

# 黄土丘陵沟壑区集水区尺度土地利用格局变化的水土流失效应

赵文武<sup>1,2</sup>, 傅伯杰<sup>1\*</sup>, 陈利顶<sup>1</sup>, 吕一河<sup>1</sup>, 刘永琴<sup>3</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心 系统生态重点实验室, 北京 100085; 2. 北京师范大学 资源学院, 北京 100875; 3. 延安水文水资源勘测局, 延安 716000)

**摘要:**以陕北杏河集水区 1985 和 1995 年两期土地利用数据为基础, 结合水文、DEM 数据, 定性分析了土地利用格局变化条件下的水土流失效应, 其中采用双累积曲线法来界定土地利用格局基本没有变化的时间段, 用  $C$  值在坡度、距河流距离上的分布来表征土地利用格局, 用不同时期降雨量/径流量、降雨侵蚀力/输沙率相对增加的比例来表征水土流失效应。研究结果表明: (1) 1981~2000 年, 土地利用格局变化剧烈的年份为 1990~1991 年, 可以用 1985、1995 年两期数据分别代表 20 世纪 80 年代和 90 年代的土地利用; (2) 从 20 世纪 80 年代到 90 年代, 杏河集水区的  $C$  值有明显的增加趋势, 在较陡坡度和距河流距离较近处,  $C$  值增加的幅度相对较大; (3) 土地利用格局变化明显改变了降雨量-径流量、降雨侵蚀力-输沙率的关系, 出现了从 20 世纪 80 年代到 90 年代, 虽然降雨量/降雨侵蚀力在整体上呈现明显下降的趋势, 但是水土流失量, 却表现出同比增加的现象, 而且这种增加在不同月份也有差异。用本文中的方法来表征土地利用格局和水土流失效应, 其结果具有较好的比配性, 可以用来定性分析土地利用格局与水土流失的关系。但是, 由于水土流失效应的表征方法没有考虑降雨的空间变异特征, 该方法尚不适于雨量站点比较密集、降雨空间变异较大的区域。此外, 在进一步的研究中, 还需要注意遥感数据解译的准确性、 $C$  值精度、土地条件的变化等问题。

**关键词:**土地利用格局; 水土流失; 集水区;  $C$  值; 双累积曲线

## Effects of land-use pattern change on soil and water loss at the catchment scale in the hilly and gully area of the loess plateau of China

ZHAO Wen-Wu<sup>1,2</sup>, FU Bo-Jie<sup>1\*</sup>, CHEN Li-Ding<sup>1</sup>, LÜ Yi-He<sup>1</sup>, LIU Yong-Qin<sup>3</sup> (1. Key Lab. of Systems Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China; 2. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Yan'an Hydrographic and Water Resources Bureau, Yan'an, 716000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1358~1364.

**Abstract:** The hilly and gully area of the Loess Plateau of China suffers some of the highest soil erosion rates on the Earth, and one of the most important reasons is irrational land-use. The study on the effects of land-use pattern on soil and water loss is helpful not only to the comprehensive watershed management but also to further understanding of landscape pattern and ecological process.

A case study was carried out in Xinghe catchment of the Loess Plateau, and DEM, land use maps, rainfall and hydrological data were used in the qualitative analysis of land use pattern on soil and water loss. The land use pattern change

**基金项目:**国家自然科学基金重大研究计划资助项目(90102018); 国家基金委创新群体资助项目(40321101); 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX3-SW-421)

**收稿日期:**2003-12-26; **修订日期:**2004-04-28

**作者简介:**赵文武(1976~), 男, 山东曹县人, 博士生, 主要从事景观生态学、土地利用与土壤侵蚀、GIS 应用等研究。E-mail: sldream@263.net

\* **通讯作者** Author for correspondence, E-mail: bjfu@cashq.ac.cn

**Foundation item:** The National Natural Science Foundation of China (Grant No. 90102018), the Innovation Group Foundation of NSFC (No. 40321101) and the Knowledge Innovation Project of CAS (No. KZCX3-SW-421)

**Received date:** 2003-12-26; **Accepted date:** 2004-04-28

**Biography:** ZHAO Wen-Wu, Ph. D. candidate, mainly engaged in landscape ecology, land use & soil erosion, GIS application. E-mail: sldream@263.net

periods were identified by double mass curves of rainfall-runoff and rainfall erosivity-sediment. The characters of land use patterns were denoted by the spatial distribution of  $C$  value on slope grade and the distance to rivers, and the change of soil and water loss in different periods were analyzed by the increased ratio of rainfall & runoff, rainfall erosivity & sediment discharge.

The results showed that: (1) During the periods of 1981-2000, there was a sharp change in 1990~1991, and the land use status in 1980s and 1990s could be reflected by the land use maps in 1985 and 1995 respectively. (2) From 1980s to 1990s, the  $C$  value in Xinghe watershed increased obviously, especially on steeper slope grades and at the close distances to the rivers. (3) The change of land use pattern altered the relationships of rainfall-runoff, rainfall erosivity-sediment discharge obviously; runoff and sediment discharge in flood season increased from 1980s to 1990s, though rainfall and rainfall erosivity decreased in the same periods. In order to reduce soil and water loss, not only land use types should be changed, but also more attentions should be paid to spatial distribution of land use types. It is necessary to increase the land use types with lower  $C$  value on steeper slope grades and at the close distances to the rivers.

The results of denoting land use pattern and soil & water loss were suited with each other, which means the methods could be used in the qualitative analysis of land use pattern and soil & water loss. At the same time, the method of denoting soil and water loss omitted the spatial variation of rainfall, and may not be used in the large area with large variation of rainfall. Furthermore, more attentions should be paid to accuracy of  $C$  value of different land used types, interpretation of TM data and change of land use conditions in further study.

**Key words:** land-use pattern; soil and water loss; catchment;  $C$  value; double mass curve

文章编号:1000-0933(2004)07-1358-07 中图分类号:F301.24 文献标识码:A

土地利用变化可以引起一系列自然现象和生态过程的变化,如土壤性质、地表径流、水土流失、生物多样性分布、生物地球化学循环等<sup>[1~3]</sup>,探讨土地利用变化对地表径流和土壤侵蚀的影响是自然地理过程研究的热点问题之一<sup>[4~6]</sup>。土地利用可以增加或减少径流和土壤侵蚀,但是随着尺度的增加,水土流失的机制将发生明显的改变<sup>[7]</sup>。目前,关于土地利用变化的水土流失效应研究,正经历着从单一土地类型到多种土地利用结构,从地块(Plot)、坡面(Hillslope)尺度,到小流域(Small catchment)、集水区(Catchment)、区域(Region)尺度的发展过程<sup>[7~9]</sup>。其中,在小流域/集水区尺度及更大尺度上分析土地利用格局对水土流失的影响对于流域综合治理和可持续土地利用具有重要意义,同时又是自然科学工作者面临的挑战性课题。对于小流域/集水区尺度土地利用格局变化的水土流失效应研究,既可以基于有关模型<sup>[10,11]</sup>,通过模拟不同土地利用情境下的水土流失变化来分析;也可以采取一些指数或其它方法<sup>[12,13]</sup>,定性分析土地利用格局和水土流失效应的变化特征。在这两种研究思路中,应用数学模型进行定量研究,可以模拟水土流失的过程,但是往往面临数据量、数据精度、模型精度等一系列问题;应用定性的方法来探讨,虽不能给出土地利用格局变化条件下水土流失的精确值,但是却可以用来分析土地利用格局变化条件下水土流失的改变趋势。因而,尝试定性的方法来探讨土地利用格局变化的水土流失效应,不仅可以推动景观格局与生态过程研究的深入,而且也可以为水土流失综合治理、可持续土地利用等提供依据。

黄土丘陵沟壑区作为我国乃至全球水土流失最为严重的地区,其水土流失受到气候、植被、土壤、地形等多种因素的影响<sup>[14]</sup>,其中不合理的土地利用则是水土流失十分关键的因素<sup>[4,14,15]</sup>。本文以水土流失比较严重的陕北杏河集水区为例,基于GIS,采用定性的方法分析了集水区尺度上不同时期土地利用格局变化对水土流失的影响,并试图回答小流域/集水区尺度上土地利用格局与水土流失关系研究中被忽略或者亟待解决的几个问题:(1)所获取的土地利用数据往往是不连续的,界定年份的土地利用图所代表的时间这一问题往往为研究者们所忽略;如何解决这一被忽略的问题?(2)对于水土流失这一生态过程而言,如何选用合适的方法表征土地利用格局的特征?(3)径流和输沙是水土流失的直观指标,但是能否直接用来表征水土流失效应?如果不能,可以用什么来表征呢?

### 1 研究区域概况

杏河集水区地处陕西省延安地区北部(图1),位于 $108^{\circ}38'\sim 108^{\circ}53'E$ , $36^{\circ}53'\sim 37^{\circ}13'N$ ,面积 $479\text{ km}^2$ ,系陕北杏子河流域( $1486\text{ km}^2$ )的上游区域,内有雨量站4个,水文站1个。集水区内地形破碎、沟壑纵横、植被覆盖率低,属典型黄土丘陵沟壑地貌。区域气候为半干旱大陆性季风气候,多年平均降水量为 $480\text{ mm}$ ,降水多集中在7~9月份,其降水量占全年降水的60%以上。土壤类型为黄土母质上发育而成的黄绵土,土质疏松,抗蚀性差,水土流失严重,年土壤侵蚀模数达 $13000\text{ t/km}^2$ 左右,坡耕地侵蚀量至少占河流总产沙量的60%<sup>[16]</sup>。土地利用以坡耕地和草地为主。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

本研究所用的土地利用数据为杏子河流域 1985、1995 年 1:10 万土地利用数据, 两期数据均为 TM 数据解译所得。考虑水文数据获取的可能性和当地的降雨特征, 选择了汛期中的 6、7、8、9 四个月份作为分析时段; 其中, 1981~1989 年的逐日降雨数据、降雨摘录数据和月径流泥沙数据源于《中华人民共和国水文年鉴-黄河流域水文资料》, 1990~2000 年逐日降雨数据和月径流泥沙数据源于延安水文水资源勘测局。DEM 数据源于国家基础地理信息中心的 1:5 万数据库, 该数据是基于 1:5 万地形图生成, 栅格大小为 25m×25m。

### 2.2 土地利用格局基本没有变化的时间段界定

本研究所采用的数据为 1985 年和 1995 年两个年份的数据, 为了合理分析土地利用格局变化的水土流失效应, 需要首先界定土地利用格局基本没有变化的时间段。根据系统论的思想, 可以将一个集水区看成一个系统, 降雨为系统输入, 水土流失为系统输出, 土地利用格局的变化是改变系统输入和输出(降雨和水土流失)关系的主导因素。基于此, 本文采用了双累积曲线法, 通过分析降雨量-径流量、降雨侵蚀力-输沙率双累积曲线的变化特征, 来界定土地利用变化的时间。双累积曲线法作为一种时间序列分析的常用方法, 其基本思想是若两个变量在一定时期内成比例地变化, 相应的双累积曲线图应当基本为一条直线<sup>[17]</sup>。本研究中, 如果降雨量-径流量、降雨侵蚀力-输沙率双累积曲线在某些年份出现明显拐点, 则表明土地利用格局在该年份出现了明显的变化。

### 2.3 土地利用格局特征的表征

目前, 有许多景观指数可以用来描述土地利用的结构和空间配置特征<sup>[19,20]</sup>, 但是这些指标对于水土流失这一生态过程而言并不具有较好的指示意义。陈利顶在景观格局识别方法的研究中, 提出源/汇景观在空间上的分布特征及其与非点源污染的关系可以从相对于流域出口的“距离”、“相对高度”和“坡度”3 个方面来讨论<sup>[12]</sup>, 但是对于黄土区而言, 泥沙的输移比基本为 1, 因而可以将“距离”和“相对高度”融合成一个因素来考虑, 即“距河流的距离”。对于土地利用在坡度<sup>[21,22]</sup>和距河流距离上<sup>[23,24]</sup>的空间分布差异能够改变径流和输沙的变化, 也在有关研究中得到验证。因而, 在对土地利用格局描述中, 可以考虑将土地利用和地形相叠加, 用土地利用在坡度和距河流距离上的空间分布差异来表征土地利用格局的变化。

然而, 若进一步考虑土地利用类型的多样性及其对水土流失影响的差异, 还需要就不同土地利用类型对水土流失的影响进行定量赋值。为此, 本文引入了通用方程中的作物覆盖与管理因子( $C$ )<sup>[25]</sup>。在根据有关文献计算<sup>[26,27]</sup>不同土地利用方式  $C$  值(表 1)的基础上, 基于 GIS 计算不同坡度、距河流距离上  $C$  的平均值。通过对比不同时期  $C$  值在坡度、距河流距离上分布的变化, 表征土地利用格局的变化特征。

表 1 不同土地利用方式的  $C$  值

Table 1 The  $C$  value for different land use type

编码 Code	类型 Type	$C$ 值 $C$ value	编码 Code	类型 Type	$C$ 值 $C$ value
122	丘陵旱地 Hill farmland	0.42	31	高覆盖度草地 Higher coverage grassland	0.12
123	平原旱地 Farmland	0.37	32	中覆盖度草地 Medium coverage grassland	0.18
21	有林地 Forestland	0.09	33	低覆盖度草地 Lower coverage grassland	0.32
22	灌木林 Shrub forestland	0.15	52	农村居民点 Residential and traffic land	0.2
23	疏林地 Sparse forestland	0.22	—	—	—

### 2.4 水土流失效应的表征

径流量、输沙率是水土流失的直观表现。但是, 由于径流量、输沙率涉及降雨、土壤、土地利用、地形等多种因素, 如果仅仅简单地用径流量、输沙率的多少来表示土地利用格局变化的影响, 而不考虑其它因素, 则显得有些片面。对于一个集水区而言, 在几十年的时间段内, 地形和土壤基本不随时间变化而变化, 变化的主要因素是降雨和土地利用。土地利用格局变化的水土流失效应, 本质上是土地利用的变化改变了降雨和水土流失的关系, 进而起到减少或增加径流(和泥沙)的效果。因而, 在集水区尺度上分析水土流失效应, 需要将降雨和径流/泥沙的变化综合在一起考虑。基于此, 笔者对水土流失效应表征的基本思想是: 在同一集水区、不同时间段内, 如果径流量、输沙量的增加速度高于降雨量、降雨侵蚀力的增加速度, 则表明该时期内的土地利用格局较有助于增加径流和输沙; 反之, 相应的土地利用格局较有助于控制径流和泥沙。

对于水土流失效应的具体表示方法, 需要分别计算出不同时期降雨量、降雨侵蚀力、径流量、输沙率增加的比例, 并对比降雨量增加比例和径流量增加比例的大小(降雨侵蚀力增加比例和输沙率增加比例的大小), 以此来表征水土流失效应的变化:

万方数据

$$Rate_i = (X_A - X_B) / X_B,$$

式中,  $i$  表示降雨量、径流量、降雨侵蚀力、输沙率等变量; A、B 分别代表不同土地利用格局所对应的时期。

2.5 有关数据的获取和计算

本研究中所用的降雨量、径流量、输沙率的数据,可以直接从水文数据中汇总来得到。降雨侵蚀力的计算是根据 1981~1989 年汛期逐次降雨摘录数据,在建立月降雨侵蚀力公式的基础上进行的。选择  $EI_{30}$  作为月降雨侵蚀力的计算指标<sup>[18]</sup>,根据 1981~1989 年雨量站的逐次降雨摘录数据,通过回归分析,得到利用降雨量计算降雨侵蚀力的关系式:

$$R = 4.5645 \text{ rain}_9^{1.2362} \quad R^2 = 0.61$$

式中, $R$  为降雨侵蚀力, $\text{rain}_9$  为每月中日降雨量大于 9mm 的降雨量之和。

径流、输沙数据分别使用了月平均流量和月平均悬移质输沙率;降雨量和降雨侵蚀力则用集水区雨量站的平均值。由于大路沟站点缺少 1990~2000 年份的数据,因而在具体计算中,用五里湾、张渠和杏河 3 个站点的数据来计算集水区降雨量、降雨侵蚀力的平均值(雨量站点分布图见图 1)。

坡度和距离河流的距离是基于 GIS 空间分析模块中的表面分析函数、距离函数来获取;不同坡度、距河流距离等级上  $C$  值,通过分类区函数计算。所用的水系数据是基于 DEM 通过 AVSWAT2000 来提取的(相应的最小流域面积为 100hm<sup>2</sup>)。

3 研究结果与分析

3.1 土地利用格局变化的时间段

根据集水区 1981~2000 年的汛期降雨量、径流量、降雨侵蚀力、输沙率的数据,建立相应的双累积曲线图(见图 2),其中数据点从左到右的年份依次为 1981、1982、1983、...、2000 年。由图 2 可以发现,两个双累积曲线的变化规律基本一致,表现为:从 1981 年到 1990 年,双累积曲线变化比较平稳;在 1990~1991 年处出现明显拐点;从 1991 年到 2000 年,双累积曲线的趋势略有变化,但总体变化比较平稳。基于此,可以认为在 1981~1990 年期间是一种土地利用格局,在 1991~2000 年期间是另一种土地利用格局。由于本研究中选用了 1985、1995 两期土地利用数据,因而可以用 1985 年的土地利用数据代表 20 世纪 80 年代的土地利用,用 1995 年的土地利用数据代表 20 世纪 90 年代的土地利用。

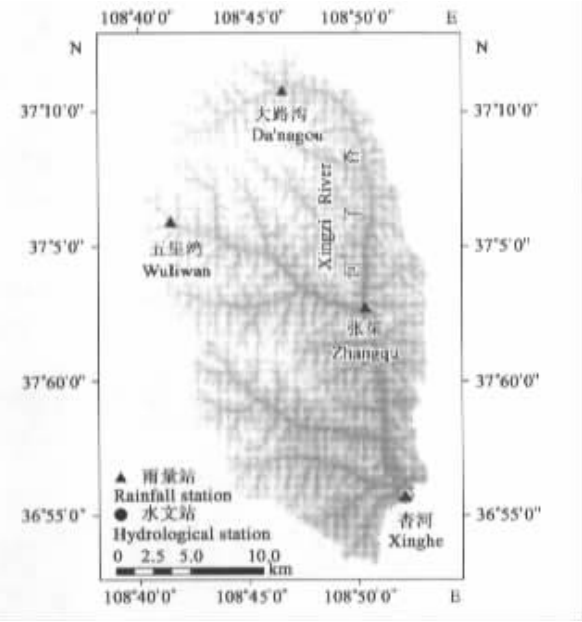


图 1 杏河集水区位置图  
Fig. 1 Location of the Xinghe catchment

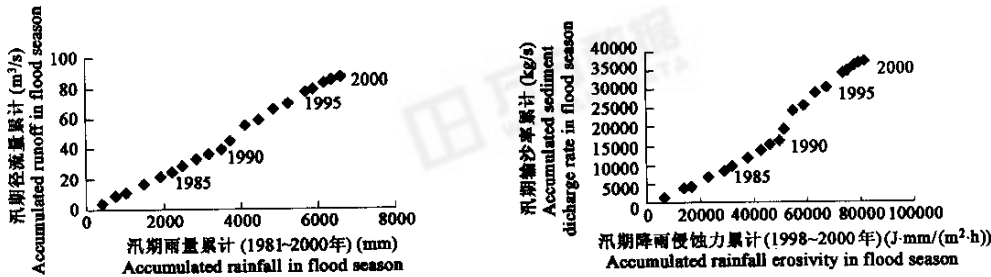


图 2 1981~2000 年汛期降雨量-径流量和降雨侵蚀力-输沙率双累积曲线图  
Fig. 2 Double mass curve of rainfall-runoff and rainfall erosivity-sediment discharge rate from 1981 to 2000 in flood season

3.2 土地利用格局的变化

为了表征土地利用分布格局对水土流失的影响,用  $C$  值的空间分布表征土地利用格局的分布。基于 GIS,在提取坡度、距河流距离和计算  $C$  值的基础上,可以获取 1985、1995 两个时期上  $C$  值在坡度、距河流距离上的分布图(图 3)。由图 3 可以看出, $C$  值的变化趋势明显,在总体上呈现出增加的趋势。其中,就  $C$  值的坡度分布格局而言,较陡坡度上  $C$  值的增加幅度高于较缓坡度上的  $C$  值增加幅度;就  $C$  值的距河流距离分布而言,距河流距离较近处的  $C$  值增加幅度大于距河流较远处的  $C$  值增加幅度。

为了进一步分析  $C$  值变化的原因,可以基于 GIS 做出从 20 世纪 80 年代到 90 年代不同土地利用在坡度和距河流距离上增加面积的分布曲线图(图 4)。从 20 世纪 80 年到 90 年代,中覆盖度草地减少幅度最大,灌木林、有林地和高覆盖度草地减少幅度



较小,所增加的土地利用类型集中表现为低覆盖度草地。此外,丘陵旱地略有增加,平原旱地没有变化。土地利用变化的面积集中出现在 12~48°的坡度范围内以及 0~700m 的距河流距离处。不同土地利用的  $C$  值的大小及变化面积差异共同决定了从 20 世纪 80 年代到 90 年代的  $C$  值变化特征。

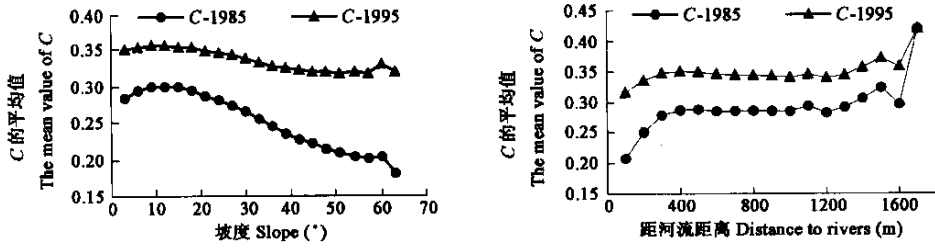
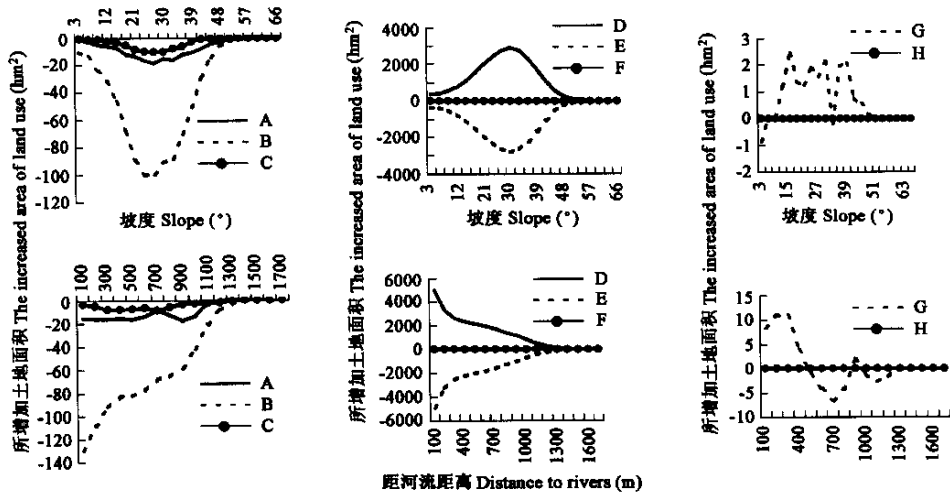


图 3  $C$  值的坡度和距河流距离上分布

Fig. 3 The spatial distribution of  $C$  value on slope grade and at the distance to river



A 有林地 Forestland; B 灌木林 Shrub forestland; C 疏林地 Sparse forestland; D 低覆盖度草地 Lower coverage grassland; E 中覆盖度草地 Medium coverage grassland; F 高覆盖度草地 Higher coverage grassland; G 丘陵旱地 Hill farmland; H 平原旱地 Farmland

图 4 不同土地利用增加面积在坡度和距河流距离上的分布 (1985~1995)

Fig. 4 The spatial distribution of increased land use area on slope grade and at the distance to river (1985~1995)

### 3.3 水土流失效应的变化

根据公式  $R_t = (X_A - X_B) / X_B$ , 分别计算降雨量、径流量、降雨侵蚀力、输沙率从 20 世纪 80 年代到 90 年代的增加比例(图 5)。由图 5 可以发现,从 20 世纪 80 年代到 90 年代整个汛期的降雨量、降雨侵蚀力呈现出明显的下降趋势,而径流量、输沙率呈现出上升的趋势。这种表明从 20 世纪 80 年代到 90 年代水土流失呈现明显的加剧趋势,而且这种变化并不是由降雨因素造成的。

在不同月份之间,降雨量/径流量、降雨侵蚀力/输沙率的变化比例也不相同。对于降雨量/径流量而言,从 20 世纪 80 年代到 90 年代,6 月份和 9 月份的降雨量明显减少,7 月份、8 月份的降雨量略有增加;而产生的径流量则表现为 8 月份增加最为明显,6 月份、7 月份增加一般,9 月份却有下降的现象。对比降雨量、径流量的变化比例也可以发现,9 月份的径流量对于降雨量的变化最不敏感,6、7、8 月份的变化相对比较敏感,这种现象的存在可能主要取决于不同月份之间降雨强度的差别和土地覆被变化的影响。

对于降雨侵蚀力/输沙率而言,从 20 世纪 80 年代到 90 年代,6、7、8、9 四个月的降雨侵蚀力都存在着下降的趋势,其中 9 月份降雨侵蚀力下降最多;相应的输沙率在 6、7、8 月份增长较多,而在 9 月份略有下降。这可能是由于,9 月份的植被覆盖度(包括作物的植被覆盖度)较好,降雨强度和降雨侵蚀力却较低,单位降雨侵蚀力所导致的降雨侵蚀和相应的径流侵蚀都相对较

低的缘故。

对比降雨量/降雨侵蚀力、径流量/输沙率的变化比例也可以发现,降雨量和降雨侵蚀力、径流量和输沙率在不同月份之间并不存在较好的相关关系。但是随着时间尺度扩展到汛期这一较长的时间尺度时,降雨量和降雨侵蚀力、径流量和输沙率则表现出了相对较好的相关关系。

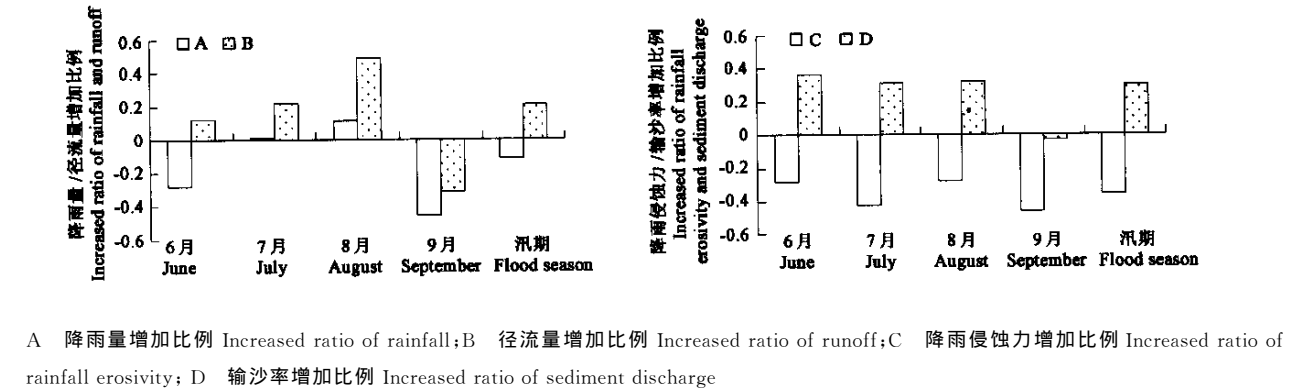


图5 降雨量/径流量、降雨侵蚀力/输沙率从20世纪80年代到90年代的增加比例

Fig. 5 The increased ratio of rainfall/runoff, rainfall erosivity/sediment discharge from 1980s to 1990s

### 3.4 土地利用格局的变化对水土流失效应的影响

综合分析从20世纪80年代到90年代土地利用格局和水土流失效应(图3、图5)的变化,可以发现从20世纪80年代到90年代,C值在整体上明显增加,而且较陡坡度和距河流距离较近处的C值增加幅度相对较大。这种格局的变化改变了降雨量/径流量、降雨侵蚀力/输沙率的关系,以至于出现了降雨量/降雨侵蚀力虽然有下降的趋势,但是相应的径流量/输沙率却有明显的上升的现象。这是由于C值的增加有助于导致土壤流失比率的上升,而C值在较陡坡度和距河流距离较近处增加幅度相对较大更是加剧了水土流失的可能性。此外,水土流失加剧的趋势,也因季节降雨特性的不同,而在不同月份表现明显的差异。综合分析图4、图5,可以认为,导致水土流失效应加剧的现象主要是中覆盖度草地和林地面积的减少以及低覆盖度草地面积的增加,而9月份降雨量、降雨量强度较低和植被覆盖度较好共同决定了9月份的径流量/输沙率明显低于其它月份。

### 4 结论与讨论

从20世纪80年代到90年代,杏河集水区的土地利用变化主要为低覆盖度草地面积的增加和中覆盖度草地、林地面积的减少,这种土地利用变化表现为C值从20世纪80年代到90年代有明显的增加趋势,而且,在较陡坡度和距河流距离较近处,C值增加的幅度相对较大。这种土地利用格局的变化明显改变了降雨量-径流量、降雨侵蚀力-输沙率的关系,导致90年代的水土流失效应的加剧。20世纪90年代与80年代相比,虽然降雨量/降雨侵蚀力在整体上呈现明显下降的趋势,但是水土流失量,却表现出有同比增加的现象,而且这种增加在不同月份也有明显的差异。为了控制该集水区的水土流失,需要调整土地利用的方式,并注意土地利用的空间配置,在陡坡地和靠近河流处增加C值相对较小的土地利用类型。

本研究对研究者们在土地利用变化研究中所忽略的土地利用变化时间段的界定问题进行了探讨,并针对水土流失这一生态过程,尝试用C值在坡度和距河流距离上的分布来表征土地利用格局的特征,用降雨量/径流量、降雨侵蚀力/输沙率相对增加的比例来表征水土流失效应。研究结果表明,用本文中的方法来表征土地利用格局和水土流失效应,其结果具有较好的匹配性,可以用来定性分析土地利用格局与水土流失的关系。但是在本文水土流失效应的表征中,由于是将降雨量和降雨侵蚀力取平均值,而忽略了其空间变异的特性,因而本文水土流失效应的表征方法一般不适用于研究范围内雨量站点比较密集、降雨空间变异较大的区域。

在本文中,土地利用变化主要表现为低覆盖度草地的增加,而耕地面积变化较小,这可能是因为在黄土区由于遥感数据本身的限制,而很难区分荒草地和耕地所致。同时,由于国内对黄土区不同土地利用方式的C值研究还不是十分完善,C值的精度问题还有待于进一步探讨。此外,土地利用的变化,不仅包括土地利用格局的变化,也包括土地利用条件的变化(如坡改梯、淤堤坝建设等),在进一步土地利用变化效应的研究中,还需要注重分析水土保持的工程措施对水土流失的影响等。

### References:

[1] Fu B J, Li J, Ma K M. The effect of land use change on the regional environment in the Yangjuangou catchment in the Loess Plateau of China. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(3): 241~246.

- [2] Chen L D, Wang J, Fu B J, *et al.* Land-use change in a small catchment of northern Loess Plateau, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, **86**: 163~172.
- [3] Gabris G, Kertesz A, Zambo L. Land use change and gully formation over the last 200 years in a hilly catchment. *Catena*, 2003, **50**: 151~164.
- [4] Fu B J, Gulinc H, Masum M Z. Loess erosion in relation to land-use change in the ganspoel catchment, central Belgium. *Land Degradation & Rehabilitation*, 1994, **5**: 261~270.
- [5] Erskine W D, Mahmoudzadeh A, Myer C. Land use effects on sediment yields and soil loss rates in small basins of Triassic sandstone near Sydney, NSW, Australia. *Catena*, 2002, **49**: 271~287.
- [6] Rubiano J. Land use change in tropical hillsides: the influence of pattern on process. *Advances in Environmental Monitoring and Modelling*, 2000, **1**: 61~79.
- [7] Fu B J, Chen L D, Qiu Y, *et al.* *Land use structure and ecological process in the hilly and gully area of the Loess Plateau of China*, Beijing: The commercial Press Publisher, 2002. 1~12.
- [8] Chris S R, Jon H. Soil erosion assessment tools from point to regional scales-the role of geomorphologists in land management research and implementation. *Geomorphology*, 2002, **47**: 189~209.
- [9] Niehoff D, Fritsch U, Bronstert A. Land-use impacts on storm-runoff generation: scenarios of land-use change and implantation of hydrological response in a meso-scale catchment in SW-Germany. *Journal of Hydrology*, 2002, **267**: 80~93.
- [10] Russell S H, William W D. *Landscape erosion and evolution modelling*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2001, 117~444.
- [11] Merritt W S, Letcher R A, Jakeman A J. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*, 2003, **18**: 761~799.
- [12] Chen L D, Fu B J, Xu J Y, *et al.* Loation-weighted landscape contrast indes: a scale indeendent approach for landscape patern evaluation based on "Source-Sink" ecological process. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**: 2406~2413.
- [13] Ni J R, Li Y K. Dynamic assessment for soil erosion based on land-use structure change. *Acta Geographica Sinica*, 2001, **56**: 611~621.
- [14] Shi H, Shao M A. Soil and water loss from the Loess Plateau in China. *Journal of Arid Environments*, 2000, **45**: 9~20.
- [15] Fu B J. Soil erosion and its control in the Loess Plateau of China. *Soil Use and Manage*, 1989, **5**(2): 76~81.
- [16] Institute of Soil and Water Conservation, CAS. Natural resources and soil conversation in Xingzi Watershed in Loess Plateau, China. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1986. 42~43.
- [17] Kalra A M, Kumar S. Changes in water yield and soil loss from a Himalayan catchment following afforestation. *Modell Simul Controc C*, 1989, **18**(2): 21~29.
- [18] Wu Y Q, Zhang Q C, Zhang Y, *et al.* Crop characteristics and their temporal change on Loess Plateau of China. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, **16**(1): 104~107.
- [19] O'Neill R V, Krumme J R, Gardner R H, *et al.* Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, **1**(3): 153~162.
- [20] Roy H Y, Mark C. Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application to forested landscapes. *Progress in Physical Geography*, 1996, **20**(4): 418~445.
- [21] Kang S, Zhang L, Song X, *et al.* Runoff and sediment loss responses to rainfall and land use in two agricultural catchments on the Loess Plateau of China. *Hydrological Processes*, 2001, **15**(6): 977~988.
- [22] El-Hassanin A S, Labib T M, Gaber E I. Effect of vegetation cover and land slope on runoff and soil losses from the watersheds of Burundi. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1993, **43**(3~4): 301~308.
- [23] Braskerud B C. The influence of vegetation on sedimentation and resuspension of soil particles in small constructed wetlands. *Journal of Environmental Quality*, 2001, **30**(4): 1447~1457.
- [24] Chen L D, Wang J, Fu B J, *et al.* Land-use change in a small catchment of northern Loss Plateau, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, **86**: 163~172.
- [25] Liu B Y, Xie Y, Zhang K L. *Soil loss prediction model*, Beijing: China Science & Technology Press, 2001. 76~77.
- [26] Wang W Z, Jiao J Y. Quantitative evaluation on factors influencing soil erosion in China. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1996, **16**(5): 1~20.
- [27] Zhang Y, Liu B Y, Shi P J, *et al.* Crop cover factor estimating for soil loss prediction. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(7): 1050~1056.

#### 参考文献:

- [1] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵小流域土地利用变化对生态环境的影响. *地理学报*, 1999, **54**(3): 241~246.
- [7] 傅伯杰, 陈利顶, 邱扬, 等. 黄土丘陵沟壑区土地利用结构与生态过程. 北京: 商务出版社, 2002. 1~12.
- [12] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 等. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法. *生态学报*, 2003, **23**: 2406~2413.
- [13] 倪晋仁, 李英奎. 基于土地利用结构变化的水土流失动态评估. *地理学报*, 2001, **56**: 611~621.
- [16] 中国科学院西北水土保持研究所. 黄土高原杏子河流域自然资源与水土保持. 西安: 陕西科学技术出版社, 1986. 42~43
- [18] 伍永秋, 张清春, 张岩, 等. 黄土高原小流域植被特征及其季节变化. *水土保持学报*, 2002, **16**(1): 104~107.
- [25] 刘宝元, 谢云, 张科利. 土壤侵蚀预报模型. 北京: 中国科学技术出版社, 2001. 114~162.
- [26] 王万忠. 万寿宫水库的土壤侵蚀因子定量评价研究. *水土保持通报*, 1996, **16**(5): 1~20.
- [27] 张岩, 刘宝元, 史培军, 等. 黄土高原土壤侵蚀作物覆盖因子计算. *应用生态学报*, 2001, **21**(7): 1050~1056.