

文章编号:1671-8844(2004)06-040-04

利用 GIS 技术进行水土流失治理经济效益分析 ——以王家沟为例

刘立伟^{1,4}, 何宗宜¹, 王 青², 李树怀³

(1. 武汉大学资源与环境学院, 湖北 武汉 430079; 2. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;
3. 山西省水土保持研究所, 山西 离石 033001; 4. 湖北经济学院, 湖北 武汉 430079)

摘要: 选定黄土丘陵沟壑区的王家沟流域为研究对象, 以地形图和遥感影像资料为主要信息源, 利用 GIS 表面分析和叠置分析方法, 获取坡耕地和梯田的坡向分布图, 讨论了地貌形态对 DEM 和影像判读的影响及提高精度的方法; 结合农作物种植面积的统计资料, 计算出不同坡向上农作物的增产量和保土保肥量。采用市场价值法和机会成本法对该流域的坡改梯和筑坝淤地等工程治理措施所取得的经济效益进行定量分析。

关键词: 水土保持; 经济效益分析; 地理信息系统; 黄土丘陵沟壑区

中图分类号: F 301.24; S 157.2

文献标识码: A

Economic profits analysis of soil and water conservation project based on GIS ——take Wangjiagou watershed as an example

LIU Li-wei^{1,4}, HE Zong-yi¹, WANG Qing², LI Shu-huai³

(1. School of Resources and Environment, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
2. Chengdu Institute of Mountain Disaster and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;
3. Institute of Water and Soil Conservation of Shanxi Province, Lishi 033001, China;
4. Hubei University of Economics, Wuhan 430079, China)

Abstract: Considering geomorphologic feature of the loess gully and hilly areas, the authors discuss a specific method to extract land distribution map and DEM effectively from remote sensing image and topographical map; then acquire the data about aspects of land-use types based on surface analysis and overlay analysis of GIS. Taking Wangjiagou watershed for example of comprehensive soil-erosion control in loess landform, and based on the data of plant area of crops, the authors calculate the added-productivity of crops in different aspects. Lastly, the paper quantitatively analyses the economic profits of the engineering project by use of market-value method and opportunity-cost method.

Key words: soil and water conservation; Economic benefits analysis; geographic information system; loess gully and hilly areas

空间分析是地理信息系统(GIS)的核心功能之一,它是基于地理对象的位置和形态特征的空间数据分析技术,其目的在于提取和传输空间信息。

GIS在地学领域的成功应用依赖于空间分析方法和功能的有效性。在我国的水土流失治理中,尽管已广泛使用 GIS 和遥感技术,但 GIS 的空间分析功

收稿日期:2004-04-28

作者简介:刘立伟(1971-),男,湖北天门人,博士研究生,从事经济地理、地理信息系统应用研究。

未能有效发挥。本文以王家沟流域为研究区域,利用遥感和GIS技术获取梯田和坝地面积,通过回归分析获取农作物产量,采用模型对该流域治理中工程措施的经济效益进行定量分析。与采用传统统计方法评价经济效益相比,具有节省时间和费用等优势。

王家沟流域地处黄土高原中部的晋西黄土丘陵沟壑区,总面积 9.1 km^2 。该流域被列为国家“七五”攻关项目“黄土高原综合治理研究”和国家“八五”科技攻关项目“黄土高原水土流失综合治理与农业发展研究”实验示范区之一。通过实施生物措施、工程措施累计治理面积占流域总面积的 77.3% ,土壤侵蚀模数减少了 90.6% ^[1],成为水土流失综合治理的样板之一。特别是坡改梯和筑坝淤地工程措施的实施,在防止水土流失、改善农业生态环境、解决粮食问题和增加农民收入等方面效益显著。1990年,该流域水土流失治理工程完成,对其经济效益进行分析就成为水土流失治理完成后的一项重要工作。从严格意义上讲,水土流失治理工程的经济效益是长远的效益,是一个具有时间序列的函数。我们仅评价1994年这一年份的经济效益,因为水土流失治理产生的经济、生态效益有一个滞后期,一般经过3~4年后,农作物增产才明显地体现出来,水土保持工程措施取得的效益才表现为稳定的经济收益。这一年的效益也是今后各年份经济效益对比分析的基础。

1 利用GIS叠加分析提取梯田和坝地面积

1.1 利用航片提取耕地分布

根据经济效益分析的要求,需从遥感图片中提取耕地分布。王家沟流域耕地分为3种类型:坡耕地、梯田、坝地。梯田和坝地是水土流失治理后新增的耕地类型,也是经济效益增加的主要来源。在遥感软件ERDAS Imagine中对该流域1994年的航片进行判读,获取该年坝地、梯田和坡耕地的分布,并将解译结果转入GIS软件ArcGIS中。许多研究表明,在地球表面变量中,地形对遥感数据产生强烈的影响^[2],同一种地面覆盖类型的反射率往往随地形而变化,因此,崎岖地形区地物的遥感自动分类受到影响,遥感数据的精确度被严重削弱,难以满足小流域大比例尺土地利用类型分类的要求。王家沟流域属黄土丘陵沟壑区,地形破碎、复杂,土

地利用明显受到地形特征控制,在获取耕地分布时,需结合该流域的数字高程模型(DEM)进行判读,从而减弱和消除地形的影响。

1.2 从DEM中提取坡向图

利用现有地形图进行室内数字化采集,生成DEM是一种行之有效的方法。本文采用该流域的1:5000的大比例尺地形图在ArcGIS中进行数字化,建立规则格网DEM,格网大小为 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 。建立DEM的目的是提取坡向图,同时作为航片判读的参考。DEM的精度直接影响工程效益分析的准确性。王家沟流域地形有两个特点,一是属于黄土丘陵沟壑区,地形支离破碎、复杂,二是经过水土流失治理,改变了原来的地貌形态。这两个特点导致由等高线内插生成TIN再内插生成GRID易丢失沟壑信息,从而使生成的坡度图失去精度,另外,生成的DEM会出现平顶现象,难以判断出现的平顶是坝地还是由误差引起的。因而数字化地形图时,除了要加密特征部位的高程点外,还要数字化地性线,提供足够的信息源,消除由内插引起的平顶现象,否则在以DEM为参照判读航片时,不精确的DEM会误导操作人员,导致提取的坝地面积增大。

1.3 叠加分析提取阴坡和阳坡梯田的面积

流域中耕地的阴坡和阳坡作物的单产差别较大,位于阴坡和阳坡的坡耕地改造为梯田所产生的经济效益不同,因此位于阴坡和阳坡的梯田面积需分别计算。把坡向图与耕地分布图叠加,生成坝地、梯田和坡耕地的坡向分布图(见图1),分别统计分布在阴坡和阳坡梯田和坝地的面积(见表1)。结果显示1994年流域内坝地、梯田和坡耕地的面积分别为 37.29 、 230.80 、 144.92 ha 。



图1 王家沟流域耕地坡向分布

表 1 王家沟流域坡改梯及梯田工程面积 ha

	阴坡	阳坡	合计
坡耕地	81.14	63.78	144.92
坡改梯	140.05	90.75	230.80
坝地			37.29

注:坝地不分阴阳坡.

2 农作物产量和肥力变化的估算

2.1 农作物增产量估算

流域内梯田和坡耕地上主要种植谷子、马铃

薯、高粱和豆类,根据对流域内农作物种植面积的统计,谷子、马铃薯、高粱和豆类的种植面积分别占梯田和坡地面积的 37.8%、34.8%、20.1%和 7.3% . 玉米是高秆和高产作物,高秆有利于雨季坝地蓄洪淤地,因此坝地几乎全部种植玉米,并且只在坝地种植玉米. 通过计算,坡改梯和筑坝淤地后农作物的增产量见表 2(各种作物的单产见文献[1]).

表 2 王家沟流域坝地和梯田粮食增产状况(1994)

作物类型	阴 坡				阳 坡				坝 地			增产总量 kg
	梯田单产 kg/ ha	坡地单产 kg/ ha	面积 ha	增产量 kg	梯田单产 kg/ ha	坡地单产 kg/ ha	面积 ha	增产量 kg	单产 kg/ ha	面积 ha	增产量 kg	
谷子	1260	1096	48.74	7993	740	601	31.58	4390				12383
马铃薯	2672	1439	28.15	34709	1950	1062	18.24	16198				50907
高粱	2318	1762	10.22	5684	1513	948	6.62	3743				9427
黄豆	1140	975	52.94	8735	438	305	34.30	4562				13297
玉米									6032	37.29	224933	224933

2.2 土壤水分和养分变化数量的确定

水土保持治理前,流域内年平均径流模数 28 500 m³/km²,年平均土壤侵蚀模数为 15 800 t/km²(见文献[3]),梯田减少径流量和侵蚀量分别为 70.6%和 92.4%^[4]. 由于缺乏筑坝对减少径流量和侵蚀量的作用的数据,坝地也作为梯田处理. 通过计算,坝地和梯田每年可分别减少径流量和土壤侵蚀量 54 690 m³、39 682 t. 流失的泥沙中有机质、氮和磷的含量分别为 0.4987%、0.0582%和 0.0599% ,因此筑坝和梯田每年拦蓄的泥沙中含有有机质分别为 197.9、23.1、23.8 t,拦蓄的泥沙中相当于农家肥 987.4 t、碳铵 139.5 t、过磷酸钙 119.0 t.

3 评价模型

3.1 准市场价值法

这种方法是把环境看成是生产要素,环境质量的改善可以提高生产率,从而增加农作物产量,将农作物产量以市场平均价格转化为货币形态的产值,这样,通过农作物产值的增减来计算环境变化的经济收益或损失,即评价工程措施的经济效益. 就王家沟流域而言,水土保持的工程治理措施主要

有坡改梯工程和筑坝淤地两项. 对于坡改梯工程经济效益的计算,因为本底值是坡地,其本身有一定的粮食产量,坡地改为梯田后,环境要素发生变化,直接反映在农产品数量的变化上,因而工程措施的经济效益是一个相对值(即梯田经济效益-坡耕地的经济效益);对于坝地,其本底值是沟底(不能被农业生产利用,无经济收益),在筑坝淤地后,才成为农耕地,因而坝地的经济效益是绝对值.

计算公式如下:

$$M_c = \sum_{i=1}^i P_i R_i \tag{2}$$

式中: M_c 为环境变化(改善或破坏)的价值; P 为 i 种产品单位市场价格; R 为 i 种产品因环境变化引起的数量增减.

3.2 机会成本法

这种方法用机会成本的价值来评价小流域环境改善所获得的经济效益,如坡改梯措施对保持土壤营养元素(N、P、K和有机质)的效益,通过与同一地理背景下,未经工程措施治理原始坡地土壤营养元素的对比,确定流域新造人工环境中物质的变化量(主要是土壤水分和养分的增加量). 然后,将这些有效成分折合成农用化肥的当量,通过评估化肥的经济价值来反映水土保持工程措施所直接带

资料由山西省水保所刘志刚提供.
国家“八五”科技攻关项目(85-008-10):流域综合治理动态监测与效益评价研究报告.

来的经济效益,这种经济效益以直接提高土壤自然生产潜力、降低生产成本的形式,进而间接提高农户经济收入来体现。如果没有工程措施的保水保肥成就,农户就不可能获得较高的粮食产量,要有同样的收获,农户就必须购买等量的化肥和花费等量的灌溉水电费。这就是机会成本的内涵。

计算公式如下:

$$C_{\max} = \sum_{i=1}^i S_i W_i \quad (3)$$

式中: C_{\max} 为机会成本的价值; S 为 i 元素的单位市场价格; W 为 i 元素因水土保持措施实施引起的数量的增加值。

4 分析结果

(1) 1994 年王家沟流域水土保持工程措施粮食增产量及增值。

农作物中谷子、马铃薯、高粱、黄豆和玉米增产量分别为: 12 383、50 907、9 427、13 297、224 933 kg, 按当年价格计算, 它们的增值额分别为 12 965、21 941、8419、24 454、208 963, 合计增值为 276 742 元。其中, 坝地玉米增值占总数的 75.5%。这说明筑坝淤地工程经济效益最明显。

(2) 1994 年水土保持工程措施的“三保”效益。

通过计算, 坝地和梯田每年可分别减少径流量和土壤侵蚀量 54 690 m^3 、39 682 t。若按全国水库建设投资的成本为 0.67 元/ m^3 , 据此计算出保水的效益为 36 700 元; 流失的泥沙中有机质、氮和磷的含量分别为 0.4987%、0.0582% 和 0.0599%, 因此,

筑坝和梯田每年拦蓄的泥沙中含有有机质分别为 197.9、23.1、23.8 t, 产生这些肥力需要燃烧薪柴 2 821 m^3 , 使用碳铵 139.5 t、过磷酸钙 119.0 t。1994 年薪柴、碳铵和过磷酸钙的市场价格分别为 38 元/ m^3 、284 元/t 和 73 元/t, 由此计算出土壤养分的价值为 107 200、39 600 和 8 700 元。合计 155 500 元。

5 结 语

使用遥感影像进行黄土高原丘陵沟壑区大比例尺土地利用类型分类是可行的, 结合 DEM 能有效降低地形对判读结果的影响, 能满足基于地貌和植被的土地利用现状分类调查要求。5 m \times 5 m 格网 DEM 能比较好地模拟地形地貌, 在黄土高原丘陵沟壑区水土流失治理效益分析中引入 DEM, 将改进研究方法和手段, 解决传统方法中难以实现的技术问题, 从而提高经济效益分析的精度。

参考文献:

- [1] 陈乃政, 苏乃平, 郭玉记. 三川河流域四县 1991 年旱情调查分析[A]. 晋西黄土丘陵沟壑区水土流失综合治理开发研究[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [2] Garcia M C, Alvarez D R. TM digital processing of a tropical forest region in southern Mexico[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994(15): 1611-1632.
- [3] 杨才敏. 王家沟流域综合治理的经验教训及发展对策[A]. 晋西黄土丘陵沟壑区水土流失综合治理开发研究[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [4] 蔡强国, 王贵平, 陈永宗. 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.