

水土流失与水质污染一体化定量监测的初步研究*

——以江苏省方便流域为例

姜小三¹ 卜兆宏² 杨林章² 夏立忠² 潘剑君¹

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要 通过对方便流域的水土流失、水质面源污染的研究, 介绍了一体化定量监测的研究新思路。采用“3S”技术获得满足数学监测模型因子的数据。首先定量监测准水土流失量, 然后利用不同土地利用条件下的全年土壤养分平均含量和水土流失定量监测结果的处理, 以获得准确的水质面源污染地分布图和流入水库的污染量。水土流失量的监测精度, 采用与上下游水文站的测沙数据评价法来确认; 而入库养分污染量则采用其采水样分析结果与测径流流量的计算值来确认。2002 年, 实验区水土流失量的监测精度为 93.62%, 水质的全磷面源污染量的监测精度为 77.79%, 初步显示出一体化定量监测具有准确、快速又经济的特点。

关键词 水土流失; 水质污染; 农业面源污染; 一体化; 定量监测

中图分类号 S157 文献标识码 A

水土流失及其对水域水质产生的面源污染的监测, 国内外通常都以单项监测为目标, 而实施一体化的定量监测则未见报道。在水土流失监测中, 又多为确定土壤侵蚀程度级别的定性监测法。在水质面源污染的监测中, 又多为以在沟河断面仿水文观测法, 设点间断性测流量、采水样分析获得所测局部的少量数据来推算全年的水质面源污染贡献率^[1~17]。

对于土壤年流失量的监测, 目前广泛应用的模型, 依然是通用土壤流失方程 USLE^[18] 或其改善形式 RUSLE^[19, 20]。它的形成和修订, 皆建立在大量实测数据的统计分析基础上。其表达式为:

$$A = RKLS CP \quad (1)$$

式中, A 为年平均土壤侵蚀量; R 为降水及径流因子; K 为土壤侵蚀性因子; L 为地形坡长因子, S 为地形坡度因子; C 为地表植被与作物覆盖因子; P 为水土保持措施因子。

自 1990 年以来, 按照 USLE 的学术思想, 在我国南北方水蚀区开展了土壤年流失量及其影响因素的周年实测, 利用获得的大量成套实测数据, 又建立了类似 (1) 式的符合我国流失实际的监测模型 QRSM (Quantitative Remote Sensing Model)^[21]:

$$A_i = f_i R_i K_i L_i S_i C_i P_i \quad (2)$$

式中各字符含意与 (1) 式同, 但各因子的算式算法及其软件则属自行研制而有所不同, 且更适合我国流失实况。增加的 f 为 224.2, 以使 A 值的单位转换为 $t \cdot km^{-2}$; 各量符号的 i 下角注, 为栅格像元符。

GIS 技术已在资源管理领域获得广泛的应用。本文在“3S”(GIS、RS、GPS) 技术的支持下, 利用实验区的较详实数据资料, 改进了 LS 、 K 、 R 、 CP 等土壤侵蚀因子的算式或算法, 提高了水土流失量的监测速度和精度, 并应用该数学模型对涉及江苏省南京和镇江两市的方便水库流域的水土流失和水质面源污染实施了一体化定量监测。

1 研究区域

方便流域地处南京东南 50 km、位于溧水县城东北 7 km 处、紧靠国道宁杭高速公路, 距禄口国际机场 25 km, 毗邻茅山道院、傍依大金峦。该流域覆盖句容市的天王寺镇、袁巷乡和溧水县的东屏镇、共和乡、白马乡, 集水区方便水库(东屏湖) 面积有 76 km^2 。流域为倒 Y 形盆地, 最高为东芦山 293 m、次高为浮山 220 m, 最低高程为 25 m(方便水库常年水位)。年平均气温 5℃; 平均年降水量 1 030 mm,

* 国家自然科学基金项目(40171060) 和中国科学院创新项目(KZCX2-31) 资助

作者简介: 姜小三(1967~), 男, 在职博士, 讲师。主要从事资源遥感与信息技术、环境信息系统等教学和土壤侵蚀与水土保持方面的研究。电话: 025-84395406, E-mail: gis@njau.edu.cn

收稿日期: 2004-03-26; 收到修改稿日期: 2004-12-20

多分布于 5~8 月,而且降水多为暴雨。研究区在苏南很具代表性。

2 材料与方法

2.1 研究资料

研究资料有溧水和句容县市 1:5 万地形图、1996 年土地利用图、1:10 万土壤图、1999 年春和 2000 年夏 TM 及 2001 年秋 ETM 遥感影像、1999~2002 四年的流域及其周边的降雨数据、2002 年 6 月初和 2002 年 11 月初两次采集的 200 多个土壤样品测试结果(土壤机械组成、有机质、全氮、全磷、速效氮、速效磷、土壤容重、pH)、2002 年 5 月 5 日开始的司家瓦河小流域上下游两水文站点的测沙、测水量和采水样分析的养分等数据。

2.2 研究方法

2.2.1 数字化图件 将地形图、土壤图、土地利用图等用 ArcGIS 数字化,并获得具有统一投影与坐标系统的各类图的矢量图层(Coverage)。利用其中的流域边界图、等高线图、高程点图和用 ArcGIS 有关命令制作出数字高程模型(Digital Elevation Model, 10 m × 10 m)。

2.2.2 土壤样品的采集 在方便水库流域区选取一条水土流失较严重的支流小流域为研究区(面积 9 km²),并从支流的上下游设置浮山桥、程家棚两个水文站点;按土地利用类型和网格法取土样,同时记录采土样点的 GPS 数据,当天将 GPS 仪连接笔记本电脑,将样点数据直接导入 GIS 数据库,并地图化存储。采样时间为当地汛期前后 2002 年 6 月初和 2002 年 11 月分两次,每一次采集约 100 个左右土壤样品。

2.2.3 土样分析测定^[22] 土壤容重采用环刀法;土壤颗粒级(1~0.1 mm、0.1~0.002 mm、<0.002 mm)采用吸管法;土壤水分用烘干法;有机质用浓硫酸-重铬酸钾氧化法;全氮用凯氏法(瑞典产定氮仪);全磷用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法;水解氮用碱解扩散法;速效磷用氢氧化钠浸提-钼锑抗比色法;样点位置参照地形图用 GPS 仪测定。

2.2.4 水样测定 与土壤养分的分析法同。

2.3 土壤年侵蚀量与水质面源污染量的一体化监测 土壤年流失量的监测,采用在我国有 20 万 km² 实际应用的定量监测模型的式(2)进行运算。其各因子分述如下:

2.3.1 R 因子值的算式算法^[24] R 因子值的算式为 $R = 0.1281I_{30B}P_f - 0.1575I_{30B}$ 。式中 I_{30B} 为雨量

代表站用全年各次侵蚀性降雨连续 30 min 雨强计算的雨强年代表值; P_f 为汛期各月总雨量。R 算法采用内插外延法。研究区内有方便库坝、姜家棚两个雨量站,周边有官塘、天生桥和天王寺雨量站,其中天生桥站有每次降雨的雨量自记纸资料,可作为代表站。获得各站的 R 值后,利用 GIS 和内插外延法就可制出全区的 R_i 因子值像元图。

2.3.2 K 因子值的计算^[25] K 因子反映了土壤对侵蚀的敏感性。K 值的求法主要有直接测定法、诺谟图法、公式法^[6]。直接测定 K 值方法综合了所有土壤性质对土壤侵蚀的影响,被认为是最符合田间实际土壤对侵蚀力的敏感尺度,但是它所需观测时间长,费用高;诺谟图法也比较烦琐;公式法则比较快捷。公式法有好几种,经比较发现, Wischmeier 等^[18] 建立的土壤可蚀性因子 K 与土壤性质之间的关系式,较为切实可行,即: $K = [2.1 \times 10^{-4} \times (12 - a) \cdot (F(100 - G - F))^{1.14} + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)] / 100$ 。式中 F、G 分别为土壤粉砂与极细砂粒、砂粒与细砂的百分含量; a 为土壤有机质百分含量; b 为土壤结构的级别,有 1~4 级; c 为土壤坡面渗透级别,有 1~6 级。为从县市土壤志中获得 K 的这些参数,特研究了不同土壤粒级制的 F、G 换算式和 a、b 的确定原则。计算各类土壤 K 的信息,可以从研究区两县土壤图和土壤志中摘取,利用上述算式就可计算 K 的参数和 K 值,而利用专用软件将土壤类型图变换为 K_i 因子值像元图,并进行了分级(表 1)。

2.3.3 LS_i 像元因子图的计算 坡长与坡度及其坡度像元图和 LS_i 因子值像元图,利用数字高程模型(DEM),采用 LS_i 专用软件自动计算出^[21,23,26]。

2.3.4 CP_i 像元因子图的计算 大量的研究证明,在所有的土壤侵蚀因子中,地表覆盖状况对侵蚀量的影响最大。方便流域的周年实测数据也同样证明了这一点。

(1) 地表覆盖率 TM 分类图的处理。要获取大范围的地表覆盖率,遥感技术是最为有效的手段。而获取全年平均的地表覆盖率,需多时相的遥感信息,11 月份至 3 月份,为冬季农闲时期,主要为旱地作物、林灌草等;从 4 月初至 6 月底,为作物生长旺盛期,降水丰富,地表覆盖率高;而 7~10 月,为当地的旱季,农事活动主要是一些灌溉的水稻及旱地作物。本研究利用 1999 年 4 月、2000 年 7 月、2001 年 10 月底三个时相的 TM 遥感数据,可谓对全年的地表覆盖率进行了分类处理,获得三个时期的 TM 分

类图, 其主要类别的涵义如表 2。

表 1 研究区土壤可蚀性 K 值范围及其分级

Table 1 Ranges and grades of soil erodibility factor K

K 值类型 Types of K value	K 值变化范围 Variable range of K value	K 值类型 Types of K value	K 值变化范围 Variable range of K value
难蚀土 Hard erosion	0.039~0.080	较易蚀土 Easilier erosion	0.200~0.300
较难蚀土 Harder erosion	0.080~0.120	易蚀土 Easily erosion	0.300~0.400
不易蚀土 Not easily erosion	0.120~0.200	极易蚀土 Extremely easily erosion	0.400~0.431

表 2 利用遥感 TM 数据处理的 地面覆盖率分类

Table 2 Classification of land coverage rates based on remote sensing TM

级别 Grade	地面覆盖率 (%) Land coverage rate	涵义 Signification	级别 Grade	地面覆盖率 (%) Land coverage rate	涵义 Signification
1	0	裸地 Bare land	6	45~55	中中 Medium
2	0~5	裸土 Nude soil	7	55~65	中高 Superior mid
3	5~15	很低 Rather low	8	65~75	高低 Inferior high
4	15~25	较低 Lower	9	75~85	高中 Mid high
5	25~35	低 Low	10	85~95	高高 Superior high
6	35~45	中低 Inferior mid	11	95~100	很高 Most high

(2) 土地利用大类图的处理。利用 2002 年 DGPS 的实测数据和研究出的“3S”有效结合的最佳更新方法, 更新了研究区的土地利用图。就研究区内一个 5.0 km² 的小流域而言, 1996~2002 年土地利用变化较大: 坡改梯 0.1 km², 增加 8.3%; 新开坡耕旱作地 1.0 km², 增加 82.4%; 荒山林草地则减少 40.6%。土地利用图一般有 8 大类和数十个二级类, 依据水土流失规律, 我们将土地利用图归并为 3 大类: 一类为水田、水平梯地、水泥路和村镇; 二类为旱作坡地、果园和砖瓦场地; 三类为荒山林、灌、草地和未人为扰动裸地。归并后的土地利用 3 大类图, 主要用于将 TM 分类图分割为 3 个 CP_i 因子像元图赋值基础图。

(3) CP_i 因子像元图的赋值 依据土壤年流失量及其影响因素的周年实测结果, 利用专用软件分别将 3 个赋值基础图赋 CP_i 值。对一大类基础图, 依据地表覆盖率级别由小到大, CP 赋值为 0.35~0.0001; 对二大类基础图, CP_i 赋值为 0.7~0.0001; 对三大类基础图, CP_i 赋值为 0.45~0.0001。在分别赋值三个 CP_i 图后, 需利用图像处理软件将它们合并为一个完整的全流域 CP_i 因子像元图。为提高 CP_i 图的精度, 可利用 3 个时间的 CP_i 图相加除 3, 获得代表全年平均值的 CP_i 像元图。

2.3.5 土壤侵蚀量 A_i 像元图的监测 在 GIS 的支持下, 依据监测模型 (2) 式, 将上述各个因子相乘, 则可获得土壤侵蚀量 A_i 像元图。按我国部颁标准, 利用专用软件将 A_i 像元图转换为土壤侵蚀等级 Ac_i 像元图, 并统计获得各级水土流失面积及其流失量、全流域流失总量。

2.3.6 水质面源污染量与分布的监测 利用两次采土样分析的全氮 TN 、全磷 TP 、速效氮 AN 和速效磷 AP , 首先在更新了的土地利用图和专用自研软件制出土壤含 TN_i 、 TP_i 、 AN_i 、 AP_i 量像元图, 然后按下式处理:

$$W_{ji} = A_i Q_{ji} \quad (3)$$

就可获得土壤养分 (Q_{ji} , 其中 j 为养分类型如 TN_i 或 TP_i 、 AN_i 、 AP_i , i 为像元) 对水质的 TN_i 或 TP_i 、 AN_i 、 AP_i 面源污染分布 W_{ji} 像元图。

3 结果分析与讨论

3.1 一体化定量监测的结果

2002 年土壤流失量与水质面源污染量的一体化监测结果, 有 1999~2002 四年的水土流失定量监测 A_i 、 Ac_i 和水质养分污染源流失地分布 W_{ji} 像元图 (图 1 和图 2 为 2002 年的监测结果图) 和由图统计

的数据(表 3、表 4)。该年全流域流入沟塘库等水域的土壤流失总量为 102 192.0 t, 其中流入方便水库的为 4 820.0 t。该年随径流和泥沙流入水域的速效氮有 12 275.9 kg, 入水库的速效氮有 579.0 kg; 随径流和

泥沙流入水域的全氮有 214 439.9 kg, 入水库的全氮有 10 115.0 kg; 随径流和泥沙流入水域的水溶性磷有 929.3 kg, 入水库的水溶性磷 43.8 kg; 随径流和泥沙流入水域的全磷有 66 477.2 kg, 入水库的全磷有 3 135.7 kg。

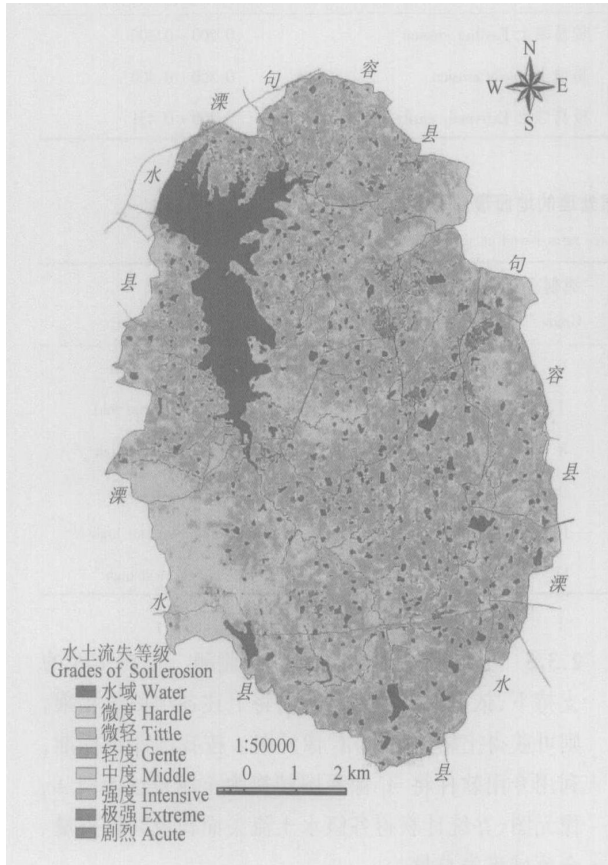


图 1 2002 年方便流域水土流失等级图

Fig. 1 Gradation map of soil erosion of Fangbian Valley in 2002

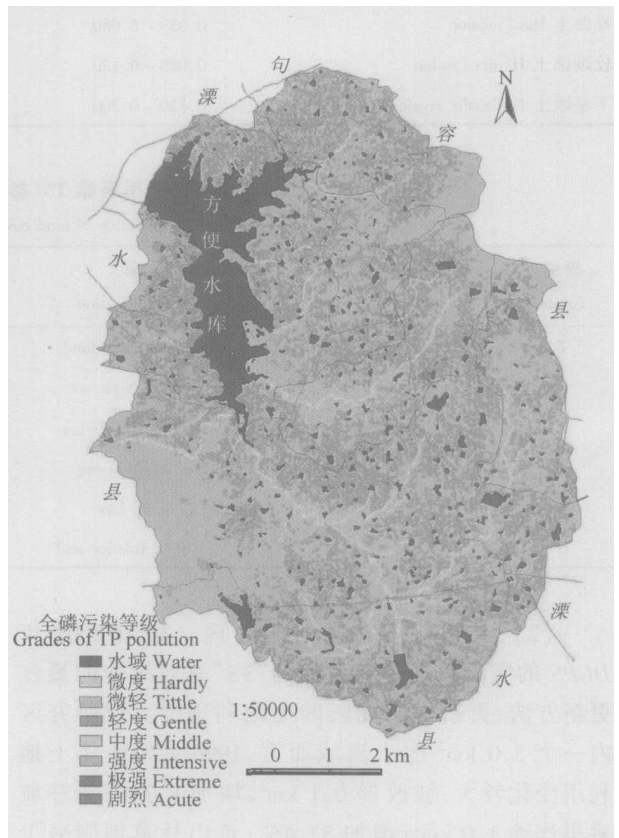


图 2 2002 年方便流域水质全磷污染源分布图

Fig. 2 Distribution map of total phosphorus pollution source to water body of Fangbian Valley in 2002

表 3 2002 年土壤流失量及侵蚀程度等级和面积的监测结果

Table 3 Classification of soil loss amounts and degrees and acreages of soil erosion in 2002

级别 Grades ¹⁾	侵蚀程度 Degree of erosion	实际侵蚀率 Actual soil erosion rate (t km ⁻² a ⁻¹)	面积 Area (km ²)	流失量 Soil loss amount (t)	入水库泥沙量 Quantity of sand entered reservoir (t)
1	微度 1 Hardly	5.000 × 10 ⁻³	1.035 × 10 ¹	5.175 × 10 ⁻²	
2	微度 2 Tittle	1.665 × 10 ²	3.309 × 10 ¹	5.509 × 10 ³	
3	轻度 Gentle	1.181 × 10 ³	2.245 × 10 ¹	2.651 × 10 ⁴	
4	中度 Middle	3.492 × 10 ³	5.554 × 10 ⁰	1.939 × 10 ⁴	
5	强度 Intensive	6.324 × 10 ³	2.315 × 10 ⁰	1.464 × 10 ⁴	
6	极强 Extreme	1.064 × 10 ⁴	1.634 × 10 ⁰	1.738 × 10 ⁴	
7	剧烈 Acute	2.439 × 10 ⁴	7.686 × 10 ⁻¹	1.875 × 10 ⁴	
总计	Total		7.616 × 10 ¹	1.022 × 10 ⁵	4.819 × 10 ³

1) 级别参照部颁标准 The grades are divided by the standard of Ministry of Water Conservancy (t km⁻² a⁻¹): 0~ 1, 1~ 500, 500~ 2 500, 2 500~ 5 000, 5 000~ 8 000, 8 000~ 15 000, > 15 000

表 4 2002 年水质面源污染量监测结果

Table 4 Monitoring results of soil TN, TP, AN and AP losses into water body in 2002

速效氮污染监测结果 Monitoring results of active nitrogen				有效磷污染监测结果 Monitoring results of active phosphorus			
速效氮污染等级 Grade of AN ($g\ km^{-2}$)	污染模数 Pollution modulus ($g\ km^{-2}$)	面积 Area (km^2)	污染量 AN pollution load (kg)	速效磷污染等级 Grade of AP ($g\ km^{-2}$)	污染模数 Pollution modulus ($g\ km^{-2}$)	面积 Area (km^2)	污染量 AP pollution load (kg)
0~ 1	5.865×10^{-1}	9.710×10^0	5.690×10^{-3}	0~ 1	4.124×10^{-1}	9.728×10^0	5.000×10^{-5}
1~ 50 000	1.816×10^4	3.384×10^1	6.147×10^2	1~ 5 000	1.685×10^3	3.706×10^1	6.248×10^1
50 000~ 150 000	8.811×10^4	1.574×10^1	1.387×10^3	5 000~ 50 000	1.604×10^4	2.496×10^1	4.003×10^2
150 000~ 500 000	2.759×10^5	1.085×10^1	2.994×10^3	50 000~ 100 000	6.922×10^4	2.744×10^0	1.899×10^2
500 000~ 1 000 000	7.007×10^5	3.471×10^0	2.431×10^3	100 000~ 1 000 000	1.759×10^5	1.570×10^0	2.761×10^2
$\geq 1\ 000\ 000$	1.910×10^6	2.539×10^0	4.848×10^3	$\geq 1\ 000\ 000$	1.077×10^6	5.000×10^{-4}	5.400×10^{-1}
流入水体速效氮总计 ¹⁾	1.612×10^5	7.616×10^1	1.228×10^4	流入水体速效磷总计 ^{1/2)}	1.220×10^4	7.616×10^1	9.293×10^2
入水库速效氮量 ^{④)}			5.791×10^2	入水库速效磷量 ^{1/4)}			4.384×10^1

全氮污染监测结果 Monitoring results of total nitrogen				全磷污染监测结果 Monitoring results of total phosphorus			
全氮污染等级 Grade of TN ($kg\ km^{-2}$)	污染模数 Pollution modulus ($kg\ km^{-2}$)	面积 Area (km^2)	污染量 TN pollution load (kg)	全磷污染等级 Grade of TP ($kg\ km^{-2}$)	污染模数 Pollution modulus ($kg\ km^{-2}$)	面积 Area (km^2)	污染量 TP pollution load (kg)
0~ 1	4.416×10^{-1}	9.939×10^0	4.389×10^0	0~ 1	1.566×10^{-1}	1.036×10^1	1.622×10^1
1~ 1 000	3.596×10^2	3.520×10^1	1.266×10^4	1~ 500	1.586×10^2	4.189×10^1	6.643×10^3
1 000~ 5 000	2.289×10^3	2.045×10^1	4.682×10^4	500~ 2 500	1.148×10^3	1.718×10^1	1.973×10^4
5 000~ 10 000	7.056×10^3	5.288×10^0	3.731×10^4	2 500~ 5 000	3.490×10^3	3.982×10^0	1.390×10^4
10 000~ 50 000	1.920×10^4	4.955×10^0	9.513×10^4	5 000~ 8 000	6.226×10^3	1.489×10^0	9.272×10^3
$\geq 50\ 000$	7.053×10^4	3.194×10^{-1}	2.253×10^4	8 000~ 15 000	1.060×10^4	9.297×10^{-1}	9.858×10^3
流入水体全氮总计 ^{①)}	2.816×10^3	7.616×10^1	2.144×10^5	流入水体全磷总计 ^{②)}	8.728×10^2	7.616×10^1	6.648×10^4
入水库全氮量 ^{④)}			1.012×10^4	入水库全磷量 ^{⑤)}			3.138×10^3

¹⁾ Sum of AN lost to water system; ^{④)} Sum of AN entered reservoir; ^{①)} Sum of TN lost to water system; ^{1/4)} Sum of TN entered reservoir; ^{1/2)} Sum of AP lost to water system; ^{1/4)} Sum of AP entered reservoir; ^{②)} Sum of TP lost to water system; ^{⑤)} Sum of TP entered reservoir

3.2 一体化定量监测结果的精度

为评价一体化监测结果的精度, 首先利用水文观测上游小流域和全小流域的边界从全流域的 A_i 图切割出上游小流域的流失量像元图 E_i 、全小流域的流失量像元图 U_i , 并统计其流失量以及流失总量 $\sum E_i$ 等。然后, 利用 E_i 统计的监测值和上游水文站的测沙数据求得悬总比 v , 将 v 乘 U_i 则为全小流域流入水库的泥沙量(如表 5), 将 v 乘 U_i 再乘像元各养分含量求得入库各养分污染量(如表 6), 它与下游水文站的测沙量和测水样养分量的一致程度, 就是一体化监测的精度。从表 5 可知, 土壤年流失量的监测精度为 93.62%, 从表 6 可知, 全磷入库的污染量的监测精度为 77.79% (其他养分的监测

精度, 因分析水样仪器故障而无法评价)。

一体化定量监测结果的精度, 除数学定量监测模型及其因子算式算法要符合水土流失实际外, 所采用的“3S”技术数据和资料应满足定量监测模型要求; 对于陈旧的土地利用图, 务必用 DGPS 更新; 对于不同利用条件下的土壤养分尽可能重新采土分析, 万不可套用土壤普查的养分含量图。

3.3 一体化定量监测特点的讨论

水土流失与水质面源污染的一体化定量监测, 与常规法的单监测比具有如下特点:

1) 一体化定量监测主要适用于面源污染区, 即关、停或者没有点源污染的工矿企业而只有农业种植的面源污染区。对于养殖、村镇似点源的人畜生

表5 2002年方便流域水土流失定量监测结果的精度

Table 5 Precision of quantitative monitoring of soil erosion into water

水文观测小流域上游区 Upstream				水文观测全小流域 Whole valley			
水土流失等级 Grade of soil erosion ($t km^{-2}$)	侵蚀模数 Erosion modulus ($t km^{-2}$)	面积 Area (km^2)	泥沙流失量 Soil loss (t)	等级 Grade	侵蚀模数 Erosion modulus ($t km^{-2}$)	面积 Area (km^2)	泥沙流失量 Soil loss (t)
0~ 1	1.000×10^{-4}	0.236	2.236×10^{-5}	0~ 1	2.000×10^{-4}	0.493	9.860×10^{-5}
1~ 500	2.247×10^2	1.783	4.006×10^2	1~ 500	1.887×10^2	3.639	6.869×10^2
500~ 2 500	1.197×10^3	1.768	2.116×10^3	500~ 2 500	1.191×10^3	3.067	3.651×10^3
2 500~ 5 000	3.534×10^3	0.580	2.048×10^3	2 500~ 5 000	3.510×10^3	0.881	3.092×10^3
5 000~ 8 000	6.288×10^3	0.303	1.905×10^3	5 000~ 8 000	6.271×10^3	0.404	2.536×10^3
8 000~ 15 000	1.084×10^4	0.268	2.909×10^3	8 000~ 15 000	1.079×10^4	0.321	3.467×10^3
$\geq 15 000$	2.624×10^4	0.157	4.111×10^3	$\geq 15 000$	2.568×10^4	0.173	4.438×10^3
总计 Total	2.648×10^3	5.095	1.349×10^4	总计 Total	1.990×10^3	8.978	1.787×10^4

注: (1) 参数= 上游水文实测泥沙/上游监测泥沙= 0.0472 (其中, 水文站实测泥沙= 636.21 t)。(2) 全流域进入水体泥沙量= 泥沙流失量(水文观测全小流域) × 参数= 842.86 t, 入库实测泥沙= 900.32 t, 水土流失监测精度为93.62%

Notes: (1) The parameter= measured value of bedload in the upstreams/monitored bedload in the upstreams = 0.0472 (The measured value of bedload at the observation station is 636.21 tons). (2) Soil loss into the water body of the whole valley= soil loss monitored throughout the valley × the parameter= 842.86 tons. Measured soil loss in the reservoir= 900.32 tons. Precision of the quantitative monitoring of soil erosion= 93.62 percent

表6 2002年方便流域水质全磷污染定量监测结果的精度

Table 6 Precision of quantitative monitoring of total phosphorus pollution load into water in Fangbian Valley in 2002

全磷流失等级 Grade of TP loss ($kg km^{-2}$)	级别号 Grade	污染模数 Erosion modulus ($kg km^{-2}$)	面积 Area (km^2)	污染量 TP pollution load (kg)
0~ 1	1	7.74×10^{-2}	0.548	4.241×10^{-2}
1~ 500	2	1.539×10^2	5.346	8.227×10^2
500~ 2 500	3	1.124×10^3	2.309	2.595×10^3
2 500~ 5 000	4	3.494×10^3	0.467	1.631×10^3
5 000~ 8 000	5	6.229×10^3	0.170	1.058×10^3
8 000~ 15 000	6	1.055×10^4	0.095	9.974×10^2
$\geq 15 000$	7	2.257×10^4	0.043	9.798×10^2
流入水体全磷总计 Sum of TP entered water system		9.004×10^2	8.978	8.084×10^3
流入水库TP量 Sum of TP entered reservoir				3.813×10^2

注: 将2002年5月采水样44个实测TP均值 $0.1532 g kg^{-1}$ 作为全年均值, 全年流量 319.993 万 m^3 , 粗算全年流出测点的TP量为 490.22 kg, 水质全磷监测的精度为77.79%

Note: In May 2002, 44 water samples were taken for test of total phosphorus. Their measured values were averaged to be $0.1532 g kg^{-1}$, which is regarded as the annual average. The annual amount of runoff is $3199930 m^3$. On such a basis, the quantity of total phosphorus flowing into the water body through the monitoring station is roughly estimated to be 490.22 kg. The precision of the quantitative monitoring of total phosphorus loss into reservoir is 77.79 percent

生活污水污染, 尚需研究增加其对水质污染的迭加模型, 才能提高水质面源污染的监测精度。

2) 其监测结果因采用与水文站测沙数据比的精度评价法而使监测精度一般都可达到80%以上,

是常规单项监测难以达到的。

3) 一体化定量监测结果, 具有时间包含全年和空间覆盖全流域而更为全面实用。而常规单项水质面源污染的监测结果, 只能在仿水文法所设测点上

游河道局部空间和采水样分析有限时间的结果, 更无法监测出污染养分的来源地, 故不具防治污染的实用性。

4) 一体化定量监测快速、费用省。它虽比单项监测需要较多“3S”数据, 但系统一旦建立, 则可供长期常年使用(每年更新的只是 R_i 因子图和定期更新遥感数据), 费用很少。尤其专用软件改进后, 一体化定量监测可完成从小流域(10km²)到省级(10万km²)的监测任务, 速度快和适应能力强(例如, 在江苏省DEM建成后, 从建系统到完成连续4年的监测任务, 只需一人半年的时间)。与单项水质面源污染的监测比, 一体化定量监测设水文点测水量采水样分析的目的在于评价监测结果的精度(而可减少设水文点的数量), 故其速度快和费用省的特点就更为显著。

综上所述, 土壤侵蚀、水土流失, 水土流入水库, 导致水体氮、磷污染含量升高和水体质量的下降; 采用水土流失和水体污染的一体化定量监测, 具有比水土流失常规法监测的结果精度更高, 比仿水文法测定水质污染监测法更易弄清污染来源、且经济实用、便捷。

参考文献

- [1] 刘润堂, 许建中, 冯绍元, 等. 农业面源污染对湖泊水质影响的初步分析. 中国水利, 2002, (6): 54~56. Liu R T, Xu J Z, Feng S Y, *et al.* Analysis of impact of non-point source pollution from agriculture to lake water quality (In Chinese). China Water Resources, 2002, (6): 54~56
- [2] 甄兰, 廖文华, 刘建玲. 磷在土壤环境中的迁移及其在水环境中的农业非点源污染研究. 河北农业大学学报, 2002, 25(5): 55~59. Zhen L, Liao W H, Liu J L. A study on phosphorus movement in soil and phosphorus pollution from agricultural non-point sources in water environment (In Chinese). Journal of Agricultural University of Hebei, 2002, 25(5): 55~59
- [3] 朱松, 陈英旭. 小流域N、P污染负荷的构成比重研究. 环境污染与防治, 2003, 25(4): 226~252. Zhu S, Chen Y X. The pollution of nitrogen and phosphorus constitute at small watershed (In Chinese). Pollution and Prevention of Environment, 2003, 25(4): 226~252
- [4] 牛志明, 解明曙, 孙阁. 非点源污染模型在土壤侵蚀模拟中的应用及发展动态. 中国水土保持, 2001, (3): 20~22. Liu Z M, Xie M S, Sun G. Development on non-point source pollution in application of soil erosion modeling (In Chinese). China Water and Soil Conservation, 2001, (3): 20~22
- [5] 张淑瑛, 卢映东, 宋丽敏. 面源污染研究方法的探讨. 黑龙江环境通报, 2002, 26(2): 10~17. Zhang S Y, Lu Y D, Song L M. Discussion of non-point source pollution method (In Chinese). Heilongjiang Environmental Journal, 2002, 26(2): 10~17
- [6] 杨爱玲, 朱颜明. 地表水环境非点源污染研究. 环境科学进展, 1999, 7(5): 60~67. Yang A L, Zhu Y M. The study of non-point source pollution of surface water environment (In Chinese). Advances in Environmental Science, 1999, 7(5): 60~67
- [7] 王珂, 许红卫, 王人潮, 等. 应用污染模型和地理信息系统评价和管理农业非点源污染. 环境污染与防治, 1997, 19(6): 30~31, 40. Wang K, Xu H W, Wang R C, *et al.* Evaluation and management of agriculture non-point source pollution by pollution model and geographical information system (In Chinese). Pollution and Prevention of Environment, 1997, 19(6): 30~31, 40
- [8] 曹文志, 洪华生, 岳世平, 等. GIS在农业非点源污染模拟研究的应用. 厦门大学学报(自然科学版), 2001, 40(3): 658~663. Cao W Z, Hong H S, Yue S P, *et al.* Strategies and progresses on modeling non-point source pollution coupled with GIS (In Chinese). Journal of Xiamen University (Natural Science Ed.), 2001, 40(3): 658~663
- [9] 李怀恩, 沈晋, 刘玉生. 流域非点源污染模型的建立与应用实例. 环境科学学报, 1997, 17(2): 141~147. Li H E, Shen J, Liu Y S. The establishment and case study of the model for non-point source pollution for watershed (In Chinese). Acta Scientiae Circumstantiae, 1997, 17(2): 141~147
- [10] Bao Q S. Progress in the research in aquatic environmental non-point source pollution in China. Journal of Environmental Sciences, 1997, 9(3): 329~336
- [11] Mostaghimi S, Park S W, Cooke R A, *et al.* Assessment of management alternatives on a small agricultural watershed. Water Research, 1997, 31(8): 1867~1878
- [12] Laflen J M, Elliot W J, Flanagan D C, *et al.* WEPP-Predicting water erosion using a process-based model. Journal Soil and Water Conservation, 1997, 52(2): 96~102
- [13] Mauro D L, Srinivasan R, Jeffrey G A. Integration of watershed tools and Swat Model into basins. Journal of American Water Resources Association, 2002, 38(4): 1127~1141
- [14] El-Swaify S A, Dangler E W, Armstrong C L. Soil erosion by water in the tropics. HITAH- College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii, Research Extension Series 024. 1982, 92~94
- [15] Al-Abed M, Shi Z, Yaghi A, *et al.* An integrated GIS/RS approach for soil erosion assessment and modeling in Syrian coastal soils. Pedosphere, 2001, 11(2): 167~174
- [16] Wischmeier W H. Rainfall erosion potential: Geographic and location differences of distribution. Agricultural Engineering, 1962, 43: 212~215
- [17] Wischmeier W H, Mannerling J V. Soil and water management and conservation: Relation of soil properties to credibility. Soil Science Society of America Proceedings, 1969, 33: 131~138
- [18] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses—A Guide to Conservation Planning. USDA, ARS, Agricultural Handbook 537, Washington D C, 1978. 76
- [19] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, *et al.* RUSLE: Revised universal soil loss equation. J. Soil and Water Conservation, 1991, 46(1): 30~33
- [20] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, *et al.* Predicting Soil Ero-

- sion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). U. S. Dept. of Agriculture, Agric. Handbook 1997. No. 703, 404
- [21] 卜兆宏, 孙金庄, 周伏建, 等. 水土流失定量遥感方法及其应用的研究. 土壤学报, 1997, 34(3): 235~ 245. Bu Z H, Sun J Z, Zhou F J, *et al.* A Study on quantitative remote sensing method of soil erosion and its application (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1997, 34(3): 235~ 245
- [22] 孙鸿烈, 刘光崧主编. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996. Sun H L, Liu G S. eds. Soil Physics and Chemistry Analysis and Section Description (In Chinese). Beijing: China Standard Press, 1996
- [23] 卜兆宏, 刘邵清. 土壤流失量及其参数实测的新方法. 土壤学报, 1995, 32(2): 210~ 220. Bu Z H, Liu S Q. A new method to survey capacity of soil running off and its parameters (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1995, 32(2): 210~ 220
- [24] 卜兆宏, 唐万龙. 降雨侵蚀力(R)最佳算法及其应用的研究成果简介. 中国水土保持, 1999, (6): 16~ 17. Bu Z H, Tang W L. Introduction to the research brief of optimum algorithm of erosive power (R) for rainfall and its application (In Chinese). China Water and Soil Conservation, 1999, (6): 16~ 17
- [25] 卜兆宏, 杨林章, 卜宇行, 等. 太湖流域苏皖区土壤可蚀性 K 值图及其应用的研究. 土壤学报, 2002, 39(3): 296~ 300. Bu Z H, Yang L Z, Bu Y H, *et al.* Soil erodibility (K) value and its application in Taihu Lake catchments (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(3): 296~ 300
- [26] 卜兆宏, 唐万龙, 杨林章, 等. 水土流失定量遥感方法新进展及其在太湖流域的应用. 土壤学报, 2003, 40(1): 1~ 9. Bu Z H, Tang W L, Yang L Z, *et al.* The progress of quantitative remote sensing method for annual soil losses and its application in Taihu Lake catchments (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(1): 1~ 9
- [27] 姜小三, 潘剑君, 杨林章, 等. 土壤可蚀性 K 值的计算与 K 值图的制作研究. 土壤, 2004, 36(2): 177~ 180. Jiang X S, Pan J J, Yang L Z, *et al.* Study on methods of calculating and mapping soil erodibility factor K (In Chinese). Soils, 2004, 36(2): 177~ 180

INTEGRATED QUANTITATIVE MONITORING OF SOIL LOSS AND WATER POLLUTION — A CASE STUDY OF FANGBIAN VALLEY IN JIANGSU PROVINCE

Jiang Xiaosan¹ Bu Zhaohong² Yang Linzhang² Xia Lizhong² Pan Jianjun¹
(1 College of Resources and Environment Sciences, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China)
(2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract Through the study on soil erosion and agricultural non-point source pollution to the water body of the Fangbian valley in Nanjing, a new research approach, integrated quantitative monitoring, was introduced. It adopts the “3S” technique to gain necessary data to satisfy factors of the mathematical model of soil erosion monitoring. First, obtain accurate amount of soil loss through quantitative monitoring of soil erosion, and then work out an accurate non-point pollution sources distribution map and figure out pollution load to the reservoir based on the results obtained in the previous step and the annual mean soil nutrient contents under different land uses. Precision of the monitoring is verified through evaluation of the measured bedloads at the upstream and downstream hydraulic monitoring stations, while pollution load into the reservoir is determined through test and analysis of water samples and measured volume of runoffs. In 2002, the precision of monitoring of soil erosion was 93.62% in the studied area, and of the pollution load of total phosphorus into the water body from non-point sources was 77.79%. The results initially show that the method of integrated quantitative monitoring is characterized by precision, quickness and economization.

Key words Soil loss; Pollution of water quality; Agricultural non-point source pollution; Integration; Quantitative monitoring