

宁南山区小流域雨水资源潜力与供需分析

赵世伟^{1,3}, 黄占斌^{1,3}, 苏静², 杨永辉¹, 刘学军⁴, 刘平⁴

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100;
3. 中国矿业大学(北京校区), 北京 100083; 4. 宁夏水利科学研究所, 宁夏 银川 750021)

摘 要: 根据宁南山区典型小流域土地利用现状和相关雨水集蓄资料, 计算了彭阳王洼小流域雨水资源潜力, 结合小流域节水农业发展规划, 对雨水资源开发利用潜力及其供需关系进行了初步评价。结果表明: (1) 示范区雨水资源最大理论潜力为 7 682 598 m³, 就地利用、异地利用和叠加利用 3 种利用方式的比例分别为 50.96%, 7.16% 和 41.88%。(2) 示范区雨水资源可实现潜力为 7 164 885 m³, 占全流域雨水资源理论潜力的 93.26%。(3) 目前示范区小流域的需水总量为 3 739 352 m³, 仅占可实现供水量的 52.19%, 从示范区小流域雨水资源的可实现潜力来看, 还有较大的开发利用潜力。(4) 示范区小流域雨水资源利用评价结果表明小流域所制定的雨水利用规模对雨水资源的利用还很不充分, 应适当地扩大雨水就地利用规模。

关键词: 雨水资源潜力; 供需分析; 宁南山区; 小流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2004)06-0094-05

中图分类号: P333.1

Potential of Rainwater Resource Utilization and Relation Between Need and Supply in Ningnan Hill Area

ZHAO Shi-wei¹, HUANG Zhan-bin^{1,3}, SU Jing², YANG Yong-hui¹, LIU Xue-jun⁴, LIU Ping⁴

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi Province, China; 2. Northwest Sci-Tech University of

Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China;

3. China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China;

4. Ningxia Institute of Water Conservancy Science, Yinchuan 750021, Ningxia Hui Autonomous Region, China)

Abstract: After estimating the potential resource of rainwater in Wangwa watershed in Pengyang County, the relationship between its potential and supply was appraised based on the development programmer of water saving agriculture and actuality of land use and rainwater data in the watershed. The results showed that: (1) the potential of theoretical resources of rainwater was 7 682 598 m³, the ratio of using in the same spot, different spot and rainwater collection reiterative utilization is 50.96%, 7.16% and 41.88% respectively. (2) Potential of realistic rainwater was 7 164 885 m³, which was 93.26% of the potential of theoretical resources. (3) the demand of water in demonstration area was 3 739 352 m³, just was 52.19% of the potential of theoretical resources, the remain of Potential of realistic rainwater could be used. (4) the result on assessment of rainwater using in the watershed suggested that the scales of rainwater using was insufficient, so it should be a efficient approach of rainwater resources to enlarge the scales of rainwater using in the same spot.

Keywords: rainwater resources potential watershed; demand and supply; Ningnan Hilly area; small watershed

20 世纪 90 年代以来,黄土高原地区雨水资源开发利用技术的研究和应用发展迅速。甘肃省开展的“121 雨水集流”工程、“雨水集流节灌”工程、陕西省的“甘露”工程、宁夏南部的“窑窖农业”成为雨水利用的代表和典型,在解决干旱半干旱山区农村人畜饮水

和节水补灌以及增产增收方面取得了很大的效益。国家“九五”科技攻关项目中设立了“人工汇集雨水利用技术研究”专题和“农业高效用水科技产业示范工程”等项目的实施,在雨水集流系统中的高效率集流材料及施工技术、雨水汇集的规划设计体系、窖型结

收稿日期: 2004-10-14

资助项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划) 资助(2002AA2Z4301)

作者简介: 赵世伟(1962—),男(汉族),四川人,研究员,主要从事土壤与水分管理研究工作。电话(029) 87011863, E-mail: swzhao@ms.iswc.ac.cn。

构及设计、集雨补灌系统及配套机具等方面取得了显著进展。在此基础上,“十五”期间,国家将“现代节水农业技术体系新产品研究与开发”列入高技术研究发展计划(863),并设立了节水农业技术集成与示范专项,以期在小流域尺度上,将雨水资源利用中的各单项技术加以集成、健全和完善雨水利用工程运行管理机制,使集雨补灌技术与旱地农业配套技术紧密结合,充分发挥雨水集蓄工程的经济效益,并建立小流域雨水资源高效利用示范样板。

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 863 节水农业技术集成与示范专项的“北方半干旱集雨补灌旱作区(宁夏彭阳)节水农业技术集成”与示范课题所在的彭阳王洼小流域为研究单元,以雨水资源为研究对象,在分析不同雨水利用形式的基础上,探讨小流域雨水资源化潜力的计算方法与利用前景,这对于研究小流域尺度雨水资源开发利用的潜力,实现雨水资源的持续和高效利用,保证流域生态环境健康具有重要意义。

研究区位于宁南山区彭阳县中北部半干旱区的王洼乡,包括姚岔和姬阳洼 2 个小流域,东经 106°24'51" — 106°33'15", 北纬 36°04'30" — 36°09'36"。总面积 18.5 km²。属中温带半干旱黄土宽谷梁状丘陵区,年平均温度 6.8℃,年平均降水量为 413.94 mm。涉及 4 个行政村(姚岔、赵沟、王洼和北洼)的 6 个自然村(姚岔村的南街、赵沟村的阳洼、王洼村的王洼、范新庄、斩蛟头和北洼村的北洼),2002 年共有农户 385 户,农业人口 1906 人,劳力 874 人,人口密度 103 人/km²。农林牧 3 业用地比例为 1:0.36:0.30。其气候、土壤、土地利用、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。

1 研究区雨水资源潜力分类

当雨水作为满足人们生活、生产及其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,就是指在雨水转化为可利用资源的过程。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,如各种增加雨水入渗的水土保持措施、雨水集流系统。

小流域雨水资源化潜力可分为 3 个层次:理论潜力、可实现潜力、现实潜力。

1.1 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:

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

式中: R_t ——小流域雨水资源的理论潜力(m³);
 P ——流域降水量(mm); A ——流域面积(km²)。

1.2 可实现潜力

一般来讲,黄土高原小流域的需水要求主要指生活、生产和生态环境建设等 3 方面。所以,资源化就是指雨水可以转化为生活、生产和生态环境能够使用的物质资源的过程。小流域的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。一般将黄土高原的雨水资源化可实现潜力定义为: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。

据雨水资源可实现潜力的定义,用如下表达式:

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

式中: R_a ——雨水资源可实现潜力(m³); P ——降水量(mm); A ——面积(km²); R ——降雨调控系数,与技术、经济水平有关, $R \times P$ 是指可以调控的雨水资源量。

1.3 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 R 代表当前流域降雨调控能力的现实水平。

2 雨水资源利用的方式

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 3 种:微地形改变雨水就地利用;微地形改变雨水叠加利用;改变地表入渗能力异地利用。

2.1 微地形改变雨水就地利用

通过地表微地形的改变,如夷平、垄起等来增加地表土壤入渗能力,或者聚集雨水就地利用的以上方式。水土保持措施中的梯田、鱼鳞坑、水平沟、水平阶等就是这种方式的具体应用。

2.2 微地形改变雨水叠加利用

这种方式是在微地形改变雨水就地利用的基础上,将邻近地表雨水汇集其上加以利用的一种叠加利用方式。如隔坡梯田、大垄沟覆膜种植技术属于这一范畴。

2.3 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。

3 雨水资源潜力计算

3.1 雨水资源理论潜力计算

王洼示范区小流域面积为 18.557 km²,多年平均降雨量为 413.9 mm,根据上述小流域雨水资源理论潜力计算公式:

$$R_i = P \times A \times 10^3 \quad (3)$$

计算出王洼示范区小流域雨水资源最大理论值为 7 682 598 m³,即可开发的雨水资源量的上限。根据示范区的土地类型分布(图 1),雨水资源理论潜力的分布(图 2),可将雨水资源利用方式分为 3 种:(1)就地利用(包括台地、梯田和壕掌地);(2)异地利用

(包括乡镇、村庄、土路、公路和水库);(3)叠加利用(包括林草地、荒坡草地、退耕地和坡耕地)。这 3 种利用方式所占比例分别为 50.96%,7.16%和 41.88%。其相应的雨水资源理论潜力值分别为 3 914 784,549 750.6 和 3 218 063 m³。

3.2 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,除了就地利用的资源量和叠加利用中的就地利用部分以外,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以表示为如下式:

$$R_a = R_1 + R_2 \quad (4)$$

式中: R_a ——可实现潜; 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流域坡地径流资源潜力计算方法:

$$W = \sum_{i=1}^n m_i \cdot P_p \cdot S_i \cdot \frac{K_i}{1000} \quad (5)$$

式中: S_i ——第 i 种集流面的面积(m²); 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。

表 1 示范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		
				多年平均 降雨量 413.9 mm	2000 年降雨量 328.6 mm	2002 年降雨量 685.6 mm
坡耕地	1.012 5	0.08	0.55	18 439	14 639	30 526
荒坡草地	0.944 5	0.07	0.65	17 787	14 122	29 446
林草地	3.587 6	0.05	0.30	22 274	17 683	36 873
退耕地	2.228 5	0.06	0.30	16 603	13 181	27 485
乡村居民点	0.933 3	0.31	0.45	53 888	42 782	89 210
乡间土路	0.110 0	0.31	0.60	8 468	6 723	14 019
沥青公路	0.104 0	0.75	0.32	10 331	8 202	17 103
合计	8.920 4	—	—	147 790	117 332	244 663

从计算结果可以看出,示范区小流域的降雨径流潜力在 75%,95%和 10%的降雨保证率下分别为 147 790,117 332 m³和 244 663 m³。实际上,这就是示范区全流域在不同降雨保证率下可调配和开发利用的径流资源总量。

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,可计算出示范区小流域多年平均降雨条件下的可实现雨水资源潜力(表 2)。示范区小流域雨水资源可实现潜力为 7 164 885 m³,占全流域雨水资源理论潜力的 93.26%。

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/ m ³	径流潜力/ m ³	实际径流/ m ³	就地利用 潜力/m ³	可实现潜力/ m ³
台地	2.851 0	1 180 314	0	0	1 180 314	1 180 314
梯田	5.823 2	2 410 805	0	0	2 410 805	2 410 805
壕掌地	0.781 8	323 665	0	0	323 665	323 665
坡耕地	1.012 5	419 175	18 439	33 525	385 650	404 089
荒坡草地	0.944 5	391 023	17 787	27 365	363 658	381 445
林草地	3.587 6	1 485 226	22 274	74 247	1 410 979	1 433 253
退耕地	2.228 5	922 599	16 603	55 343	867 256	883 859
乡村居民点	0.933 3	386 386	53 888	119 751	0	53 888
乡间土路	0.110 0	45 540	8 468	14 113	0	8 468
沥青公路	0.104 0	43 056	10 331	32 284	0	10 331
水库	0.180 6	74 768	0	0	74 768	74 768
合计	18.557 0	7 682 598	147 790	356 628	7 017 095	7 164 885

表3 小流域基本需水量标准

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	0.009 m ³ /d
生产用水	粮食	1.33 m ³ /kg
生态用水	灌木林	3 500 m ³ /hm ²
	人工草地	4 000 m ³ /hm ²
	天然草地	3 000 m ³ /hm ²

4 示范区水资源供需分析

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。根据示范区小流域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即牲畜需水标准;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2002年示范区的社经调查资料为基本依据,计算示范区年需水量(表4)。

结果表明,目前示范区小流域的需水总量为3 739 352 m³,其生态需水量最大,占到65.17%,农业需水量次之,为33.92%,生活需水量比重最小,不足1%。目前年水资源需求量仅占可实现供水量的52.19%,从示范区小流域雨水资源的可实现潜力来看,还有较大的开发利用潜力(表4)。

表4 示范区小流域年需水量计算结果

需水对象	生活用水		农业用水		生态用水		需水总量/ m ³
	m ³	%	m ³	%	m ³	%	
1 900 人	17 338	0.46	—	—	—	—	—
5 090 羊单位	16 754	0.45	—	—	—	—	—
953 580 kg 粮食	—	—	1 268 261	33.92	—	—	3 739 352
360 hm ² 灌木林	—	—	—	—	1 260 000	33.70	—
223 hm ² 人工草	—	—	—	—	892 000	23.85	—
95 hm ² 天然草	—	—	—	—	285 000	7.62	—

虽然从总量上水资源供给大于需求,潜力较大,但是,示范区发展集雨节灌模式规划所需的可调配水资源量(表5)已达到118 020 m³和147 300 m³,超过

和接近示范区小流域95%和75%降雨保证率下的径流资源潜力(表2),因此降雨径流资源开发压力较大,应当适当压缩降雨节灌规模。

表5 示范区集雨节灌模式发展规划所需水资源量

项 目	库水节灌	坡面节灌	道路节灌	土圆井节灌	庭院节灌	合 计
节灌标准 1/(m ³ ·hm ⁻²)	600	600	600	600	600	—
节灌标准 2/(m ³ ·hm ⁻²)	750	750	750	750	750	—
规划面积/hm ²	68	28	73	10	29	195
需水量 1/m ³	41 000	17 800	35 500	6 000	17 720	118 020
需水量 2/m ³	51 250	22 000	44 400	7 500	22 150	147 300

5 示范区小流域雨水资源利用评价

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。结合示范区小流域的雨水资源潜力和需水状况,对小流域雨水资源的开发利用状况进行初步评价。用 W_{\max} 表示小流域雨水资源最大可以开发的程度:

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

式中: R_a ——可实现潜力; R_t ——理论潜力。

示范区小流域雨水资源理论潜力为 7 682 598 m^3 ,可实现潜力为 7 164 885 m^3 ,小流域雨水资源最大可以开发的程度为 93.26%。

用 W_r 表示小流域雨水资源实际开发程度:

$$W_r = R_r / R_t \times 100\%$$

式中: R_r ——现实潜力; R_t ——理论潜力。

以示范区小流域目前需水量 3 739 352 m^3 ,加上节灌模式规划开发需水量 118 020 m^3 ,作为近期现实潜力,则小流域雨水资源实际开发程度约 50.2%。

用 W_d 表示小流域的实际需水程度,则 W_r 可以表达如下:

$$W_d = R_d / R_t \times 100\%$$

式中: R_d ——实际需水量; R_t ——理论潜力。

示范区小流域目前的需水量 3 739 352 m^3 ,则小流域的实际需水程度为 48.67%。

目前黄土高原小流域雨水资源利用评价可分为下列 4 种情况。

(1) $W_{\max} > W_d > W_r$,表明小流域制定的雨水资源开发利用规模较符合实际,尽管对雨水资源的开发利用不能满足区域需水的要求,但可通过增加雨水利用工程措施和其它措施大力开发雨水资源。

(2) $W_d > W_{\max} > W_r$,表明小流域制定的雨水资源利用开发规模已超出了雨水资源最大所能提供的潜力,必须对制定的规划进行修改。

(3) $W_{\max} > W_r > W_d$,表明小流域所制定的雨水利用规模对雨水资源的利用还很不充分,没能发挥出雨水资源的潜力,应当对规划进行调整,适当地扩大雨水利用规模。

(4) $W_{\max} = W_d = W_r$,表明小流域所制定的雨

水开发规模已经达到雨水资源的最大潜力,而且实际的开发能力也符合所要求的开发规模,如能达到这样的结果,就真正实现了雨水资源的高效开发利用,现实中,这样的情况很少能出现。

根据上述分析可见,示范区小流域雨水资源利用评价结果为: $W_{\max}(93.26\%) > W_r(50.2\%) > W_d(48.67\%)$,表明小流域所制定的雨水利用规模对雨水资源的利用还很不充分,没能发挥出雨水资源的潜力,应当对规划进行调整,适当地扩大雨水利用规模。从示范区的实际情况出发,扩大雨水利用规模可从 2 个方面入手:(1) 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;(2) 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,扩大庭院经济规模,提高径流资源利用率和经济效益。

从目前和今后相当长一段时期来看,流域水土保持治理和退耕还林政策将继续下去,在示范区范围内,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示范区降雨径流资源开发的主要途径,不仅是本示范区、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。

[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] 中华人民共和国行业标准(SL 267—2001)雨水集蓄利用工程技术规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2001.
- [5] 张祖新. 雨水集蓄工程技术[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1999.
- [6] 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): 7.
- [7] John Goid, Erik Nissen - Petersen, Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply - Design, Construction and Implementation[M], London, UK: International Technology Publication. 1999.