

三川河流域雨水资源化潜力分析与评价^{*}

段喜明^{1, 2, 3}, 吴普特^{1, 3}, 陈晓兵⁴, 冯浩^{1, 3}

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2 山西农业大学 林学院, 山西 太谷 030801;

3 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100;

4 山西省吕梁市水利局, 山西 离石 033000)

[摘 要] 根据三川河流域 2000 年的土地利用现状和多年平均降雨量, 结合黄土丘陵沟壑区第一副区的蓄水指标, 确定了该流域的雨水资源化指标, 计算了其雨水资源潜力, 并对研究流域的雨水资源开发利用程度进行了分析和评价。结果表明, 三川河流域雨水资源的理论潜力为 20 680 2 亿 m^3 ; 可实现潜力为 20 065 1 亿 m^3 , 占理论潜力的 97.03%, 其中就地利用、叠加利用和异地利用方式分别占可实现潜力的 10.98%, 83.83% 和 5.19%; 现实潜力为 112 819 66 万 m^3 , 占可实现潜力的 56.23%, 其中生活用水、生产用水和生态用水各占 0.69%, 16.61% 和 82.70%。从流域雨水资源可实现潜力来看, 三川河流域的雨水资源还有较大的开发利用潜力。

[关键词] 三川河流域; 雨水资源; 潜力评价; 理论潜力; 可实现潜力; 现实潜力

[中图分类号] P426.62

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)06-0145-06

我国降水总量达 62 000 亿 m^3 , 其中只有 45% 即 28 000 亿 m^3 形成了传统意义上的水资源部分; 而黄河流域的年降水总量为 3 691 亿 m^3 , 其中只有 20.1% 即 744 亿 m^3 被认为是水资源; 甘肃等严重缺水的黄土高原丘陵沟壑区, 这一比例仅为 5%。可见, 越是干旱的地区, 这个比例就越小。如果把目前理解的水资源以外的 55% (全国)、80% (黄河流域) 和 95% (甘肃等地) 排除在“可通过工程措施供人类利用”、“可更新”水资源的范畴之外, 就会在很大程度上忽视了对人类十分有用的水资源。特别是在黄土高原的干旱山区, 地面水和地下水十分匮乏, 人民能够得到的惟一有潜力的水资源就是降水, 雨水已成为该地不可替代的水资源利用形式。如果在指出“水是人类生存和发展的基本要素”的同时, 又把降水排除在水资源量之外, 则无法保障这些地区的水安全^[1-2]。因此, 应树立“将雨水资源作为水资源总量进行开发利用”的全新观点。

雨水资源化潜力的研究, 在研究尺度上可表现为 3 个层次: 坡面、小流域和大中流域。此前研究主要集中在坡面和小流域尺度上^[3-7], 缺乏从大流域尺度上就下垫面的类型与等级划分、雨水资源化指标体系的构建, 以及雨水资源化潜力的评价等进行系

统性分析。

本研究以三川河流域为研究对象, 对其雨水资源化潜力进行分析与评价, 以期对雨水资源的合理开发和利用、农业生产力的提高, 以及生态环境的改善与重建, 提供科学的理论依据和技术支持。

1 研究流域概况

三川河是黄河北干流左岸的一级支流, 发源于吕梁山脉西侧的赤坚岭, 向西南由柳林县石西乡的前堰村注入黄河。三川河流域位于北纬 36°55′~38°10′; 东经 110°33′~111°36′; 流域面积 4 161 km^2 , 属黄土丘陵沟壑区第一副区亚区 2, 在行政区划上涉及方山、离石、中阳和柳林 4 个区、县。

流域内地势条件差异明显, 最高峰为关帝山, 海拔 2 831 m; 最低点在黄河交汇处, 海拔仅 610 m, 相对高差达 2 221 m。流域水土流失严重, 每年都有大量的泥沙输入黄河干道。区内土地贫瘠、植被稀少、农作物产量低、经济建设水平远远落后于其他地区, 是山西省比较贫困的山区。1983 年被列为全国水土保持 8 个重点治理流域之一, 具有深厚的科研与实践基础^[8-9]。

* [收稿日期] 2005-12-30

[基金项目] 国家 863 计划项目(2002AA 2Z4051)

[作者简介] 段喜明(1967-), 男, 山西太谷人, 副教授, 在读博士, 主要从事农业水土工程研究。E-mail: duanxinming0208@sina.com

2 雨水资源潜力

当雨水作为满足人们生活、生产和生态环境需要的物质资料时,它就成为一种资源。所谓雨水资源化,就是指雨水转化为可利用资源的过程,包括雨水的自然资源化过程(源于自然下垫面,如荒地、难利用地等)和雨水的人为资源化过程(源于人工下垫面,如梯田、人工林草等水土保持措施)^[5]。

2.1 理论潜力

由于大气降水是陆地上各种形态水资源总的补给来源,它是一个流域水资源量的最大值^[10]。因此,流域雨水资源理论潜力应为该流域的降水总量,其计算方法为:

$$R_t = P \times A \times 10^3, \quad (1)$$

式中, R_t 为流域雨水资源的理论潜力, m^3 ; P 为流域降水量, mm ; A 为流域面积, km^2 。

根据三川河流域的土地类型和雨水资源分布状况,可将雨水资源利用方式分为 3 种: 就地利用。包括梯条田、坝地和水地; 叠加利用。包括林地、果园、草地、坡耕地、荒地和难利用地; 异地利用。包括水域和其他用地^[6-7]。

三川河流域平水年降雨量为 497 mm, 相应的雨水资源理论潜力 $R_t = 20\ 680\ 2\ \text{亿}\ \text{m}^3$ 。

表 1 黄土丘陵沟壑区第一副区亚区 2 的蓄水指标

Table 1 Indexes of water storage in sub-region 2 of the first pair of districts of loess hilly and gully regions m^3/hm^2

水土保持 Soil and water conservation	丰水年 Rainy year			平水年 Normal year			枯水年 Dry year		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
梯田 Terrace	280	230	180	190	160	130	140	115	90
造林 Plantations	350	330	260	250	230	160	110	76	55
种草 Sown pasture	260	220	160	210	180	120	100	65	45

注: 表中 1, 2, 3 为措施等级。

Notes: 1, 2 and 3 is the measure grade in the form.

水土保持蓄水效益的研究成果^[12]表明,大面积的 1 级梯田在枯水年的蓄水效益可达 99%。结合表

2.2 可实现潜力

实际上,由于自然条件和技术经济水平的限制,流域的雨水资源是不可能完全被开发利用的,人们只能利用部分的雨水资源。参考联合国粮农组织(FAO)提出的有效降水量概念^[11],可将黄土高原的雨水资源可实现潜力定义为:在一定自然和技术经济条件下,通过已有的利用方式和技术,雨水资源中可以开发利用的最大量。一般来讲,在黄土高原地区,流域用水主要包括生活、生产和生态环境建设等 3 个方面。所以,资源化就是指雨水可以转化为生活、生产和生态用水的过程。

依据雨水资源可实现潜力的定义,其计算表达式为:

$$R_a = \lambda_k \times P \times A \times 10^3, \quad (2)$$

式中, R_a 为雨水资源的可实现潜力, m^3 ; λ_k 为降雨调控系数,与技术、经济水平有关, $\lambda_k P$ 是可以调控的雨水资源量。

2.2.1 雨水资源化指标 由黄河流域水沙变化的研究分析^[12-13],三川河流域所处的黄土丘陵沟壑区第一副区亚区 2(年降水量 $\geq 450\ \text{mm}$)的坡面水土保持措施,在不同降水状况和措施等级下的蓄水指标(w)如表 1 所示。

1 的指标值,可得到大面积水土保持措施的蓄水效益(a)如表 2 所示。

表 2 三川河流域大面积水土保持措施蓄水效益指标

Table 2 Indexes of water storage benefits of soil and water conservation in large area in Sanchuanhe River basin %

水土保持 Soil and water conservation	等级 Grade	丰水年 Rainy year	平水年 Normal year	枯水年 Dry year
梯田 Terrace	1	56	57	99
	2	47	47	82
	3	37	39	64
造林 Plantations	1	71	74	79
	2	67	68	54
	3	53	47	39
种草 Sown pasture	1	53	62	71
	2	45	53	46
	3	32	36	32

以平水年的蓄水指标(w)和蓄水效益(a)为基础, 结合相关研究^[8-9]成果, 可得三川河流域平水年的雨水资源化指标, 如表 3 所示。表 3 中, r_1 为就地利用潜力指标, $r_1 = (4\,970 - w/a) + w$; u 为实际径流指标, $u = (w/a) - w$; K 为坡地径流在汇集过程中的折减系数(由三川河流域的地形、地貌特点^[8-9]结合相关研究成果^[12-13]确定, 是大面积、年降雨条件下, 综合平水年内各种雨型的平均值); r_2 为径流潜力指标, $r_2 = u \times K$ 。其中 $4\,970\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 为平水年降雨量为 497 mm 的换算值。

表 3 三川河流域平水年雨水资源化指标体系

Table 3 Index systems of rainwater resources utilization in Sanchuanhe River basin in normal years												
下垫面 Underlying surfaces	等级 Grade											
	1			2				3				
	$r_1/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	$u/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	K	$r_2/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	$r_1/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	$u/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	K	$r_2/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	$r_1/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	$u/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	K	$r_2/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$
梯田 Terrace	4 827	143	0.05	7.2	4 790	180	0.05	9.0	4 767	203	0.05	10.2
坝地 Dam land	4 970	0	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—
天然林 Natural forest	4 882	88	0.30	26.4	4 862	108	0.30	32.4	4 790	180	0.30	54.0
人工林 Plantation	4 882	88	0.30	26.4	4 862	108	0.30	32.4	4 790	180	0.30	54.0
果园 Orchard	4 882	88	0.30	26.4	—	—	—	—	—	—	—	—
天然草地 Natural meadow	4 841	129	0.65	83.9	4 810	160	0.65	104.0	4 757	213	0.65	138.5
人工草地 Sown pasture	4 841	129	0.30	38.7	4 810	160	0.30	48.0	4 757	213	0.30	63.9
坡耕地 Slope cropland	—	—	—	—	4 572	398	0.55	218.9	—	—	—	—
荒地 Wasteland	—	—	—	—	—	—	—	—	4 423	547	0.65	355.6
难利用地 Useless land	—	—	—	—	—	—	—	—	4 224	746	0.50	373.0
其他用地 Other land	—	—	—	—	3 479	1491	0.45	671.0	—	—	—	—
水域 Water land	—	—	—	—	4 970	0	1.00	0	—	—	—	—

注: 表中“—”表示相应的下垫面无此等级, 因此也无对应的雨水资源化指标。
Notes: In the form, “—” expresses that there is not this grade corresponding underlying surface type, so there is not the corresponding indexes of rainwater resource utilization.

表 4 三川河流域雨水资源可实现潜力计算结果

Table 4 Results of the feasible potential rainwater resources in Sanchuanhe River basin										
利用方式 Utilization type	下垫面 Underlying surface	T/hm^2	G	$p/\%$	n/hm^2	$r_1/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	$r_2/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	$R_1/\text{亿 m}^3$	$R_2/\text{亿 m}^3$	$R_a/\text{亿 m}^3$
就地利用 Onsite utilization	梯田 Terrace	36 642	1	16	5 863	4 827	7.2	0.283 0	0.000 4	0.283 4
			2	44	16 122	4 790	9.0	0.772 2	0.001 5	0.773 7
			3	40	14 657	4 767	10.2	0.698 7	0.000 5	0.699 2
	坝地 Dam land	8 983	1	100	8 983	4 970	0	0.446 5	0	0.446 5
叠加利用 Superimposed utilization	天然林 Natural forest	113 292	1	48.5	54 947	4 882	26.4	2.682 5	0.014 5	2.697 0
			2	48.5	54 947	4 862	32.4	2.671 5	0.017 8	2.689 3
			3	3	3 398	4 790	54.0	0.162 8	0.001 8	0.164 6
	人工林 Plantation	76 578	1	29	22 207.62	4 882	26.4	1.084 2	0.005 9	1.090 1
			2	29	22 207.62	4 862	32.4	1.079 7	0.007 2	1.086 9
			3	42	32 162.76	4 790	54.0	1.540 6	0.017 4	1.558 0
	果园 Orchard	1 439	1	100	1 439	4 882	26.4	0.070 3	0.000 4	0.070 7
	天然草地 Natural meadow	12 522	1	23	2 880	4 841	83.9	0.139 4	0.002 4	0.141 8
			2	38	4 758	4 810	104.0	0.228 9	0.004 9	0.233 8
			3	39	4 884	4 757	138.5	0.232 3	0.006 8	0.239 1
	人工草地 Sown pasture	3 392	1	18	610.56	4 841	38.7	0.029 6	0.000 2	0.029 8
			2	30	1 017.60	4 810	48.0	0.048 9	0.000 5	0.049 4
			3	52	1 763.84	4 757	63.9	0.083 9	0.001 1	0.085 0
	坡耕地 Slope cropland	47 648	2	100	47 648	4 572	218.9	2.178 5	0.104 3	2.282 8
	荒地 Wasteland	79 862	3	100	79 862	4 423	355.6	3.532 3	0.284 0	3.816 3
	难利用地 Useless land	12 767	3	100	12 767	4 224	373.0	0.539 3	0.047 6	0.586 9
异地利用 Strange utilization	其他用地 Other land	12 316	2	100	12 316	3 479	671.0	0.428 5	0.082 6	0.511 1
	水域 Water land	10 657	2	100	10 657	4 970	0	0.529 7	0	0.529 7
合计 Total		416 098			416 098	103 788	2 373.9	19.463 3	0.601 8	20.065 1

2.2.2 雨水资源可实现潜力计算 在流域雨水资源总量的研究中,除就地利用的资源量和叠加利用中的就地利用部分外,实际上可利用的雨水资源量为异地利用的资源量与叠加利用资源量中的异地利用部分,即降雨径流量部分^[14-15]。因此,三川河流域雨水资源可实现潜力可表示为:

$$R_a = R_1 + R_2$$

式中, R_1 为就地利用潜力, $R_1 = r_1 \times n$; R_2 为降雨径流潜力, $R_2 = r_2 \times n_0$

三川河流域 2000 年各下垫面类型的雨水资源可实现潜力计算,源于黄河上中游管理局规划设计研究院的实际调查数据^[16](表 4)。其中, T 为不同下垫面类型的总面积; G 为相应的等级; p 和 n 分别为对应下垫面的等级配比和面积组成。

因此,三川河流域雨水资源可实现潜力 $R_a = 20\,065\,1$ 亿 m^3 ,其中就地利用、叠加利用和异地利用方式分别占 10.98%,83.83%和 5.19%。

2.3 现实潜力

现实潜力是在当前利用方式和技术下,已经实现的水资源利用量。要维持流域内社会、经济和生态系统的正常发展,必须首先满足系统对流域水资源的最低、最基本要求。满足这一基本水资源的需要量,可以认为是目前所研究流域的雨水资源现实潜力。

现实潜力 R_r 与可实现潜力 R_a 的计算公式基本一致:

$$R_r = \lambda_{R0} \times P \times A \times 10^3, \quad (3)$$

式中, R_r 为雨水资源的现实潜力, m^3 ; λ_{R0} 为当前流域降雨调控能力的现实水平。

根据研究区域(流域)的需水现状和特点,可将流域对水资源的基本需求划分为 3 个方面:生活用水(主要为人畜饮水)、工农业生产用水(工业和粮食等作物需水)和生态用水(主要为林草植被用水)^[10,17]。其中,生活用水的标准参考国家公布的农村人口及牲畜需水标准^[10];工业用水以 2000 年的实际统计数据为准^[16];作物需水以黄土高原的水分生产效率的现实水平为标准;生态用水以黄土高原适生树、草正常生长所需水量为标准^[7]。

2.3.1 基本需水量标准 据吕梁市水利局资料^[16],2000 年三川河流域城镇人口总用水量为 121.74 万 m^3 ,城镇人口 10.71 万人,则城镇人口需水量标准为 0.030 m^3/d 。农村人口的需水量标准要低一些,可按 0.020 m^3/d 的标准计算。

依据国家现行标准^[6],借鉴部分研究成果^[7,10],并参考当地的现实生产水平和发展水平、政府统计数据及三川河流域 2000 年的社会调查资料^[16],确定三川河流域的生活用水、生产用水和生态用水的基本需水量标准如表 5 所示。

表 5 三川河流域雨水资源现实潜力计算

Table 5 Results of the actual potential rainwater resources in Sanchuanhe River basin

用水分类 Classifications of water	用水对象 Objects of water	用水类型 Types of water	用水标准 Standards of water	数量 Amount	总计/ m^3 Total
生活用水 Domestic water	人口 Population	城市 City	0.030 m^3/d	10.71 万人	117.27
		农村 Countryside	0.020 m^3/d	43.35 万人	316.46
	牲畜 Livestock	羊单位 Unit of sheep	0.010 m^3/d	95.39 万只	348.17
	小计 Subtotal				781.90
生产用水 Industrial and agricultural water	农业生产用水 Agricultural water	粮食 Grain	1.33 m^3/kg	13.231 万 kg	17.597.23
		果园 Orchard	3.500 m^3/hm^2	1.439 hm^2	503.65
	工业生产用水 Industrial water				633.28
	小计 Subtotal				18.734.16
生态用水 Ecological water		天然林 Natural forest	5.000 m^3/hm^2	113.292 hm^2	56.646.00
		人工林 Plantation	4.000 m^3/hm^2	76.578 hm^2	30.631.20
		天然草地 Natural meadow	4.000 m^3/hm^2	12.522 hm^2	5.008.80
		人工草地 Sown pasture	3.000 m^3/hm^2	3.392 hm^2	1.017.60
		小计 Subtotal			93.303.60
总计 Total					112.819.66

因工业用水涉及的行业众多,实际的“用水类型”和“用水标准”难以统计和确定,故只给出了“总用水量”的统计数据(表 5)。

2.3.2 用水对象的数量 (1)人口。截止 2000 年

底,流域内总人口 54.06 万,总户数 11.91 万,其中,农业人口 43.35 万,城镇人口 10.71 万。

(2)牲畜。2000 年三川河流域牲畜饲养量如表 6 所示。

表 6 三川河流域牲畜饲养量现状(2000 年)

Table 6 Current amount of various livestock raised in Sanchuanhe River River basin						万头
区县 County	大牲畜 Big livestock	猪 Pig	羊 Sheep	鸡 Chicken	兔 Rabbit	合计 Total
方山 Fangshan	2 59	3 93	12 19	9 29	0 75	28 75
离石 L ishi	1 79	3 22	7 87	28 54	15 66	57 08
中阳 Zhongyang	1 28	2 54	10 81	22 67	15 71	53 01
柳林 L iulin	0 90	3 40	7 40	8 60	8 60	28 90
合计 Total	6 56	13 09	38 27	69 10	40 72	167 74
折合“羊单位” Unit of sheep	32 80	19 64	38 27	3 46	1 22	95 39

(3)工业。2000 年三川河流域工业用水 633 28 万 m³。

(4)农业。农业用水主要包括基本农田和果园用水。2000 年有基本农田 45 625 hm², 粮食产量 13 231 万 kg; 果园 1 439 hm²。

(5)生态。生态用水主要包括林地和牧草地用水。2000 年有林地 189 870 hm², 其中天然林 113 292 hm², 人工林 76 578 hm²; 有草地 15 914 hm², 其中天然草地 12 522 hm², 人工草地 3 392 hm²。

2 3 3 现实潜力计算 2000 年, 三川河流域雨水资源现实潜力为 112 819 66 万 m³, 其中生活用水 781 90 万 m³, 占 0 69%; 生产用水 18 734 16 万 m³, 占 16 61% (其中农业生产用水 18 100 88 万 m³, 占现实潜力 16 04%); 生态用水 93 303 60 万 m³, 占 82 70% (表 5)。

3 雨水资源开发利用评价

雨水资源的开发必须坚持可持续利用和可持续发展的原则。一方面, 雨水资源的开发要满足研究流域的需求; 另一方面, 雨水资源的开发潜力并不是无穷大的, 制定的开发规模和相应的需水量一定要适度, 决不能超过雨水资源的承载力。结合三川河流域的雨水资源潜力和需水状况, 对其雨水资源的开发利用状况进行综合评价^[6-7]。

3 1 最大可开发程度

用 W_{max} 表示流域雨水资源最大可开发程度, 则有

$$W_{max} = R_a/R_t \times 100\%,$$

三川河流域雨水资源的理论潜力 $R_t = 20\ 680\ 2$ 亿 m³, 可实现潜力 $R_a = 20\ 065\ 1$ 亿 m³, 最大可开发程度: $W_{max} = R_a/R_t \times 100\% = 97.03\%$ 。

3 2 实际开发程度

用 W_r 表示流域雨水资源实际开发程度, 有

$$W_r = R_r/R_a \times 100\%。$$

三川河流域雨水资源现实潜力为 112 819 66 万 m³, 则其实际开发程度为:

$$W_r = R_r/R_a \times 100\% = 56.23\%。$$

4 结 论

(1) 三川河流域雨水资源理论潜力为 20 680 2 亿 m³; 可实现潜力为 20 065 1 亿 m³, 占理论潜力的 97.03%, 其中就地利用、叠加利用和异地利用方式分别占可实现潜力的 10.98%, 83.83% 和 5.19%; 现实潜力为 112 819 66 万 m³, 占可实现潜力的 56.23%, 其中生活用水、生产用水和生态用水分别占 0.69%, 16.61% 和 82.70%。从流域雨水资源可实现潜力来看, 三川河流域的雨水资源开发利用尚有较大的潜力可挖。

(2) 现实潜力中生活和生产用水所占比例偏小, 说明三川河流域人民群众的生活水平和经济发展水平还较低, 从雨水资源的利用角度讲, 还有较大的发展空间。

(3) 生态用水现实潜力占总用水量的 82.70%, 已达到较高水平。今后在制定生态建设规划时, 应以可实现潜力为限制因子之一, 从控制生态建设规模、降低生态用水标准两方面入手, 基本维持这一比例或略有减小。

(4) 由本研究结果可以看出, 雨水资源化指标是可实现潜力研究的基础, 而用水标准是现实潜力研究的基础。但对于三川河这样的大流域来说, 进一步提高其精度的难度较大, 这也是今后研究中亟待解决的问题。

[参考文献]

[1] 刘昌明, 牟海省. 我国水资源可持续发展中的雨水利用[C]. 中国雨水利用研究论文集. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998: 1-7.
[2] 徐乾清. 对雨水利用的几点认识[C]. 中国雨水利用研究论文集. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998: 8-11.

- [3] 姜娜, 邵明安, 雷廷武, 等. 黄土高原六道沟小流域坡面土壤入渗特性的空间变异研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 14-17.
- [4] 冯浩, 邵明安, 吴普特. 黄土高原小流域雨水资源化潜力计算与评价初探[J]. 自然资源学报, 2001, 16(2): 140-144.
- [5] 赵西宁, 吴普特, 冯浩, 等. 小流域雨水资源化潜力及其可持续利用分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 38-41.
- [6] 赵世伟, 黄占斌, 苏静, 等. 宁南山区小流域雨水资源潜力与供需分析[J]. 水土保持通报, 2004, 24(6): 94-98.
- [7] 赵世伟, 李壁成, 苏静, 等. 宁南半干旱山区雨水资源潜力研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(3): 10-12.
- [8] 吕梁地区水土保持委员会. 山西省吕梁地区水土保持专项规划报告(1986~2000年)[R]. 山西离石: 吕梁市水利局, 1985: 1-57.
- [9] 吕梁地区水利水保局. 山西省吕梁地区三川河流域水土保持专项规划报告(1986~2000年)[R]. 山西离石: 吕梁市水利局, 1986: 1-47.
- [10] 秦大庸, 罗翔宇, 陈晓军, 等. 西北干旱区水资源开发利用潜力分析[J]. 自然资源学报, 2004, 19(2): 144-150.
- [11] 刘昌明. 雨水利用与水资源研究[C]//水利部, 中国科学院, 甘肃省人民政府. 全国首届雨水利用学术会议暨东亚地区国际研讨会论文集. 兰州: 甘肃水利水电出版社, 1998: 1-7.
- [12] 陈江南, 王云璋, 徐建华, 等. 黄土高原水土保持对水资源和泥沙影响评价方法研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2004: 145-154.
- [13] 黄委会中游管理局. 河龙区间水土保持措施减水减沙效益分析[R]. 山西离石: 吕梁市水利局, 1998: 80-161.
- [14] 蔡进军, 张源润, 李生宝, 等. 宁夏南部山区坡地雨水资源化潜力及降水再分配研究[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 257-259, 280.
- [15] 王宏江, 陆桂华. 区域水资源组成、潜力及其可持续利用分析[J]. 水利学报, 2003(8): 122-126.
- [16] 黄河上中游管理局规划设计研究院. 黄河水土保持生态工程三川河流域规划[R]. 山西离石: 吕梁市水利局, 2004: 15-24.
- [17] 蒋定生, 范兴科, 徐学选, 等. 略论延安市降水资源的潜力与高效利用模式[J]. 水土保持研究, 2000, 7(2): 58-69.

Analysis and appraisal of the potential rainwater resource utilization in Sanchuanhe River Basin

DUAN Xim ing^{1, 2, 3}, WU Pu-te^{1, 3}, CHEN Xiao-bing⁴, FENG Hao^{1, 3}

(1 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 College of Forestry, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801;

3 National Engineering Research Center for Water Saving Irrigation at Yangling, Yangling, Shaanxi 712100, China;

4 Luliang Bureau of Water, Lishi, Shanxi 033000, China)

Abstract: According to the actual land use in 2000, the average rainfall of many years, combining the indexes of water storage in sub-region 2 of the first pair of districts of loess hilly and gully regions, the potential indexes of rainwater resource utilization are determined, the potential are calculated, and the development degree of rainwater resources in Sanchuanhe River basin is analyzed and appraised. The results showed that the theoretical potential of rainwater resources in Sanchuanhe River basin is $20\ 680\ 2 \times 10^8 \text{ m}^3$. The feasible potential is $20\ 065\ 1 \times 10^8 \text{ m}^3$, accounts for 97. 03% of the theoretical potential, in which the ratio of using in the same spot, superposition and different spot is 10. 98%, 83. 83% and 5. 19%. Actual potential is $11\ 281\ 966 \times 10^8 \text{ m}^3$, accounting for 56. 23% of the feasible potential, in which the use of living water, production water and ecological water account for 0. 69%, 16. 61% and 82. 70%. There is still greater development potentiality in combination with the feasible potential of rainwater resources in Sanchuanhe River basin.

Key words: Sanchuanhe River basin; rainwater resources; potential appraisal; theoretical potential; feasible potential; actual potential