

陕北黄土高原县域水土保持治理的适宜性评价

陈梓玄^a,李占斌^a,李 鹏^a,于国强^b,朱冰冰^b

(西安理工大学 a 西北水资源与环境生态教育部重点实验室,b 水利水电学院,陕西 西安 710048)

【摘 要】 【目的】评价陕北黄土高原县域水土保持治理的适宜性。【方法】选取陕北延安地区的安塞、子长、延川 3 县和榆林地区的米脂、绥德、神木 3 县共 6 县的多年观测资料,建立了黄土高原县城水土保持治理适宜性评价指标体系,应用层次分析法对各县域水土保持治理适宜性进行了分析评价。【结果】在陕北黄土高原水土保持治理过程中,坝地面积、治理度和单位面积投资是该地区水土保持评价体系的主要影响因子,在实际运用中要给予一定关注;所选 6 个县的水土保持治理适宜性综合评价分值表明,各县域的水土保持治理与当地社会经济的适宜性逐渐向良性发展,且评价结果与实际情况相符合。【结论】建立的县域水土保持治理适宜性评价指标体系较好地反映了当地的实际情况,是科学、可行的。

【关键词】 陕北;黄土高原;水土保持;适宜性评价;评价体系;层次分析法

【中图分类号】 S157.2 【文献标识码】 A 【文章编号】 1671-9387(2009)12-0159-09

Suitability evaluation of soil and water conservation
of counties in Loess Plateau

CHEN Zi-xuan^a,LI Zhan-bin^a,LI Peng^a,YU Guo-qiang^b,ZHU Bing-bing^b

(a Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE at XAUT,

b Institute of Water Resources and Hydro-electric Engineering,Xi'an University of Technology,Xi'an,Shaanxi 710048,China)

Abstract: 【Objective】 The study evaluated the suitability of soil and water conservation of counties in Loess Plateau. 【Method】 Years' observation data of Ansai, Zichang, Yanchuan, Mizhi, Suide, and Shenmu county in northern Shaanxi were selected,a comprehensive governance index system for soil and water conservation was established,and AHP was applied in the analysis and evaluation of suitability of soil and water conservation in Loess Plateau. 【Result】 The results show that dam land area governance degree and unit area investment are main affecting factors in soil and water conservation evaluation system in these areas,and more concern should be given to these factors in practical application;the comprehensive evaluation scores of the 6 counties indicate that the situation of soil and water conservation can develop sustainably, and the evaluation results are in accordance with actual situation. 【Conclusion】 The suitability of evaluation system of soil and water conservation reflects the actual situation,and the application of the evaluation system can provide reliable basis for scientific evaluation of water conservation measures.

Key words: northern Shannxi; Loess Plateau; soil and water conservation; suitability evaluation; evaluation system; AHP

黄土高原是我国水土流失最严重的地区,而严重的
水土流失导致水土资源大量流失,造成土地退化、植被破坏和土地生产力低下,已成为当地农业与社会经济可持续发展的主要限制因素^[1]。在长期的

* [收稿日期] 2009-04-28
[基金项目] 国家重点基础研究发展计划项目(2007CB407206);国家科技支撑项目(2006BAD09B02)
[作者简介] 陈梓玄(1987—),女,陕西安康人,硕士,主要从事水资源与水土保持研究。E-mail:zi-xuan00@163.com

水土流失治理实践中,形成了以生物措施、工程措施和耕作措施为主的小流域综合治理技术体系,极大地促进了黄土高原地区的水土流失治理^[2-5]。目前,在水土流失治理的实践中,县域是水土保持规划制定与实施的主体,但以往以单个流域为对象进行的治理和研究与以县域为单位的水土保持管理存在一定的脱节。如何在县域尺度上对水土保持治理进行科学评价,为县级水土保持规划与治理及实施等提供参考,是现阶段研究的重点^[6-8]。

本研究针对陕北黄土高原水土保持治理的重点地区,以县域尺度为研究对象,对县域水土保持治理措施的动态变化进行了分析,建立了水土保持治理适宜性评价指标体系,以为县域水土保持治理规划的制定提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

陕北黄土高原地区属半干旱温带大陆性季风气候,降水稀少,且降水量季节分布很不均衡,多年平均降水量在 400 mm 左右,年径流深度仅 16 mm。本区由于气候干旱,水资源短缺,水力侵蚀和风力侵蚀严重并且存在叠加效应,加上长期农牧业不合理的土地利用以及近期矿产和能源等资源的开发,区域生态压力进一步增大,已经成为我国典型的生态脆弱区之一^[9-15]。

本文以陕北黄土高原为典型区域,选择延安地区的安塞、子长、延川 3 个县和榆林地区的米脂、绥德、神木 3 个县为典型县域评价单元进行分析。

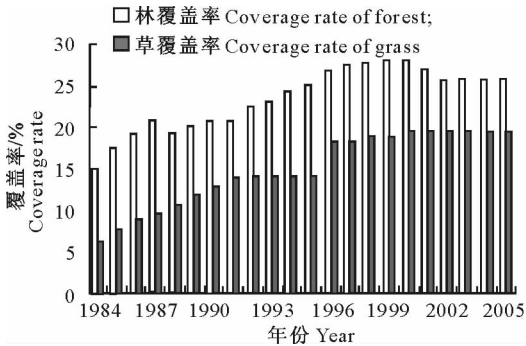


图 1 安塞县林草覆盖率的变化

Fig. 1 Change of vegetation-covered rate in Ansai

2.1.1 林草覆盖率 从图 1 和图 2 可以看出,从 1984~2005 年,安塞县和神木县的林草覆盖率均表现出了明显的上升趋势,并在近几年达到相对稳定状态。其中,安塞县水土保持林的覆盖率在 2000 年左右达到了 28%,以后由于气候等原因而有所降

1.2 资料来源及分析方法

本文所用资料主要来源于陕西省水土保持局汇编的 1984~2005 年陕西省水土保持统计资料,并结合现场调查进行数据校验与补充。

本文采用层次分析法进行评价。层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是在定性方法基础上发展起来的定量地确定多因素权重的一种科学方法,它是系统工程中的一种有效分析手段。目前,层次分析法在经济管理规划、能源开发利用与资源分析、城市产业规划、交通运输、水资源分析利用、土地生产力评价、土壤质量评价等方面得到了广泛应用^[16-21]。由于选用各个指标的量纲和数量级不同,为了使评价结果具有可比性并减少随机因素的干扰,必须对评价指标数据进行标准化处理^[22-23]。为此,本研究采用指数化处理方法,指数化处理是以指标的最大值和最小值的差距进行数学计算,其结果介于 0~1。同时,通过分析各指标的隶属函数类型,计算各因子的隶属度函数值,最终通过加权计算得到适宜性评价分值。

2 结果与分析

2.1 县域水土保持治理的动态特征

根据陕北地区水土保持治理和生态环境的实际情况,结合县域水土保持治理统计资料,选取了林草覆盖率、梯田面积、坝地面积、封山育林面积、治理度、人口数量、粮食总产量、复种指数、水土保持单位面积投资等指标,对其在典型县域尺度上的动态变化进行分析,其结果如图 1~10 所示。

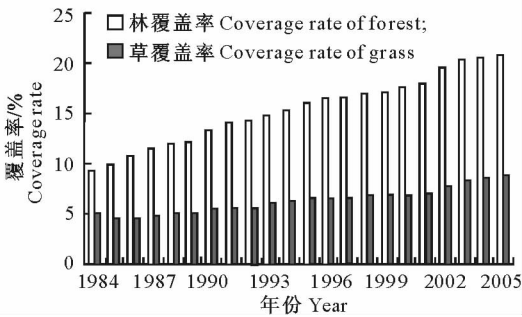


图 2 神木县林草覆盖率的变化

Fig. 2 Change of vegetation-covered rate in Shenmu

低,但是其覆盖率一直处在高于 25% 的水平上;水土保持种草的面积一直处于上升状态,至 20 世纪 90 年代后期稳定在 19.5% 左右。神木县水土保持林的覆盖率从 1984 年的 9% 逐渐增长到 2005 年的 20%,水土保持种草的覆盖率变动幅度不大,但还是

有一定增长趋势,到 2005 年达到 8%左右。其他 4 个县域林草覆盖率的变化也有相似的规律。

2.1.2 梯田及坝地面积 从图 3 可以看出,安塞、神木县的梯田面积随着水土保持治理年份的增加而表现出明显的增加趋势。1984~2005 年安塞县梯田面积年平均增加 540 hm²,神木县年平均增加

406.7 hm²。从图 4 可以看出,从 1984~2005 年,安塞县和米脂县的坝地面积总体上表现出逐渐增加趋势,其中安塞县从 2000 年开始,坝地面积基本上达到稳定,米脂县坝地面积一直处于增长状态,2005 年增至 2 733.3 hm²。综合比较,其他 4 个县域梯田和坝地面积变化也具有相似的规律。

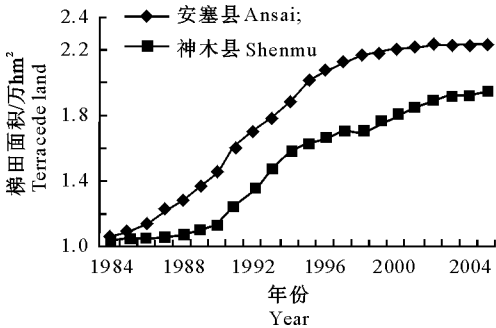


图 3 安塞、神木县梯田面积的变化

Fig. 3 Change of terraced land in Ansai and Shenmu county

2.1.3 封山育林面积 从 1984 年至 2005 年的水土保持统计资料中可以看出,封山育林也是陕北黄土高原地区水土保持治理的措施之一,但其面积变化不是很明显。截止 2005 年,延安地区安塞县封山育林面积为 2 933.3 hm²,子长县 953.3 hm²,延川县达到 6 240 hm²;榆林地区米脂县封山育林面积为 830 hm²,绥德县 860 hm²,神木县封山育林面积很大,达到 28 193.3 hm²。虽然一些县的封山育林面积不是很大,但封山育林的生态效果是长期稳定的,

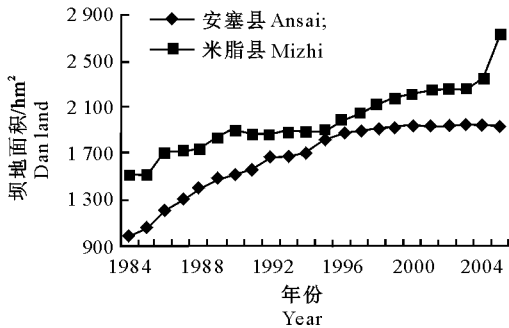


图 4 安塞、米脂县坝地面积的变化

Fig. 4 Change of dam land in Ansai and Mizhi county

会为区域的生态环境带来长远的生态效益。

2.1.4 治理度 从图 5 和图 6 可以看出,从 1984~1996 年,安塞县水土保持治理度的变化总体呈明显上升趋势,从 1996 年以后,安塞县的治理度基本上保持在 70%左右,处在一个较高的水平;从 1984~2005 年,神木县的治理度随治理年份的增加一直呈明显的上升趋势,至 2005 年已增长至 47%。综合比较,其他 4 个县域治理度变化也具有总体趋势呈现上升的相似规律。

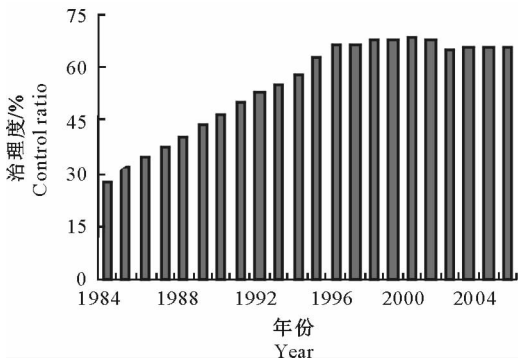


图 5 安塞县水土保持治理度的变化

Fig. 5 Change of erosion control degree in Ansai county

2.1.5 人口数量 从图 7 可以看出,从 1984~2001 年,榆林地区的米脂、绥德和神木 3 个县和延安地区的安塞、子长、延川 3 个县的人口数量一直呈现平缓上升趋势。

2.1.6 粮食总产量 由图 8 可知,安塞、子长、延川 3 个县的粮食总产量逐年增加,但存在较大波动。

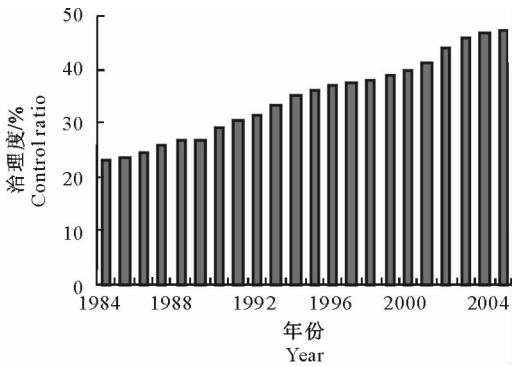


图 6 神木县水土保持治理度的变化

Fig. 6 Change of erosion control degree in Shenmu county

从图 9 可以看出,米脂、绥德、神木 3 个县的粮食总产量逐年间也存在较大波动。经调查发现,这是由于陕北地区每年的气候条件各异,且近年来生态建设活动增加,退耕还林还草等生态建设政策的大力实施,以及农村劳动力人口的变化等都对其产生了一定影响。

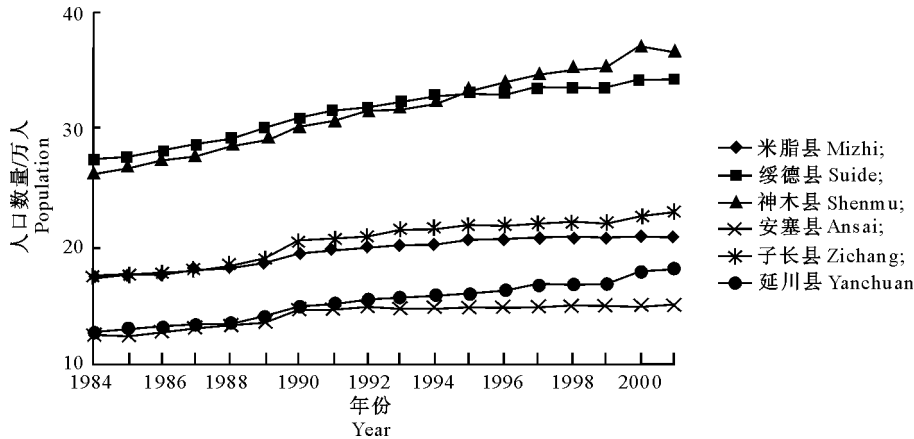


图 7 米脂、绥德、神木、安塞、子长、延川 6 县人口数量的变化

Fig. 7 Change of population in Mizhi, Suide, Shenmu, Ansai, Zichang and Yanchuan county

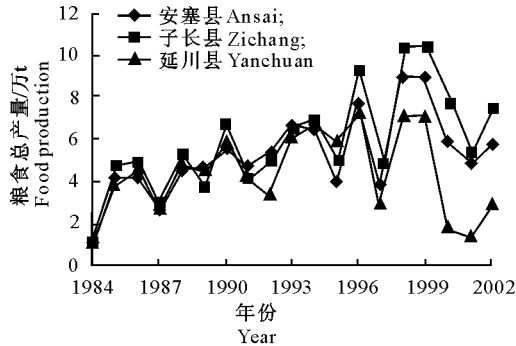


图 8 安塞、子长、延川 3 县粮食总产量的变化

Fig. 8 Change of food production in Ansai, Zichang and Yanchuan county

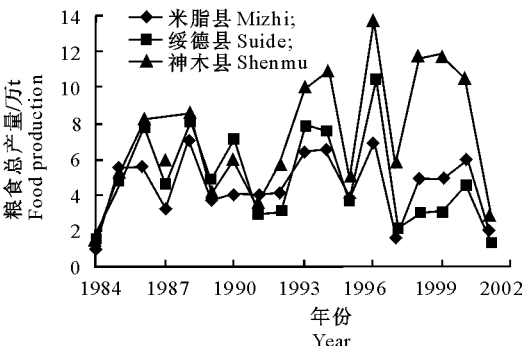


图 9 米脂、绥德、神木 3 县粮食总产量的变化

Fig. 9 Change of food production in Mizhi, Suide and Shenmu county

2.1.7 复种指数 由图 10 可见,安塞、子长、延川 3 个县的复种指数变化趋势并不一致,其中子长县的复种指数从 1986 年开始均大于 100%,说明子长县的土地开垦程度较其他地区更大。从图 11 可以看出,米脂、绥德、神木 3 个县的复种指数整体较延安地区 3 个县的低,并有下降趋势,说明这 3 个县的

土地开垦利用程度较延安地区 3 个县低。同时可以看到,榆林地区的复种指数基本上都是小于 1 的,延安地区的复种指数较大,多数都大于 1。根据实际情况可知,2 个地区复种指数的变化与其气候差异有关,榆林地区位于延安北部,大部分地区只能生产一季粮食,这与实际情况也是相符的。

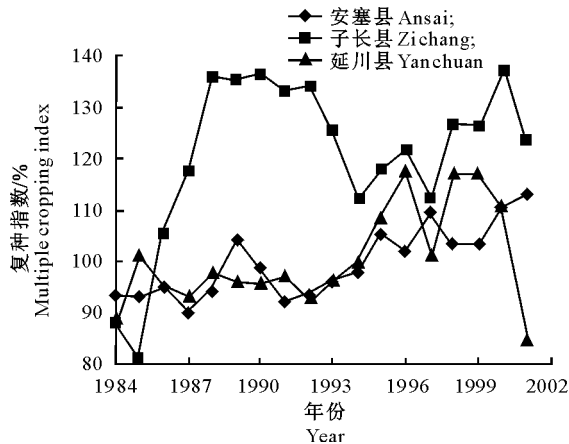


图 10 安塞、子长、延川 3 县复种指数的变化

Fig. 10 Change of multiple cropping index in Aasai, Zichang and Yanchuan county

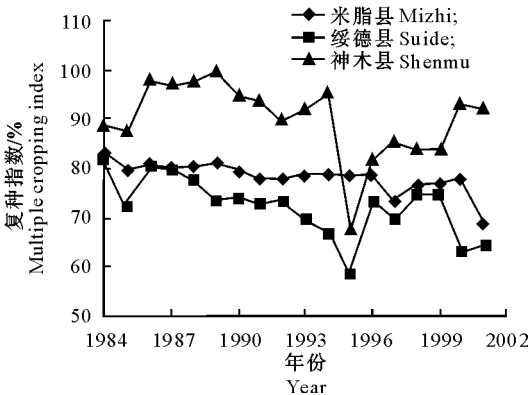


图 11 米脂、绥德、神木 3 县复种指数的变化

Fig. 11 Change of multiple cropping index in Mizhi, Suide and Shenmu county

虽然复种指数的增长有利于当地粮食产量的增长,有助于农民增收,但在陕北地区这会严重破坏当地的土地资源,容易造成水土流失。

2.1.8 水土保持单位面积投资 从图 12 可以看出,子长县的水土保持治理投资情况可以明显地划分为 2 个阶段:1998 年之前单位面积投资很小,年际之间变化不大;1998 年之后出现了大幅度增长,

基本上保持在 5 000 元/km²。从图 13 可以看出,神木县的水土保持治理投资也可以明显划分为 2 个阶段:1998 年以前单位面积投资变化很小,基本上为零;1998 年以后出现了大幅度的增加,且 2003 年达到 5 481 元/km²。综合比较,其他 4 个县域水土保持治理投资情况也具有相似规律。说明近年来国家在该区域的生态环境建设方面加大了投资力度。

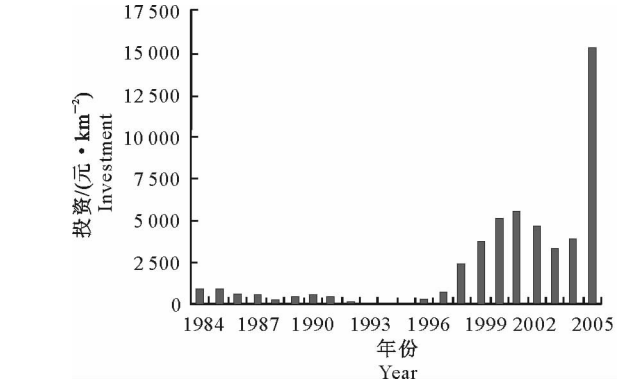


图 12 子长县水土保持单位面积投资的变化
Fig. 12 Change of investment of per unit area in Zichang county

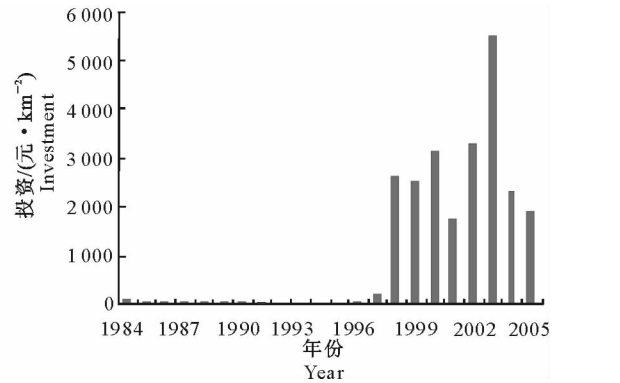


图 13 神木县水土保持单位面积投资的变化
Fig. 13 Change of investment of per unit area in Shenmu county

2.2 评价指标的选择及指标体系的建立

根据陕北地区水土保持治理和生态环境的实际情况,结合已有研究成果^[2-4],选取水土保持林面积、水土保持草面积、梯田面积、坝地面积、封山育林面积、粮食总产量、人口数量、复种指数、单位面积投

资、治理度作为评价指标,建立陕北黄土高原县域水土保持治理的适宜性评价指标体系,如图 14 所示。评价指标体系由 3 个一级指标,即治理措施、社会经济情况、治理效果构成。每个一级指标又各自包含几个最能反映其内涵的二级指标^[8-10]。

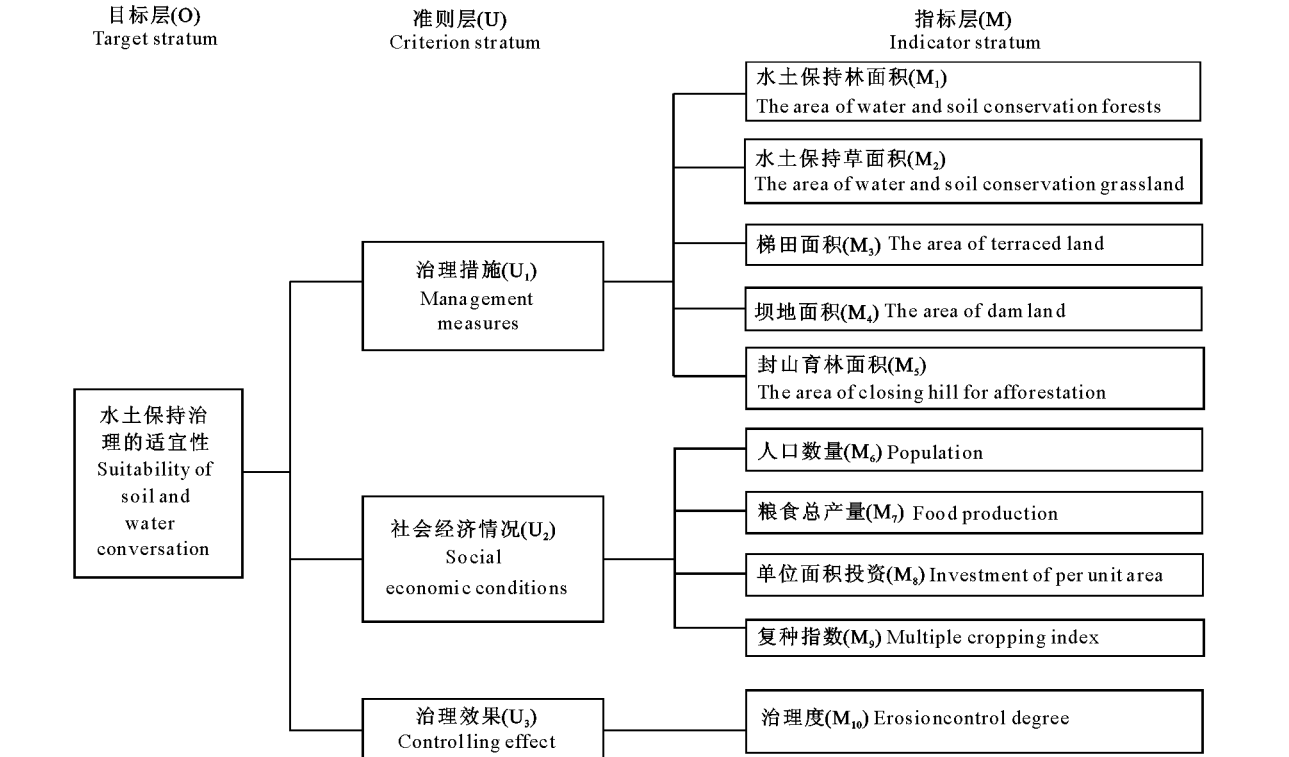


图 14 陕北黄土高原县域水土保持治理适宜性评价的层次分析模型
Fig. 14 AHP model of the suitability evaluation on soil and water conservation of counties in Loess Plateau

2.3 评价结果及适宜性评价计算

2.3.1 层次分析法评价结果 通过专家独立打分,然后求平均(去掉最小值和最大值)值,确定准则层中 U_1 、 U_2 、 U_3 的权重分别为 0.5、0.3 和 0.2,然后构造判断矩阵,进行排序与一致性检验,排序结果满足一致性检验要求。

1) 层次单排序和一致性检验。当随机一致性比率 $CR<0.10$ 时,认为层次单排序的结果有满意的一致性,否则需要调整判断矩阵的元素,直至具有满意的一致性。对于本评价,指标体系判断矩阵具有满意的一致性,其判断矩阵及运算结果如表 1~4 所示。

表 1 O-U 矩阵与运算结果
Table 1 O-U matrix and operation results

目标层 Target stratum	治理措施 Management measure	社会经济情况 Social economic condition	治理效果 Controlling effect	权重 Weight
治理措施 Management measures	1	1.666 7	2.5	0.5
社会经济情况 Social economic conditions	0.6	1	1.5	0.3
治理效果 Controlling effect	0.4	0.666 7	1	0.2

注(Note): $\lambda_{\max}=3,CI=0,RI=0.58,CR=0<0.10$ 。

表 2 U_1 -M 矩阵与运算结果
Table 2 U_1 -M matrix and operation results

治理措施 Management measure	林面积 The area of forests	草面积 The area of grassland	梯田面积 The area of terraced land	坝地面积 The area of dam land	封山育林面积 The area of closing hill for afforestation	权重 Weight
林面积 The area of forests	1	2	1	0.5	2	0.2
草面积 The area of grassland	0.5	1	0.5	0.25	2	0.1
梯田面积 The area of terraced land	1	2	1	0.5	2	0.2
坝地面积 The area of dam land	2	4	2	1	4	0.4
封山育林面积 The area of closing hill for afforestation	0.5	1	0.5	0.25	1	0.1

注(Note): $\lambda_{\max}=5,CI=0,RI=1.12,CR=0<0.10$ 。

表 3 U_2 -M 矩阵与运算结果
Table 3 U_2 -M matrix and operation results

社会经济情况 Social economic condition	人口数量 Population	粮食总产量 Food production	单位面积投资 Investment of per unit area	复种指数 Multiple cropping index	权重 Weight
人口数量 Population	1	0.8	0.5	1.333 3	0.2
粮食总产量 Food production	1.25	1	0.625	1.666 7	0.25
单位面积投资 Investment of per unit area	2	1.6	1	2.666 7	0.4
复种指数 Multiple cropping index	0.75	0.6	0.375	1	0.15

注(Note): $\lambda_{\max}=4,CI=0,RI=0.90,CR=0<0.10$ 。

表 4 U_3 -M 矩阵与运算结果
Table 4 U_3 -M matrix and operation results

治理效果 Controlling effect	治理度 Erosion control degree	权重 Weight
治理度 Erosion control degree	1	1

注(Note): $\lambda_{\max}=1,CI=0,RI=0,CR=0<0.10$ 。

2) 层次总排序。采用层次分析法对上述分析指标进行评价计算,其排序结果见表 5。从表 5 可以看出,在所涉及的评价指标中,坝地面积、治理度和

单位面积投资是该地区水土保持评价体系的主要影响因子,其权重值依次为 0.2、0.2 和 0.12。

2.3.2 适宜性评价计算 根据层次分析法,将各适宜性评价因子的隶属度值进行加权组合,按公式(1)计算各县域水土保持治理适宜性的综合评价分值,然后对县域水土保持治理的适宜性进行分析评价。

$$EI=\sum_{i=1}^{10}W_i\times F_i。$$

(1)

式中: EI 为每一评价单元的最后评价值; W_i 为第 i

个指标的权重; F_i 为第 i 个指标的隶属度值。年际变化图,如图 15~20 所示。

通过计算,得到 6 个县域水土保持治理适宜性

表 5 陕北黄土高原县域水土保持治理适宜性评价系统的层次总排序及其计算结果
Table 5 Total hierarchy taxis and results of suitability evaluation system on soil
and water conservation of counties in Loess Plateau

评价指标 Indication	U ₁	U ₂	U ₃	权重 Weight	排名 Rank
	0.5	0.3	0.2		
林面积 The area of forest	0.2	0	0	0.1	4
草面积 The area of grassland	0.1	0	0	0.05	8
梯田面积 The area of terraced land	0.2	0	0	0.1	5
坝地面积 The area of dam land	0.4	0	0	0.2	1
封山育林面积 The area of closing hill for afforestation	0.1	0	0	0.05	9
人口数量 Population	0	0.2	0	0.06	7
粮食总产量 Food production	0	0.25	0	0.075	6
单位面积投资 Investment of per unit area	0	0.4	0	0.12	3
复种指数 Multiple cropping index	0	0.15	0	0.045	10
治理度 Erosion control degree	0	0	1	0.2	2

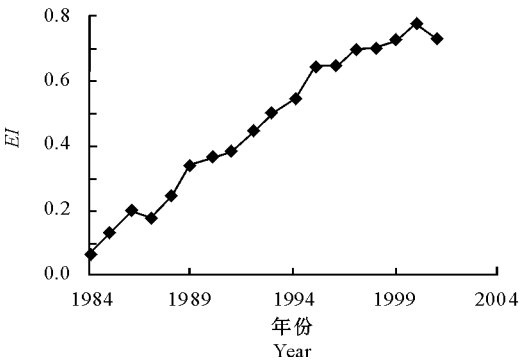


图 15 安塞县综合评价分值的变化
Fig. 15 Change of integrated evaluation
value in Ansai county

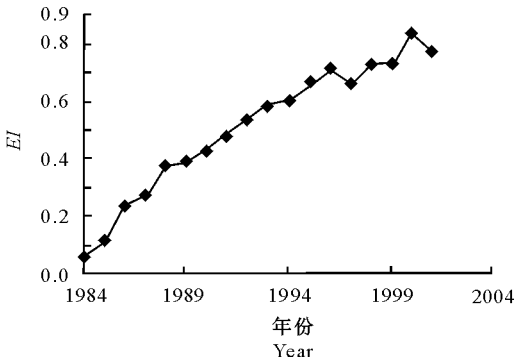


图 16 子长县综合评价分值的变化
Fig. 16 Change of integrated evaluation
value in Zichang county

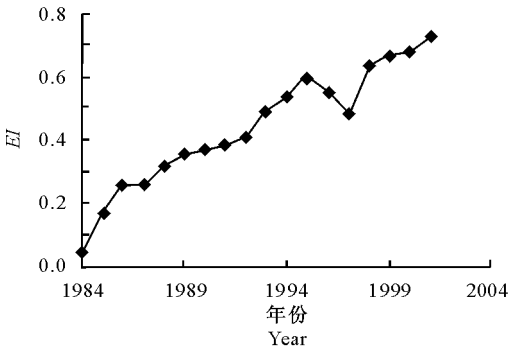


图 17 延川县综合评价分值的变化
Fig. 17 Change of integrated evaluation value
in Yanchuan county

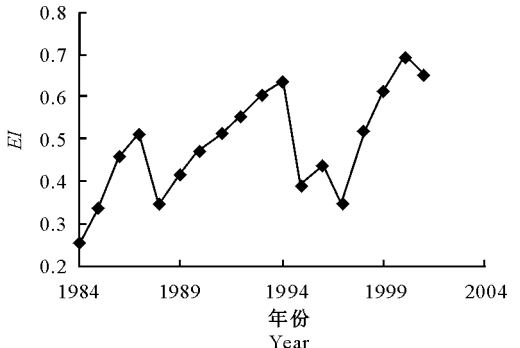


图 18 米脂县综合评价分值的变化
Fig. 18 Change of integrated evaluation value
in Mizhi county

从图 15~20 可以看出,各县的水土保持治理适宜性综合评价分值虽然存在一定的波动,但总趋势均是逐渐上升的。其中安塞、子长、延川县的波动不是很大,说明长期以来,该区域的水土保持治理工作

在不断地改进,使其逐渐适应了当地的社会经济发展。米脂县的水土保持治理适宜性综合评价分值变化明显分为 3 个阶段,但每个阶段都呈上升趋势,说明随着社会经济的不断发展变化,该区域水土保持治理的适宜性在这几个阶段里有不同程度的改变,且总趋势是向良性发展的。绥德县的水土保持治理适宜性综合评价分值的平均值在最初很快提升到一

个较高水平,近年来在波动中逐渐上升。神木县的水土保持治理适宜性综合评价分值有较大的变动范围,明显呈现上升状态,且波动程度较其他县域更小,说明该县的水土保持治理与该县的社会经济发展状况的适宜性开始时较差,但随着时间的推移呈现稳步发展趋势,这有利于该县进一步开展水土保持工作,改善生态环境。

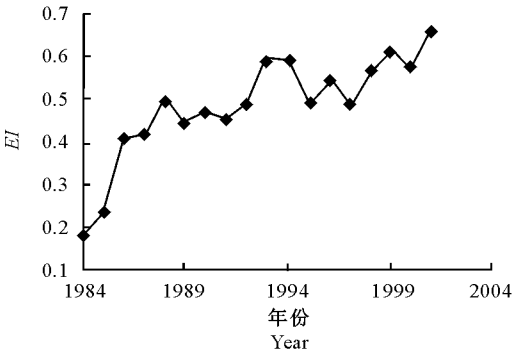


图 19 绥德县综合评价分值的变化
Fig. 19 Change of integrated evaluation value in Suide county

综上所述,从 1984~2001 年,这 6 个县的水土保持治理与当地社会经济的适宜性逐渐向良性发展,这将有利于该区域水土保持工作的持续开展,以进一步改善该区域的生态环境。

3 结 论

本文选取了陕北黄土高原地区的安塞、子长、延川、米脂、绥德、神木 6 个县,以其为代表系统地分析了这 6 个县水土保持治理的变化情况和当地的社会经济情况,并以此为基础对县域水土保持治理的适宜性进行了分析评价,取得了如下结论:

1)建立了县域水土保持治理适宜性评价指标体系。根据 6 个县的水土流失治理资料,提取了合理的评价指标,建立了一套比较完整适用的县域水土保持治理适宜性评价指标体系,为水土保持治理适宜性的评价及进一步研究决策提供了科学依据。

2)应用层次分析法对各县域水土保持治理进行了分析评价。结果表明,在陕北黄土高原水土保持治理过程中,坝地面积、治理度和单位面积投资是该地区水土保持评价体系的主要影响因子,在今后的水土保持治理工作与评价体系中,应主要针对这几项指标展开研究;各县域水土保持的治理总体向良性发展,评价结果与实际情况相符合,说明该方法是科学的,也是可行的,为县域水土保持治理的适宜性评价工作提供了科学依据。

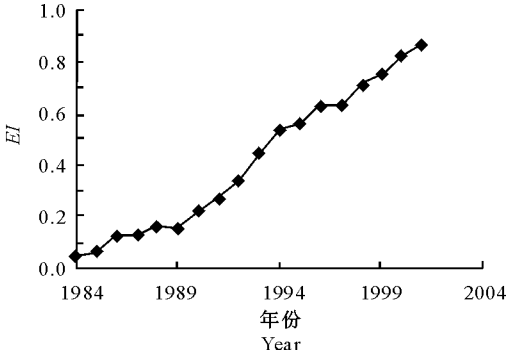


图 20 神木县综合评价分值的变化
Fig. 20 Change of integrated evaluation value in Shenmu county

[参考文献]

[1] 何文清,高旺盛,董孝斌.论黄土高原生态保护与农业生产的协调发展[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):183-187.
He W Q,Gao W S,Dong X B. Discussion on harmonious development of ecological protection and agricultural production in Loess Plateau [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004,22(1):183-187. (in Chinese)

[2] 贾宁凤,段建南.黄土高原小流域综合治理效益多维灰色动态评价[J].农业系统科学与综合研究,2005,21(2):156-160.
Jia N F,Duan J N. Multidimensional grey dynamic assessment for small watershed comprehensive control in Loess Plateau [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture,2005,21(2):156-160. (in Chinese)

[3] 魏强,柴春山.半干旱黄土丘陵沟壑区小流域水土流失治理综合效益评价指标体系与方法[J].水土保持研究,2007,14(1):87-89.
Wei Q,Chai C S. Index system and method on comprehensive effects evaluation of small basin water-soil loss control in semi-arid loess hill-valley areas [J]. Research of Soil and Water Conservation,2007,14(1):87-89. (in Chinese)

[4] 刘建强,李延忠,时光新.榆林小流域水土保持综合治理措施及其效益分析[J].水土保持通报,2000,20(6):51-54.
Liu J Q,Li Y Z,Shi G X. Countermeasures and benefits of comprehensive harness at Yulin small watershed [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2000,20(6):51-54. (in Chinese)

[5] 张光辉.土壤侵蚀模型研究现状与展望[J].水科学进展,2002,13(3):389-396.
Zhang G H. Research situation and prospect of the soil erosion

- model [J]. *Advances in Water Science*, 2002, 13(3): 389-396. (in Chinese)
- [6] 隋跃宇,张兴义,张少良. 黑龙江典型县域农田黑土土壤有机质现状分析 [J]. *土壤通报*, 2008, 39(1): 186-188.
- Sui Y Y, Zhang X Y, Zhang S L. Soil organic matter actuality of the black soil farmland in Heilongjiang counties [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(1): 186-188. (in Chinese)
- [7] 曲衍波,齐伟,商冉,等. 基于 GIS 的山区县域土地生态安全评价 [J]. *中国土地科学*, 2008, 4(4): 38-44.
- Qu Y B, Qi W, Shang R, et al. A study on land eco-security evaluation in mountainous area at county level based on GIS [J]. *China Land Science*, 2008, 4(4): 38-44. (in Chinese)
- [8] 曲衍波,齐伟,赵胜亭,等. 胶东山区县域优质苹果生态适宜性评价及潜力分析 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24(6): 109-114.
- Qu Y B, Qi W, Zhao S T, et al. Ecological suitability evaluation and potential analysis of top-quality apple in Jiaodong mountainous areas at county level [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(6): 109-114. (in Chinese)
- [9] Dawson E M, Roth W H, Drescher A. Slope stability analysis by strength reduction [J]. *Geo technique*, 1999, 49(6): 835-840.
- [10] Zhang X, Quine T A, Walling D E. Soil erosion rates on sloping cultivated land on the Loess Plateau near Ansai, Shaanxi Province, China: An investigation using ^{137}Cs and rill measurements [J]. *Hydrology Processes*, 1998, 12(1): 171-189.
- [11] Zhang G S. Effect of straw and plastic film management under contrasting tillage practices on the physical properties of an erodible loess soil [J]. *Soil & Tillage Research*, 2008, 98(2): 113-119.
- [12] 胡良军,张晓萍,杨勤科,等. 黄土高原区域水土流失评价数据库的建立 [J]. *水利学报*, 2002(1): 81-85.
- Hu L J, Zhang X P, Yang Q K, et al. Database construction for regional scale soil loss assessment on the whole Loess Plateau [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2002(1): 81-85. (in Chinese)
- [13] 王飞,李锐,杨勤科. 黄土高原土壤侵蚀的人为影响程度研究综述 [J]. *泥沙研究*, 2003(5): 194-198.
- Wang F, Li R, Yang Q K. Review on effects of human activities on the soil erosion in the Loess Plateau [J]. *Journal of Sediment Research*, 2003(5): 194-198. (in Chinese)
- [14] 焦菊英,王万忠,李靖,等. 黄土高原丘陵沟壑区淤地坝的淤地拦沙效益分析 [J]. *农业工程学报*, 2003, 19(6): 302-306.
- Jiao J Y, Wang W Z, Li J, et al. Silting land and sediment blocking benefit of check dam in hilly and gully region on the Loess Plateau [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2003, 19(6): 302-306. (in Chinese)
- [15] 侯建才,李占斌,崔灵周,等. 黄土高原典型流域次降雨径流侵蚀产沙规律研究 [J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2008, 36(2): 210-214.
- Hou J C, Li Z B, Cui L Z, et al. Research on runoff erosion and sediment yield laws of typical watershed under single rainfall on Loess Plateau [J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2008, 36(2): 210-214. (in Chinese)
- [16] Jacob W E, Rattan L. Tillage effects on physical properties of agricultural organic soils of north central Ohio [J]. *Soil & Tillage Research*, 2008, 98(2): 208-210.
- [17] Liu B Y, Nearing M A, Shi P J, et al. Slope length effects on soil loss for steep slopes [J]. *Soil Sci Soc of Am J*, 2000, 64(5): 1759-1763.
- [18] Nearing M A, Norton L D, Bulgakov D A, et al. Hydraulics and erosion in eroding rills [J]. *Water Resources Research*, 1997, 33(4): 865-876.
- [19] 刘纪根,张平仑,喻惠花. 水土流失治理率综合评价指标体系框架研究 [J]. *长江科学院院报*, 2008, 25(3): 82-85.
- Liu J G, Zhang P C, Yu H H. Index system structure of soil and water loss improvement rate [J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2008, 25(3): 82-85. (in Chinese)
- [20] 王辉文,彭冬水,彭源水. 层次分析法在开发建设项目水土保持管理中的应用 [J]. *亚热带水土保持*, 2008, 20(1): 44-47.
- Wang H W, Peng D S, Peng Y S. Application of analytic hierarchy process in soil and water conservation of development construction project [J]. *Subtropical Soil and Water Conservation*, 2008, 20(1): 44-47. (in Chinese)
- [21] 吴柏清,何政伟,仇文峡,等. 层次分析法在土地利用战略研究中的应用:以四川省泸定县为例 [J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(9): 3814-3816.
- Wu B Q, He Z W, Qiu W X, et al. Application of arrangement analysis in the research on land utilization strategy: A case study of Luding county in Sichuan Province [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(9): 3814-3816. (in Chinese)
- [22] 赵先贵,马彩虹. 基于科学发展观的区域发展评价系统研究 [J]. *水土保持通报*, 2008, 28(3): 193-197.
- Zhao X G, Ma C H. Evaluation index system of regional development based on the scientific development concept [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(3): 193-197. (in Chinese)
- [23] 王国梁,党小虎,刘国彬. 黄土丘陵区县南沟流域生态恢复的生态经济耦合评价 [J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2009, 37(2): 187-198.
- Wang G L, Dang X H, Liu G B. Evaluation on the coupled ecological/economic systems in the process of eco-rehabilitation of Xiannangou Catchment in the Loess Hilly Region [J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2009, 37(2): 187-198. (in Chinese)