

近60年我国土壤侵蚀科学研究进展

李锐^{1,2}, 上官周平^{1,2}, 刘宝元³, 郑粉莉^{1,2}, 杨勤科^{1,2}

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 2. 西北农林科技大学:712100, 陕西杨凌; 3. 北京师范大学, 100875, 北京)

摘要 在系统总结我国近60年土壤侵蚀科学研究取得的成就的基础上,通过分析整合,重点介绍全国土壤侵蚀时空特征与动态变化、土壤侵蚀过程及其调控机制、黄河泥沙来源与粗泥沙集中来源区的界定、风力侵蚀机制及沙漠化防治、侵蚀环境演变与调控等5个对土壤侵蚀学科发展有重大意义的进展,提出了我国土壤侵蚀学科亟待加强的3个领域。

关键词 土壤侵蚀; 水土保持; 过程; 进展; 中国

Advances of soil erosion research during the past 60 years in China

Li Rui^{1,2}, Shanguan Zhouping^{1,2}, Liu Baoyuan³, Zheng Fenli^{1,2}, Yang Qinke^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS/ MWR, 2. Northwest University of Agriculture and Forestry:712100, Yangling, Shaanxi; 3. Beijing Normal University, 100875, Beijing:China)

Abstract Based on the summarization of the advances of soil erosion research in China during the past 60 years, this paper introduced mainly the great significance achievements of soil erosion research on five aspects such as the temporal and spatial characteristics of national soil erosion dynamics, the soil erosion process, models and its control mechanism, the source of coarse sediment of Yellow River, the mechanism of wind erosion and desertification control, erosion environment evolution and control, and pointed out the three areas in soil erosion research in China which need to be strengthened.

Key words soil erosion; soil and water conservation; process; advance; China

水土流失被认为是我国头号环境问题,国家已将水土保持作为长期坚持的一项基本国策和生态建设的基础工程。随着全球人口的增长、资源的开发、经济的发展,人类对环境的影响日益深刻和广泛,使得人类与自然的关系更复杂,矛盾更尖锐。目前,我国仍有水土流失面积356.92万km²,在一些地区,水土流失与生态环境恶化的局面尚未得到有效遏制,工业化、城市化、区域开发等大规模的基础设施建设又产生了新的水土流失。水土流失已成为我国实现可持续发展的严重障碍,国家对水土保持科技的需求比以往任何时候都更加迫切。

我国对土壤侵蚀现象的认识可以追溯到3000年前,而将土壤侵蚀作为一门科学技术进行专门研

究,则是从20世纪20年代开始的。当时金陵大学森林系的部分教师,在晋鲁豫进行了水土流失调查及径流观测,开设了土壤侵蚀及其防治技术课程。20世纪40年代,黄瑞采等学者对陕甘黄土分布、特性与土壤侵蚀的关系等进行了深入的考察研究,此后,在天水(1941)、西安、平凉和兰州(1942)、西江和东江(1943)、南京和福建(1945)相继建立了水土保持实验站,开始了长期定位观测研究^[1]。

在我国,大规模开展土壤侵蚀科学研究并取得重要进展则是从20世纪50年代开始的。经过60年长期不懈的努力,我国土壤侵蚀科学研究取得了丰硕的成果,在水土保持学科体系建设,水土流失规律与土壤侵蚀机制,土壤侵蚀模拟模型、动态监测与

收稿日期:2009-07-21 修回日期:2009-08-31

项目名称:国家“973”项目“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究”(2007CB407200)

第一作者简介:李锐(1946—),男,研究员。主要研究方向:区域水土保持与环境。E-mail: lirui@ms.iswc.ac.cn

效益评价,以小流域为单元的水土流失综合治理与试验示范等方面取得了较大的进展^[1-2]:初步摸清了我国土壤侵蚀的基本规律,完善了我国土壤侵蚀的分类分区系统,初步建立了多种尺度的土壤侵蚀预报模型,建立了土壤侵蚀研究方法和技术体系。与世界土壤侵蚀科学研究相比,我国在土壤侵蚀宏观区域分异规律和土壤侵蚀分类、侵蚀环境演变、土壤侵蚀研究技术、土壤侵蚀综合防治等方面已经达到或接近世界先进水平,同时形成了一支高效的水土保持科研队伍,对学科发展、科学决策、水土保持科技传播发挥了积极的推动作用。有关我国不同时期土壤侵蚀研究进展已有较详细的综述^[3-8],笔者通过对1949年以来我国水土保持与土壤侵蚀学科所取得的主要进展进行分析与整合,从全国土壤侵蚀时空特征与动态变化、土壤侵蚀过程及其调控机制、黄河泥沙来源与粗泥沙集中来源区的界定、风力侵蚀机制及沙漠化防治、侵蚀环境演变与调控这5个对土壤侵蚀学科发展有重大贡献的领域分别进行介绍,以推动我国土壤侵蚀学科与水土保持工作的健康发展。

1 全国土壤侵蚀时空特征与动态变化

为了科学评价我国水土流失现状与变化趋势,为国家水土保持与生态建设宏观决策提供依据,国家先后启动了一系列的水土保持与生态环境科学考察,取得了一系列有重要科学与实践意义的成果,建立了完善的全国土壤侵蚀分类系统,奠定了对我国土壤侵蚀遥感调查制图的基础^[9-11]。按照侵蚀营力的不同,将土壤侵蚀主要划分为水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀、冻融侵蚀和人为侵蚀,对每一侵蚀类型又划分出若干侵蚀强度级别。20世纪80年代,辛树帜等^[12]将全国土壤侵蚀类型划分为水力、风力和冻融3个一级区,并将水蚀区分为6个二级区。1984年,水利部组织有关单位应用遥感技术编制了全国和各大流域土壤侵蚀图(1:250万和1:50万),之后,水利部又连续2次组织了全国土壤侵蚀遥感调查与制图,客观地分析了全国土壤侵蚀的动态变化。

2005—2007年,水利部、中国科学院和中国工程院联合开展了“中国水土流失与生态安全综合科学考察”,对我国不同类型区土壤侵蚀防治具有重大现实意义。通过这次科考,较为准确地摸清了全国土壤侵蚀的现状:我国现有土壤侵蚀面积356.92万 km^2 ,其中水力侵蚀面积161.22万 km^2 ,风力侵蚀面

积195.70万 km^2 ^[13]。这次考察的重点是水力侵蚀区,与1985年开展的第1次普查成果和1995年开展的第2次普查成果相比,全国水力侵蚀面积有所下降,侵蚀强度减小。3次普查的全国水力侵蚀面积分别为179.42万 km^2 、164.88万和161.22万 km^2 。强度侵蚀级以上的水蚀面积有较大幅度的下降,20年间,各强度级别的侵蚀面积中,强烈级减少29.7%,极强烈级减少35.0%,剧烈级减少43.0%^[14]。近年来,全国水土流失总体上在减轻,但西部地区仍很严重,我国水土流失总面积在减少,强度在下降,尤其是水蚀面积和强度均有明显下降,同时,我国水土流失分布的总体格局没有改变,但不同区域水土流失变化趋势不同,西部地区仍然是我国水土流失最严重的地区,水土流失面积继续扩大,而其他各区域的水土流失面积和强度均有下降趋势。

“中国水土流失与生态安全综合科学考察”进一步明确了我国水土流失具有以下3个突出特点:1)水土流失面积大,分布范围广。这次重点考察的水蚀区水土流失面积138万 km^2 ,占考察区面积的26.6%,占考察区山丘面积的63%,水蚀严重的地区主要集中于黄河中游地区的山西、陕西、甘肃、内蒙古、宁夏和长江上游的四川、重庆、贵州、云南,风蚀严重地区主要集中在我国西部地区,冻融侵蚀严重地区主要集中在西藏、青海和新疆等省区。2)水土流失强度大,侵蚀严重区比例高。我国年均土壤侵蚀总量45.2亿t,主要江河的多年平均土壤侵蚀模数为3400 $\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,部分区域土壤侵蚀模数甚至超过3万 $\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,土壤侵蚀强度远高于土壤容许流失量。与印度、日本、美国、澳大利亚等土壤侵蚀较严重的国家相比,我国水土流失更为严重。按照水土流失面积占国土面积的比例及水土流失强度综合判定,我国现有严重水土流失县646个,其中,长江流域265个、黄河流域225个、松辽河流域44个、海河流域71个、淮河流域24个、珠江流域17个,分别占41.0%、34.9%、6.8%、11.0%、3.7%和2.6%。从省级行政区看,四川、山西、甘肃、内蒙古、陕西5省区,占到全国总数的50%以上。3)水土流失成因复杂,区域差异明显。我国东北黑土区、北方土石山区、黄土高原区、长江上游及西南诸河区、北方农牧交错区、西南岩溶石漠化区、南方红壤区等各区域的自然和经济社会发展状况差异大,水土流失的主要成因、产生的危害、治理的重点各有不同。

2 土壤侵蚀过程及其调控机制

近 60 年来,我国土壤侵蚀过程及其调控理论研究取得了丰硕成果。在黄土高原地区,较系统地研究了细沟侵蚀的发生发展过程及其机制、影响因素、定量测算方法及防治途径;定量分析了梁峁坡面各侵蚀分带之间在侵蚀过程中的相互作用及其机制,对坡面水土保持措施的配置有重要的指导作用^[15];揭示了土地利用与生态过程的相互作用机制,提出了黄土丘陵坡地和小流域土地合理利用模式^[16]。在西南地区,阐明了紫色土坡面壤中流特征,揭示了在壤中流和地表径流共同作用下紫色土坡面和红壤坡面土壤侵蚀过程;建立了包含浅沟侵蚀的陡坡土壤侵蚀模型,解决了国际上通用土壤侵蚀模型对陡坡侵蚀预报的不准确性问题^[17-18];系统研究了黄土高原降雨与产沙的关系,提出了侵蚀性降雨的临界参数,给出了符合黄土高原地区的降雨侵蚀力指标及其计算方法^[19];探索黄土丘陵沟壑区产沙特点和输沙规律,坡面、沟道的侵蚀产沙具有非线性的叠加效应,对黄土坡面土壤侵蚀过程及不同侵蚀带的产沙关系也取得了一定的认识^[20];初步阐明了黄土高原地区不同空间尺度侵蚀产沙规律,揭示了土地利用/覆盖变化对侵蚀过程和水文过程的调控,建立了不同尺度条件下植被-侵蚀-土壤互动效应预报模型^[21];揭示了长江上游水沙过程之间的时空变化规律,明确了上游侵蚀量大于输移量的原因及发展趋势、堆积极限;探索出开展水土保持须以小流域为单元进行综合治理,构建了农林牧相结合综合治理的理论和技术,提出了黄土高原综合整治的“28 字方略”^[22],提出“径流调控理论是水土保持的精髓”,而“合理地调配坡面径流”是控制水土流失的关键^[23]。

在土壤侵蚀预报模型研究方面,按照坡面、小流域和区域不同尺度进行了研究,取得了进展。对于坡面尺度提出了 2 个经验模型,一种基本型式^[24]为 $A = R K L S B E T$, 式中: A 为多年平均土壤流失量, $t/(km^2 \cdot a)$, R 为降雨侵蚀力因子, K 为土壤可蚀性因子, L 和 S 为坡长和坡度因子; B 、 E 、 T 分别为水土保持措施的生物、工程和耕作措施因子(量纲为 1)。另一种基本型式^[25-26]为 $A = R K L S G C P$, 式中: G 为浅沟侵蚀影响因子(量纲为 1); C 为植被覆盖因子(量纲为 1); P 为各种水土保持措施因子(量纲为 1),该模型首次在坡面模型中增加了浅沟侵蚀影响因子。对于小流域尺度,基于黄土丘陵区土壤侵蚀的特点,建立了基于侵蚀过程的小流域分布式水文

- 侵蚀模型 WEPM 1.0,从产流产沙、水流汇集及泥沙输移的物理概念出发,实现了对林冠截流、降水入渗、地表填洼、径流汇集、土壤剥离、泥沙搬运等水文和侵蚀过程的模拟^[27],该模型建立了坡面不同侵蚀形态发生演变的判定式,并针对黄土高原土壤侵蚀垂直分带的特点,构建了各带子模型^[28]。对于区域尺度,根据国家和区域水土保持调查,区域水土流失、水土保持与全球变化关系研究的要求,将区域水土流失过程概化为降水产流产沙过程、泥沙物质输移过程和水土流失治理过程,在以往研究基础上,初步建立了区域水土流失模型^[29-30]。

3 黄河泥沙来源与粗泥沙集中来源区的界定

黄河难以治理的症结在于泥沙,泥沙主要源于黄土高原地区的水土流失。钱宁与黄河水利委员会合作,在分析总结黄河泥沙运动与沉积规律时,基于大量野外河道泥沙沉积物粒径组成的实测资料,首次把黄河下游泥沙运动、沉积与中游泥沙来源区建立起联系,揭示了黄河下游泥沙淤积主要来自中游的粗泥沙来源区洪水,提出了把集中治理中游粗泥沙来源区作为治黄战略的建议^[31]。这一成果对黄河泥沙来源认识是一个重要发展,对黄土高原水土流失重点治理与指导治理工作都具有重要意义。

钱宁等人于 20 世纪 50 年代就开始从事黄河泥沙问题的研究,分析了粗泥沙对黄河下游河道淤积的贡献,并对粗泥沙来源区进行了长期调研工作。在分析河床质钻孔和水文统计资料基础上,明确指出:从黄河下游不同河段的滩槽物质组成可知,在主槽中特别是在主槽深处的泥沙,极大部分是大于 0.05 mm 的粗颗粒泥沙;在滩地上,由于河道摆动,粗颗粒也占 1/2 以上^[32];减少下游河道淤积,主要应控制大于 0.05 mm 的粗颗粒泥沙;鉴于黄河流域地域辽阔,治理的任务十分繁重,需要明确区域重点,当前如能集中精力搞好粗泥沙来源区生态治理,黄河下游的泥沙淤积情况便会明显改善。

黄河水利委员会于 1975 年绘制了黄河中游粗泥沙输沙模数图,钱宁等^[33]于 1979 年提出粒径大于 0.05 mm 的粗泥沙主要集中在 2 个区域,分别为黄甫川至秃尾河等各支流的中下游地区(粗泥沙输沙模数达到 10 000 $t/(km^2 \cdot a)$)和无定河中下游区(粗泥沙输沙模数达到 6 000 ~ 8 000 $t/(km^2 \cdot a)$)及广义的白于山河源区(粗泥沙输沙模数达到 6 000 $t/(km^2 \cdot a)$ 左右)。龚时功等^[34]在 1979 年研究黄河泥沙来源及地区分布后提出,80% 粒径大于 0.05 mm

的粗泥沙来自 11 万 km^2 , 50% 来自 4.3 万 km^2 。此后, 钱宁等进一步提出, 应该把 5 万 ~ 10 万 km^2 的多沙粗沙区作为水土保持工作的重点。对黄河粗泥沙集中来源区的界定, 对于构建黄河水沙调控体系, 减少干流水库和下游的泥沙淤积, 保障黄河防洪安全, 维持黄河健康生命, 促进流域国民经济和社会的可持续发展具有重要的现实意义。

黄河水利委员会于 2004—2005 年组织有关单位进行了进一步研究^[35], 通过分析三门峡库区和下游河道淤积物粒径以及黄河下游不同粒级泥沙淤积比发现: 自然条件下, 下游河道主槽淤积物中, 粒径大于 0.1 mm 的泥沙所占比例较高 (50.7%); 小浪底水库运用以来的实测资料表明, 0.1 mm 以上的泥沙也难以冲刷, 因此, 选取 0.1 mm 为界定黄河中游粗泥沙集中来源区的粒径界限, 选定以 0.1 mm 的粗泥沙输沙模数 $1\ 400\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 为指标, 界定出黄河中游粗泥沙集中来源区面积为 1.88 万 km^2 。黄河中游粗泥沙集中来源区涉及皇甫川—佳芦河区间, 无定河的芦河、大理河, 延河和清涧河上游一带, 无定河下游等 3 个区域。粗泥沙集中来源区面积仅占黄河中游多沙粗沙区面积 (1.88/7.86) 的 23.9%, 可产生的泥沙达 4.08 亿 t, 占多沙粗沙产沙量的 34.5%, 大于 0.05 和 0.1 mm 的粗泥沙量分别达 1.52 亿和 0.61 亿 t, 占多沙粗沙区相应粒径输沙量的 47.6% 和 68.5%。

4 风力侵蚀机制及沙漠化防治

我国的沙漠与沙漠化科学从无到有, 并以其创新性和系统性的理论进展, 经济、社会和环境效益的实践成果, 极大地推动了风蚀领域学科发展的同时, 又为北方地区经济社会发展和生态环境保护建设做出了突出的贡献。目前, 已形成了以中国科学院和国家林业局有关研究所为主体的国家级沙漠和沙漠化研究机构, 汇集了一批优秀的沙漠和沙漠化科学家, 创建了我国比较完整的沙漠和沙漠化科学及其研究体系, 在风沙物理与沙漠环境、沙漠形成演变与全球变化、沙漠化过程及其防治、沙区资源环境与可持续发展、沙漠化遥感与信息系统综合研究等方面取得了重大进展^[36]。在全国主要沙漠和沙漠化地区设有一批长期野外试验站(点), 已为国家在有关沙漠开发利用和沙漠化防治方面的决策提供了大量的科研成果和理论依据。过去 20 年来, 北方约有 10% 的沙漠化土地得到治理, 12% 的沙漠化土地有所改善, 局部地区出现“人进沙退”的新局面^[37]。

我国沙漠科学研究和实践所取得的辉煌成就, 得到了政府、地方民众、科学界和国际社会的普遍认可。

我国先后于 2000 和 2008 年启动了 2 项风蚀机制与沙漠化防治方向的 973 计划项目, “中国北方沙漠化过程及其治理研究”项目围绕我国北方沙漠化过程及其防治、区域生态环境建设与经济社会可持续发展中的基础理论问题, 开展了多学科综合研究, 取得了一些创新性研究成果, 具有重要的理论价值, 对推动我国沙漠化防治具有重要指导意义。王涛等^[38]认为: 本项目确定了 2000 年以来重点沙漠化地区水系和古绿洲迁移与土地覆盖变化格局, 恢复了历史时期沙漠化的基本过程、格局和演变序列, 阐明了历史时期沙漠化发展的驱动机制, 揭示了土壤风蚀和沙尘起动的物理机制, 确定了土壤风蚀容忍量、定量评价体系, 风沙电场形成机制、分布规律和影响; 确定了主要沙尘源区、沙尘暴移动规律和形成机制, 建立了沙尘暴监测、预报预警方法和系统; 研究了土壤碳、氮衰减规律及其对沙区植被的影响, 揭示了沙漠化过程中植物的受损过程、适应对策和植被恢复机制; 阐明了我国近 50 年来沙漠化的过程、成因、现状及其发展趋势, 定量给出了沙漠化空间变化态势, 提出了重点地区防治沙漠化、社会经济与环境协调发展的模式和对策。

5 侵蚀环境演变与调控

在全球气候变化的背景下, 确切地理解土壤侵蚀环境变化过程是当前重要的科学研究任务, 对土壤侵蚀发生发展规律与生态环境演变的关系研究也是国际地学研究的前沿问题。贺秀斌^[39]以土壤微形态方法为主, 结合理化、矿物和孢粉分析方法, 融合土壤学、生物学和第四纪地质学, 揭示了黄土剖面中成壤和沉积过程随生物气候变化而发生交替演化的时空特征, 证实了地质时期土壤侵蚀强烈期发生在黄土沉积与成壤的过渡期, 发生环境为半干旱环境, 探讨了黄土剖面形成的生物气候环境背景及土壤侵蚀强弱交替的时空规律。

长期以来, 随着人口的增加和毁林毁草垦殖率的上升, 黄土高原地区的土壤侵蚀、黄河泥沙及早、洪灾害, 呈急剧发展的趋势^[40]。景可等^[41]全面分析了黄河中游侵蚀环境的自然和社会 2 方面的基本特征, 提出黄河中游的侵蚀环境具有分带性、旋回性和周期性, 特别是进行了黄土—古土壤序列的粒度、硅酸体、磁化率和稳定同位素研究, 记录了黄土高原第四纪古气候的演变和变化周期, 并预测了未

来侵蚀环境的发展趋势,提出了在史前是以自然侵蚀为主,以后自然侵蚀仍占主导地位,但人类活动加剧了土壤侵蚀强度的变化,这一结论对指导黄河流域的水土保持工作有重要意义;同时,应用统计模型、方法,结合全球变化情景,预测了黄河中游地区降水、植被等侵蚀环境和侵蚀量的变化趋势,指出在全球气候变暖的情况下,21 世纪中叶处于相对湿润期,综合考虑人类活动各种影响,中游地区的侵蚀总量将趋于减少;评价了黄土高原人为破坏植被的加速侵蚀,发现人为破坏植被的加速侵蚀量达 $9\,000 \sim 21\,700\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,是同样条件下对照林地侵蚀量的几百倍至几千倍,是 250 万年以来黄土年均降尘量的几十倍至几百倍^[42]。说明在黄土高原人为破坏生态平衡,可使黄土高原原先是黄土沉积的自然地质过程倒转为黄土侵蚀的人为地质过程。

人为加速侵蚀可以引起区域性、地带性的景观特征和生态系统发生根本性的变化,比如,地处热带、亚热带的不少森林地区,因人为滥伐、滥垦、滥牧,不仅使森林景观消失,而且导致土层全部流失,出现了与原地带相逆的岩漠化侵蚀景观^[43]。董光荣等^[44]对中国北方沙漠化的成因研究指出:2 000 多年以来的历史时期,人类活动对沙漠化发展的影响越来越大,但沙漠化仍然受制于千年和百年尺度的气候波动。因土壤侵蚀而造成的岩漠化和沙漠化,使得土地丧失了生产力,甚至丧失了人类最起码的生存条件,当地居民不得不迁移。

6 小结

虽然近几年来我国土壤侵蚀学科取得了明显进展,但由于我国生态—资源—环境—发展—经济间的尖锐矛盾,加之全球气候变化的深刻影响,我国水土保持科学研究存在着许多亟待解决的问题。针对我国土壤侵蚀类型的多样性、侵蚀过程的复杂性、人类活动强度大,以及水土保持措施的综合性的特点,适应国家水土流失防治的迫切需求,土壤侵蚀学科需要进一步加强以下 3 方面的研究。

1) 深入研究我国复杂侵蚀环境下的水土流失过程及驱动机制。我国由南到北,随着气候条件、地形地貌、土壤、植被等自然条件和人为影响的变化,土壤侵蚀的发生发展过程、驱动机制也表现出明显的差异。需要从坡面、流域、区域 3 种尺度,系统地研究不同类型土壤侵蚀的影响因子、作用原理、演变规律及其区域差异,定量表述土壤侵蚀过程,为科学评价自然侵蚀与人为加速侵蚀的相互关系,构建适用

于我国复杂环境条件的土壤侵蚀模型和制定水土流失调控措施提供理论基础。

2) 建立复杂环境条件下土壤侵蚀模型构建的理论与方法。土壤侵蚀过程是多因子交互作用,发生在特殊地理空间,具有独特水—土界面相互作用机制的连续动力学过程,但目前土壤侵蚀机制研究仍套用相邻或相近学科的理论,如山坡水文学、泥沙运动力学等,这对土壤侵蚀规律本质的深入认识还不够。依据复杂环境特征和土壤侵蚀发生发展过程与驱动机制的研究,系统地总结不同类型区已有的观测试验研究结果,提出我国土壤侵蚀因子评价指标和方法,定量评价不同尺度各因子对土壤侵蚀量的影响和各侵蚀单元之间的相互传递关系,建立坡面、小流域和区域尺度的土壤侵蚀模型,同时提出不同区域评价参数的确定原则与取值范围,形成适合复杂环境土壤侵蚀模型构建的理论与方法,既能为我国水土保持规划、设计和评价提供工具,又能丰富土壤侵蚀与水土保持学科的内涵。

3) 深化与拓展研究领域,丰富和完善土壤侵蚀学科体系。土壤侵蚀过程发生在地表各圈层相互作用强度最大的土壤圈,其中既包含了多种复杂的环境要素的相互作用和反馈,也包含了地表地域单元间的物质迁移、传输和相互作用。水土保持是人类作用于地表生存环境的主要方式,已经并将继续对区域性和全球性环境要素和环境过程产生多种深刻而广泛的影响。针对重大水土保持生态环境建设工程和全球变化对区域侵蚀的影响,开展土壤侵蚀与全球变化关系研究,有助于理解我国未来土壤侵蚀及其环境特征变化趋势,也会深化和拓展土壤侵蚀研究领域,为地球表层系统科学的发展做出贡献。

7 参考文献

- [1] 郑粉莉,王占礼,杨勤科. 我国土壤侵蚀科学研究回顾和展望. 自然杂志, 2008, 30(1): 12 - 16
- [2] 李锐. 中国水土流失基础研究的机遇与挑战. 自然杂志, 2008, 30(1): 6 - 11
- [3] 朱显谟. 我国十年来水土保持工作的成就. 土壤, 1959 (10): 45 - 49
- [4] 陈永宗. 黄土高原土壤侵蚀规律研究工作回顾. 地理研究, 1987, 6(1): 76 - 80
- [5] 唐克丽, 郑芬莉, 史德明. 土壤侵蚀研究回顾与展望. 土壤学报, 1989, 26(3): 226 - 233
- [6] 杨勤科, 李锐. 我国区域土壤侵蚀与环境研究述评. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(6): 90 - 94
- [7] 郑粉莉, 王占礼, 杨勤科. 土壤侵蚀学科发展战略. 水

- 水土保持研究, 2004, 11(4): 1 - 10
- [8] 冷疏影, 冯仁国, 李锐, 等. 土壤侵蚀与水土保持科学重点研究领域与问题. 水土保持学报, 2004, 18(1): 2 - 6
- [9] 朱显谟, 陈代中, 杨勤科. 1:1500 万中国土壤侵蚀图《中华人民共和国自然地图集》编辑委员会. 中华人民共和国自然地图集第二版. 北京: 中国地图出版社, 1999
- [10] 朱显谟. 1:1500 万中国土壤侵蚀图《中华人民共和国自然地图集》编辑委员会. 中华人民共和国自然地图集. 北京: 科学出版社, 1965
- [11] 黄秉维. 编制黄河中游流域土壤侵蚀分区图的经验教训. 科学通报, 1955(12): 15 - 21
- [12] 辛树帜, 蒋德麒. 中国水土保持概论. 北京: 农业出版社, 1982
- [13] 鄂竟平. 中国水土流失与生态安全综合科学考察总结报告. 中国水土流失与生态安全综合科学考察总结会. 北京, 2008
- [14] 李智广, 曹炜, 刘秉正, 等. 我国水土流失状况与发展趋势研究. 中国水土保持科学, 2008, 6(1): 57 - 62
- [15] 郑粉莉, 高学田. 黄土坡面土壤侵蚀过程与模拟. 西安: 陕西人民出版社, 2000
- [16] 傅伯杰, 陈利顶, 邱扬, 等. 黄土丘陵沟壑区土地利用结构与生态过程. 北京: 商务印书馆, 2002
- [17] Liu Baoyuan, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes. Transaction of American Society of Agriculture Engineers. 1994, 37(6): 1835 - 1840
- [18] Liu Baoyuan, Nearing M A, Shi Peijun, et al. Slope length effects on soil loss for steep slopes. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(5): 1759 - 1763
- [19] 王万忠, 焦菊英. 黄土高原降雨侵蚀产沙与黄河输沙. 北京: 科学出版社, 1996
- [20] 姚文艺, 汤立群. 水力侵蚀产沙过程及模拟. 郑州: 黄河水利出版社, 2001
- [21] 余新晓, 秦富仓. 流域侵蚀动力学. 北京: 科学出版社, 2007
- [22] 朱显谟. 黄土高原的形成与整治对策. 水土保持通报, 1991, 11(1): 1-8
- [23] 郭廷辅, 段巧甫. 径流调控理论是水土保持的精髓: 四论水土保持的特殊性. 中国水土保持, 2001(11): 1 - 5
- [24] Liu Baoyuan, Zhang Keli, Xie Yun. An empirical soil loss equation. VoI II Process of Soil Erosion and Its Environment Effects. The Proceedings of 12th ISCO Conference. Beijing: Tsinghua University Press, 2002: 21 - 25
- [25] 江忠善, 郑粉莉, 武敏. 中国坡面水蚀预报模型研究. 泥沙研究, 2005(4): 1 - 6
- [26] 江忠善, 郑粉莉, 武敏. 坡面水蚀预报模型研究. 水土保持学报, 2004, 18(1): 66 - 69
- [27] 贾媛媛, 郑粉莉, 杨勤科. 黄土高原小流域分布式水蚀预报模型. 水利学报, 2005, 36(3): 328 - 332
- [28] 李彬彬. 黄土高原小流域土壤侵蚀模型试验研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2009
- [29] 杨勤科, 李锐, 徐涛, 等. 区域水土流失过程及其定量描述的初步研究. 亚热带水土保持, 2006, 18(2): 20 - 23, 31
- [30] 姚志宏, 杨勤科, 吴喆, 等. 区域尺度侵蚀产沙估算方法研究. 中国水土保持科学, 2007, 5(4): 13 - 17
- [31] 王光谦, 夏军强. 河流泥沙 水利部国际合作与科技司. 当代水利科技前沿. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 189 - 218
- [32] Bagnold R A, 钱宁, 林秉南. 风沙和荒漠沙丘物理学. 北京: 科学出版社, 1959
- [33] 钱宁, 万兆惠, 钱意颖. 黄河的高含沙水流问题. 科学通报, 1979, 24(8): 368 - 371
- [34] 龚时功, 熊贵枢. 黄河泥沙的来源与输移. 人民黄河, 1979(1): 7 - 11
- [35] 水利部黄河水利委员会. 探索之路: 黄河中游粗泥沙集中来源区界定研究. 郑州: 黄河水利出版社, 2006
- [36] 王涛. 我国沙漠与沙漠化科学发展的战略思考. 中国沙漠, 2008, 28(1): 1 - 7
- [37] 王涛, 赵哈林. 中国沙漠科学的五十年. 中国沙漠, 2005, 25(2): 145 - 165
- [38] 王涛, 陈广庭, 赵哈林, 等. 中国北方沙漠化过程及其防治研究的新进展. 中国沙漠, 2006, 26(4): 507 - 516
- [39] 贺秀斌. 20 万年来黄土剖面土壤发生学特征与侵蚀环境演变. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(2): 92 - 94
- [40] 唐克丽. 中国水土保持. 北京: 科学出版社, 2005
- [41] 景可, 梁季阳, 卢金发, 等. 黄河中游侵蚀环境特征和变化趋势. 国家科技成果 [EB/OL]. (2005 - 12 - 21) [2009 - 07 - 15]. <http://dbpub.cnki.net/ Grid2008/ Unis/ detail. aspx? filename = SNAD000000228200&dbname = SNAD #>
- [42] 郑粉莉, 唐克丽, 张科利, 等. 自然侵蚀和人为加速侵蚀与生态环境演变. 生态学报, 1995, 15(3): 252 - 258
- [43] 唐克丽. 土壤侵蚀环境演变与全球变化及防灾减灾的机制. 土壤与环境, 1999, 8(2): 81 - 86
- [44] 董光荣, 靳鹤龄, 陈惠忠, 等. 中国北方半干旱和半湿润地区沙漠化的成因. 第四纪研究, 1998(2): 136 - 144

(责任编辑: 宋如华)