, soil and nutrient conservation in rainfed rice lands in Eastern India[J]. *Agricultural Water Management*, 1998, 38: 45– 57.
- [48] Kumar R, Ambashit R S, Srivastava A, et al. Reduction of nitrogen losses through erosion by *Leonotis nepetaefolia* and *Sida acuta* in simulated rain intensities[J]. *Ecological Engineering*, 1997, 8: 233– 239.
- [49] Shama K D, Joshi N L, Singh H P, et al. Study on the performance of contour vegetative barriers in an arid region using numerical models[J]. *Agricultural Water Management*, 1999, 41: 41– 56.
- [50] Rao K P C, Steenhuis T S, Cogle A L, et al. Rainfall infiltration and runoff from an Alfisol in semi arid tropical India. II. Tilled systems[J]. *Soil & Tillage Research*, 1998, 48: 61– 69.
- [51] Cogle A L, Rao K P C, Yule D F, et al. Soil management for Alfisols in the semiarid tropics: erosion, enrichment ratios and runoff[J]. *Soil Use and Management*, 2002, 18(1): 10– 17.
- [52] Bhatt R, Khera K L. Effect of tillage and mode of straw mulch application on soil erosion in the submontaneous tract of Punjab, India[J]. *Soil & Tillage Research*, 2006, 88: 107– 115.
- [53] Patil S L, Sheelavantar M N. Soil water conservation and yield of winter sorghum as influenced by tillage, organic materials and nitrogen fertilizer in semi arid tropical India[J]. *Soil & Tillage Research*, 2006, 89: 246– 257.
- [54] Jain S K, Goel M K. Assessing the vulnerability to soil erosion of the Ukai Dam catchments using remote sensing and GIS [J]. *Hydrological Science Journal*, 2002, 47(1): 31– 40.
- [55] Shrimalil S S, Aggarwal S P, Samral J S. Prioritizing erosion-prone areas in hills using remote sensing and GIS—a case study of the Sukhna Lake catchment, Northem India[J]. *JAG*, 2001, 3(1): 54– 60.
- [56] Khan M A, Gupta V P, Moharana P C. Watershed prioritization using remote sensing and geographical information system: a case study from Guhiya, India[J]. *Journal of Arid Environments*, 2001, 49: 465– 475.
- [57] Sekhar K R, Rao B V. Evaluation of sediment yield by using remote sensing and GIS: a case study from the Phulang Vagu watershed, Nizamabad District (AP), India[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(20): 4499– 4509.
- [58] 金永丽. 流域发展计划——印度干旱、半干旱地区农业发展的新战略[J]. *世界农业*, 2005, 3: 37– 40.
- [59] Bhandari P M, Bhadwal S, Kelkar U. Examining adaptation and mitigation opportunities in the context of the integrated watershed management programme of the Government of India[J]. *Mitig Adapt Strat Glob Change*, 2007, 12: 919– 933.



## Research on soil erosion control in India and its enlightenment for China

QIN Wei<sup>1</sup>, LIU Xiaoying<sup>2</sup>, YU Qiyang<sup>2</sup>, ZHAO Leilei<sup>1</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation, Beijing 100048, China)

**Abstract:** Soil erosion, resulting in loss of water and soil resources and degradation of eco-environment, has become a serious problem endangering the survival and development of mankind. Both India and China are countries with most serious soil erosion problems in the world. They have many similarities in natural and social conditions. A brief review of the basic status and characteristics of soil erosion in India was given in this paper. The advancements and experiences were summarized from 3 aspects: basic research, prediction and prevention countermeasures of soil erosion. On this basis, some suggestions of soil erosion control for Chinese engineers and decision-makers were put forward as reference.

**Key words:** India; soil erosion; soil and water conservation; prevention countermeasures

(责任编辑: 吕斌秀)

(上接第 41 页)

## A scenario simulation analysis of sediment effects on phosphorus in rivers

PENG Qidong, YU Xuezhong, LIAO Wengen

(Department of Water Environment, IWHR, Beijing 100038, China)

**Abstract:** Sediment is one of the important factors in water environment system of rivers. The movement, adsorption and desorption of sediment may have remarkable effects on water quality. More significant changes of sediment movement would happen in dammed rivers than in natural ones. These would result in changes of water environment. The authors simulate a group of scenarios of water flow and sedimentation in view of stability adsorption, deposition, erosion and erosion locations by applying a 1-D numerical model of flow-sediment-water quality, in which phosphorus is set as the representative index of water quality. The results of simulation show the effect of sedimentation process on water environment. This simulation can be regarded as a preliminary work of understanding the effect of sedimentation on water environment in natural rivers.

**Key words:** sediment; phosphorus; numerical simulation; scenario simulation

(责任编辑: 韩 昆)