

## 不同空间尺度上侵蚀产沙模型研究

刘前进<sup>1,2</sup>, 蔡强国<sup>2</sup>, 刘纪根<sup>2</sup>

(1. 华中农业大学, 武汉 430070; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘 要:** 土壤侵蚀模型在空间尺度上可以划分为坡面、小流域和区域 3 个不同层次。在坡面尺度上, 主要考虑坡面侵蚀的垂直分带性及其相互影响; 小流域尺度上, 不但考虑坡面侵蚀的特点, 还要考虑坡面来水来沙对沟道侵蚀产沙的影响、重力侵蚀及泥沙输移情况; 在区域尺度上则主要考虑小流域各自的侵蚀产沙特点及其相互影响。因侵蚀的空间尺度不同, 在建立土壤侵蚀模型时, 要考虑由于空间变化所引起的侵蚀因子对侵蚀产沙响应的不同。通过分析国内外常用的不同尺度上的侵蚀产沙模型及其最新发展情况, 提出模型建立中存在的问题, 可以为以后建立土壤侵蚀产沙模型提供借鉴。

**关键词:** 空间尺度; 侵蚀产沙; 侵蚀模型

**中图分类号:** S157.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2004)02-0069-04

## Study of Soil Erosion Modeling in Different Spatial Scales

L U Q ian-jin<sup>1,2</sup>, CA I Q iang-guo<sup>2</sup>, L I U J i-gen<sup>2</sup>

(1. Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China)

**Abstract:** According to the spatial scale, almost all of the soil erosion models can be classified as field-scale models, catchment-scale models and region-scale models. Each type of erosion models has its distinctive characteristics. As to the field scale, the analysis of the clear vertical zones and the interaction between them is very important. In addition to the analysis of soil erosion on hill slopes, effects of runoff and sediment from hill slope on erosion and sediment at the followed gully zone and the erosion caused by gravity are complex and pivotal in the catchment scale. The sediment delivery has a significant importance to the erosion modeling. Establishing region scale erosion model, the relationship and the interaction of the subordinate drainages together with the style of the runoff yield and runoff concentration should be taken into account. In different scale, the influence of the main factors on runoff and sediment yield and the composition of the main factors is not the same. Commenting on the fitness and the existing problems of the popular erosion models home and abroad in these three scales will provide some useful suggestions for soil erosion modeling in the future.

**Key words:** spatial scale; sediment yield; erosion model

土壤侵蚀研究及其水土保持评价按照研究空间尺度的不同可以划分 3 个层次: 坡面、小流域和区域研究<sup>[1]</sup>。每个层次上侵蚀产沙机理、影响因子及其模拟的方法有很大的区别, 国内外在这 3 个不同尺度上建立了众多的模型, 以适应对不同尺度流域水土保持规划的需要。综合介绍不同尺度上土壤侵蚀机理特征、影响因子和建模思路, 对比分析国内外不同尺度上的侵蚀产沙模型, 可以为模型的建立和应用提供借鉴。在此基础上可以进一步研究土壤侵蚀因子如气候、地形地貌、植被、土壤母质、土地利用等因子在不同尺度上的响应过程, 特别是在区域尺度上对水土流失的响应过程。

### 1 坡面模型

#### 1.1 坡面侵蚀过程及其考虑因子

坡面侵蚀主要是水力侵蚀, 且具有明显的垂直分带性, 从梁坡顶部到沟缘线分为溅蚀片蚀带、细沟侵蚀带、浅沟侵蚀带<sup>[2]</sup>。不同侵蚀带不但侵蚀产沙量相异, 而且其侵蚀产沙不同的侵蚀带具有各自的侵蚀产沙特点, 并且彼此相互影响。降雨一定时间后, 坡区低洼处地表开始积水, 由于雨滴的击溅作用, 这种流动以前水体的含沙量可达  $200 \text{ kg/m}^3$ , 随着继续降雨, 很快产生以漫流形式为主的薄层水流, 因水

收稿日期: 2004-02-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40271075); 香港特区政府研究资助局支持项目(HKU 7017/01E); 中国科学院知识创新工程重要方向项目“水蚀预报模型研究”(KZCX3-SW-422)

作者简介: 刘前进(1979-), 男, 汉, 山东安丘人, 硕士研究生, 主要从事流域侵蚀产沙和地理信息系统应用等方面研究。

深很小,其本身的冲刷能力很小,输沙能力有限,此时产生面蚀。随水深增加,在雨滴冲击作用下,水流强烈纹动,可击溅起土壤,输沙能力大大增加,可全部输送雨滴击溅而起的土壤颗粒,产流含沙量可达  $400 \text{ kg/m}^3$ , 极限含沙量最大可达  $600 \text{ kg/m}^3$ 。随产流时间的延续,达到细沟临界水流侵蚀力时发生细沟侵蚀,此时的极限含沙量达到  $690 \text{ kg/m}^3$ 。细沟进一步发育生成 V 形浅沟,此时击溅侵蚀和水流冲刷产生在冲刷时期的最大含沙量  $860 \text{ kg/m}^3$  [3]。郑粉莉 [4] 等研究表明,溅蚀片蚀带的来水来沙可使细沟侵蚀带的侵蚀产沙增加 21.5%; 片蚀+细沟侵蚀带的来水来沙使浅沟侵蚀带的侵蚀产沙量增加 16.7%~80.6%, 上部侵蚀带来水来沙对下部侵蚀带产沙的影响与上部来水的含沙量、增水系数、降雨特征及下垫面的侵蚀发育密切相关。此时是侵蚀沟发育的第一个阶段。坡面模型考虑因子:降雨量、降雨强度、降雨能量、地形、土壤、植被覆盖、土地利用、前期土壤含水量、表土结皮、微地形、上部来水来沙因子。

## 1.2 建模思想

坡面土壤流失模型是将一个小流域看成由若干个坡面单元(或称地块)组成,然后根据小区观测或室内模拟实验资料,建立统计的或物理的模型,以单个坡面为单元计算土壤流失量。坡面模型基本信息元常用理想坡面为单元(如 USLE 的标准小区)。而事实上,坡面模型的基本单元(地块)是据一定的标准划分的。已有的研究采用了两类方法。(1)简单地块法。根据模型计算的需要,用地貌单元、径流网络或土地利用特征之一种划分地块单元。最简单的划分是栅格法 [5], 每个栅格,作为计算分析的单元,这实际上指的是一种理想坡面,即矩形、坡度、土壤和土地利用等相对均一的地理空间单元。(2)综合地块法。大量的研究采用了综合方法划分空间单元,即根据地貌、土地利用、土壤等影响流失的环境因子划分地块,以此为基础采集和管理参数数据并计算土壤流失量。要想将模型用于水土保持与土地利用规划,必须采用这种方式确定地块 [1]。

## 1.3 模型举例

我国系统的模型研究始于 80 年代,主要是统计模型的研究。参考或直接利用 USLE 的基本形式,据中国的观测资料,计算各因子值,然后计算坡面和流域土壤流失量,并研究流域土壤流失的空间变异。关于各侵蚀因子的定量研究,目前比较成熟的是降雨径流因子、地形(坡度、坡长)因子的研究,植被覆盖因子和在土地利用和水土保持中非常重要,但是研究较弱。经营管理因子在我国还没有统一的标准 [6]。关于土壤因子,一种方法是  $K$  因子测量或推算。另一种是关于土壤抗冲抗蚀性的研究,但由于概念上的差异和本身研究方法、指标等方面的不尽统一和不尽成熟,所以还难以运用于模型之中 [7]。

基于一定物理基础和侵蚀过程的坡面侵蚀模型研究近年来也有了进一步的深入,如蔡强国等建立的坡面模型,把侵蚀分为分散和搬运过程,并且考虑到了结皮的影响。确定了细沟侵蚀的临界值。模型在羊道沟流域取得了较好的模拟效果。但是众多的参数限制了其应用。在国外 L. T. Trana,

M. A. Ridgleyb, L. Ducksteinc, R. Sutherlandb [8] 论述了 fuzzy logic-based modeling 与 RU SLE 结合来提高 RU SLE 的模拟效果和应用灵活性。应用了两种方法 multi-objective fuzzy regression (MOFR) 和 fuzzy rule-based modeling (FRBM)。MFOR 主要是揭示 RU SLE 各个因子与土壤侵蚀的单因子关系。然后这些关系式与 FRBM 结合进行主成分分析,提高模拟精度。

另外基于坡面的侵蚀模型有 CREAMS (Chemicals, runoff and erosion from agriculture management systems, Kinisel 1985)、CSEP (Climatic index for soil erosion potential, Kirkby and Cox 1995)、EPIC (Erosion-productivity impacts calculator, Williams 1985)、EUROSEN (European soil erosion model, Morgan et al 1998; Quinton 1994)、GLEAMS (Groundwater loading effect of agricultural management systems, Kinisel 1991)、WEPP (Water erosion prediction project, Flanagan and Nearing 1995) 其中 EPIC (Williams, 1985) 保留了 USLE (Wischmeier and Smith, 1978) 的很多特点,它不涉及空间尺度的变化,应用面积较小,坡度均一地块,主要考虑入渗率、作物生长、覆盖度、土壤湿度和 USLE 的  $P$  因子。CREAMS 和其演化模型 GLEAMS, 考虑到了沟间侵蚀和沟道侵蚀因子,其他主要因子有入渗率、作物覆盖、水压等。现在应用广泛的 WEPP 和 EUROSEM 则主要是基于比较简单侵蚀因子的基础上的侵蚀模型。CSEP 考虑到了流域降雨和侵蚀度。在这些模型中,除了 EUROSEM 模型,都是连续性的模型。GLEAMS、EPIC、CSEP 模型随时间的缩短(每年到每天),其模拟的精度降低,而 WEPP 在短时间的模拟效果比较好。

## 2 小流域侵蚀产沙模型

### 2.1 小流域侵蚀过程及其考虑因子

小流域是指面积几平方公里至几十平方公里的汇流区域,它具备土壤侵蚀过程自成完整系统和按照生态经济学原理组织农、林、牧生产的有利条件 [9]。其侵蚀是在坡面侵蚀过程基础上,水沙从坡面继续向下输移,在沟缘线附近,浅沟发育成切沟,断面成 V 或 U 形。侵蚀沟顶形成明显的跌水,沟头溯源前进,重力侵蚀强烈,洞穴侵蚀活跃,水流达到很高的含沙量,极限含沙量可达  $990 \text{ kg/m}^3$  为侵蚀沟发育的第二阶段。发育的第三阶段是制造平衡阶段,冲沟形成, V 或 U 形,侵蚀沟头接近分水岭,沟底比降接近水力坡度,形成流路,由于曲流关系,沟壁坍塌现象比较活跃。以上可用坡面模型来模拟。多条冲沟汇合成坳沟,此时侵蚀沟停止发育,比较稳定,用于泥沙输移,可建立沟道模型。坡面水下沟对沟道侵蚀产沙的影响首先由西峰水保站、山西水保所曾伯庆等人进行了研究,他们认为坡面水下沟所增加的泥沙总量占小流域泥沙总量的 76% 以上,当坡面水被隔绝时,沟坡的径流和产沙能力可分别减小 58.7% 和 77.8% [10]。80 年代以来焦菊英等人研究表明,由于坡面来水来沙可使沟坡的侵蚀产沙能力增加 70% [11, 12] 以上,如果阻止坡面水下沟,在大暴雨条件下径流和产沙量可分别减小 61% 和 84% [9]。坡面来水来沙成为

联系连接沟道系统侵蚀演化与产沙的纽带,把流域的侵蚀产沙连接成一个整体。

## 2.2 建模思想

小流域治理被认为是中国水土保持的基本方式之一。每一个流域在地质形态、侵蚀方式、产沙输沙过程等方面具有相似性。以小流域为单元建立模型是必要的,也是可能的。因为小流域由若干坡面组成,所以在建立模型中要考虑到坡面侵蚀整体的规律性,在坡面尺度规律上进一步概括从而体现整体的规律性特别是侵蚀的分带规律,正确处理水沙汇流关系。在坡面侵蚀的基础上,考虑沟坡和沟道侵蚀及其泥沙在沟道的输移过程。传统的流域汇流网络计算,多以格网体系为基础,已形成了比较多的计算方法和表达方式。但这些方法在表示一个坡面或一个单一地理区域的特征时,存在缺陷。刘高焕<sup>[13]</sup>初步探讨了地块单元方法,以地块为基本单元,组成流域地貌结构,构建流域形态,模拟物质在坡面及在流域内的运移,不仅为实现整个流域内侵蚀量的自动沿程计算提供了基础。

小流域土壤流失过程的整体性认识小流域土壤流失过程是水文、气象因子、下垫面因子的函数。水文气象因子包括降雨量、径流量等。下垫面因子包括流域几何特征、地貌特征、土壤特征、植被与土地利用、水保措施等。因为小流域由若干坡面组成,所以小流域的上述指标只能是某种统计特征值(均值、比例),如平均坡度、农地比例、沟谷密度等<sup>[14]</sup>。就侵蚀的物理过程来说,坡面模型和流域模型并没有本质的区别,随着空间尺度的增大,增加或者改变引入的空间因子,考虑不同的侧重点。例如,在坡面侵蚀中主要考虑是面蚀,在小流域中细沟其实和沟道侵蚀则比面蚀重要。

## 2.3 模型举例

小流域模型较多的依赖于统计分析,其评价因子已有的研究基本上是根据侵蚀动力(降雨、径流)因子和下垫面因子(地形、岩面、植被、土地利用),运用统计分析方法分析各因子与侵蚀量关系,并根据因子贡献率大小,选择评价因子。中国已有的物理模型主要是计算坡面径流量、径流侵蚀力、溅蚀和沟蚀分散量、输沙能力等。在黄土高原通常根据黄土侵蚀地貌的类型分为坡面、沟坡和沟道,分别建立模型。蔡强国等将 ERODE 梁峁坡、沟坡、沟道模型进一步简化,通过用气象资料代替气候因子,界定植被覆盖因子系数范围,修正农作物季节性覆盖度的侵蚀产沙系数,统计分析不同耕作措施侵蚀产沙系数,用前 9 d 降雨量替代土壤前期含水量,提出了羊道沟典型小流域侵蚀产沙模型: 峁顶、有上坡来水地块的侵蚀产沙、黄土沟坡地块侵蚀产沙、红土沟坡侵蚀产沙、发育沟壁区侵蚀产沙关系式和沟道输移关系式,通过汇流网络图实现坡面子模型和沟坡子模型的结合,并计算出每次降雨侵蚀下沟的泥沙量;再根据泥沙输移比,可以计算出每次降雨的泥沙输移到沟口的泥沙量。在羊道沟和山西汾河上游岚县阳湾小流域与曲井小流域以及内蒙古艾来色太小流域(属砒砂岩侵蚀产沙区)中推广应用取得较好的模拟效果。

Baffaut C 等将能很好的预测日侵蚀的分布状况的 WEPP 模型与 CLIGEN 模型结合能模拟长期日均侵蚀分布

状况。积累结果表明,大的暴雨是侵蚀的主导气候因子<sup>[15]</sup>。AN S R E R S 模型最大的缺点在于其经验性并且只能模拟泥沙输移总量,随着模型的改进特别是与 GIS 结合后(Rewerts and Engel (1991)),实用性不断加强。现在 AN S E R S-2000 版将地下水因子引入其中,可以模拟地块和田间在不同植被覆盖下的蒸发和作物根区排水(Bouraoui et al, 1997),在流域尺度上可很好模拟水压力状况。

分布式模型在流域模型中的研究为发展的趋势。分布式流域模型在计算机和 GIS 的支持下,能够模拟预测下垫面因素复杂流域的径流和侵蚀的动态状况,能够比较准确的确定泥沙的来源和汇流,及其土壤中的养分运移情况。但是大部分的流域模型不是连续性的,他们没有考虑到气候因子及其导致的作物生长因子、水分蒸发和地下水运动因子,或者熔雪作用因子作用的变化情况。但是随着空间因子的引入,空间数据中的各种误差会影响模拟的精度,例如图件输入的各种初始条件及其处理过程中所用到的插值方法等,都会不同程度的影响精度。另外还有 ACRU (Agricultural catchment research unit model, Schulze 1989; New and Schulze 1996)、AGNPS (Agricultural non-point source pollution model, Young et al 1989)、EROS DN 3D (3D erosion model, Von Werner and Schmitt 1997)、EUROSEM (European soil erosion model, Morgan et al 1998; Quinton 1994)、KNEROS2 (Kinematic runoff and erosion model, Smith et al 1995)、LISEM (Limburg soil erosion model, De Roo et al 1996a, b)、MEDRUSH (soil erosion model associated with MEDALUS project, Kirkby 1998),其中 ACRU、AGNPS、MEDRUSH 是连续性模型,步长为 1h-1d, MEDRUSH 模拟的步长是 1h,对低强度和多降雨峰值的降雨模拟效果较差。KNEROS2、EUROSEM、LISEM (因为应用了 Green 和 Ampt 入渗计算方法,所以对初始湿度很敏感)是次降雨模型, LISEM、EROS DN 3D、AGNPS、MEDRUSH 是基于栅格的模型, ACRU、EUROSEM、KNEROS2 是基于多边形的侵蚀模型。

## 3 区域土壤侵蚀模型

### 3.1 侵蚀过程及其考虑因子

区域尺度一般是认为大于几千平方公里的流域。区域土壤侵蚀是不同小流域侵蚀综合作用的结果,存在多种侵蚀类型的组合,存在侵蚀、输移和产沙的复杂关系。侵蚀过程的空间分异明显,存在侵蚀-输移-产沙的复杂组合。其侵蚀因子具有宏观性即研究一个区域的水土流失状况与研究一个坡面、小流域的情况不同,它要求所选用的指标能够宏观地反映区域内某一空间单元的水土流失特征。所以这种指标常常是某一种统计特征值。例如,把坡度或坡长等坡面的微观指标用于宏观评价区域的水土流失情况,显然是不可行的,而应用平均坡度、沟壑密度等指标则是可以的;因子指标本身必须具有明确的数量化概念并且资料容易获取<sup>[15]</sup>。

### 3.2 建模思路

通常的思路是将区域划分为若干个基本评价单元(或网

格化的方法),然后在分析侵蚀量与各水土流失因子关系的基础上,分单元进行评价。为了便于研究流域产沙,几乎所有的模拟结构都假设研究范围内下垫面条件相对均匀,这在小流域内不会有大的误差,但在一个大流域,出入较大。为了减小大流域各种因素空间变化带来的误差,可以采用分单元模拟的方法,使得划分后的每个单元的各种因素和坡面坡度、土壤质地、植被、沟壑密度、沟道比降、水利工程措施和气候等相对均匀,从而可以把小流域的产沙计算公式应用于所划分的每个单元中,单元结果之和即为大流域产沙<sup>[16]</sup>,当然系统规律并不是单元间的简单累加或外延,因为随着尺度的变化,各个因子的相应有很大的差异。

### 3.3 侵蚀模型

最初周佩华在 80 年代较早地应用区域宏观分区的方法,对中国的水土流失问题进行了趋势预测研究,建立了各子区的水土流失预测模型(周佩华, 1988);杨艳生等根据 USLE 的评价思想,通过将 USLE 中的坡面指标引申为区域指标,对长江三峡地区的水土流失进行了宏观的研究,建立了该区的水土流失预测方程<sup>[17]</sup>,但是其中没有充分考虑到各个因子随尺度变化的响应过程。包为民<sup>[16]</sup>提出大流域水沙耦合模拟物理概念模型,分产流、汇流、产沙和汇沙 4 部分。模型检验选用皇甫川河口-龙门间两流域均在黄河中游的黄土高原第一副区。皇甫站是皇甫川河的控制站,流域面积 3 199 km<sup>2</sup>,多年平均侵蚀模数约为 19 000 t/km<sup>2</sup>。河口镇-龙门镇区间面积 132 830 km<sup>2</sup>。模拟的结果较好。

胡良军(2001)将黄土高原其中的 40 万 km<sup>2</sup>,划分为 3 380 个水土流失的评价单元,名单元的面积大致为 80~150 km<sup>2</sup>,选取气候-汛期降雨量  $P$ ,土壤-大于 0.25 mm 风干土水稳性团粒含量  $S$ ,地形-沟壑密度  $G$ ,植被-植被盖度  $C$ ,人为影响-坡耕地面积比  $M$ 。建立了黄土高原地区侵蚀产沙的区域性预测模型。

$$L = 3.5210P^{0.7887}S^{-0.09616}G^{1.994}M^{0.01898}e^{-0.00144C}$$

$$R = 0.8968^{**} \quad N = 3380$$

这一模型粗略地建立了黄土高原大区域侵蚀产沙预测的框架,是区域性侵蚀产沙预报的有益尝试,但这其中涉及到参数获取、数据精度、泥沙输移等问题都有待深入研究<sup>[16]</sup>。

史培军等把皇甫川流域(流域面积 3 240 km<sup>2</sup>)全流域划分为 510 个更小的流域,并定义此为单元小流域,最小面积 0.75 km<sup>2</sup>,最大为 7 536 km<sup>2</sup>,平均为 6 636 km<sup>2</sup>。据此,依据各单元小流域的水系特征,建立了单元小流域面积、各级流域级别与沟道条数与平均长度之间的关系,并利用大量野外观测资料,得出以流域为单元的土壤流失量预报模型,其预报精度可达到 70%。

$$Y = (9.9 + 0.732X_1^{11.5} + 8.87X_2^{20.5} + 1291X_3^{-1.2})^2$$

### 参考文献

- [1] 杨勤科,李锐.中国水土流失和水土保持定量研究进展[J].水土保持通报,1998,1(5):13-18
- [2] 陈永宗,景可,蔡强国.黄土高原现代侵蚀与治理[M].北京:科学出版社,1988:170-181

$$R = 0.887 \quad N = 65$$

式中:  $X_1$ ——小流域沟谷切割密度(km/km<sup>2</sup>);  $X_2$ ——小流域砒砂岩面积百分数(%);  $X_3$ ——小流域植被覆盖度(%)。

R. E. Brazier, J. S. Rowan, S. G. Anthony, and P. F. Quinn 将 wepp 的 M R 版(M RSED)应用于区域尺度坡地侵蚀上<sup>[18]</sup>。把坡地划分成单元格,在 1 km<sup>2</sup> 单元格上分析地形、土壤、土地利用和气候因子的作用。M RSED 矩阵分析多尺度的空间参数,其结果可以通过子集查询。在 Great Ouse catchment, Cambridgeshire 两地应用,这两个地区是陡坡地,土壤抗蚀性差并且土地利用不合理,土壤流失严重。得到的结果与在不同尺度下观测到的结果能较好吻合。S. M. de Jong 等<sup>[19]</sup>应用 SEMMED 模型来估算法国的 Smeto 流域(面积 4 200 km<sup>2</sup>)年均侵蚀产沙情况,所需数据来自遥感影像、数字高程模型和电子地图。

### 4 问题与展望

对基于物理过程的侵蚀产沙模型来说,坡面侵蚀模型和小流域侵蚀模型并没有实质性的差别,只是空间参数的增加。例如在小流域侵蚀模型中比坡面侵蚀中要更多的考虑细沟侵蚀和沟道侵蚀,所以沟壑密度可作为一个参数输入。小流域尺度模型对于连续性的长时间序列的模拟效果较差,因为它们没有更好的考虑植被生长、蒸发、地下水运动以及溶雪作用,但是能模拟几公顷到几千公顷范围内的水土流失状况。分布式模型虽然适用的空间尺度范围广,但是小流域尺度上比在坡面尺度上须引用更多的空间参数。在引用参数及其处理的过程中引用和传递了更大的误差,并且加大了误差扩大的机会,例如空间插值法,经模型检验表明基于栅格的空间分布模型效果不是很理想。所以模型的应用具有很大的区域性。基于场次的侵蚀模型要比连续性的侵蚀模型模拟的效果好,最根本的原因是连续性模型的时间步长较大<sup>[19]</sup>。近几年出现的 BP 网络虽然具有较高的预测精度,但由于 BP 网络的固有缺点(结构的不惟一性和极慢的收敛性),极大地限制了它在实时预报和大量样本情况下的应用<sup>[21]</sup>。

目前坡面(或地块)、小流域主要是基于坡面/径流小区尺度侵蚀量的监测,区域/流域尺度多以河流泥沙数据为准,缺少对全坡面、小流域和更大尺度水土流失的直接监测,而且径流小区的资料在向大尺度推广中出现很多问题,也就是所谓的“尺度效应”<sup>[22]</sup>。影响侵蚀产沙过程的因素在时空上具有很大的不均匀性和变异性,增加了不同尺度间侵蚀产沙模拟的复杂性。不同尺度流域之间侵蚀产沙和输移究竟有什么样的内在联系,小流域所获得的研究成果是否能推广应用到大中流域,尺度改变是怎样影响侵蚀产沙过程,如何解决侵蚀产沙中尺度的变异性、层次复杂性和多重性,及其尺度转化具体方法的研究,成为侵蚀产沙模拟中迫切需要解决的科学问题。

尿素,只是 4 区种的是月季,7 区种的是杂浆草。杂浆草较月季更多地覆盖地面,能使水分缓慢的进入土壤,这样使速效养分的淋失量减少,同时,较多的枯枝落叶腐烂在土壤中,形成了肥力相对较高的腐殖层。

#### 2.2.4 其它(时间)

比较整个博览园的土壤肥力,发现第 21 号地块的各项指标较高,经调查,其原因是该地块经常用从渭河抽的水浇灌,且时间较长,而渭河水含大量的泥沙和有机物质,在灌溉的同时也肥沃了土地,此外,有时渭河涨水时偶尔会溢出淹到该地块,水退后会留下比较厚的淤泥。

### 3 小 结

博览园各区的土壤肥力由于灌溉方式、植被类型、施肥

种类等人为活动的不同而有所区别。先进的灌溉方式,如滴灌、微灌、覆膜灌溉等,能更好地减少养分的淋失,改善土壤结构,保持土壤的肥力。种植耐旱和具有水保作用的作物对土壤肥力也有一定的改良作用。

博览园的肥力状况虽较建园初有较大的改善,但它的养分状况还不是很好。我们可以通过利用河水灌溉、施用农家肥等方法便宜、快速地改良博览园的土壤。

我们在看到人为活动对土壤肥力影响好的一面的同时,也要注意养分淋失对地下水的影响。由于沙质土的土壤特性,速效肥极易被淋失进入地下水,从而污染地下水,又由于离河道较近,污染河水,形成一条污染链。为避免产生此种坏的结果,我们在施肥时尽量施有机肥,少施甚至不施速效易淋溶的无机肥。

#### 参考文献:

- [1] 张国梁,章申. 农田氮素淋失研究进展[J]. 土壤, 1998, (6): 291- 297.
  - [2] 孙克刚,李锦辉,姚健,等. 不同施肥处理对作物产量及土体  $\text{NO}_3^- \text{N}$  累积的长期定位试验[J]. 土壤肥料, 1999, (6): 18- 20.
  - [3] Benbi D K. Nitrate distribution and accumulation in an ustochrept soil profile in a long term fertilizer experiment[J]. Fertilizer Research, 1991, 28: 173- 177.
  - [4] 李惠卓. 沙质土蓄水保肥栽培措施及其效果研究[J]. 河北林果研究, 1997, 12(3): 273- 278.
- 
- (上接第 72 页)
- [3] 王奎奎,钱宁,等. 黄土丘陵沟壑区高含沙水流的形成及汇流过程[J]. 水利学报, 1982, 70: 26- 35.
  - [4] 郑粉莉,康绍忠. 黄土坡面不同侵蚀带侵蚀产沙关系及其机理[M]. 地理学报, 1998, 53(5): 422- 428.
  - [5] 江忠善,王志强,刘志. 黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 1- 10.
  - [6] Y Zhang, J Yuan, B Liu. Advance in researches on vegetation cover and management factor in the soil erosion prediction model[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 1- 6.
  - [7] 胡良军,李锐,杨勤科,等. 基于 GIS 的区域水土流失评价模型[J]. 应用基础与工程科学学报, 2000, 8(1): 1- 8.
  - [8] L T Trana, M A Ridgleyb, L Ducksteinc, et al. Application of fuzzy logic-based modeling to improve the performance of the Revised Universal Soil Loss Equation[J]. Catena, 2002, 47: 203- 226.
  - [9] 蔡强国,王贵平,等. 黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 146- 147.
  - [10] 曾伯庆. 晋西黄土丘陵沟壑区水土流失规律及其治理效益[J]. 人民黄河, 1980, (2): 34- 39.
  - [11] 焦菊英,刘元宝,等. 小流域沟间与沟谷地径流泥沙来量的探讨[J]. 水土保持学报, 1992, 6(2): 24- 28.
  - [12] 陈浩. 降雨特征和上坡来水对产沙的综合影响[J]. 水土保持学报, 1992, 6(2): 17- 23.
  - [13] 刘高焕,刘俊卫,朱会义. 基于 GIS 的小流域地块单元划分与汇流网络计算[J]. 地理科学进展, 2001, 21(2): 139- 145.
  - [14] 金争平,赵焕勋,和泰,等. 皇甫川小流域土壤侵蚀量预报方程研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(1): 8- 18.
  - [15] Baffaut, C, Nearing, M A, Govers G. Statistical distributions of soil loss from runoff plots and WEPP model simulations[J]. Soil Sci Soc Am J, 1998, 62: 756- 763.
  - [16] 包为民,陈耀艇. 流域水耦合模拟物理概念模型[J]. 水科学进展, 1994, 5(4): 287- 292.
  - [17] 杨艳生. 区域性土壤流失预测方程的初步研究[J]. 土壤学报, 1990, 27(1): 73- 78.
  - [18] R E Braziera, J S Rowan, S G Anthony, et al. "M IRSED" towards an M IR approach to modeling hillslope soil erosion at the national scale[J]. Catena, 2001, 42(1): 59- 79.
  - [19] S M de Jong, M L Paracchini, F Bertolo, et al. Regional assessment of soil erosion using the distribution model SEMMED and remotely sensed data[J]. Catena, 1999, 37: 291- 308.
  - [20] Victor Jetten, Ad de Roo, David Favis-Mortlock. Evaluation of field-scale and catchment-scale soil erosion models[J]. Catena, 1999, 37: 521- 541.
  - [21] 刘国东,丁晶. BP 网络用于水文预测的几个问题探讨[J]. 水利学报, 1999, (1): 65- 69.
  - [22] 王飞,李锐,杨勤科,等. 水土流失研究中尺度效应及其机理分析[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 167- 180.