

宁南半干旱山区雨水资源潜力研究

赵世伟¹, 李壁成¹, 苏 静², 杨永辉¹, 刘娜娜²

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 根据宁南半干旱山区固原上黄试区土地利用现状和相关雨水集蓄资料, 计算了试区雨水资源潜力, 并对雨水资源开发利用潜力进行了初步分析。结果表明: (1) 试区雨水资源最大理论潜力为 3 211 420 m³, 就地利用、异地利用和叠加利用三种利用方式的理论潜力比例分别为 28. 73%、15. 83% 和 55. 44%。(2) 试区雨水资源可实现潜力为 3 086 185 m³, 占试区雨水资源理论潜力的 96. 07%。(3) 目前试区雨水资源现实潜力为需水总量为 1 872 302 m³, 占可实现供水量的 60. 67%。从试区雨水资源的可实现潜力来看, 还有较大的开发利用潜力, 应适当地扩大雨水资源利用规模和经济效益。

关键词: 雨水资源潜力; 宁南; 半干旱山区

中图分类号: S 273. 4 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)03-0010-03

The Study on the Potential of Utilization of Rainwater Resources in Semiarid Hilly Area of Southern Ningxia

ZHAO Shi-wei¹, LI Bi-cheng¹, SU Jing², YANG Yong-hui¹, LIU Na-na²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources;

2. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: According to the actuality of land use and rainwater data, the potential resource of rainwater were estimated in Shanghuang demonstration, Guyuan, Ningnan semiarid hilly area. The results showed that: (1) the potential of theoretical resources of rainwater was 3 211 420 m³, the ratio of using in the same spot, different spot and rainwater collection reiterative utilization is 28. 73%, 15. 83% and 55. 44%. (2) Potential of realistic rainwater was 3 086 185 m³, which was 96. 07% of the potential of theoretical resources. (3) The potential of realistic utilization of rainwater was 1 872 302 m³, just was 60. 67% of the potential of theoretical resources, which suggested that the scales of rainwater using was insufficient, so it should be an efficient approach of rainwater resources utilization to enlarge the scales of rainwater using and increase its economic benefit.

Key words: rainwater resources potential; Southern Ningxia; semiarid hilly area

雨水是小流域尺度上水资源的最根本来源, 雨水资源潜力及其评价是保证经济、社会可持续发展和雨水资源能够持续开发利用的基础。目前, 在黄土高原小流域综合治理和生态环境建设中, 还没有一个合适的方法确定小流域中雨水资源的可开发量。没有这一基本参数, 就不能正确地规划小流域综合治理和林草植被建设发展规模。因此, 探索出一套适合黄土高原小流域社会经济发展需求的雨水资源化潜力计算及其评价方法显得十分必要。

我们以国家“十五”重大攻关计划“半干旱退化山区生态农业建设技术示范”课题所在的上黄试区为研究单元, 以雨水资源为研究对象, 计算了试区雨水资源化潜力和分析不同雨水利用形式及供需状况, 对于实现半干旱退化山区雨水资源的持续和高效利用, 保证生态环境健康具有重要意义。

1 研究区基本概况

研究区位于宁南固原市原州区河川乡上黄村 106°26′~106°30′E, 36°59′~36°09′N, 海拔高度 1 534~1 824 m, 总面积 7. 61 km²。属温凉半干旱黄土宽谷梁状丘陵区, 年平均温度 6. 9℃, 年平均降水量为 422 mm。涉及 3 个自然村(上黄、乔沟、火岔), 农业人口 512 人, 人口密度 67. 3 人/km²。农林牧三业用地比例为 1: 0. 68: 1. 22。其气候、土壤、土地和水资源利用、小流域生态治理及经济发展等诸多方面在宁南山区及其黄土高原西部丘陵区均具有一定的代表性。

2 研究区雨水资源潜力分类

所谓雨水资源化, 就是指在雨水转化为满足人们生活

¹ 收稿日期: 2004-12-22
基金项目: 国家“十五”重大科技攻关计划课题(2001BA606A—4); 中科院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-421)资助
作者简介: 赵世伟(1962-), 男, 研究员, 主要从事土壤与水资源管理研究。

生产及其生态环境需要的可利用资源的过程。其途径: 一是雨水的自然资源化过程, 主要含义是通过入渗进入土壤, 增加土壤水库储水量, 直接供给植物生长; 另一种是雨水的人为资源化过程, 经过人为干预, 使雨水变为雨水资源, 促进农业生产或解决人畜饮水。

小流域雨水资源化潜力可分: 理论潜力、可实现潜力和现实潜力三个层次。

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, 它是一个流域或封闭地区当地水资源量的最大值。因此, 小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:

$$R_t = P \times A \times 10^3 \tag{1}$$

式中: R_t ——雨水资源的理论潜力(m^3); P ——降水量(mm); A ——面积(km^2)。

可实现潜力: 雨水资源是不可能完全被开发利用的。由于自然条件和技术经济水平的限制, 人们只能利用部分的雨水资源。雨水资源化可实现潜力可定义为: 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, 需求要求主要指生活、生产和生态环境建设等 3 方面。依据雨水资源可实现潜力的定义, 可用如下表达式:

$$R_a = \lambda_R \times P \times A \times 10^3 \tag{2}$$

式中: R_a ——雨水资源可实现潜力(m^3); P ——降水量(mm); A ——面积(km^2); λ_R ——降雨调控系数, 与技术、经济水平有关, $\lambda_R P$ 是指可以调控的雨水资源量。

现实潜力: 现实潜力 R_r 是指当前利用方式和技术条件下已经实现的水资源利用量。 R_r 与可实现潜力 R_a 的计算公式基本一致, 但是现实潜力计算公式中的 λ_R 代表当前降雨调控能力的现实水平。

3 雨水资源利用方式

雨水利用是通过地表微形改变, 入渗能力的改变等方式, 改变雨水在地表上的分配变化, 以及地表径流汇集方式, 延长地表径流汇集时间, 或改变地表径流运动路径等达到径流局部汇集, 实现雨水利用的目的。因此, 雨水利用的方式主要有三种: 微地形改变雨水就地利用(如梯田、鱼鳞坑、水平沟、水平阶等就是这种方式的具体应用); 微地形改变雨水叠加利用(隔坡梯田、大垄沟覆膜种植技术属于这一范畴); 改变地表入渗能力异地利用(通过修建或利用已有的集流场地, 将集流场的雨水蓄集在修建的蓄水实施中供异地利用的一种方式)。

4 雨水资源潜力计算

4.1 雨水资源理论潜力计算

上黄试区面积为 7. 61 km^2 , 多年平均降雨量为 422 mm, 根据上述雨水资源理论潜力计算公式(1): 计算出上黄试区雨水资源最大理论值为 3 211 420 m^3 , 即可开发的雨水资源量的上限。

根据试区的土地利用类型分布, 可将雨水资源利用方式分为 3 种: 一是就地利用(包括川、台地、塬地、梯田和果园), 二是异地利用(包括居民点、道路、非利用地和河流水库), 三

是叠加利用(包括林、草地和坡耕地)。3 种利用方式所占比例分别为 28. 73%、15. 83% 和 55. 44%。其相应的雨水资源理论潜力值分别为 922 768 m^3 、508 256. 5 m^3 和 1 780 395 m^3 。

4.2 雨水资源可实现潜力计算

在小流域范围内的雨水资源总量中, 除就地利用的资源量和叠加利用中的就地利用部分开发外, 实际上, 可利用的雨水资源量就是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。因此, 示范区小流域雨水资源可实现潜力可表示为:

$$R_a = R_1 + R_2 \tag{3}$$

式中: R_a ——可实现潜力, R_1 ——就地利用潜力, R_2 ——降雨径流潜力。

根据示范区小流域的实际情况和目前相关研究资料, 示范区降雨径流量的计算采用坡地径流资源潜力计算方法:

$$W = \sum_{i=1}^n m_i \cdot P_p \cdot S_i \cdot \frac{K_i}{1000} \tag{4}$$

式中: S_i ——第 i 种集流面的面积 m^2 ; K_i ——第 i 种集流面的径流系数; m_i ——坡地径流在汇集过程中的折减系数; P_p ——降水频率为 P 的年降水量 mm。

所需的径流系数和径流在汇集过程中的折减系数按实际监测结果并结合相关资料确定。计算结果见表 1。

从计算结果可以看出, 试区的降雨径流潜力在 50%、90% 和 10% 的降雨保证率下分别为 136 996 m^3 、90 898 m^3 和 168 810 m^3 。实际上, 这就是试区在不同降雨保证率下可调配和开发利用的雨水资源总量。

根据上述径流潜力计算结果, 加上就地利用资源量, 按公式 3, 可计算出试区小多年平均降雨条件下的可实现雨水资源潜力(表 2)。试区雨水资源可实现潜力量为 3 086 185 m^3 , 占试区雨水资源理论潜力的 96. 07%。

表 1 试区降雨径流潜力计算结果

土地利用类型	面积/ km^2	径流系数	折减系数	降雨径流潜力/ m^3		
				50% 保证率年 降雨 422 mm	90% 保证率年 降雨 280 mm	10% 保证率年 降雨 520 mm
坡耕地	0. 12	0. 08	0. 55	228	1478	2746
天然草地	2. 35	0. 07	0. 65	45122	29939	55601
林地	1. 354	0. 05	0. 30	8571	5687	10561
人工草地	0. 396	0. 06	0. 30	3008	1996	3707
乡村居民点	0. 109	0. 31	0. 45	6417	4258	7907
乡间土路	0. 252	0. 31	0. 60	19780	13124	24373
非利用地	0. 793	0. 31	0. 50	51870	34416	63916
合计	5. 374			136996	90898	168810

4.3 雨水资源现实潜力计算

要维持流域内社会、经济、生态系统的正常发展, 必须首先满足系统对小流域水资源的最低基本需求。满足这一基本水资源的需要量可以认为是目前试区的雨水资源现实潜力。根据试区目前的需水现状和特点, 可将小流域对水资源的基本需求划分为 3 个方面: 即生活用水(主要为人畜饮水)、生产用水(粮食等作物需水) 和生态需水(主要为林草植被需水)。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; 作物需水以黄土高原的水分生产效率的现实水平为标准; 生态需水以黄土高原适生树、草正常生长所需水量为标准(表 3)。并以 2000 年试区的社经调查资料为基本依据, 计

算试区雨水资源现实潜力(表 4)。

表 2 示范区可实现降雨资源潜力计算结果

土地类型	面积/ km ²	理论潜力	径流潜力	实际径流	就地利用潜力	可实现潜力
		/ m ³	/m ³	/ m ³	/ m ³	/ m ³
川台地	0. 3213	1 35 589	0	0	135 588. 6	1 35 589
河台地	0. 0878	37 052	0	0	370 51. 6	37 052
塬地	0. 347	1 46 434	0	0	1 464 34	1 46 434
梯田	1. 264	5 33 408	0	0	5 33 408	5 33 408
河滩地	0. 0751	3 1692	0	0	3 1692. 2	3 1692
果园	0. 092	38 824	0	0	38 824	38 824
坡地	0. 12	5 0640	2 228	4051	46 589	48 817
林地	1. 354	571 388	8 571	28 570	54 28 18	551 389
人工草地	0. 396	1 67 112	3 008	10 027	15 70 85	1 60 093
天然草地	2. 35	991 700	45 122	69 418	92 22 82	967 404
居民点	0. 1087	4 5871	6 417	14 260	31 611	38 028
乡间道路	0. 252	1 06 344	19 780	32 967	73 377	93 157
未利用地	0. 793	3 346 46	51 870	1 03 740	2 309 06	2 82 776
河川水库	0. 051	2 1522	0		21 522	21 522
合计	7. 61	32 122 22	136 996		2949 189	308 61 85

计算结果表明,目前试区的雨水资源现实潜力为 1 872 302 m³,其中生态用水量最大,占到 72. 77%,农业用水量次之,为 26. 62%,生活用水量比重最小,仅为 0. 61%。目前雨水资源现实用量仅占可实现潜力的 60. 67%,从试区雨水资源的可实现潜力来看,还有较大的开发利用潜力。

表 3 试区基本需水量标准

需水分类	需水对象	需水标准
生活用水	人口	0. 025 m ³ /d
	牲畜	0. 009m ³ / d
生产用水	粮食	1. 33m ³ / kg
	经济林	3500 m ³ / hm ²
	乔木林	7000 m ³ / hm ²
	灌木林	3500m ³ / hm ²
生态用水	人工草地	4000m ³ / hm ²
	天然草地	3000m ³ / hm ²

5 结果讨论

(1)试区雨水资源最大理论潜力为 3 211 420 m³,就地利 用、异地利用和叠加利用 3 种利用方式所占比例分别为 28. 73%、15. 83%和 55. 44%,其相应的雨水资源理论潜力参考文献:

[1] 黄占斌,刘学军,赵世伟,等. 半干旱地区集雨利用模式及其评价[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 301– 304.
[2] 冯浩,邵明安,吴普特. 黄土高原小流域雨水资源化潜力计算方法及评价初探[J]. 自然资源学报, 2001, 16(2): 140– 144.
[3] 吴普特,黄占斌,高建恩,等. 人工汇集雨水利用技术研究[M]. 郑州:黄河出版社, 2002.
[4] SL 267– 2001,雨水集蓄利用工程技术规范[S].
[5] 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.
[6] 张祖新. 雨水集蓄工程技术[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1999.
[7] 陈国良,徐学选,赵世伟,等. 宁南山区发展窑窖节水农业的依据与潜力[J]. 水土保持研究, 1996, 3(1): 2– 7.
[8] John Goid, Erik Nissen – Petersen. Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply – Design, Construction and Implementation[M]. London: International Technology Publication, 1999.

值分别为 922 768 m³、508 256. 5 m³和 1 780 395 m³。

表 4 示范区小流域年需水量计算结果

用水对象	生活用水		农业用水		生态用水		现实潜力
	m ³	%	m ³	%	m ³	%	
人口需水	4672	0. 25					
牲畜需水	6477	0. 36					
粮食生产			4661 85	24. 90			
果园			32200	1. 72			
乔木林					50400	2. 69	1872302
灌木林					448700	23. 97	
人工草					158400	8. 46	
天然草					705000	37. 65	

(2)试区雨水资源可实现潜力量为 3 086 185 m³, 占全流域雨水资源理论潜力的 96. 07%。

(3)目前试区雨水资源现实潜力量为 1 872 302 m³,其中生态用水量最大,占到 72. 77%,农业用水量次之,为 26. 62%,生活用水量比重最小,仅为 0. 61%。目前雨水资源现实用量仅占可实现潜力的 60. 67%,从试区雨水资源的可实现潜力来看,还有较大的开发利用潜力。

(4)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一定区域内的需求,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有一个合适的程度,决不能超过雨水资源的承载力。

根据上述结果表明示范区对雨水资源的利用还没能充分发挥出雨水资源的潜力,应适当地扩大雨水利用规模。从试区的实际情况出发,扩大雨水利用规模可从两个方面入手:一是加强生态环境建设,增加林草植被覆盖率,应当适度扩大旱地经济林果的种植面积、进一步提高雨水资源就地利用率和经济效益;二是加强乡村居民点新型集水材料的应用,提高降雨径流效率,增加径流资源量,扩大庭园经济规模,提高径流资源利用率和经济效益。

(5)从目前和今后相当时期来看,宁南半干旱山区水土保持治理和退耕还林政策将继续下去,随着治理和退耕面积的不断扩大,生态用水的数量进一步增加,生态用水区域的降雨径流量将越来越少,因此,以道路、村庄院落高效集雨材料应用的集雨微小型工程建设将成为宁南半干旱山区降雨径流资源开发的主要途径,不仅是本试区、宁南山区,也是黄土丘陵区水土保持治理与雨水资源高效利用的发展方向。