

网络出版时间:2014-09-10 18:19 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.10.036
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.10.036.html

陕西省丹汉江流域重点水土保持工程适宜性评价

张秦岭^{1,2}, 李占斌¹, 王 星^{1,2}

(1 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2 陕西省水土保持局, 陕西 西安 710004)

【摘 要】 【目的】分析陕西省丹汉江流域重点水土保持工程的适宜性, 为开展水土保持工程建设提供科学的决策依据。【方法】首先分析丹汉江流域各时期(“长治”工程 1~7 期和“丹治”工程 1 期)重点水土保持工程的完成情况; 在此基础上构建水土保持工程适宜性评价指标体系; 然后分别采用层次分析法和主成分分析法计算水土保持工程适宜性的综合评价分值(EI); 最后对各时期水土保持工程适宜性的综合评价分值进行排名, 并对 2 种分析方法的评价结果进行比较。【结果】20 世纪 80 年代以来, 陕西省丹汉江流域水土保持工程的实施范围逐步扩大, 治理任务和投资量增加, 单位面积投资和中央投资比例提高, 工程的治理措施逐渐配套, 水土保持效益越来越显著。从“长治”1 期到“长治”7 期工程, 丹汉江流域水土保持工程的评价分值 EI 一直呈波动变化, 到“丹治”1 期工程时 EI 值急剧提高; 基于层次分析法和主成分分析法得到的各时期水土保持工程适宜性排名结果基本一致(“长治”2 期和 4 期除外)。【结论】陕西省丹汉江流域水土保持工程中的“丹治”1 期工程与各时期“长治”工程相比具有较强的适宜性。

【关键词】 丹汉江流域; 水土保持工程; 适宜性评价

【中图分类号】 S157.2

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)10-0225-10

Suitability evaluation of key soil and water conservation projects in Dan-Han River watershed of Shaanxi Province

ZHANG Qin-ling^{1,2}, LI Zhan-bin¹, WANG Xing^{1,2}

(1 College of Water Resources and Hydraulic Power, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2 Shaanxi Provincial Bureau of Soil and Water Conservation, Xi'an, Shaanxi 710004, China)

Abstract: 【Objective】 The suitability evaluation of key soil and water conservation projects in Dan-Han River watershed of Shaanxi Province was analyzed to provide scientific decision-making basis for carrying out water and soil conservation projects. 【Method】 First, the execution of key soil and water conservation projects at every period (periods 1—7 of “Changzhi” and period 1 of “Danzhi”) in Dan-Han River watershed was analyzed. Then, the suitability evaluation system was constructed and the integrated evaluation values (EI) of key soil and water conservation projects were calculated using Analytic Hierarchy Process method and Principle Components Analysis method. Finally, the integrated evaluation values of key soil and water conservation projects at each period were ranked and the results of these two methods were compared. 【Result】 Since the 1980s, the implementation area of soil and water conservation projects in Dan-Han River watershed of Shaanxi Province gradually expanded, assignment and investment increased, investment per unit area and proportion of central government investment increased, control measures gradually improved, and the benefits were more and more notable. The integrated evaluation values of soil and water conservation projects of Dan-Han River watershed fluctuated all along from period 1 to period 7 of “Changzhi” project, and increased sharply at the period 1 of “Danzhi” project. Results of Analytic Hierarchy

【收稿日期】 2013-07-11

【基金项目】 陕西省教育厅重点实验室项目“丹汉江水源区水土流失非点源污染过程与调控”(09JS094)

【作者简介】 张秦岭(1963—), 男, 陕西富平人, 高级工程师, 在职博士, 主要从事水土保持项目管理与水文及水资源研究。

Process method and Principle Components Analysis method were generally identical except for period 2 and period 4 of “Changzhi” project. 【Conclusion】Period 1 of “Danzhi” project was more suitable than any period of “Changzhi” project in Dan-Han River watershed of Shaanxi Province.

Key words: Dan-Han River watershed; soil and water conservation project; suitability evaluation

水土保持措施的适宜性即措施的采纳程度,受多种因素的影响^[1-2]。水土保持措施的适宜性评价是水土保持基础理论研究的重要内容之一。系统分析不同水土保持措施的防治机制和适宜条件,弄清各种措施的效益,对于丰富水土保持措施的理论知识具有十分重要的意义。水土保持措施的适宜性评价也是小流域水土保持措施优化配置的基础,可以为水土保持规划和土地利用规划提供科学依据,对确保区域生态安全、促进社会经济发展具有重要的现实意义。目前,针对水土保持适宜性评价方面的研究,主要是通过分析水土保持措施的效应来评价其好坏;或者通过水土保持措施的采纳程度及其保存率,以及小流域水土保持措施的优化配置,来间接探讨水土保持措施的适应性^[3-4]。这些研究主要存在 2 点不足:一是水土保持适宜性的理论尚有欠缺,目前仅见对措施适宜性的定性分析和描述,还无较为系统的适宜性评价理论;二是水土保持适宜性评价研究成果明显不足,特别是水土保持的区域适宜性研究尚不多见。

水土保持综合评价指标体系是在对大量信息进行综合的基础上全面建立的包括社会经济和资源环境在内的指标体系,以全面表征流域生态系统的主要特征。水土保持的适宜性评价一般通过对典型区域的详查,从水土资源、生态与环境、经济发展等方面构建水土保持综合评价指标体系;然后根据建立的评价指标体系,量化各项指标,对各层次指标的权重进行赋值;最后对典型区域的水土保持情况进行综合评价^[5]。长期以来,我国的水土保持作为一项社会公益事业,其投资和实施主体以国家为主,绝大部分投资为国家投资,其中又以中央投资为主,同时发动群众积极参与^[6],能够大规模实施并且产生显著效益的主要是国家重点水土保持工程。在水土保持措施中能够产生明显生态效益和经济效益的主要是坡改梯、造林种草等坡面治理措施。因此,在水土保持工程适宜性评价中应加大中央投资和坡面治理措施的权重。

目前用于水土保持适宜性评价的方法较多,有学者用成因分析法和对比分析法对研究区域进行了水土保持效应的估算^[7]。有学者用决策模型和成

本-效益分析等方法对水土保持措施采纳程度的影响因素进行了定量分析^[8]。有学者提出“双套对偶评价指标体系”,构建“求-供”指标体系和“产-望”指标体系^[4]。有学者采用层次分析法对县域水土保持治理措施进行了适宜性评价^[9]。

在陕西省丹汉江流域长期的水土保持实践中,形成了以工程措施、生物措施和耕作措施为主,以山、水、田、林、路等综合配套的小流域治理体系,取得了显著的生态效益、经济效益和社会效益。本研究以 20 世纪 80 年代以来陕西省丹汉江流域实施的国家重点水土保持工程为研究对象,分析各时期水土保持工程的动态变化,分别采用层次分析法和主成分分析法,对水土保持工程的适宜性进行评价,并对 2 种方法评价的结果进行比较,以期为进一步开展丹汉江流域水土保持工程建设提供科学的决策依据。

1 丹汉江流域重点水土保持工程的完成情况

1989—2010 年,陕西省丹汉江流域先后实施了长江上中游水土保持重点防治工程(简称“长治”工程)1~7 期项目(编号为 C1~C7)及丹汉口库区和上游水土保持工程(简称“丹治”工程)1 期项目(编号为 D1)。为了防止重复投资,“长治”工程和“丹治”工程各时期项目在实施过程中小流域范围不得重叠,各时期的治理思路基本一致,主要包括综合治理措施(坡面整治、沟道防护、水土保持林草、疏溪固堤、治塘筑堰等)和生态修复措施(封育管护、能源替代、舍饲养畜棚等)。

陕西省丹汉江流域各时期重点水土保持工程的完成情况见表 1。从表 1 可以看出,20 世纪 80 年代以来,陕西省丹汉江流域水土保持工程的实施范围逐渐扩大,由“长治”1 期的 3 个县扩大到“丹治”1 期的 24 个县;小流域条数逐渐增加,由“长治”1 期的 7 条增加到“丹治”1 期的 348 条;单位面积总投资呈增加趋势,由“长治”1 期的 5.09 万元/km² 提高到“丹治”1 期的 24.94 万元/km²,在“长治”5 期达到最大值 34 万元/km²;单位面积中央投资逐渐增加,由“长治”1 期的 0.8 万元/km² 增加到“丹治”1 期的 13.45 万元/km²,提高了 15.8 倍;中央投资比例逐

渐增加,由“长治”1 期的 15.8% 提高到“丹治”1 期的 53.9%。

由于每一期工程的建设规模不同,社会经济情况、治理措施、完成投资 and 治理效益也不同。随着工程实施时期的延伸,增加的人均基本农田和经果林面积略有减少,但粮食单位面积产量和农业人均纯收入却大幅提高,说明治理措施的质量提高。蓄水池(窖)、谷坊、沟渠等小型水利水保工程数量明显增加,说明工程建设中更加重视农田基本建设的配套措施,农业生产条件得到改善。年拦蓄泥沙量、年拦蓄径流量、粮食增产量、经济林果增产量均呈增加趋势,说明工程的效益逐渐显著。

表 1 丹汉江流域各时期重点水土保持工程的完成情况

Table 1 Completion of soil and water conservation projects at every period in Dan-Han River watershed								
指标 Index	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	D1
实施年限 Harness age	1989—1993	1990—1994	1994—1998	1998—2000	1999—2003	2001—2004	2004—2008	2007—2010
项目涉及县域数 Name of project county	3	4	8	3	8	5	12	24
小流域条数 Number of watershed	7	39	96	8	72	25	89	348
农业人口/万人 Agricultural population	12.74	7.71	34.60	1.17	27.44	5.19	34.13	181.90
农业劳动力/万人 Agricultural labor force	4.86	3.46	16.17	0.56	13.04	3.20	18.44	95.89
人均基本农田增加 面积/hm ² Increase in per capita farmland	0.04	0.05	0.04	0.04	0.02	0.04	0.01	0.01
人均经果林增加 面积/hm ² Increased per capita fruit	0.06	0.13	0.08	0.07	0.06	1.00	0.01	0.04
单位面积粮食增 产量/(kg·hm ⁻²) Increase grain yield per mu	1 290	1 890	1 140	465	2 565	1470	1275	3 060
农业人均增加纯 收入/元 Increase in per capita net income of agriculture	226	268	467	386	660	436	387	596
减少贫困人口数量/万人 Reducing the number of poor	122.37	40.54	185.17	0.13	101.29	0.70	42.22	21.92
水土流失治理面积/hm ² Area of soil and water loss control	93 127	67 550	202 435	10 394	101 742	18 865	79 417	769 163
坡改梯面积/hm ² Terrace	5 240	4 279	13 303	706	7 936	1 637	3 247	21 041
水保林面积/hm ² Soil and water conservation forest	34 887	32 067	80 175	3 717	35 344	6 832	4 070	199 729
经果林面积/hm ² Fruit forest	11 827	10 263	27 769	1 189	19 268	3 621	3 953	53 375
种草面积/hm ² Grass planting	113	147	1 360	200	1 350	21	1 475	3 246
封禁治理面积/hm ² Closing hillside for erosion control	29 290	16 762	62 094	3 491	33 099	6 257	63 447	464 939
保土耕作面积/hm ² Contour tillage	11 770	4 031	17 734	1 092	4 744	497	3 225	26 833
建蓄水池(窖)/个 Water storage pool	15	4	131	50	5 152	71	3 309	10 531
建谷坊/座 Check dam	33	127	347	26	281	492	839	4 278
沟渠长度/km Irrigation canal	424.51	243.45	554.91	44.12	431.50	142.70	439.29	1 618.00
总投资/万元 Total investment	4 649	4 670	32 232	3 027	34 594	5 610	21 503	192 112
中央投资/万元 National investment	733	732	2 804	651	5 792	1 080	7 135	103 609

续表 1 Continued table 1

指标 Index	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	D1
年拦蓄泥沙量/万 t Annual intercepting sediment	438	313	1 042	1 248	818	106	509	4 879
年拦蓄径流量/万 m ³ Annual interception of runoff	28 885	17 894	50 877	61 777	25 337	3 594	12 944	43 361
增加植被覆盖率/% Increasing vegetation coverage rate	28.00	22.30	18.20	21.88	19.90	17.50	12.15	17.43
增加粮食产量/万 kg Increase grain yield	1 910	1 128	4 963	5 052	2 972	313	2 224	9 751
增加经济林果产量/万 kg Increased fruit yield	1 410	4 100	12 876	14 445	16 637	11 735	40 990	17 041
单位面积总投资/ (万元·km ⁻²) Total investment per unit area	5.09	6.91	15.89	29.59	34.00	29.74	28.48	24.94
单位面积中央投资/ (万元·km ⁻²) Central government investment per unit area	0.80	1.08	1.38	6.36	5.69	5.72	9.45	13.45
中央投资比例/% Central government investment ratio	15.8	15.7	8.7	21.5	16.7	19.3	33.2	53.9

2 水土保持工程适宜性评价指标体系

水土保持综合评价指标体系包括社会经济指标和资源环境指标,是对大量信息的综合,应能全面表征流域生态系统的主要特征。一般采用典型区域水土流失详查,从水土资源、生态与环境、经济发展等方面构建水土保持综合评价指标体系^[8]。本研究根

据陕西省丹汉江流域生态环境和水土保持工程实施的实际情况,结合已有研究成果^[10-12],选取 24 个评价指标,建立丹汉江流域水土保持工程适宜性评价指标体系。该评价指标体系的准则层由 4 个一级指标构成,即社会经济情况、治理措施、完成投资 and 治理效益,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,具体如表 2 所示。

表 2 丹汉江流域水土保持工程适宜性评价的指标体系

Table 2 Suitability evaluation system for soil and water conservation projects in Dan-Han River watershed

项目 Item	准则层(U) Criterion layer	指标层(M) Index layer
目标层(O) Target layer	社会经济情况(U ₁) Social economic situation	农业人口(M ₁) Agricultural population
		农业劳动力(M ₂) Agricultural labor force
		人均基本农田增加面积(M ₃) Increase in per capita farmland
		人均经果林增加面积(M ₄) Increase in per capita fruit
		单位面积粮食增产量(M ₅) Increase in grain yield per hm ²
		农业人均增加纯收入(M ₆) Increase in per capita net income of agriculture
		减少贫困人口数量(M ₇) Reduce in number of poor people
	治理措施(U ₂) Control measure	水土流失治理面积(M ₈) Area of soil and water loss control
		坡改梯面积(M ₉) Terrace
		水保林面积(M ₁₀) Soil and water conservation forest
		经果林面积(M ₁₁) Fruit forest
		种草面积(M ₁₂) Grass planting
		封禁治理面积(M ₁₃) Closing hillside for erosion control
		保土耕作面积(M ₁₄) Contour tillage
	完成投资(U ₃) Completed investment	建蓄水池(窖)(M ₁₅) Water storage pool
		建谷坊(M ₁₆) Check dam
		沟渠长度(M ₁₇) Irrigation canal
	治理效益(U ₄) Control benefit	总投资(M ₁₈) Total investment
		中央投资(M ₁₉) National investment
		年拦蓄泥沙量(M ₂₀) Annual intercepting sediment
		年拦蓄径流量(M ₂₁) Annual interception of runoff
		增加植被覆盖率(M ₂₂) Increase in vegetation coverage rate
		增加粮食产量(M ₂₃) Increase in grain yield
		增加经济林果产量(M ₂₄) Increase in fruit yield

3 基于层次分析法的水土保持工程适宜性评价

用层次分析法进行系统分析时,首先需将问题层次化,形成一个多层次的分析结构模型;然后通过专家独立打分,求平均(去掉最小值和最大值)分值,确定准则层和指标层的权重;最后构造判断矩阵,进行排序与一致性检验,排序结果满足一致性检验要求,得出判断矩阵及运算结果,如表 3 所示。由表 3

可知,4 个准则层的权重排名是:治理措施(U_2)>完成投资(U_3)>治理效益(U_4)>社会经济情况(U_1)。社会经济情况中权重最大的是农业人均增加纯收入(M_6),治理措施中权重最大的是水土流失治理面积(M_8),完成投资中权重最大的是中央投资(M_{19}),治理效益中权重最大的是年拦蓄泥沙量(M_{20})。所有 24 个指标中权重排名前 3 位的分别是中央投资(M_{19})、水土流失治理面积(M_8)和坡改梯面积(M_9)。

表 3 丹汉江流域水土保持工程适宜性评价指标体系的权重排序

Table 3 Rank of weights of suitability evaluation system for soil and water conservation projects in Dan-Han River watershed

评价指标 Evaluation index	准则层权重/指标层权重 Weight of criterion layer/Weight of index layer			排名 Rank
U_1	0.106 7			4
U_2		0.452 7		1
U_3			0.236 1	2
U_4			0.204 5	3
M_1	0.038 1		0.004 1	21
M_2	0.056 9		0.006 1	20
M_3	0.144 3		0.015 4	16
M_4	0.106 6		0.011 4	19
M_5	0.218 1		0.023 3	12
M_6	0.326 0		0.034 8	8
M_7	0.110 1		0.011 7	18
M_8		0.286 1	0.129 5	2
M_9		0.240 8	0.109 0	3
M_{10}		0.125 2	0.056 7	6
M_{11}		0.070 7	0.032 0	10
M_{12}		0.047 3	0.021 4	14
M_{13}		0.053 6	0.024 2	11
M_{14}		0.044 1	0.020 0	15
M_{15}		0.044 1	0.020 0	15
M_{16}		0.044 1	0.020 0	15
M_{17}		0.044 1	0.020 0	15
M_{18}			0.333 3	5
M_{19}			0.666 7	1
M_{20}			0.411 6	4
M_{21}			0.239 5	7
M_{22}			0.167 3	9
M_{23}			0.107 8	13
M_{24}			0.073 8	17

指标在各时期工程实施过程中的隶属度为某一评价指标在某一时期的数值占该指标总和的比例。丹汉江流域不同时期水土保持工程各项评价指标的隶属度值见表 4。

获得了各评价指标的权重和隶属度值之后,按照层次分析法,将各适宜性评价指标的权重值进行加权组合,按下式计算各时期水土保持工程适宜性的综合评价值(EI)。

$$EI=\sum_{i=1}^n(W_i\times F_i)。$$

式中: EI 为评价指标的综合评价分值, W_i 为第 i 个指标的权重, F_i 为第 i 个指标的隶属度值^[10]。

利用得到的各时期水土保持工程适宜性综合评价分值对“长治”1~7 期工程和“丹治”1 期工程的适宜性进行分析,结果见表 5。从表 5 可以看出,从“长治”工程 1 期到 7 期,综合评价分值 EI 一直呈波动变化,其中“长治”工程 3 期 EI 值最大,“长治”工程 6 期 EI 值最小。2007 年启动实施的“丹治”1 期工程由于其治理范围广、投资量大、效益显著, EI 值

急剧提高,是“长治”工程 3 期的 3.6 倍,显示该工程具有较强的适宜性。

表 4 丹汉江流域不同时期水土保持工程各评价指标的隶属度值

Table 4 Membership degrees of evaluation indexes for soil and water conservation projects at every period in Dan-Han River watershed								
评价指标 Evaluation index	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	D1
M_1	0.041 8	0.025 3	0.113 5	0.003 8	0.090 0	0.017 0	0.111 9	0.596 6
M_2	0.031 2	0.022 2	0.103 9	0.003 6	0.083 8	0.020 6	0.118 5	0.616 2
M_3	0.139 9	0.218 0	0.146 1	0.176 3	0.097 3	0.134 7	0.048 1	0.039 5
M_4	0.108 3	0.239 3	0.140 2	0.120 1	0.111 3	0.188 5	0.018 0	0.074 4
M_5	0.097 7	0.144 2	0.086 8	0.035 1	0.195 6	0.111 3	0.097 1	0.232 2
M_6	0.066 1	0.078 2	0.136 3	0.112 6	0.192 7	0.127 2	0.112 8	0.174 0
M_7	0.237 9	0.078 8	0.360 0	0.000 3	0.196 9	0.001 4	0.082 1	0.042 6
M_8	0.069 4	0.050 3	0.150 8	0.007 7	0.075 8	0.014 1	0.059 1	0.572 9
M_9	0.091 3	0.074 6	0.231 8	0.012 3	0.138 3	0.028 5	0.056 6	0.366 6
M_{10}	0.087 9	0.080 8	0.202 0	0.009 4	0.089 1	0.017 2	0.010 3	0.503 3
M_{11}	0.090 1	0.078 2	0.211 5	0.009 1	0.146 8	0.027 6	0.030 1	0.406 6
M_{12}	0.014 3	0.018 6	0.171 9	0.025 3	0.170 6	0.002 7	0.186 4	0.410 2
M_{13}	0.043 1	0.024 7	0.091 4	0.005 1	0.048 7	0.009 2	0.093 4	0.684 4
M_{14}	0.168 3	0.057 6	0.253 6	0.015 6	0.067 8	0.007 1	0.046 1	0.383 7
M_{15}	0.000 8	0.000 2	0.006 8	0.002 6	0.267 5	0.003 7	0.171 8	0.546 7
M_{16}	0.005 1	0.019 8	0.054 0	0.004 0	0.043 7	0.076 6	0.130 6	0.666 0
M_{17}	0.108 9	0.062 4	0.142 3	0.011 3	0.110 7	0.036 6	0.112 7	0.415 1
M_{18}	0.015 6	0.015 6	0.108 0	0.010 1	0.115 9	0.018 8	0.072 1	0.643 8
M_{19}	0.006 0	0.006 0	0.022 9	0.005 3	0.047 3	0.008 8	0.058 2	0.845 5
M_{20}	0.046 8	0.033 5	0.111 3	0.133 4	0.087 4	0.011 4	0.054 4	0.521 6
M_{21}	0.118 1	0.073 1	0.207 9	0.252 5	0.103 6	0.014 7	0.052 9	0.177 2
M_{22}	0.177 9	0.141 7	0.115 7	0.139 0	0.126 5	0.111 2	0.077 2	0.110 7
M_{23}	0.067 4	0.039 8	0.175 3	0.178 4	0.105 0	0.011 1	0.078 6	0.344 4
M_{24}	0.011 8	0.034 4	0.108 0	0.121 2	0.139 5	0.098 4	0.343 8	0.142 9

表 5 丹汉江流域不同时期水土保持工程适宜性综合评价分值(EI)的计算结果

Table 5 Integrated evaluation values of soil and water conservation projects at every period in Dan-Han River watershed					
工程编号 Code of project	EI	排名 Rank	工程编号 Code of project	EI	排名 Rank
D1	0.490 7	1	C1	0.064 6	5
C3	0.135 1	2	C2	0.053 7	6
C5	0.104 2	3	C4	0.049 1	7
C7	0.071 7	4	C6	0.031 1	8

4 基于主成分分析法的水土保持工程适宜性评价

主成分分析法的主要步骤是:(1)根据研究问题选取指标与数据;(2)指标数据标准化,采用 SPSS 软件(社会科学统计软件包)自动执行^[13];(3)判定指标之间的相关性;(4)确定主成分个数;(5)主成分表达式;(6)主成分命名;(7)计算主成分与综合主成

分(评价)值^[14]。本研究首先在表 1 和表 2 中选取 8 个样本,即从“长治”1 期到“丹治”1 期的每个样本中选取 24 个变量指标,构成 1 个 8×24 阶的数据矩阵。然后对数据进行标准化,即消除量纲的影响,统一成无量纲的数据。最后利用极差标准化方法,在 SPSS 软件中进行标准化,得到标准化后的矩阵转置,如表 6 所示。利用表 6 的结果,求得标准化后的相关关系矩阵见表 7。

表 6 基于主成分分析法的丹汉江流域水土保持工程适宜性评价指标的矩阵转置

Table 6 Matrix transposition of Principle Components Analysis method based evaluation indexes for soil and water conservation projects in Dan-Han River watershed

评价指标 Evaluation index	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	D1
M_1	-0.425 9	-0.510 4	-0.058 9	-0.620 2	-0.179 1	-0.552 7	-0.066 8	2.414 1
M_2	-0.461 9	-0.506 3	-0.103 9	-0.598 1	-0.203 0	-0.514 5	-0.032 1	2.419 7
M_3	0.242 2	1.533 9	0.328 3	0.845 0	-0.446 7	0.156 1	-1.264 8	-1.394 0
M_4	-0.251 8	1.691 5	0.229 6	-0.073 6	-0.198 4	0.942 7	-1.589 0	-0.751 1
M_5	-0.425 8	0.295 1	-0.606 0	-1.416 9	1.106 1	-0.209 5	-0.443 8	1.700 8
M_6	-1.365 9	-1.082 2	0.261 7	-0.285 3	1.565 1	0.052 3	-0.278 6	1.132 9
M_7	0.881 9	-0.360 7	1.835 4	-0.974 3	0.561 8	-0.965 6	-0.335 2	-0.643 4
M_8	-0.298 8	-0.401 1	0.138 4	-0.629 7	-0.264 4	-0.595 8	-0.353 6	2.405 0
M_9	-0.281 4	-0.421 3	0.892 1	-0.941 3	0.111 0	-0.805 8	-0.571 5	2.018 3
M_{10}	-0.224 0	-0.266 9	0.465 4	-0.698 5	-0.217 1	-0.651 1	-0.693 1	2.285 3
M_{11}	-0.263 7	-0.353 7	0.653 9	-0.876 0	0.164 6	-0.736 0	-0.716 9	2.127 8
M_{12}	-0.788 8	-0.758 2	0.334 1	-0.710 4	0.325 1	-0.871 6	0.437 6	2.032 2
M_{13}	-0.358 4	-0.439 1	-0.147 1	-0.524 6	-0.333 9	-0.506 8	-0.138 4	2.448 3
M_{14}	0.323 9	-0.503 5	0.961 5	-0.817 7	-0.427 3	-0.881 4	-0.589 7	1.934 3
M_{15}	-0.626 8	-0.629 6	-0.596 4	-0.617 6	0.718 8	-0.612 1	0.236 0	2.127 6
M_{16}	-0.538 5	-0.472 8	-0.318 9	-0.543 4	-0.365 0	-0.217 5	0.025 3	2.430 7
M_{17}	-0.128 7	-0.499 7	0.138 5	-0.908 2	-0.114 4	-0.706 2	-0.098 4	2.317 0
M_{18}	-0.511 2	-0.510 9	-0.079 3	-0.536 6	-0.042 4	-0.496 1	-0.247 3	2.423 7
M_{19}	-0.407 8	-0.407 8	-0.349 9	-0.410 1	-0.266 3	-0.398 1	-0.228 8	2.468 8
M_{20}	-0.472 8	-0.553 6	-0.082 2	0.051 0	-0.227 0	-0.687 4	-0.426 8	2.398 8
M_{21}	-0.085 3	-0.636 9	1.018 5	1.565 5	-0.263 3	-1.354 5	-0.885 3	0.641 3
M_{22}	1.801 4	0.568 8	-0.317 9	0.477 9	0.049 7	-0.469 3	-1.626 2	-0.484 4
M_{23}	-0.539 5	-0.798 5	0.471 5	0.501 0	-0.187 8	-1.068 4	-0.435 5	2.057 1
M_{24}	-1.128 3	-0.903 4	-0.169 6	-0.038 4	0.144 9	-0.265 0	2.181 2	0.178 7

表 7 丹汉江流域水土保持工程适宜性评价指标的相关关系矩阵

评价指标 Evaluation index	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}	M_{11}	M_{12}
M_1	1.00	1.00	-0.67	-0.42	0.71	0.53	-0.11	0.99	0.89	0.94	0.91	0.92
M_2	1.00	1.00	-0.68	-0.42	0.71	0.53	-0.14	0.98	0.87	0.93	0.90	0.92
M_3	-0.67	-0.68	1.00	0.83	-0.48	-0.58	0.05	-0.58	-0.50	-0.46	-0.48	-0.79
M_4	-0.42	-0.42	0.83	1.00	-0.06	-0.30	-0.05	-0.33	-0.25	-0.20	-0.21	-0.58
M_5	0.71	0.71	-0.48	-0.06	1.00	0.61	-0.05	0.70	0.68	0.69	0.73	0.67
M_6	0.53	0.53	-0.58	-0.30	0.61	1.00	0.02	0.49	0.56	0.47	0.57	0.69
M_7	-0.11	-0.14	0.05	-0.05	-0.05	0.02	1.00	-0.04	0.31	0.10	0.23	0.06
M_8	0.99	0.98	-0.58	-0.33	0.70	0.49	-0.04	1.00	0.93	0.98	0.95	0.89
M_9	0.89	0.87	-0.50	-0.25	0.68	0.56	0.31	0.93	1.00	0.97	0.99	0.87
M_{10}	0.94	0.93	-0.46	-0.20	0.69	0.47	0.10	0.98	0.97	1.00	0.98	0.84
M_{11}	0.91	0.90	-0.48	-0.21	0.73	0.57	0.23	0.95	0.99	0.98	1.00	0.86
M_{12}	0.92	0.92	-0.79	-0.58	0.67	0.69	0.06	0.89	0.87	0.84	0.86	1.00
M_{13}	1.00	1.00	-0.63	-0.38	0.69	0.48	-0.16	0.99	0.86	0.94	0.89	0.88
M_{14}	0.83	0.82	-0.42	-0.27	0.51	0.32	0.37	0.89	0.95	0.94	0.94	0.76
M_{15}	0.91	0.91	-0.79	-0.53	0.82	0.71	-0.18	0.85	0.75	0.77	0.78	0.92
M_{16}	0.98	0.99	-0.67	-0.39	0.69	0.50	-0.28	0.96	0.80	0.89	0.83	0.87
M_{17}	0.98	0.98	-0.67	-0.42	0.73	0.49	0.05	0.98	0.93	0.96	0.94	0.92
M_{18}	1.00	0.99	-0.64	-0.37	0.74	0.59	-0.13	0.99	0.89	0.95	0.92	0.91
M_{19}	0.99	0.99	-0.61	-0.35	0.71	0.49	-0.25	0.97	0.82	0.92	0.86	0.85
M_{20}	0.96	0.96	-0.54	-0.37	0.60	0.52	-0.18	0.96	0.84	0.92	0.87	0.85
M_{21}	0.25	0.24	0.11	-0.18	-0.22	0.16	0.22	0.31	0.37	0.37	0.36	0.26
M_{22}	-0.31	-0.32	0.61	0.41	-0.15	-0.48	0.24	-0.20	-0.16	-0.10	-0.12	-0.51
M_{23}	0.85	0.84	-0.45	-0.42	0.39	0.53	-0.01	0.86	0.81	0.85	0.82	0.81
M_{24}	0.20	0.21	-0.69	-0.74	-0.01	0.33	-0.21	0.07	-0.01	-0.07	-0.06	0.45

续表 7 Continued table 7

评价指标 Evaluation index	M ₁₃	M ₁₄	M ₁₅	M ₁₆	M ₁₇	M ₁₈	M ₁₉	M ₂₀	M ₂₁	M ₂₂	M ₂₃	M ₂₄
M ₁	1.00	0.83	0.91	0.98	0.98	1.00	0.99	0.96	0.25	−0.31	0.85	0.20
M ₂	1.00	0.82	0.91	0.99	0.98	0.99	0.99	0.96	0.24	−0.32	0.84	0.21
M ₃	−0.63	−0.42	−0.79	−0.67	−0.67	−0.64	−0.61	−0.54	0.11	0.61	−0.45	−0.69
M ₄	−0.38	−0.27	−0.53	−0.39	−0.42	−0.37	−0.35	−0.37	−0.18	0.41	−0.42	−0.74
M ₅	0.69	0.51	0.82	0.69	0.73	0.74	0.71	0.60	−0.22	−0.15	0.39	−0.01
M ₆	0.48	0.32	0.71	0.50	0.49	0.59	0.49	0.52	0.16	−0.48	0.53	0.33
M ₇	−0.16	0.37	−0.18	−0.28	0.05	−0.13	−0.25	−0.18	0.22	0.24	−0.01	−0.21
M ₈	0.99	0.89	0.85	0.96	0.98	0.99	0.97	0.96	0.31	−0.20	0.86	0.07
M ₉	0.86	0.95	0.75	0.80	0.93	0.89	0.82	0.84	0.37	−0.16	0.81	−0.01
M ₁₀	0.94	0.94	0.77	0.89	0.96	0.95	0.92	0.92	0.37	−0.10	0.85	−0.07
M ₁₁	0.89	0.94	0.78	0.83	0.94	0.92	0.86	0.87	0.36	−0.12	0.82	−0.06
M ₁₂	0.88	0.76	0.92	0.87	0.92	0.91	0.85	0.85	0.26	−0.51	0.81	0.45
M ₁₃	1.00	0.83	0.88	0.99	0.97	0.99	0.99	0.96	0.26	−0.26	0.84	0.15
M ₁₄	0.83	1.00	0.61	0.75	0.90	0.82	0.78	0.80	0.44	0.00	0.79	−0.12
M ₁₅	0.88	0.61	1.00	0.89	0.88	0.91	0.89	0.85	0.10	−0.38	0.72	0.37
M ₁₆	0.99	0.75	0.89	1.00	0.94	0.98	0.99	0.94	0.16	−0.36	0.79	0.23
M ₁₇	0.97	0.90	0.88	0.94	1.00	0.97	0.95	0.91	0.23	−0.23	0.81	0.14
M ₁₈	0.99	0.82	0.91	0.98	0.97	1.00	0.99	0.97	0.27	−0.28	0.86	0.16
M ₁₉	0.99	0.78	0.89	0.99	0.95	0.99	1.00	0.97	0.24	−0.24	0.83	0.13
M ₂₀	0.96	0.80	0.85	0.94	0.91	0.97	0.97	1.00	0.47	−0.18	0.94	0.10
M ₂₁	0.26	0.44	0.10	0.16	0.23	0.27	0.24	0.47	1.00	0.24	0.72	−0.15
M ₂₂	−0.26	0.00	−0.38	−0.36	−0.23	−0.28	−0.24	−0.18	0.24	1.00	−0.16	−0.86
M ₂₃	0.84	0.79	0.72	0.79	0.81	0.86	0.83	0.94	0.72	−0.16	1.00	0.13
M ₂₄	0.15	−0.12	0.37	0.23	0.14	0.16	0.13	0.10	−0.15	−0.86	0.13	1.00

然后,计算主成分贡献率及累计贡献率,分析结果见表 8。

表 8 丹汉江流域水土保持工程适宜性评价中主成分的分 析

Table 8 Variance analysis of principle components of soil and water conservation projects in Dan-Han River watershed

成分 Element	初始特征值 Initial eigenvalue			提取平方和 Extraction of square		
	方差合计 Total variance	方差贡献率/% Contribution of variance	累计贡献率/% Cumulative contribution of variance	方差合计 Total variance	方差贡献率/% Contribution of variance	累计贡献率/% Cumulative contribution of variance
1	16.219	67.579	67.579	16.219	67.579	67.579
2	3.187	13.281	80.860	3.187	13.281	80.860
3	1.706	7.108	87.968	1.706	7.108	87.968
4	1.342	5.591	93.559	1.342	5.591	93.559
5	0.839	3.497	97.056			
6	0.566	2.356	99.412			
7	0.141	0.588	100			
8	0	0	100			
9	0	0	100			
10	0	0	100			
11	0	0	100			
12	0	0	100			
13	0	0	100			
14	0	0	100			
15	0	0	100			
16	0	0	100			
17	0	0	100			
18	0	0	100			
19	0	0	100			
20	0	0	100			
21	0	0	100			
22	0	0	100			
23	0	0	100			
24	0	0	100			

选取表 8 中初始特征值大于 1 的 4 个成分(成分 1、成分 2、成分 3、成分 4)为主成分。根据主成分分析原理,用雅可比法(Jacobi)^[15]求出特征值及对应于特征值的特征向量,并将其按大小顺序排列。4 个主成分的特征向量见表 9。

表 9 丹汉江流域水土保持工程适宜性评价中各主成分的特征向量

Table 9 Eigenvectors of each principle component of soil and water conservation projects in Dan-Han River watershed									
评价指标 Evaluation index	主成分 1 Element 1	主成分 2 Element 2	主成分 3 Element 3	主成分 4 Element 4	评价指标 Evaluation index	主成分 1 Element 1	主成分 2 Element 2	主成分 3 Element 3	主成分 4 Element 4
M_1	0.992	0.000	-0.080	-0.059	M_{13}	0.979	0.039	-0.116	-0.126
M_2	0.989	-0.021	-0.095	-0.077	M_{14}	0.849	0.390	0.219	0.137
M_3	-0.691	0.618	-0.134	-0.164	M_{15}	0.918	-0.249	-0.133	0.057
M_4	-0.444	0.581	-0.522	0.085	M_{16}	0.957	-0.077	-0.199	-0.151
M_5	0.720	0.007	-0.476	0.415	M_{17}	0.981	0.071	-0.020	0.078
M_6	0.611	-0.280	0.051	0.276	M_{18}	0.992	0.029	-0.104	-0.062
M_7	-0.032	0.372	0.618	0.683	M_{19}	0.965	0.032	-0.186	-0.172
M_8	0.982	0.144	-0.063	-0.041	M_{20}	0.953	0.119	-0.010	-0.267
M_9	0.917	0.264	0.127	0.240	M_{21}	0.298	0.448	0.645	-0.445
M_{10}	0.946	0.302	-0.025	0.041	M_{22}	-0.315	0.795	-0.040	-0.057
M_{11}	0.933	0.288	0.038	0.197	M_{23}	0.871	0.167	0.298	-0.307
M_{12}	0.950	-0.209	0.152	0.118	M_{24}	0.212	-0.916	0.271	-0.057

由主成分分析法原理,加权计算出各主成分以及综合成分的得分矩阵,结果见表 10。

表 10 丹汉江流域水土保持工程适宜性评价中各主成分和综合成分的得分矩阵

Table 10 Matrix of each principle component and comprehensive component of soil and water conservation projects in Dan-Han River watershed						
工程编号 Code of project	主成分 1 Element 1	主成分 2 Element 2	主成分 3 Element 3	主成分 4 Element 4	综合成分 Comprehensive element	排名 Rank
D1	9.63	0.39	-0.72	-0.51	6.93	1
C3	0.44	1.41	2.21	0.85	0.73	2
C5	0.16	-0.77	-0.02	1.35	0.08	3
C7	-0.46	-3.82	0.74	-0.04	-0.82	4
C1	-1.97	1.84	0.46	0.27	-1.11	5
C4	-2.49	0.30	1.03	-2.05	-1.80	6
C2	-2.62	1.53	-1.85	0.05	-1.82	7
C6	-2.68	-0.88	-1.85	0.07	-2.19	8

比较表 5 和表 10 可见,用层次分析法和主成分分析法对陕西省丹汉江流域重点水土保持工程的适宜性评价结果中,除了“长治”2 期和“长治”4 期的排名略有差异外,其余工程的结果基本一致,说明本研究的评价结果较为合理。

积。从“长治”工程 1 期到 7 期,适宜性综合评价分值一直呈波动变化,到“丹治”1 期工程时急剧提高,显示“丹治”1 期工程具有较强的适宜性,且利用层次分析法和主成分分析法得到的评价结果基本一致。

5 结 论

本研究采用层次分析法和主成分分析法,对陕西省丹汉江流域重点水土保持工程的适宜性进行了评价,结果表明,目前已经完成的陕西省丹汉江流域水土保持工程中,适宜性评价指标权重排名前 3 位的分别是中央投资、水土流失治理面积和坡改梯田

[参考文献]

[1] Bekele W, Drake L. Soil and water conservation decision behavior of subsistence farmers in the Eastern Highlands of Ethiopia; A case study of the Hunde-Lafto area [J]. Ecological Economics, 2003, 46(3): 437-451.

[2] Bewket W. Soil and water conservation intervention with conventional technologies in northwestern highlands of Ethiopia;

Acceptance and adoption by farmers [J]. Land Use Policy, 2007, 24(2): 404-416.

[3] 代富强, 刘刚才. 紫色土丘陵区典型水土保持措施的适宜性评价 [J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(4): 23-30.

Dai F Q, Liu G C. Suitability evaluation of typical soil and water conservation measures in hilly areas of purple soil [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2011, 9(4): 23-30. (in Chinese)

[4] 刘刚才, 张建辉, 杜树汉, 等. 关于水土保持措施适宜性的评价方法 [J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 108-111.

Liu G C, Zhang J H, Du S H, et al. On the suitability assessment of soil and water conservation measures [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2009, 7(1): 108-111. (in Chinese)

[5] 刘纪根, 张平仓, 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, 89.

Liu J G, Zhang P C, Yu H H. Health diagnosis in representative regions in Changjiang Basin based on soil and water loss improvement rate [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2008, 25(3): 82-85, 89. (in Chinese)

[6] 张志兰. 水土保持工程投资状况分析与对策 [J]. 中国水土保持, 2002, 24(6): 13-14.

Zhang Z L. Analysis and prevention countermeasures of investment of soil and water conservation engineering [J]. Chinese Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 24(6): 13-14. (in Chinese)

[7] 陈江南, 曾茂林, 康玲玲, 等. 孤山川流域已有水土保持措施蓄水减沙效益计算成果分析 [J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 135-138.

Chen J N, Zeng M L, Kang L L, et al. Analysis of water and sediment reduction effects by completed soil and water conservation treatments in Gushanchuan Watershed [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(4): 135-138. (in Chinese)

[8] Tenge A J, Graaff J D, Hella J P. Financial efficiency of major soil and water conservation measures in West Usambara highlands, Tanzania [J]. Applied Geography, 2005, 25(4): 348-366.

[9] 仇亚琴, 王水生, 贾仰文, 等. 汾河流域水土保持措施水文水资源效应初析 [J]. 自然资源学报, 2006, 21(1): 26-32.

Qiu Y Q, Wang S S, Jia Y W, et al. Analysis of hydrology and water resources effects by soil and water conservation treatments in Fenhe River Basin [J]. Journal of Natural Resource, 2006, 21(1): 26-32. (in Chinese)

[10] 陈梓玄, 李占斌, 李 鹏, 等. 陕北黄土高原县域水土保持治理的适宜性评价 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(12): 159-167.

Chen Z X, Li Z B, Li P, et al. Suitability evaluation of soil and water conservation of counties in Loess Plateau [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2009, 37(12): 159-167. (in Chinese)

[11] Dawson E M, Roth W H, Drescher A. Slope stability analysis by strength reduction [J]. Geotechnique, 1999, 49(6): 835-840.

[12] 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.

[13] 张 力. SPSS 在生物统计中的应用 [M]. 福建厦门: 厦门大学出版社, 2008.

Zhang L. Application of SPSS in biometric [M]. Xiamen, Fujian: Xiamen University Press, 2008. (in Chinese)

[14] 白慧强. 主成分分析法在 SPSS 中的应用: 以文峪河河岸带林下草本群落为例 [J]. 科技情报开发与经济, 2009, 19(9): 173-176.

Bai H Q. The application of the principle components analysis in SPSS: Taking the herbage community under forest in the riparian zone of Wenyuhe River as the example [J]. Sci-tech Information Development & Economy, 2009, 19(9): 173-176. (in Chinese)

[15] 刘锐宽, 陶敬东. 雅可比(Jacobi)方程的一种解法 [J]. 阜新矿业学院学报: 自然科学版, 1994, 13(4): 115-118.

Liu R K, Tao J D. A solution of Jacobi equation [J]. Journal of Fuxin Mining Institute: Nat Sci Ed, 1994, 13(4): 115-118. (in Chinese)