

河龙区间水土保持工程与耕作措施减沙量计算

曹 炜^{1,2}, 高云飞², 李智广³, 杨胜天⁴

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 黄河水土保持生态环境监测中心, 陕西 西安 710021;
3. 水利部 水土保持监测中心, 北京 100053; 4. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘 要: 为解决区域上工程、耕作措施减沙量的计算问题, 以河龙区间(河口镇—龙门)为研究区, 按 1% 密度布设野外调查单元。以野外调查单元地块的耕作措施状况和已有研究成果为基础, 计算了野外调查单元潜在土壤侵蚀量 A' 与土壤侵蚀量 A 。以 A/A' 作为布设野外调查单元网格的耕作措施因子值, 获得区域耕作措施因子图层, 进而进行土壤侵蚀量和减沙量计算。计算结果在水土流失面积、强度分布上与已有成果基本一致, 全区土壤侵蚀模数为 $4\ 004\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 产沙量为 $4.54 \times 10^8\ \text{t}/\text{a}$ 。耕作措施总减沙量为 $8.00 \times 10^7\ \text{t}/\text{a}$, 主要集中在中部的佳县、临县、神木县等黄土丘陵沟壑区。

关键词: 河龙区间; 野外调查单元; 工程措施; 耕作措施; 减沙

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2012)04-0130-04

中图分类号: S157

Reduction in Sediment Yield by Engineering Control and Tillage Measures of Soil and Water Conservation in Hekouzhen—Longmen Region

CAO Wei¹, GAO Yun-fei², LI Zhi-guang³, YANG Sheng-tian²

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

2. The Monitoring Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment of Yellow

River, Xi'an, Shaanxi 710021, China; 3. The Monitoring Center of Soil and Water Conservation,

MWR, Beijing 100053, China; 4. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Chosen Hekouzhen—Longmen region as research area, the study focused on the calculation of regional sediment reduction by engineering control and tillage measures (E , T). Approximately 1% of the total area was surveyed in grids to obtain detailed information regarding engineering controls and tillage. Combined with existing research findings, the potential and actual amount of soil erosion modulus (A' and A , respectively) were calculated for the surveyed blocks of land. Using A/A' as the value of grid where field survey was conducted, regional factors E and T were then obtained as the basis to estimate sediment yield and reduction in sediment yield by engineering projects and tillage practices. The results show that the total area of the eroded land and the spatial distribution of the soil erosion intensity were consistent with the existing research results. The regional soil erosion modulus was estimated as high as $4\ 004\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ and total sediment yield of the study area reached $4.54 \times 10^8\ \text{t}/\text{a}$. Engineering projects and tillage practices possibly contributed reduction of $8.00 \times 10^7\ \text{t}/\text{a}$ to the total sediment yield. The eroded land concentrated in the middle area of the loess hilly and gully region, including counties of Jiaxian, Linxian, and Shenmu, etc.

Keywords: Hekouzhen—Longmen region; field investigation unit; engineering control; tillage measures; sediment reduction

工程措施 E (engineering control) 是指为减少水土流失而建设的, 对地形有改变的水土保持工程, 耕作措施 T (tillage) 是指为减少水土流失而在农田上

实行的耕作措施。 E , T 因子是指一定条件下有工程、耕作措施的土地土壤流失总量与同等条件下实施清耕的连续休闲地土壤流失总量的比值, 无量纲数,

收稿日期: 2012-05-31

修回日期: 2012-06-09

资助项目: 中华人民共和国国务院第一次全国水利普查项目

作者简介: 曹炜 (1967—), 男 (汉族), 陕西省榆林市人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事水土保持监测和规划研究。E-mail: hhcaowei@126.com。

通信作者: 杨胜天 (1965—), 男 (彝族), 贵州省贵阳市人, 博士, 教授, 主要从事水文水资源遥感、环境遥感和地理信息系统研究。E-mail: yangshengtian@bnu.edu.cn。

值介于 0~1 之间,是 CSLE(Chinese soil loss equation)模型的主要参数之一^[1]。国内外对 E 、 T 因子的取值进行了大量研究,国外的研究主要集中在 USLE 模型的先后几个版本中^[2-3]。国内江忠善等^[4]确定了安塞县水平梯田、坡式梯田的 E 因子值分别为 0.02~0.05,0.5,田杏芳等确定了安塞县等高耕作的 T 因子值为 0.7。

在区域尺度上,工程、耕作措施的分布受到人为因素影响较大,随机性强,规律性差;而传统的遥感方法又受到分辨率的限制,导致小区实测得到的 E 、 T 因子难以推广使用。区域上 E 、 T 的减沙量计算仍然以水文法、水保法等估算方法^[5]为主。本文以河龙区间为研究区,以野外调查数据为基础,根据 CSLE 方程和已有研究成果,按网格对 E 、 T 因子赋值,进行 E 、 T 的减沙量计算,旨在为区域土壤侵蚀监测提供参考。

1 研究区概况

研究区(107°54′50″—112°40′39″E,39°35′55″—40°35′51″N)位于黄河中游晋陕峡谷的河口镇至龙门区间(简称河龙区间),陕西、山西、内蒙古 3 省区交界处,共涉及 72 个县(市、旗),面积约为 $11.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占黄河总流域面积的 15%。属黄河流域土壤侵蚀最严重的地区,是黄河流域水土保持生态建设的重点区。该区降雨主要集中在 6—9 月,年降水量在 140~360 mm 之间,多年平均(1981—2010 年)降水量 241.4 mm。土壤质地疏松,多孔隙,垂直解离明显,以黄绵土、风沙土、栗褐土和褐土类型为主,占全区面积的 80%以上。

地貌以黄土丘陵沟壑地貌为主,海拔 1 100~1 500 m,切割深度 100~500 m。植被以草本为主,北部是典型草原和荒漠草原,南部是森林草原和森林地带,西北部为沙生植被,植被覆盖度较高,是我国水土保持工程、耕作措施建设数量最多,类型最丰富的地区。工程措施主要包括梯田、水平阶、鱼鳞坑、淤地坝等;耕作措施主要包括等高耕作、垄沟种植、草田轮作等。

2 材料与方法

2.1 基础数据

(1) 日降水量数据。95 个气象、水文站点 1980—2009(或 1981—2010)年日降雨量数据,txt 格式。研究区内有站点 39 个,约 1 个/县,周边站点 56 个。

(2) 土壤类型数据。第二次全国土壤普查编制的陕西、山西、内蒙古 3 个省(自治区)的土壤类型纸

质图。陕西、山西省土壤类型图比例尺为 1:50 万,内蒙古自治区土壤类型图比例尺为 1:100 万。

(3) MODIS 数据。2010 年 MODIS NDVI 产品(MOD13Q1),时间分辨率 16 d,空间分辨率 250 m。

(4) 土地利用数据。2010 年土地利用数据,1:100 000 比例尺,采用中国遥感调查土地利用分类系统^[6]。

(5) DEM 数据。1:250 000 比例尺,共 19 幅。

2.2 野外调查

在全区约按 $100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$ 网格均匀布设野外调查点共 858 个(见图 1)。为减少野外调查工作量,保证代表性,在每个野外调查点所在 1:10 000 比例尺地形图中心位置附近选择一个面积约 $0.3 \sim 2 \text{ km}^2$ 的典型闭合小流域作为野外调查单元。采用目估法手工勾绘 E 、 T 一致的地块,共勾绘地块 5 664 个,经数字化后形成野外调查单元地块矢量数据,将 E 、 T 信息填入地块属性表^[7]。

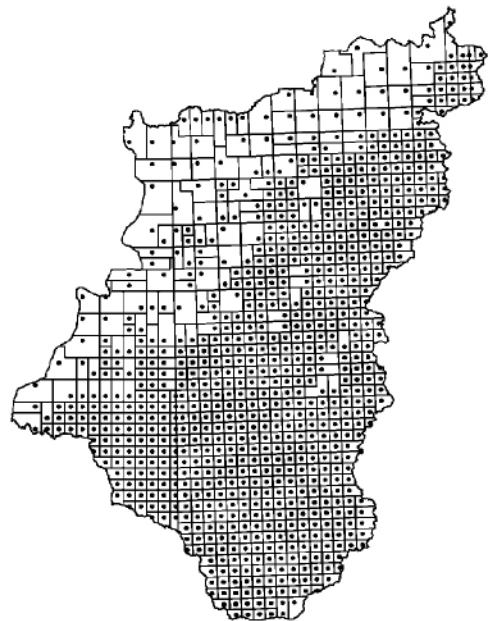


图 1 野外调查点及其所在网格示意图

2.3 CSLE 方程介绍

鉴于 USLE 方程中的植被覆盖与管理因子(C)和水土保持措施因子(P)在应用时计算方法复杂,且要求有多年观测数据的支持。2002 年,刘宝元等收集全国范围内的径流小区和降雨资料,通过对比分析,建立了中国土壤流失方程 CSLE^[1],是水利部土壤侵蚀分级分类标准^[8]中土壤侵蚀量计算的推荐方法。CSLE 模型的具体形式为:

$$M=R \cdot K \cdot LS \cdot B \cdot E \cdot T \quad (1)$$

式中: M ——单位面积上时间和空间平均的土壤流失

量 $[t/(hm^2 \cdot a)]$; R ——降雨侵蚀力因子 $[MJ \cdot mm/(hm^2 \cdot h \cdot a)]$; K ——土壤可蚀性因子 $[t \cdot hm^2 \cdot h/(hm^2 \cdot MJ \cdot mm)]$, 反映土壤是否容易遭受侵蚀的敏感程度, 是土壤抵抗降雨径流产生侵蚀能力的综合体现, 只与土壤本身理化性质有关; LS ——坡度坡长因子(无量纲), 是指任一坡面的土壤流失量与坡度为 5.13° , 坡长为 22.13 m , 其它条件都一致的坡面所产生的土壤流失量之比; B ——植物措施因子(无量纲), 是指一定植被覆盖条件下耕作农地上的土壤流失量与同等条件下连续休闲对照裸地上的土壤流失量之比, 其值大小变化于 $0 \sim 1$ 之间。

2.4 技术路线

应用区域气象、土壤、DEM 和影像产品等基础数据, 计算区域 R, K, LS, B , 按野外调查单元范围矢量裁切出野外调查单元的 R, K, LS, B 因子; 根据已有研究成果, 建立 E, T 因子赋值查找表, 按野外调查单元地块 E, T 属性对地块赋 E, T 因子值。应用 CSLE 方程, 分别计算野外调查单元在有无 E, T 情景下的潜在土壤侵蚀量(A')和土壤侵蚀量(A), 以 A/A' 作为布设野外调查单元网格的 E, T 因子值; 分别计算区域上有无 E, T 情景下的 A' 和 A , 计算区域上 E, T 的减沙量(技术路线见图 2)。

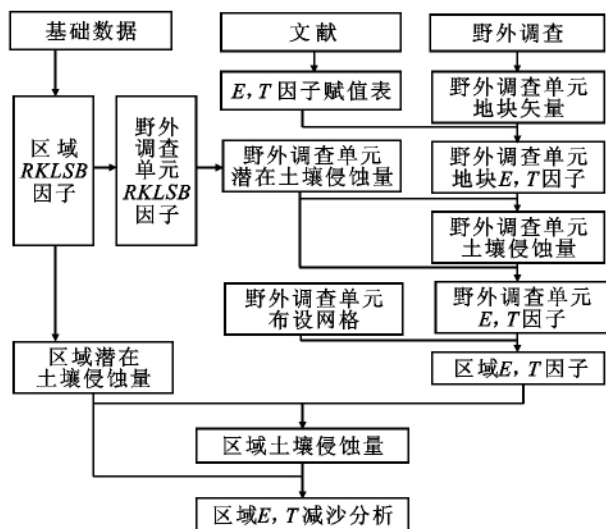


图 2 区域 E, T 减沙计算技术路线图

2.5 研究方法

2.5.1 R, K, LS, B 因子计算 根据黄土高原坡面侵蚀性降雨雨量标准^[9], 在 ENVI IDL 平台编写程序, 从日降雨量数据中剔除 $< 12\text{ mm}$ 的无侵蚀性降雨数据, 利用文献^[10]方法计算各站点多年平均 R 值。根据站点的经纬度, 在 ArcGIS 中, 生成站点 R 值点图层, 使用 IDW (inverse distance weighted) 插值方法生成区域 R 图层。将纸质土壤图经扫描、几

何纠正、数字化、土壤名称对照、矢量数据整理等过程处理形成数字化土壤类型图。通过土壤分类体系归并和查阅土种志土壤属性资料, 得到各土种的有机质含量、机械组成参数。应用文献^[11]方法, 计算各土种 K 值。按土壤类型赋值, 生成区域 K 因子图层, 详细过程可参考文献^[7]。在 $1:250\,000$ 比例尺 DEM 上提取等高线密度地形指标, 按文献^[12]方法计算区域 LS 因子图层。应用 MODIS NDVI 产品提取植被覆盖度, 结合土地利用, 按文献^[13]方法计算区域 B 因子图层。

按野外调查单元矢量范围, 对 R, K, LS, B 因子进行裁切, 得到野外调查单元的 R, K, LS, B 因子图层。

2.5.2 区域 E, T 因子计算 参考已有研究成果^[4,14-15], 建立 E, T 因子查找表(见表 1)。按野外调查单元地块 E, T 类型进行赋值, 得到野外调查单元地块 E, T 因子图层。

表 1 工程措施、耕作措施因子查找表

工程措施	E 值	耕作措施	T 值
水平梯田	0.07	等高耕作	0.70
坡式梯田	0.27	垄沟种植	0.60
水平阶	0.33	抗旱丰产沟	0.10
鱼鳞坑	0.25	草粮带状间轮作	0.45
土谷坊	0.25	草灌带状间作	0.30
沙障固沙	0.20		

将野外调查单元 R, K, LS, B 图层相乘, 得到野外调查单元 A' 图层。将野外调查单元 A' 图层与野外调查单元地块 E, T 因子图层相乘, 得到野外调查单元 A 图层。按照布设野外调查单元的网格范围, 将二者的比值(A/A')作为该野外调查单元对应网格的 E, T 因子值, 即区域 E, T 因子图层。

2.5.3 区域 E, T 减沙量计算 将区域 R, K, LS, B 图层相乘, 得到区域 A' 图层。将区域 A' 图层与区域 E, T 因子图层相乘, 得到区域 A 图层。区域 A' 图层与 A 图层的差值即为区域上 E, T 的减沙量。

3 结果与分析

3.1 土壤侵蚀量计算结果与精度分析

将区域 A 图层按土壤侵蚀分级分类标准 (SL190—2007) 进行强度分级(附图 6)。

2008 年, 水利部对研究区进行了监测, 监测区与研究区范围基本一致。监测区总面积 $11.16 \times 10^4\text{ km}^2$, 水土流失(\geq 轻度侵蚀)面积 $81\,595.99\text{ km}^2$, 占全区面积的 73.1% ^[14]; 计算水土流失面积 $79\,621.55\text{ km}^2$, 占研究区面积的 70.46% 。

在侵蚀强度分布上,西部主要为风力侵蚀区,中部的黄河干流及主要支流区域为水力侵蚀较为剧烈区,东部和南部为水力侵蚀较轻微区,北部几种侵蚀强度类型都有分布^[15]。与附图6比较,主要侵蚀强度分布区域基本一致,只是在部分小的区域上有所差别。

对比结果表明,可应用布设野外调查单元网格 E, T 因子赋值的方法,获得区域 E, T 因子图层,进行土壤侵蚀量计算。

3.2 减沙分析

研究区潜在土壤侵蚀模数为 $4\ 701\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,土壤侵蚀模数为 $4\ 004\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, A' 为 $5.34 \times 10^8\ \text{t}/\text{a}$, A 为 $4.54 \times 10^8\ \text{t}/\text{a}$ 。 E, T 因子平均降低土壤侵蚀模数 $697\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,总减沙量为 $8.00 \times 10^7\ \text{t}/\text{a}$ 。

受人为因素影响, E, T 因子随意性较大,在区域上的分布很不规律,导致减沙量在区域上的分布规律性较差。但大致上可认为,东部、南部的基岩山地区,土壤侵蚀较轻,人烟稀少,以植物措施为主,几乎无 E, T 因子,减沙量接近于0。西部以风力侵蚀为主,只有少量沙障等 E 因子,不适合耕种,几乎无 T 因子,减沙量接近于0。 E, T 因子主要集中在中部、北部的黄土丘陵沟壑区,中部的 E, T 数量多于北部,减沙量也大于北部地区。

在县级($\geq 500\ \text{km}^2$)空间分布上,中部佳县、临县、神木县是减沙量最大的地区,3个县的减沙量分别为 $500.66, 458.3, 449.79$ 万 t/a 。需要指出,减沙量与产沙量不成正比关系。临县、神木县的产沙量分别达到 $1\ 643.75, 3\ 282.3$ 万 t/a ,土壤侵蚀模数分别为 $5\ 522, 4\ 392\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,土壤侵蚀依然强烈。主要原因在于:(1)2县地处黄土丘陵区中心地带,经多年侵蚀,地表沟壑纵横,土壤疏松,虽然 E, T 因子在一定程度上减少了产沙总量,但实际产沙量依然较大。(2)2县的土壤侵蚀模数略高于全区平均值 $3\ 420.41\ \text{t}/\text{km}^2/\text{a}$,但面积较大,增大了实际总产沙量。

4 结论

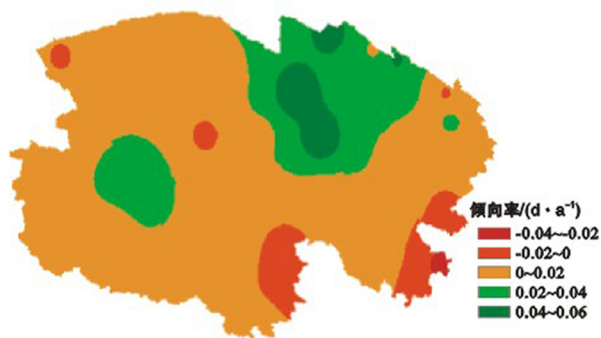
本文以河龙区间为研究区,以野外调查单元地块 E, T 状况和已有研究成果为基础,通过对布设野外调查单元网格 E, T 因子赋值的方法,进行了 E, T 减沙量计算。

(1)可通过计算野外调查单元潜在土壤侵蚀量 A' 与土壤侵蚀量 A ,以 A/A' 作为布设野外调查单元网格 E, T 因子值,获得区域 E, T 因子图层,进行土壤侵蚀量计算。计算结果与已有成果在水土流失面积、强度分级分布上基本一致。

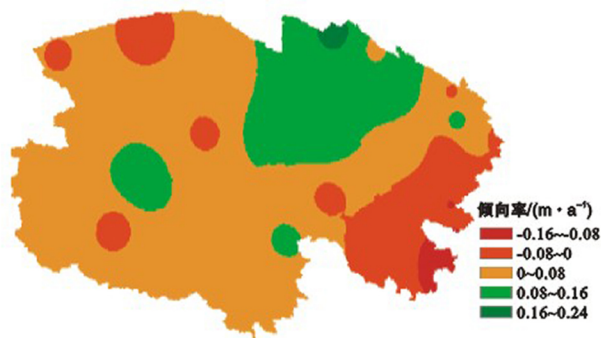
(2)研究区潜在土壤侵蚀模数为 $4\ 701\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,土壤侵蚀模数为 $4\ 004\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,潜在产沙量为 $5.34 \times 10^8\ \text{t}/\text{a}$,实际产沙量为 $4.54 \times 10^8\ \text{t}/\text{a}$, E, T 因子平均降低土壤侵蚀模数 $697\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,总减沙量为 $8.00 \times 10^7\ \text{t}/\text{a}$ 。 E, T 主要集中在中部的佳县、临县、神木县等黄土丘陵沟壑区。

[参 考 文 献]

- [1] Liu Baoyuan, Zhang Keli, Xie Yun. An empirical soil loss equation[C]//Proceedings 12th International Soil Conservation Organization Conference II: Process of Soil Erosion and Its Environment Effect. Beijing, China: Qinghua University Press, 2002.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning[M]. Agriculture Handbook; No. 537. USDA, 1978.
- [3] Renard K G, Foster G R, Weeies G A. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation(RUSLE) [M]. Agriculture Handbook; No. 703. USDA, 1997.
- [4] 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):1-9.
- [5] 冉大川, 柳林旺, 赵力仪, 等. 河龙区间水土保持措施减水减沙效益分析[J]. 人民黄河, 1999, 21(9):1-4.
- [6] 全国土地利用数据库 2010 年更新规范修订组. 全国土地利用数据库 2010 年更新实施方案与技术标准[S]. 北京, 2007:4-5.
- [7] 国务院第一次全国水利普查领导小组办公室. 第一次全国水利普查培训教材之六: 水土保持情况普查[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [8] 中华人民共和国水利部. SL190—2007 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [9] 谢云, 刘宝元. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4):6-11.
- [10] 王占礼. 中国土壤侵蚀影响因素及其危害分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4):32-36.
- [11] Wischmeier W H, Johnson C B, Cross B V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites[J]. J. Soil and Water Conserv., 1971, 26:189-193.
- [12] 高云飞, 李智广, 杨胜天, 等. 黄河粗泥沙集中来源区区域地形因子比较研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 111-114.
- [13] 曹炜, 高云飞, 李智广, 等. 河龙区间植物措施因子定量计算[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4):34-37.
- [14] 中华人民共和国水利部. 中国水土保持公报[B]. 2008.
- [15] 中华人民共和国水利部, 中国科学院. 中国土壤侵蚀图集[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.



附图1 青海省极端降水天数年际变化空间分布



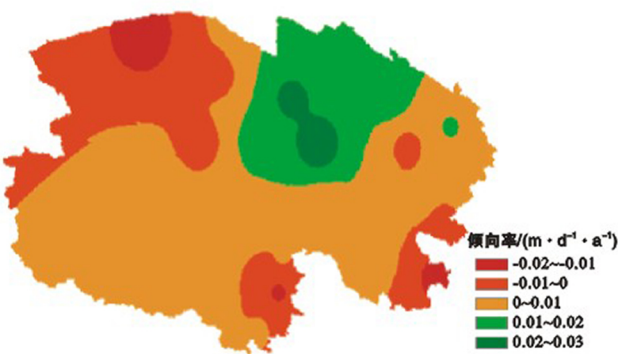
附图2 青海省最大1 d降水量年际变化空间分布



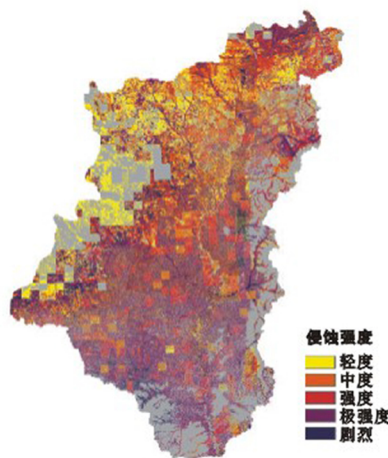
附图3 青海省最大5 d降水量年际变化空间分布



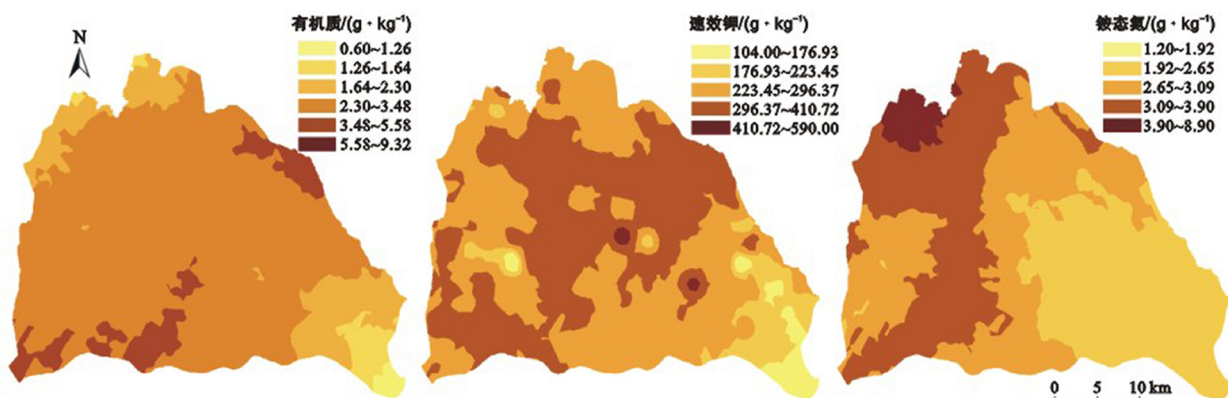
附图4 青海省中雨天数年际变化空间分布



附图5 青海省逐年平均降水强度年际变化的空间分布



附图6 河龙区间土壤侵蚀强度分级



附图7 河南省封丘县土壤养分含量空间变异特征图谱