

水土流失对水环境影响研究进展

吕俊杰 杨浩

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 本文在系统整理有关文献的基础上,全面总结了水土流失对水环境影响研究和水土流失对水环境影响模型研究方面的最新进展,提出了研究中存在的问题,并展望了水土流失对水环境影响研究的进一步发展方向。

关键词 水土流失; 水环境; 模型; 污染

中图分类号 S157; X143

水环境的污染和破坏已成为世界上最引人注意的问题之一。水环境与人类的生存环境息息相关。水环境的好坏直接关系到人类的生存发展。水环境一般指围绕于人类的河流、湖泊、水库、海洋以及地下水等“地表储水体”的总称。水环境不仅包括水,而且包括水中的悬浮物、底泥,乃至水生生物等^[1]。水土流失已经成为当今世界面临的主要环境问题之一。水土流失是在水力、重力、风力等外营力的作用下,水土资源和土地生产力的损失和破坏,包括土地表层侵蚀及水的损失^[2]。水土流失不仅使得农业资源遭到破坏,引起土壤退化,降低土地生产力,而且造成水环境的非点源污染和水质的恶化。随着社会经济的不断发展和人类对生存环境质量要求的不断提高,了解水土流失及土壤侵蚀对水环境影响研究进展对于开展水环境污染治理研究工作,提高水环境质量,有着重要的意义。

1 研究进展

1.1 水土流失对水环境影响研究进展

1.1.1 水土流失对水环境影响研究概况 欧阳球林^[3]认为水土流失对水环境的影响是多方面的。物理上,严重影响水的感官性能,即浑浊度增大,尤其降雨期间显著;化学上,主要是加快了富营养化进程,从而导致藻类的迅速繁殖。从生物、微生物学上讲,微生物大量增加,还可能有病毒性细菌的存在。不同的地表覆盖,产流产沙量不同。不同的经营方式,天然地表径流中养分的含量有很大差异。

许多学者认为水土流失及土壤侵蚀与水环境的恶化有着密切的联系。Alan Olness 等^[4]研究发现

农耕地径流产生的养分流失对农业生产的没有多少经济意义,但从水质量的观点出发,流失养分分散的浓度、形态、总量所造成的非点源污染不论对农业经营还是随后的水用户都是十分重要的。Young RA 等^[5]指出农业经营活动中产生的径流和渗透污染对水环境有很大冲击。这些污染的来源主要包括农村和郊区土地和侵蚀河岸产生的侵蚀和泥沙沉积,从牲畜肥料和农耕地产生的养分和有机物质。水体的 N 污染直接与径流、渗漏和土壤侵蚀有关^[6]。流域泥沙侵蚀与富营养化有着密切关系^[7]。Renard KG and Ferreira VA^[8]认为土壤侵蚀与河流和水库中泥沙决定着地表水的质量。农业的发展及维持要求不断向土地投入化肥、农药,其结果污染了土地,并通过水土流失,将污染物输入各类水体^[9]。水土流失与非点源污染是一对密不可分的共生现象^[10, 11]。Gasil Gomez^[12]指出非点源污染是地表水污染的重要途径,而农地的土壤侵蚀产生的泥沙是最重要的非点源污染物质,严重影响地表水的质量。贺缠生等^[13]提出土壤侵蚀是规模最大、危害程度最严重的一种非点源污染,从表面上看,土壤侵蚀损失了土壤表层的有机质层,但同时随着土壤侵蚀,有许多污染物进入水体,形成非点源污染。土壤侵蚀是农业非点源污染的重要内容。人们已经认识到水土流失不仅使土壤环境和质量得到损失,而且给收纳水体带来危害,因为流失的水土是污染物的重要载体^[14]。农业土壤侵蚀及其引起的肥料中 N、P 等化学物质在径流中的迁移决定着土壤生产力和水的质量^[15]。金相灿等^[16]研究表明局部水土流失也是造成太湖水质不断恶化和富营养化的一个重要原因。土地非点源水质的成分包括盐分、泥沙、养分和细菌,

这些都是自然径流的产物^[17]。Chamber BJ 等^[18]发现土壤侵蚀产生的泥沙携带 P 元素和农药可以污染水资源。

李清河等^[19]认为加速侵蚀会造成土粒和化学物质迁移和运动的危险。加速侵蚀不仅威胁到土壤,而且影响到水质,特别是农业性非点源污染中,土壤侵蚀是主要的发生形式,所以土壤侵蚀是一种重要的非点源污染。不但由土壤侵蚀带来的泥沙本身就是一种非点源污染物,泥沙(特别是细颗粒泥沙)是有机物、金属、铵离子、磷酸盐以及其它有毒物质的主要携带者,所以土壤侵蚀会给受纳水体水质带来不良影响。陈守煜^[20]研究认为碧流河水库流域内水质的污染威胁主要来自非点源,原因是由水土流失造成的。水土流失使农药化肥中的 N、P、COD 进入碧流河水体。王宁等^[21]研究表明水土流失带来的泥沙的淤积,使松花湖湖区泥沙入库量由建厂时设计的 145 万 t/年增长到 90 年代的 700 万 t/年;另外,土壤养分流失每年达总 N 为 31414.75 t,总 P 为 1020.46 t, K 为 8561.31 t,有机质为 64914 t,这些营养物质通过 152 条大小支流输入松花湖,对湖水造成污染。USEPA 在 1996 年指出水体富营养化是众多地表水质量受到损害的主要问题,而美国有 50% 的湖泊和 60% 的河流是由于农业来源的养分损害水质。Alan Olness 等^[4]通过实验发现由于相当一部分养分包含或吸附在泥沙上,所以减少径流中的泥沙能够提高地表水的质量。Forster DL 等^[22]估算了公用水处理费和土壤侵蚀的相关性,分析表明土壤侵蚀对水质有很大影响,年土壤流失总量下降 10%,年水处理费可减少 4%。对而后俄亥俄州的水厂来说,土壤侵蚀减少 25%,年水处理费用减少 270 万美元。唐克丽等^[23]研究认为黄河干流及其大部分支流泥沙中的颗粒组成与养分含量接近各自流失地的耕层土壤,坡耕地的水土流失为输入黄河泥沙的重要来源。毛卫兵等^[24]研究了水土流失对东平湖水质的主要影响后发现:进入东平湖的颗粒包括有机物、黏土、砂和淤泥,主要通过流域降雨径流冲刷进入湖泊。由于水土流失随泥沙输入东平湖的总 N 量为 715 t/年,总 P 量为 31 t/年,占湖泊污染外负荷的 16%。N、P 等营养物质的大量输入是使东平湖水体产生水体富营养化的一个主要原因。另外由于大量泥沙进入东平湖,降低了湖水的透明度和光的有效性,影响了水生生物的生长。水土流失产生大量的泥沙进入湖泊使湖泊面积逐渐变小,降低了湖泊的各种功能。Marc O. Ribaud^[25]指出农

业生产中部分泥沙和化学物质流失到环境中是不可避免的。泥沙、养分和农药可以通过径流进入地表水源当中。李景保等^[26]研究了洞庭湖水系江湖流域物质侵蚀及其迁移与归宿后发现:地表物质被侵蚀淋溶后,在径流作用下,经过沿途堆积、沉淀、搬运随径流进入水体,主要河流年入湖物质总量达 24177×10^4 t (沙量 19329×10^4 t)。

1.1.2 水土流失与 P 的迁移及富营养化研究进展在过去的几十年里,源于农业非点源污染造成 P 在地表水中的富营养化问题日趋严重。大多数研究和点源污染治理研究强调,由于 P 在土壤中的相对难移动性, P 的流失主要是通过地表侵蚀和径流造成的。强调土壤侵蚀和径流对 P 迁移的影响,主要通过水土保持措施来减少侵蚀和径流,从而减少 P 的流失,达到控制非点源污染的目的。研究表明,从土壤中流失的溶解态 P 和从土壤中流失的颗粒态 P 一样可以引起非点源污染^[27]。Andrew Sharpley 等^[28]通过研究发现农耕地 P 的流失对农民本身没有太大的损失,但它可以通过加速富营养化导致水质下降。农耕地中 P 流失的主要机制是通过径流和侵蚀。侵蚀增加,径流中的颗粒态 P 浓度增加。土壤颗粒态 P 的流失不仅与自然降雨条件有关,而且与径流和侵蚀的土壤因子及管理因子有关。Gaynor JD and Findlay WI^[29]发现由于农业原因而使得安大略湖的 P 富营养化问题也非常突出。努力防止侵蚀,保护耕作在安大略被大力提倡。保护耕作措施能够减少径流中的泥沙,有效的降低侵蚀,但增加了 P 的流失。Andrew Sharpley, Smith SJ 等^[30]进一步研究指出 P 在径流中流失的总量不仅与土壤测试 P 有关,而且与径流的路径和土壤的侵蚀潜力有关。由于气候、地形和农业因素而引起的径流的总量和侵蚀变化对于 P 的流失的决定作用比土壤测试 P 更大。Lentz RD 等^[31]的实验表明由于被侵蚀的泥沙的携带,在农田进行漫灌时,大部分 P 发生流失,引起水体非点源污染。William J. Gburek and Andrew N. Sharpley^[32]认为当前的主要问题是如何在流域中找到具体的径流和侵蚀区域,掌握径流和侵蚀的失控变化,了解 P 的迁移机制,为通过选择好的管理措施来控制径流量降低 P 向水体输入提供依据。Withers PJA and Jarvis SC^[33]认为农业对于 P 向水体的输入有重要影响。土壤侵蚀是干旱地区 P 迁移的主要过程,有效的土壤侵蚀防止措施能够有效的减少径流和泥沙损失,从而降低 P 的损失,缓解水环境恶化压力。Chamber BJ 等^[18]田间实验估测表明

土壤流失的 P 素有 40% 直接进入地表水系统。Westermann DT^[34] 指出河流和湖泊的富营养化常常因接受地表径流中 P 的情况受到控制。地表灌溉径流中常常携带土壤颗粒和 P, 径流中侵蚀泥沙中由于含有更多的细颗粒而产生养分富集。研究发现灌溉径流中 P 的平均浓度与径流中侵蚀泥沙浓度有很好的线性相关关系。

1.1.3 农业管理及水土保持措施对水环境影响研究进展 Seungmo Koo and Penelope L Diebel^[35] 研究发现由于径流中 ATRZINE 的高含量和强度土壤侵蚀, 卡萨斯州东北传统的耕作体系是一种不好的系统。小麦、苜蓿、高粱和大豆轮作可以成功控制 ATRAZINEHE 和 N 对地表水的污染和径流中的泥沙。Pamela J. Rice 等^[36] 认为由于地膜覆盖增加了地表径流, 加剧了侵蚀而增加了径流中溶解态和颗粒态农药的负荷。因此, 蔬菜生产特别是应用地膜覆盖生产过程中产生的径流对水质的退化有很大作用并影响鱼虾和其它水生物的生长。Charles M Cooper and William M Lipe^[37] 研究认为没有水土保持措施的传统耕作方式, 加剧了土壤侵蚀, 增加了泥沙、养分和农药的流失。侵蚀过程最终导致土壤生产力下降和河流湖泊的破坏。径流中携带的泥沙使水质退化, 携带的养分和农药影响水生物的生长。泥沙是最大的污染物, 大部分农业养分和农药随径流而迁移。有效的水土保持经营管理方式可以防止侵蚀, 减少径流, 控制水质的退化。增加地表渗透或间隔带状应用地膜的经营方式可以降低径流量, 从而通过减少土壤侵蚀来减少通过泥沙及径流携带的颗粒态和溶解态农药, 达到降低对水环境的影响。Robinson CA, Ghaffarzadeh M and Cruse RM^[38] 实验发现通过建立最佳的植被过滤带来减少径流中的泥沙、径流总量和土壤流失对于农业非点源污染控制无论是从经济还是实践方面都是有益的。Bundy LG 等^[39] 通过试验发现农耕地径流中 P 的流失对地表水的污染有重要影响, 因为这些 P 可以促进湖泊和河流中杂草和海藻的生长。因为不同管理措施影响径流中泥沙的浓度和负荷, 所以通过设计较好的耕地管理措施可以促进渗透和减少径流以降低由于 P 的损失所带来的污染。Gilley JE 等^[40] 认为可以通过实行免耕少耕计划, 改善高强度侵蚀土壤使它们恢复粮食生产关系到水质和土壤生产力问题。许歌辛^[41] 认为土壤污染为水质污染提供了前提, 水土流失是加剧水质污染的主要因素。指出水土保持是防治水质污染的有效途径。

水土流失与土壤侵蚀对水环境的影响主要集中在: (1) 侵蚀泥沙本身就是非点源污染物, 造成江河湖泊泥沙淤积, 水体浑浊, 降低了江河湖泊的防洪泄洪功能; (2) 侵蚀径流和泥沙携带大量的化肥农药等污染物进入水体, 尤其 N、P 输入, 造成水体富营养化, 引起水环境恶化; (3) 由于侵蚀泥沙和所携带的化肥农药病菌等污染物的进入影响了水生生物的生存环境, 影响了水生生物的生长。

1.2 水土流失对水环境影响模型研究进展

水土流失对水环境的影响模型研究主要集中在降雨径流、侵蚀泥沙和泥沙携带的污染物的估算及模拟方面。国内外许多机构和学者在这方面做了大量工作。

Beasley DB 等^[42] 在 ANSWERS 模型 (区域非点源流域环境响应模拟模型) 的基础上, 运用模拟技术估算了水土保持耕作对泥沙及 P 进入伊利湖的影响, 发现一个现实而又见效快的措施是将 50% 的土地改为凿形犁耕作, 如果全部流域这样处理, 则能减少 P 831 t。Young RA 等^[5] 研究发现农业经营活动中产生的径流和渗透污染对水环境有很大冲击。这些污染的来源主要包括农村和郊区土地和侵蚀河岸产生的侵蚀和泥沙沉积, 从牲畜肥料和农耕地产生的养分和有机物质。建立 AGNPS 模型 (农业非点源污染模型) 用来估计面积在 $2 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的农业流域的径流水的质量。该模型主要考虑因子是: 水文、侵蚀、泥沙和化学物质迁移。美国通用土壤流失方程式 (USLE), 因较好的解决了估算特定条件下的长期平均土壤流失量问题而广泛应用于水环境非点源污染模型之中。Renard KG and Ferreira VA^[8] 指出水质模型经常用来评价侵蚀物质进入水资源的量。地表水质问题历来因为农田侵蚀和下游泥沙破坏而受到人们的重视。许多农业化学物质的迁移是通过泥沙的吸附来实现的。从丘陵区迁移的化学物质越来越受到人们的关注。将 RUSLE 综合到更多的模型 (例如 AGNPS) 中, 建立修正的 RUSLE, 能更好的评价水质变化。Tony Prato 等^[43], Udoyara STim 等^[44] 认为加速侵蚀导致的河床淤积、农业径流中携带的养分和农药等是对水质造成损害的主要污染物。将 GIS 技术和 AGNPS 模型结合起来进行农业非点源污染的评价对农业经营和环境保护工作将提供有效的手段。沈冰等^[45] 在总结国外土壤中农用化合物随地表径流迁移研究时指出 70 年代末结合侵蚀和泥沙的降雨径流代表性模型是美国环境保护署研制的 ARM (农业径流管理) 模型和美国农

业部研制的CREAMS（农用化合物、径流和泥沙管理系统）模型，这两个模型都包括了养分和农药子模型，尽可能综合了相应的物理过程，但对某些极力作了简化，所以又有一定的局限性。同时介绍了JORGENSEN SE. 总结的农业降雨径流污染数学模型，它由4个不同层次的子模型构成。降雨径流子模型由降雨形成径流的过程，包括产流、汇流两个阶段，属第一层次；侵蚀和泥沙输移子模型描述坡面侵蚀及泥沙随径流输移的过程，包括坡面产沙及河网输沙两个阶段。该子模型属第二阶段。因为泥沙随降雨而形成随径流而输移，又会携带或吸附P、N、农药以及重金属等污染物。化合物迁移转化模型描述农用化合物在径流形成过程中的转化和迁移，涉及化合物的物理、化学及生物化学变化。受纳水体水质子模型描述农业污染物在该水体中的传播及其对水质的影响。可见建立模型的合理次序是：降雨径流—侵蚀泥沙和泥沙输移—化合物迁移转化—受纳水体水质。

我国在土壤侵蚀与水环境污染模型研究方面比较薄弱。近年来对于模型的研究大多集中在对于已经建立的模型进行修正运用方面或局部模型建立，适合我国国情的简单实用模型工作相对比较少。王昕皓^[46]根据水文学、水力学的基本原理，认为地面径流是侵蚀和搬运污染物质的主要载体，将径流中污染物流失量看作径流量的单元函数，提出了非点源污染负荷计算的单元坡面模型法。刘枫等^[47]在于桥水库流域、于秀玲^[48]在密云水库流域非点源污染研究中，探讨了应用USLE（通用土壤流失方程）定量识别水环境非点源污染时空规律的方法。陈西平^[49]通过研究提出了计算降雨及农田径流污染负荷的三峡库区模型。

2 研究中存在的主要问题和展望

2.1 水土流失对水环境影响研究中存在的问题

综合前面的研究可以发现大多数学者认为水土流失与水环境的恶化有着密切的关系，水土流失和土壤侵蚀是加剧水环境污染的一个主要因素。但多数是从泥沙迁移和水体污染物的接纳量方面进行研究，而水土流失对水环境的影响机理研究相对较少，尤其由于水土流失直接引起的的水环境问题的系统研究更少。侵蚀泥沙、泥沙携带的污染物、地表径流携带的污染物3个因素的影响权重还需要深入研究。水体水危机和水土流失正越来越引起世人的关注，研究水土流失和土壤侵蚀对水环境的影响机理，

全面了解侵蚀泥沙和污染物质的物理搬运过程和化学迁移原理，对于开展水土保持和水环境治理显得尤为重要。

国外许多学者就水土流失对水环境的影响从不同的角度建立了许多模型。但是各种模型都有相当大的局限性，尤其在参数选择和指标选取方面，给模型的应用带来许多不便。我国在这方面的研究相对更是比较薄弱。所以建立实用性强，适合不同自然条件，能够对水土流失和水环境的变化进行准确预测预报的模型还需要进行大量的研究工作。

目前对于水土流失对水环境影响研究工作已经展开，并取得了一定的成果。在对广大生产一线的生产者提供教育、技术帮助、政策激励、示范项目推广方面，将最新研究成果应用于生产实践，在国外开展的相对比较普遍^[50]，但在中国相对较少。所以应进一步加强水土流失危害与水土保持意识教育，提高群众的思想认识，了解第一线生产者的想法，进行技术推广研究，寻找群众接受而且实用的管理措施，为由于水土流失引起的水环境的污染和治理从根本上寻找出路。

2.2 水土流失对水环境影响研究展望

水环境的污染包括点源污染和非点源污染两个方面，随着点源污染的控制，人们将逐渐把注意力转向到非点源污染上来，而水土流失作为水体非点源污染的主要形式及主要载体，必将受到人们的重视。

水土流失对土壤和农业的影响研究已经有了深入研究，所以探讨降雨-径流-侵蚀-水污染负荷间的关系，将水土流失与水环境作为一个系统来进行全面研究水土流失对水体污染的影响机理及影响模型、水土流失引起的水质污染监测调控是进一步开展水土流失对水环境影响研究的主要方向。

为防止水土流失对水环境的影响，开展水非点源污染的管理措施和技术研究。确立水土流失对水环境影响在空间上的轻重缓急，将土地规划、农业管理和地表水水质管理相结合，进行优化管理模式和技术研究，对于有关部门的决策和保护水环境是开展水环境保护工作的工作。

参考文献

- 1 朱德明. 区域水环境质量生态经济评价的原则、指标体系和方法探讨. 地理科学, 1990, 34 (4): 24~30
- 2 关君蔚. 水土保持原理. 北京: 中国林业出版社, 1996

- 3 欧阳球林. 水土流失对清林径水库水质的影响研究. 水土保持通报, 1999, 19 (3): 19~20
- 4 Alan Olness, Smith SJ, Rhoades ED and Menzel RG. Nutrient and sediment discharge from Agricultural watersheds in Oklahoma. J. Environ. Qual. 1975, 4: 331~336
- 5 Young RA et al. AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. J. Soil and Water Cons. 1995, 44 (2): 168~173
- 6 马立珊. 苏南太湖水系农业非点源氮污染及其控制对策研究. 应用生态学报, 1992, 3 (2): 346~354
- 7 吴德玲等. 滇池富营养化的成因分析. 环境科学研究, 1992, 5 (5): 26~28
- 8 Renard KG and Ferreira VA. RUSLE model description and database sensitivity . J. Environ. Qual. 1993, 22: 458~466
- 9 王艳平等. 控制农田非点源污染发生的操作机制. 水土保持科技情报, 1994, (4): 52~53
- 10 鲍全盛等. 我国水环境非点源污染研究与展望. 环境科学进展, 1995, 3 (3): 31~36
- 11 鲍全盛等. 我国水环境非点源污染研究与展望. 地理科学, 1996, 16 (1): 66~72
- 12 Basil Gomez. Assessing the impact of the 1985 farm bill on sediment-related non-point source pollution. J. Soil and Water Cons. 1995, 50 (4): 374~377
- 13 贺缠生等. 非点源污染的管理及控制. 环境科学, 1998, 19 (5): 87~91
- 14 张水龙等. 农业非点源污染研究现状与发展趋势. 生态学杂志, 1998, 17 (6): 51~55
- 15 Andrew Sharpley, et al. Gully treatment and water quality in the Southern Plains. J. Soil and Water Cons. 1996, 51 (6): 498~503
- 16 金灿相等. 太湖重点污染控制区综合治理方案研究. 环境科学研究, 1999, 12 (5): 1~5
- 17 Bruce P. Van haveren 等. 公用土地非点源污染的控制. 水土保持科技情报, 1987, (2):50~52
- 18 Chambers BJ, Garwood TW, and Unwin RJ. Controlling soil water erosion and phosphorus losses from arable land in England and Wales. J. Environ. Qual. 2000, 29: 145~150
- 19 李清河等. 土壤侵蚀与非点源污染预测控制. 水土保持通报, 1999, 19 (4): 54~57
- 20 陈守煜等. 碧流河水库水质状况的模糊模式识别及对策讨论. 环境科学研究, 1999, 12 (4): 42~45
- 21 王宁等. 松花湖水体营养物质动态变化及成因分析. 环境科学研究, 1999, 12 (5): 27~30
- 22 Forster DL, et al. 土壤侵蚀与水处理费用. 水土保持科技情报, 1990, (2): 19~22
- 23 唐克丽等. 黄土高原水土流失与土壤退化的研究. 水土保持通报, 1987, 7 (6): 12~18
- 24 毛伟兵等. 水土流失对东平湖水质的影响研究. 水土保持通报. 2001, 21 (5): 27~29
- 25 Marc O. Ribaud . Options for agricultural nonpoint-source pollution control. J. Soil and Water Cons. 1992, 47 (1): 42~46
- 26 李景保等. 洞庭湖水系江湖流域物质侵蚀及其迁移与归宿. 水土保持学报, 1995, 9 (3): 19~27
- 27 Sims JT, et al. Phosphorus loss in agricultural drainage: historical prospective and current research. J. Environ. Qual. 1998, 27: 277~293
- 28 Andrew Sharpley and Mike Meyer. Minimizing agricultural nonpoint-source impact: a symposium overview. J. Environ. Qual. 1994, 23:1~3
- 29 Gaynor and Findlay WI. Soil and phosphorus loss from conservation and conventional tillage in crop production . J. Environ. Qual. 1995, 24: 734~741
- 30 Andrew Sharpley, et al. Determining environmentally sound soil phosphorus levels. J. Soil and Water Cons. 1996, 51 (2): 160~166
- 31 Lentz RD, et al. Reduction phosphorus losses from surface-irrigated fields: emerging polyacrylamide technology. J. Environ. Qual. 1998, 27:305~312
- 32 William J. Gburek and Andrew Sharpley. Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds. J. Environ. Qual. 1998, 27:267~277
- 33 Withers PJA and Jarvis SC. Mitigation options for diffuse phosphorus loss to water. Soil Use and Management 1998, 14: 186~192
- 34 Westermann DT, et al. Phosphorus losses in furrow irrigation runoff. J. Environ. Qual. 2001, 30:1009~1015
- 35 Seungmo Koo and Penelope L. Diebel. A comparison of potential contamination from conventional and alternative cropping systems in northeast Kansas. J. Soil and Water Cons. 1996, 51 (4): 329~335
- 36 Pamela J. Rice, et al. Runoff loss of pesticides and soil: a comparison between vegetative mulch and plastic mulch in vegetable production systems. J. Environ. Qual. 2001, 30:1808~1821
- 37 Charles M. cooper and William M. Lipe . Water quality and

- agriculture: Mississippi experiences. J. Soil and Water Cons. 1992, 47 (3): 160~166
- 38 Robinson, et al. Vegetative filter strip effects on sediment concentration in cropland runoff. J. Soil and Water Cons. 1995, 50 (3): 227~330
- 39 Bundy LG, Andraski TW and Powell JM. Management practice effects on phosphorus losses in runoff in corn production systems. J. Environ. Qual. 2001. 30: 1822~1828
- 40 J. E. Gilley, et al. Runoff, erosion and soil quality characteristics of a former conservation reserve program site. J. Soil and Water Cons. 1997, 52 (3): 189~193
- 41 许歌辛. 水土保持是防治水质污染的有效途径. 水土保持情报, 1999, (3): 46~48
- 42 Beasley DB, et al. Using simulation to assess the inputs of conservation tillage on movement of sediment and phosphorus into lake Erie. J. Soil and Water Cons. 1985, 40 (2): 233~236
- 43 Tony Prato, et al. Soil erosion and nonpoint-source pollution control in an Idaho watershed. J. Soil and Water Cons. 1989, 44 (4): 323~328
- 44 Udoyara S. Tim and Robert Jolly. Evaluating agricultural nonpoint-source pollution using integrated geographic information systems and hydrologic/water quality model. J. Environ. Qual. 1994, 23: 25~35
- 45 沈冰等. 土壤中农用化合物随地表径流迁移研究述评. 水土保持通报, 1995, 15 (3): 1~7
- 46 王昕皓. 非点源污染负荷计算的单元坡面模型法. 中国环境科学, 1985, 5 (5): 62~67
- 47 刘枫, 王华东, 刘培桐. 流域非点源污染的量化识别方法及其在桥水库流域的应用. 地理学报, 1988, 43(4): 329~339
- 48 于秀玲. 非点源污染对密云水库水质的影响. 中国环科院环境科学论文, 北京: 中国科学出版社, 1990, 252~257
- 49 陈西平. 计算降雨及农田径流污染负荷的三峡库区模型. 中国环境科学, 1992, 12 (1): 48~52
- 50 D. Lynn Forster and Jonathan N. Rausch. Evaluating agricultural nonpoint-source pollution programs in two lake Erie tributaries. J. Environ. Qual. 2002, 31: 24~31

PROGRESS IN RESEARCH ON EFFECTS OF SOIL AND WATER LOSS ON WATER ENVIRONMENT

Lu Junjie Yang Hao

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract A review is done of the research on effects of soil and water loss on water environment, summarizing latest progresses in research on effects of soil and water loss on water environment, and on model of soil and water loss impacting water environment. Besides, problems existing in the present researches were pointed out and prospect of the research discussed.

Key words Soil and water loss, Water environment, Model, Pollution