

樊彦国,韩志聪,李倩倩,等. 基于GIS和CSLE的土壤侵蚀定量评价——以山东省临沂地区为例[J]. 江苏农业科学,2016,44(11):439-442.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.11.126

基于GIS和CSLE的土壤侵蚀定量评价 ——以山东省临沂地区为例

樊彦国¹, 韩志聪¹, 李倩倩¹, 田从永²

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580; 2. 海洋石油工程股份有限公司, 山东青岛 266520)

摘要:为了解及评估山东省临沂地区土壤侵蚀现状,在地理信息系统(geographic information system,简称GIS)技术支持下,应用中国土壤侵蚀方程(Chinese soil loss equation,简称CSLE)模型,中分辨率成像光谱仪[moderate-resolution imaging spectroradiometer,简称MODIS(250 m)]与航天飞机雷达地形测绘[shuttle radar topography mission,简称SRTM(90 m)]影像,测量研究区10个气象站点降水量数据及土壤类型图等数据,结合临沂地区特征,定量估算了研究区土壤侵蚀量。结果表明:(1)研究区土壤的微度侵蚀占总面积的80.83%,轻度侵蚀占15.62%;(2)在地形起伏较大的山区、丘陵地带存在非常明显的中、强度侵蚀,土壤侵蚀较为严重的地区主要分布在山区周围,平原地区侵蚀强度较轻;(3)山区周围的侵蚀以山脚为主,越往上的区域,侵蚀程度越低。

关键词:土壤侵蚀;CSLE模型;GIS技术;临沂地区;定量评价

中图分类号: S127;S157 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)11-0439-04

土壤侵蚀作为一场“蠕动的灾难”,是当今全球人类共同面临的一种最普遍、持续性最强的地质性灾害^[1]。土壤侵蚀是指在地表内外营力和人为作用力的影响下,土壤颗粒及各种构成等遭到破坏,包括剥离、输移和沉积等全部过程^[2]。山东省临沂地区土壤侵蚀面积大、侵蚀模数高,尤其是低山丘陵区土壤侵蚀非常严重,是山东省土壤侵蚀的主要地区之一。自Meyer提出对土壤侵蚀定量评价研究^[3]以来,土壤侵蚀领域掀起了土壤侵蚀定量评价模型的研究热潮,国内外学者投

身于模型研究中,具有代表性的有USLE^[4]/RUSLE^[5-6]、WEPP/GeoWEPP^[7-8]、LISEM^[9]、CSLE^[10]等,其中大部分模型都是在土壤流失模型(USLE)的基础上根据实际问题修改形成的。CSLE是在USLE和RUSLE基础上,根据我国特殊自然地理环境改进后的适用于我国土壤侵蚀特征的土壤侵蚀定量评价模型。

随着3S技术的快速发展,地理信息系统(geographic information system,简称GIS)、遥感(remote sensing,简称RS)等技术被广泛应用到土壤侵蚀定量评价研究中,为模型因子的获取提供了新途径。程琳等利用CSLE模型和专题测图仪(thematic mapper,简称TM)数据对陕西省土壤侵蚀进行了定量评价^[11],孙禹等利用GIS技术对黑龙江省克山县的土壤侵蚀模数进行了计算^[12],王凯等利用CSLE模型和高分辨率影像对孤山川流域土壤侵蚀进行了定量评价^[13]。本研究在GIS

收稿日期:2015-09-17

基金项目:农业气象保障与重点实验室开放基金(编号:AMF201309);中央高校基本科研业务费专项资金(编号:11CX04012A)

作者简介:樊彦国(1965—),男,河北望都人,博士,教授,主要研究方向为遥感应用与国土资源。E-mail:ygf@upc.edu.cn。

进行了分析,运用多期的遥感影像数据对土地利用动态变化信息进行提取和预测,并对其土地利用驱动因素进行全面深入分析有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 张红红,林楠,王晓志,等. 基于RS和GIS的吉林地区土地利用变化研究[J]. 测绘与空间地理信息,2016,39(2):68-70,74.
- [2] 龙花楼,李秀彬. 长江沿线样带土地利用格局及其影响因素分析[J]. 地理学报,2001,56(4):417-425.
- [3] 摆万奇,阎建忠,张德铨. 大渡河上游地区土地利用/土地覆被变化与驱动力分析[J]. 地理科学进展,2004,23(1):71-78.
- [4] 王秀兰,包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展,1999,18(1):81-87.
- [5] 凌侠,王丹秋. 基于RS和GIS的固阳县土地利用动态变化研究[J]. 内蒙古农业大学学报,2013,34(5):47-52.

- [6] 张丽,杨国范,刘吉平. 1986—2012年抚顺市土地利用动态变化及热点分析[J]. 地理科学,2014,34(2):186-191.
- [7] Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s[J]. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24(2):195-210.
- [8] 毛腾. 基于RS和GIS的土地利用动态变化分析——以南京市为例[J]. 辽宁农业科学,2015(6):28-31.
- [9] 李丽,刘普幸,姚玉龙. 近28年金昌市土地利用动态变化及模拟预测[J]. 生态学杂志,2015,34(4):1097-1104.
- [10] 魏媛,吴长勇,徐筑燕. 贵阳市土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 贵州农业科学,2015,43(2):185-188,192.
- [11] 余嘉琦,李钢,赵华,等. 江苏省沛县土地利用变化及其生态服务价值研究[J]. 江苏农业科学,2015,43(6):371-376.
- [12] 陈瑜琦,王雯,李建林. 生态脆弱区土地利用动态变化研究——以甘肃省榆中县为例[J]. 国土资源科技管理,2015,32(6):24-31.

技术支持下,借助 CSLE 模型,对山东省临沂地区的土壤侵蚀量进行了定量评价,并量化研究区的土壤侵蚀模数,编制临沂地区土壤侵蚀等级图,为该地区土壤侵蚀的研究提供借鉴和参考。

1 研究区概况

临沂地区位于山东省东南部,鲁南与苏北的交界处,地跨 $34^{\circ}22' \sim 36^{\circ}13'N$ 、 $117^{\circ}24' \sim 119^{\circ}11'E$,是山东省中南部低山丘陵区东南部 and 山东东部丘陵区南部的结合区域,地势西北高东南低,为暖温带大陆性季风气候,年平均气温为 $14.1^{\circ}C$,年均降水量为 849 mm。土壤类型主要有潮土、褐土、淋溶褐土、棕壤、棕壤性土、潮褐土、潜育水稻土和砂姜黑土 8 种,其中棕壤性土占地面积最多,其次是淋溶褐土和潜育水稻土。地表土层浅薄、土质疏松、夹杂土石大颗粒、土壤渗透性差、水土流失现象明显。

2 研究方法

2.1 模型选择与数据处理

本研究采用 CSLE 模型计算临沂地区土壤侵蚀量,如式(1)所示:

$$A = R \times K \times L \times S \times B \times E \times T. \quad (1)$$

式中: A 为年单位面积的土壤侵蚀量 (t/hm^2); R 为降水侵蚀力因子 [$(MJ \cdot mm)/(hm^2 \cdot h)$]; K 为土壤可蚀性因子 [$(t \cdot hm^2 \cdot h)/(hm^2 \cdot MJ \cdot mm)$]; L 为坡长因子; S 为坡度因子; B 为生物措施因子; E 为工程措施因子; T 为耕作措施因子。

模型所采用的数据来源:(1)研究区 10 个气象站点,每个站点包含 1998—2007 年的日降水数据;(2)研究区土壤类型分布情况及土地利用图(临沂市国土资源局);(3)研究区分辨率 90 m 的 SRTM 数据,用于提取研究区数字高程模型(digital elevation model,简称 DEM);(4)2000—2011 年,时间间隔为 16 d 的时序 MOD13 影像,分辨率为 250 m。

2.2 模型各因子的计算

2.2.1 降水侵蚀力因子 R 降水对土壤侵蚀的作用表现在分解、击打、冲刷等方面,在现有的土壤侵蚀定量评价模型中,通常用降水来度量气候对土壤的侵蚀力,用降水侵蚀力因子 R 来表示。

本研究选用章文波等日降水量计算方法^[14]计算研究区降水侵蚀力 R 因子。模型公式如下:

$$M = \alpha \sum_{j=1}^k (P_j)^{\beta}; \quad (2)$$

$$R_{\text{年}} = \sum_{i=1}^{24} M_i. \quad (3)$$

式中: M 表示某半月时段的侵蚀力 [$(MJ \cdot mm)/(h \cdot hm^2)$]; k 为该半月时段内的时间(d); P 为半月时段内第 j 天的侵蚀性日水量,阈值的选择与我国侵蚀性降水标准一致,取 12 mm (即日降水量选取 ≥ 12 mm 的数值,否则降水不足以造成侵蚀性径流的行程,以 0 计算); α 和 β 为模型待定参数,与研究区降水特征有关,计算公式为:

$$\beta = 0.8363 + \frac{18.177}{P_{d12}} + \frac{24.455}{P_{y12}}; \quad (4)$$

$$\alpha = 21.586 \cdot \beta^{-7.1891}. \quad (5)$$

式中: P_{d12} 为日降水量 ≥ 12 mm 的日平均降水量(mm); P_{y12} 为

日降水量 ≥ 12 mm 的多年平均降水量(mm)。

根据该模型各参数的计算需要,将 1 年划分为 24 个半月时段,汇总各半月时段的侵蚀力因子值,得到研究区年侵蚀力因子值 R 。

2.2.2 土壤可蚀性因子 K 土壤可蚀性因子 K 是指标准小区内单位降水量所引起的年土壤侵蚀率,是 1 个模拟试验值。它主要通过侵蚀动力对土壤颗粒的分散、搬运等来影响土壤侵蚀程度。在土壤侵蚀定量评价中,土壤因子作为一项重要的指标与其他因子共同影响土壤侵蚀的全过程。研究表明,土壤的物理化学性质及土壤有机质的含量对 K 值影响很大。

研究区的土壤主要为潮土、褐土、淋溶褐土、棕壤、棕壤性土、潮褐土、潜育水稻土和砂姜黑土。本研究根据全国第二次土壤普查资料,参照门明新等研究方法^[15],计算研究区土壤可蚀性因子 K 。

2.2.3 坡长、坡度因子 LS 地形作为展现区域地势走向的基本自然地理要素,对土壤侵蚀的形成和发展起着关键作用,在诸多表征地形特征的要素中,坡长、坡度对土壤侵蚀的发生发展起着主要作用。

坡度因子 S 是任意坡度下单位面积土壤侵蚀量与同等条件下标准小区坡度下单位面积土壤侵蚀量之比。坡长因子 L 是指任意坡长下单位面积土壤侵蚀量与同等条件下标准小区坡长下单位面积土壤侵蚀量的比值。

本研究在计算 S 时,当坡度 $< 5^{\circ}$ 时,采用 McCool 等提出的计算公式^[16];当坡度 $\geq 5^{\circ}$ 时,采用 Liu 等在黄土高原地区建立的计算公式^[17];计算 L 时,采用 Wischmeier 等提出的经验公式^[18]:

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin \theta + 0.03 & \theta < 5^{\circ} \\ 16.8 \sin \theta - 0.05 & 5^{\circ} \leq \theta < 10^{\circ}; \\ 21.9 \sin \theta - 0.96 & \theta \geq 10^{\circ} \end{cases} \quad (6)$$

$$L = (\lambda / 22.13)^m; \quad (7)$$

$$L = (\lambda / 22.13)^m; \quad (8)$$

$$m = \beta(1 + \beta); \quad (9)$$

$$\beta = (\sin \theta / 0.0896) / [3 \times (\sin \theta)^{0.8} + 0.56]. \quad (10)$$

式中: L 为坡长因子; λ 为坡长(m);22.13 为标准小区坡长(m); m 为坡长指数; θ 为坡度($^{\circ}$)。根据公式(6)~(10)分别计算出坡度因子 S 和坡长因子 L ,在 ArcGIS 中进行栅格相乘得到研究区 LS 值。

2.2.4 水土保持措施因子 BET CSLE 模型将水土保持措施细分为 3 种措施因子,即生物措施因子 B 、耕作措施因子 T 、工程措施因子 E 。

(1)生物措施因子 B 。以 2011 年 8 月的中分辨率成像光谱仪一归一化植被指数(简称 MODIS-NDVI)为数据源,利用像元二分模型反演植被覆盖度,根据公式(10),计算出研究区生物措施因子值:

$$B = \begin{cases} 1 & c = 0 \\ 0.6508 - 0.3436 \lg c & 0 < c \leq 78.3\% \\ 0 & c > 78.3\% \end{cases} \quad (12)$$

式中: c 植被覆盖度(%),可依据 $NDVI$ 计算^[19]:

$$c = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}. \quad (13)$$

式中: $NDVI_{\max}$ 、 $NDVI_{\min}$ 分别为 $NDVI$ 的最大值与最小值。

综合考虑研究区多种土地利用类型及其分布,参考表 1,小范围修正生物措施因子值,最终得到研究区土壤侵蚀生物措施因子 B 。

表 1 生物措施因子 B 和植被覆盖度与土地利用类型之间的关系

土地利用类型	植被覆盖度 (%)	生物措施因子 B
林地	0 ~ 20	0.100
	21 ~ 40	0.080
	41 ~ 60	0.060
	61 ~ 80	0.020
	81 ~ 100	0.004
建设用地		0.900
水体		1.000
林地	0 ~ 20	0.450
	21 ~ 40	0.240
	41 ~ 60	0.150
	61 ~ 80	0.090
	81 ~ 100	0.040
耕地		0.230

(2)耕作措施因子 T 。本研究区为多山区,高差显著、等高耕作是普遍采用的一种高效耕作措施。对研究区耕作措施因子的赋值计算主要考虑等高耕作,具体赋值方法以不同坡度条件下等高耕作减少的土壤侵蚀量确定^[10](表 2)。

(3)工程措施因子 E 。 E 指在一定工程措施的土地上土壤侵蚀量与同等条件下连续休闲土地上的土壤侵蚀量之比,无量纲,取值 0 ~ 1 之间。本试验根据张宪奎等的研究^[20]确定梯田、地埂、等高垄作的 E 值(表 3)。

表 2 不同坡度范围的 T 值

坡度范围	耕作措施因子 T
$\leq 5^\circ$	0.100
$6^\circ \sim 10^\circ$	0.221
$11^\circ \sim 15^\circ$	0.305
$16^\circ \sim 20^\circ$	0.575
$21^\circ \sim 25^\circ$	0.735
$> 25^\circ$	0.800

表 3 不同工程措施的 E 值

工程措施	E 值
水平梯田	0.029
地埂	0.145
等高垄作	0.352

3 结果与分析

3.1 研究结果

根据上述研究方法,分别计算出临沂地区各因子值,绘制栅格图(图 1)。基于 ArcGIS 栅格分析,利用 CSLE 模型计算研究区土壤侵蚀量,如图 2 所示。根据水利部颁布的土壤侵蚀分类分级标准^[21],在 ArcGIS 中对土壤侵蚀图进行统计与重分类得到研究区土壤侵蚀各等级面积比(表 4)和研究区土壤侵蚀量与分类等级(图 2)。

3.2 结果分析

从图 2 - a 中可以直接看出研究区土壤侵蚀量最大值为 212,最小值为 0,平均值为 42.96。不同强度的土壤侵蚀所占

的面积比例差异显著。将各图对比发现,图 1 - c 中坡度值较低的区域对应图 2 - b 中的微度侵蚀区,而图 1 - c 中坡度值高的区域对应图 2 - b 中侵蚀程度较重的区域,说明坡度对土壤侵蚀程度影响较大。整个研究区土壤侵蚀较为严重的地区主要分布在山区周围,平原地区很少,分析原因可能是海拔较高,坡度较大,有利于侵蚀性径流的形成,并且该地区的侵蚀状况有恶化的趋势;山区周围的侵蚀又以山脚为主,越往上的区域,海拔越高,同时坡度较大,人为影响较小,侵蚀程度较低。因此,在日常的水土保持与土壤侵蚀治理工作中,山区周围应为重点治理区域。

综上可知,研究区 80% 以上的土地处于微度土壤侵蚀状态,即存在较明显的土壤侵蚀现象;轻度侵蚀面积占比较大,已占研究区总面积的 15.62%;在地形起伏较大的山区、丘陵区地带存在着非常明显的中强度侵蚀。整体来说,研究区的土壤土质已遭受全面破坏,如不及时采取有效的水土保持措施,微度土壤侵蚀将迅速大面积地转化为轻度侵蚀,有效的土壤保持措施是缓解研究区土壤侵蚀以及避免侵蚀危害进一步破坏的重要环节。

4 结论

(1)山东省临沂地区总体土壤侵蚀程度为轻度,且侵蚀区主要集中在西北山区丘陵周围,地形条件尤其是坡度对土壤侵蚀程度影响较大。

(2)通过对比临沂市遥感普查土壤侵蚀面积统计结果^[22],本研究与普查数据基本一致,研究区中部偏南,即临沂市区轻度侵蚀有较大程度的扩张。因此,本研究选用我国土壤侵蚀研究方程进行临沂地区土壤侵蚀的定量评价是可行的。

(3)本研究对各影响因子的提取、算法是科学可靠的,这对临沂地区、沂蒙山区土壤侵蚀治理和水土保持工作,同时对研究山东省土壤侵蚀提供了可行的研究方案。

参考文献:

[1]倪九派,魏朝富,谢德体. 土壤侵蚀定量评价的空间尺度效应[J]. 生态学报,2005,25(8):2061 - 2067.
[2]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.
[3]Meyer L D. Evaluation of the universal soil loss equation[J]. Journal of Soil and Water Conservation,1984,39(2):99 - 104.
[4]Wischmeier W H,Smith D D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains[M]. Washington D C:United States Department of Agriculture,1978.
[5]Renard K G,Foster G R,Weesies G A,et al. Predicting soil erosion by water:a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)[M]//Wischmeier W H,Smith D D. Predicing rainfall erosion losses;a guide to conservation planning:537. Washington D C: United States Department of Agriculture,1997:1 - 384.
[6]陈云明,刘国彬,郑粉莉,等. RUSLE 侵蚀模型的应用及进展[J]. 水土保持研究,2004,11(4):80 - 83.
[7]Flanagan D C,Nearing M A. WEPP technical documentation[J]. National Soil Erosion Research Laboratory,1995,10:17 - 21.

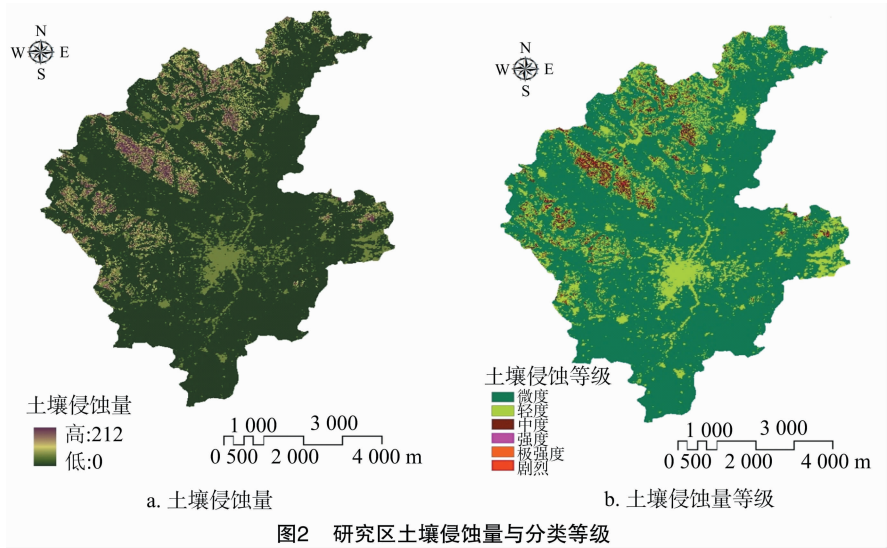
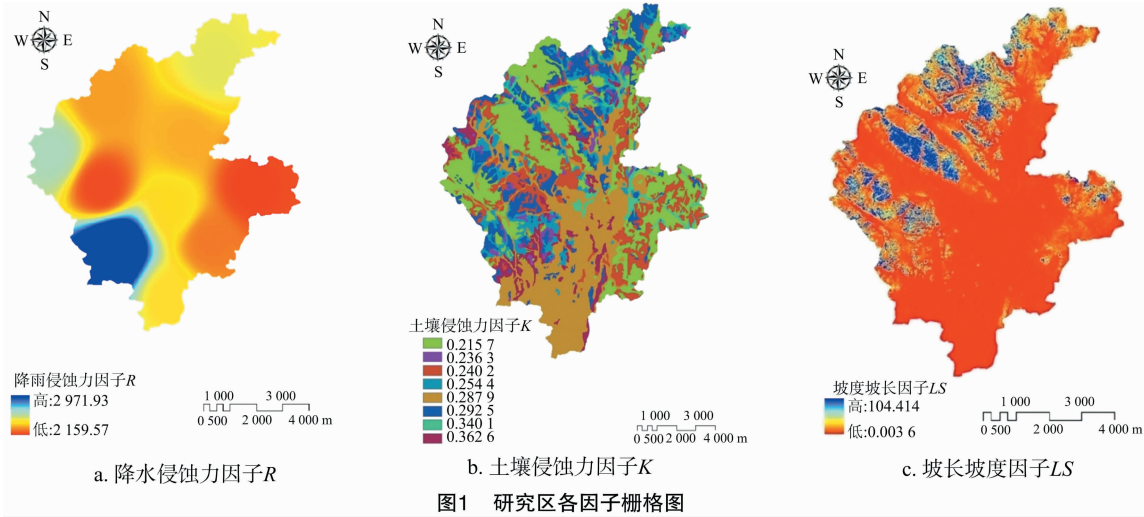


表 4 研究区土壤侵蚀各等级面积比

侵蚀等级	面积比例(%)
微度	80.831 236 39
轻度	15.623 076 79
中度	3.460 938 803
强度	0.076 142 684
极强度	0.007 000 000
剧烈	0.001 605 300

[8] Cochrane T A, Flanagan D C. Assessing water erosion in small watersheds using WEPP with GIS and digital elevation models[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1999, 54(4): 678-685.

[9] De Roo A P J. Modelling runoff and sediment transport in catchment using GIS[J]. Hydrological Processes, 1998, 12(6): 905-922.

[10] 刘宝元. 西北黄土高原区土壤侵蚀预报模型开发项目研究成果报告[R]. 北京: 水利部水土保持监测中心, 2006.

[11] 程琳, 杨勤科, 谢红霞, 等. 基于 GIS 和 CSLE 的陕西省土壤侵蚀定量评价方法研究[J]. 水土保持学报, 2009, 5: 61-66.

[12] 孙禹, 哈斯额尔敦, 杜会石. 基于 GIS 的东北黑土区土壤侵蚀模数计算[J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(1): 1-7.

[13] 王凯, 夏燕秋, 马金辉, 等. 基于 CSLE 和高分辨率航空影像的孤山川流域土壤侵蚀定量评价[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 26-32.

[14] 章文波, 谢云, 刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J]. 地理科学, 2002, 22(6): 705-711.

[15] 门明新, 赵同科, 彭正萍, 等. 基于土壤粒径分布模型的河北省土壤可蚀性研究[J]. 中国农业科学, 2004, 37(11): 1647-1653.

[16] McCool D K, Brown L C, Foster G R, et al. Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation[J]. Transactions of the ASAE, 1987, 30(5): 1387-1396.

[17] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37(6): 1835-1840.

[18] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning[M]. Washington D C: United States Department of Agriculture, 1978: 537.

[19] 顾祝军. 植被覆盖度的照相法测算及其与植被指数关系研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2005.

[20] 张宪奎, 许靖华, 卢秀琴, 等. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报, 1992, 12(4): 1-9.

[21] 中华人民共和国水利部水土保持司. 土壤侵蚀分类分级标准: SL 190—2007[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 10-11.

[22] 临沂市统计局. 2011 临沂统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.