
综
合
治
理

甘肃黄土高原区主要城市雨洪资源利用潜力

孙栋元^{1,2}, 金彦兆¹, 胡想全¹, 王军德¹, 程玉菲¹, 卢书超¹

(1. 甘肃省水利科学研究院, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘 要: 根据甘肃省黄土高原区城市雨洪资源的分布特征, 选取主要城市兰州、定西、平凉、庆阳和天水为研究区, 研究了各主要城市降水量特征变化规律, 并对各主要城市雨洪资源利用潜力进行了分析计算。结果表明, 兰州、定西、平凉、庆阳和天水雨洪资源的平均理论潜力分别为 5.71×10^7 , 8.61×10^6 , 2.38×10^7 , 7.62×10^6 和 3.21×10^7 m^3 , 平均可实现潜力分别为 2.91×10^7 , 4.65×10^6 , 1.43×10^7 , 4.87×10^6 和 1.95×10^7 m^3 。计算结果说明, 甘肃黄土高原区各主要城市雨洪资源利用潜力相对较大, 具有很好的开发利用前景, 并且可为黄土高原区城市雨洪资源高效利用和有效管理提供参考依据。

关键词: 甘肃; 黄土高原; 城市雨洪利用; 潜力分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)05-0215-04

中图分类号: TV213.9

Potential of Rainwater Resources Utilization for Main Cities in Loess Plateau of Gansu Province

SUN Dong-yuan^{1,2}, JIN Yan-zhao¹, HU Xiang-quan¹, WANG Jun-de¹, CHENG Yu-fei¹, LU Shu-chao¹

(1. Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Based on distribution characteristics of urban rainwater resources utilization in the Loess Plateau of Gansu Province, Lanzhou, Dingxi, Pingliang, Qingyang and Tianshui Cities were selected to analyze variable patterns of precipitation characteristics and calculate the potential of urban rainwater resources utilization for the main cities. Results showed that the average theoretical potentials of rainwater resources for Lanzhou, Dingxi, Pingliang, Qingyang and Tianshui Cities were 5.71×10^7 , 8.61×10^6 , 2.38×10^7 , 7.62×10^6 and 3.21×10^7 m^3 , respectively. The average realizable potentials of rainwater resource for Lanzhou, Dingxi, Pingliang, Qingyang and Tianshui Cities were 2.91×10^7 , 4.65×10^6 , 1.43×10^7 , 4.87×10^6 and 1.95×10^7 m^3 , respectively. The results indicates that there is a good prospect in utilization potential and exploitation of urban rainwater resources for the main cities, which provides reference for the effective management and high-effective utilization of rainwater resources in the loess plateau.

Keywords: Gansu Province; Loess Plateau; urban rainwater utilization; potential analysis

雨洪泛指一个区域内的天然降水及其在本地形成的洪水和流经本区域的过境洪水。雨洪资源利用是指将雨洪作为一种资源, 运用工程和非工程的措施将常规情况下会被污染, 泛滥成灾, 排泄入海的雨洪水在保证区域防洪安全, 经济可行, 生态友好的前提下, 部分地转化成留蓄于内陆地表或地下开采利用的水资源的过程^[1-3], 是把从自然或人工集雨面流出的雨水进行收集、集中和储存, 是从水文循环中获取水为人类所用的一种方法^[4]。雨洪资源作为城市供水

非传统水源开发利用的一种特殊方式, 越来越受到人们的重视。通过建立实用的雨洪控制与利用技术体系和推广应用体系, 以充分利用雨水, 缓解区域水资源紧缺, 改善生态环境, 削减洪峰流量, 有效地减轻排洪设施压力, 确保城市防洪安全。因此, 雨洪资源利用具有节水、防洪、生态环境 3 个方面的效益, 对城市水资源的可持续开发利用及建立人水和谐社会具有重大意义。

西方发达国家对雨洪利用技术的研究较为成熟,

收稿日期: 2012-07-20

修回日期: 2012-12-03

资助项目: 甘肃省技术研究与开发专项计划项目“黄土高原城市生态景观雨洪利用技术研究”(1105TCYA008), “疏勒河中游绿洲生态需水保障技术研究”(1205TCYA005); 青年科学基金项目“准噶尔荒漠梭梭植物构型及其对水分的响应与适应研究”(30900180); 水利部公益性项目“石羊河流域治理生态目标过程控制关键技术”(201001060)

作者简介: 孙栋元(1978—), 男(汉族), 甘肃省民乐县人, 博士, 高级工程师, 主要从事水文水资源方面的研究。E-mail: gsausundy@126.com。

基本形成了相应的理论体系和完善的技术措施,并开发生产出了系列化的设备,最大限度地实现了对城市雨洪的利用、控制和管理。早在 20 世纪 60 年代,日本就开始收集和利用路面雨水,70 年代修筑了集流面收集雨水,并开始研究雨水回灌地下水技术^[5],目前要求新建和改建的大型公共建筑群必须设置雨水收集下渗设施,配置各种入渗设施的设置密度,强化雨水入渗。德国长期致力于雨水利用技术的研究与开发,从规划、设计到应用,不但形成了完善的技术体系,而且制定了配套的法规和管理规定。目前,德国的雨水利用技术已经进入“第三代”,雨水利用在完善的技术标准指导下广泛应用于各个领域,为城市水的可持续利用提供保障^[6]。美国许多城市建立了屋顶蓄水和由入渗池、井、草地、透水地面组成的地表回灌系统,所有新开发区必须强制实行“就地滞洪蓄水”。丹麦,城市从屋顶收集雨水,收集后的雨水经过收集管过滤设备,进入贮水池,用于冲洗厕所和洗衣服。瑞典、荷兰、德国、澳大利亚、伊朗等国,都在实施雨水进行地下水人工补给等,都是城市雨水利用的成功典范^[7-9]。我国城市雨水利用研究始于 20 世纪 90 年代,较有标志意义的是 1996 年在兰州召开的第一届全国雨水利用学术讨论会^[10],城市雨水利用较早的典型范例有山东省的长岛县、大连市的獐子岛和浙江省舟山市葫芦岛等雨水集流利用工程^[11]。目前国内雨洪资源利用的前沿集中于大城市,北京、上海、深圳、大连等许多城市相继开展研究,已经开始了雨洪资源利用的实践。北京市和德国 Essen 大学、DORSCH CONSULT 公司等合作的示范小区雨洪利用项目已于 2000 年启动,经过十几年的研究和实践,城市雨水利用已进入示范与实践阶段。2003 年天津建成节水型水利科技大厦,大厦的雨水可作为市政第二水源^[9]。2006 年《深圳雨洪资源利用规划研究》通过专家评审,规划至 2020 年时深圳新增雨洪资源利用量将达 $4.90 \times 10^8 \text{ m}^3$,城区雨洪可利用量为 $8.50 \times 10^7 \text{ m}^3$ ^[9]。国内外研究表明,雨洪利用已成为城市开发新水源的有效途径,对有效缓解或解决城市缺水问题具有重要现实意义。

甘肃黄土高原位于我国黄土高原的西部,是甘肃省水土流失最为严重、生态环境问题较为突出、社会经济发展落后的贫困地区之一,水资源短缺已经成为制约该区生态环境改善、社会经济可持续发展的重要瓶颈之一。雨洪资源作为该区关键的水资源之一,倍受人们关注。然而,随着经济社会快速发展,黄土高原区城市化程度逐年提高,城镇规模急剧扩大,城市化进程加剧了城市防洪压力,水环境遭到一定程度的

破坏,同时加剧了城市用水矛盾。但城市雨洪资源利用研究相对薄弱,缺少对黄土高原区城市雨洪资源可利用量的综合评价,一定程度上制约了黄土高原区城市雨洪的有效利用。本文结合甘肃黄土高原区城市雨洪资源的实际情况,选取主要城市兰州、定西、天水、平凉、庆阳,在全面分析主要城市雨洪资源开发利用现状的基础上,分析研究黄土高原区城市雨洪资源的可利用量,分析研究黄土高原区主要城市雨洪资源利用潜力,从而为黄土高原区城市雨洪资源利用提供科学决策依据,为黄土高原区城市雨洪资源的综合利用、合理配置和生态环境良性循环提供技术支撑。

1 数据获取

选取甘肃省黄土高原区主要城市兰州、定西(安定区)、平凉(崆峒区)、庆阳(西峰市)、天水站点的年降水量资料,其中兰州和天水选择 1951—2009 年 59 a 的降水量资料,平凉(崆峒区)和庆阳(西峰市)选择 1951—2010 年 60 a 的降水量资料,定西(安定区)选择 1980—2009 年 30 a 的降水资料。所有资料来自于甘肃省气象局,并对资料进行了完整性、一致性检验和订正处理。

2 黄土高原区主要城市降水量特征分析

根据研究区的年降水量系列,进行各主要城市年降水统计参数分析,分别计算各主要城市 25%、50%、75% 和 95% 不同频率的年降水量(详见表 1)。从表 1 中可看出,变差系数 C_v 值兰州相对较大,定西相对较小,其他城市介于之间,说明降水量年际变化兰州较大,定西变化较小,其他城市变化介于二者之间。

根据对研究区多年降水资料计算,研究时段内兰州多年平均降水量为 312.01 mm,小于平均降水量的年份共 32 a,占总年份的 54.23%,其中最大降水量为 1978 年的 546.70 mm,最小降水量为 2006 年的 169.50 mm,变幅 377.20 mm,最大与最小年的年际极值比为 3.2。定西多年平均降水量为 374.47 mm,小于平均降水量的年份共 15 a,占总年份的 50%,其中最大降水量为 2003 年的 471.10 mm,最小降水量为 1982 年的 245.70 mm,变幅 225.40 mm,最大与最小年的年际极值比为 1.9。平凉多年平均降水量为 495.61 mm,小于平均降水量的年份共 33 a,占总年份的 55%,其中最大降水量为 1964 年的 743.10 mm,最小降水量为 1991 年的 272.4 mm,变幅 470.70 mm,最大与最小年的年际极值比为 2.7。庆阳多年平均降水量为 543.96 mm,小于平均降水量的年份共 34 a,占总年份的 56.7%,其中最大降水量为 2003 年

的 828.20 mm, 最小降水量为 1995 年的 333.80 mm, 变幅 494.40 mm, 最大与最小年的年际极值比为 2.5。天水多年平均降水量为 518.44 mm, 小于平均降水量的年份共 33 a, 占总年份的 55.9%, 其中最大

降水量为 2003 年的 809.60 mm, 最小降水量为 1996 年的 321.80 mm, 变幅 487.80 mm, 最大与最小年的年际极值比为 2.5。综上所述, 总体上甘肃省黄土高原区主要城市降水量呈现不同的变化特征。

表 1 甘肃黄土高原区主要城市降水量特征值

城市	统计参数				不同频率年降水量/mm			
	年限	平均值/mm	C_v	C_s/C_v	25%	50%	75%	95%
兰州	59	312.01	0.246 6	2.5	358.74	304.16	256.75	200.29
定西	30	374.47	0.146 6	2.5	409.45	371.12	335.85	290.24
平凉	60	495.61	0.218 7	2.5	562.37	485.78	418.15	335.68
庆阳	60	543.96	0.209 1	2.5	614.35	534.09	462.83	375.23
天水	59	518.44	0.225 8	2.5	590.29	507.48	434.67	346.41

注: C_s/C_v 的值为用皮尔逊 III 型曲线计算程序得到数值均为 2.5。

3 黄土高原区主要城市雨洪资源利用潜力分析

甘肃黄土高原区属于旱半干旱季风气候, 降水时空分布极不均匀, 城市降雨主要集中在 6—9 月, 汛期降雨量可达全年的 60%~80%, 容易出现洪涝灾害, 而早期却十分干燥, 因此雨洪资源化潜力较大。城市区域的产汇流关系受天然和人类活动等多因素的影响, 而排水的方式, 排水管道的布局和覆盖率, 建筑物的密度和建筑材料的质地以及水工建筑物的运行调动等也都在不同程度上左右着汇流的方式。

3.1 黄土高原区主要城市雨洪资源理论潜力

根据黄土高原区城市雨洪资源的分布特征, 借鉴雨洪资源理论潜力的计算公式计算甘肃黄土高原区城市雨洪资源的理论潜力^[12], 其计算公式为:

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

式中: R_i ——城市雨洪资源的理论潜力(m^3); P ——城市区域的平均降水量(mm); A ——城市区域的面积(km^2)。

根据式(1)计算得到黄土高原区主要城市雨洪资源理论潜力, 并且分别计算各主要城市在不同频率年降水量(25%, 50%, 75%和 95%)下雨洪资源的理论潜力(表 2)。

从表 2 中可看出, 兰州、定西、平凉、庆阳和天水雨洪资源的平均理论潜力分别为 5.71×10^7 , 8.61×10^6 , 2.38×10^7 , 7.62×10^6 和 $3.21 \times 10^7 m^3$, 同时在 50% 频率下各主要城市雨洪资源的理论潜力分别为 5.57×10^7 , 8.54×10^6 , 2.33×10^7 , 7.48×10^6 和 $3.15 \times 10^7 m^3$ 。这说明各主要城市雨洪资源利用潜力都相对比较大, 具有很好地开发利用前景。

表 2 甘肃黄土高原区主要城市雨洪资源理论潜力

城市	城区面积/ km^2	平均降雨量/ mm	平均理论潜力/ $10^4 m^3$	不同频率年降水量下雨洪资源理论潜力/ $10^4 m^3$			
				25%	50%	75%	95%
兰州	183	312.01	5 709.78	6 564.94	5 566.13	4 698.53	3 665.31
定西	23	374.47	861.28	941.74	853.58	772.46	667.55
平凉	48	495.61	2 378.93	2 699.38	2 331.74	2 007.12	1 611.26
庆阳	14	543.96	761.54	860.09	747.73	647.96	525.32
天水	62	518.44	3 214.33	3 659.80	3 146.38	2 694.95	2 147.74

注: 建成区(城市行政区内实际已成片开发建设、市政公用设施和公共设施基本具备的地区)面积源自《甘肃城市统计年鉴 2009》。

3.2 黄土高原区主要城市雨洪资源可实现潜力

城区可收集雨量受到许多因素, 如气候条件, 降雨量在不同季节的分配, 雨水水质情况, 不同径流介质的径流系数, 建筑的布局和结构等自然因素以及特定地区建筑物特性等其他因素的制约。因此, 可按式(2)^[13-14]计算不同城市雨洪资源可实现潜力:

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

式中: R_a ——城市雨洪资源可实现潜力(m^3); P ——

城市区域的降雨量(mm); A ——城市区域的面积(km^2); Ψ ——平均径流系数, 可通过对各汇流单元的径流系数加权平均求得, 黄土高原区主要城市汛期都集中于 6—9 月, 因此选择汛期进行径流系数的测定, 从而为径流系数的确定和进一步修订提供依据, 不同下垫面条件下的径流系数见表 3; α 为季节折减系数, $\alpha =$ 汛期平均降雨量/年平均降雨量。

表 3 不同下垫面条件下的径流系数^[15]

地面类型	径流系数
各种屋面、混凝土和沥青地面	0.90
大块石铺砌路面和沥青表面处理的碎石路面	0.60
级配碎石路面	0.45
土砌砖石和碎石路面	0.40
非铺砌土路面	0.30
公园和绿地	0.15

结合甘肃黄土高原区主要城市的相关资料,利用式(2)计算各城市雨洪资源可实现潜力(表 4),并分别计算各主要城市在不同频率(25%, 50%, 75% 和 95%)下雨洪资源的可实现潜力。平均径流系数 Ψ 可计为城市各类不透水面的径流系数加权平均,本文

计算中将其简化,因为表 4 中列举的各主要城市,建成区不透水面绝大部分是各种屋面、混凝土和沥青地面,因此可以根据实际情况的细小差别估算为 0.7~0.9; 季节折减系数 α 是根据各个城市平均每年汛期降雨量同年均降雨量的比值求得。由表 4 可见,兰州、定西、平凉、庆阳和天水雨洪资源的平均可实现潜力分别为 2.91×10^7 , 4.65×10^6 , 1.43×10^7 , 4.87×10^6 和 $1.95 \times 10^7 \text{ m}^3$, 同时在 50% 频率下各主要城市雨洪资源的可实现潜力分别为 2.84×10^7 , 4.61×10^6 , 1.40×10^7 , 4.79×10^6 和 $1.91 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。可见,黄土高原区有可观的可收集雨水资源,而目前开发利用尚低,开发潜力巨大。

表 4 甘肃黄土高原区主要城市雨洪资源可实现潜力

城市	建成区面积/ km^2	平均降雨量/ mm	平均径流系数 Ψ	季节折减系数 α	平均可实现潜力/ 10^4 m^3	不同频率年降水量下雨洪资源可实现潜力/ 10^4 m^3			
						25%	50%	75%	95%
兰州	183	312.01	0.75	0.68	2 911.99	3 348.12	2 838.73	2 396.25	1 869.31
定西	23	374.47	0.75	0.72	465.09	508.54	460.93	417.13	360.48
平凉	48	495.61	0.80	0.75	1 427.36	1 619.63	1 399.05	1 204.27	966.76
庆阳	14	543.96	0.80	0.80	487.39	550.46	478.54	414.70	336.21
天水	62	518.44	0.80	0.76	1 954.31	2 225.16	1 913.00	1 638.53	1 305.83

4 结论

通过对甘肃黄土高原区主要城市长系列降水资料统计,分析了黄土高原区主要城市降水量特征变化规律,结果表明黄土高原区各城市降水量呈现不同的变化特征。

根据黄土高原区城市雨洪资源的分布特征,对兰州、定西、平凉、庆阳和天水 5 个甘肃黄土高原区主要城市雨洪资源利用潜力进行了分析计算。计算结果表明,兰州、定西、平凉、庆阳和天水雨洪资源的平均理论潜力分别为 5.71×10^7 , 8.61×10^6 , 2.38×10^7 , 7.62×10^6 和 $3.21 \times 10^7 \text{ m}^3$, 平均可实现潜力分别为 2.91×10^7 , 4.65×10^6 , 1.43×10^7 , 4.87×10^6 和 $1.95 \times 10^7 \text{ m}^3$, 同时在 50% 年降雨量频率下各主要城市雨洪资源的理论潜力分别为 5.57×10^7 , 8.54×10^6 , 2.33×10^7 , 7.48×10^6 和 $3.15 \times 10^7 \text{ m}^3$, 可实现潜力分别为 2.84×10^7 , 4.61×10^6 , 1.40×10^7 , 4.79×10^6 和 $1.91 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。说明各主要城市雨洪资源利用潜力都相对比较大,具有很好的开发利用前景。

由于受到诸多技术因素的制约以及政府和公众对雨洪利用的认识较为缺乏,目前黄土高原区城市雨洪利用相对较少,开发利用效率低,限制了黄土高原区雨洪资源的高效利用。同时由于城市雨洪利用初期投资较大,回收期较长,政府在对雨洪利用工程项

目上给予的财政资助较少,给雨洪利用的推动和发展带来难度。因此政府应给出相应的优惠政策,引导开发商在开发建设中引入雨洪利用工程,以促进雨洪利用的普及实施;同时,需要通过宣传、教育、奖励等手段,提高人们对雨洪资源的认识,引导公众自觉参与这项工作。改变传统城市排水的指导思想,提高雨洪资源的利用率,减轻市政排水管网压力和河道防洪负担,减缓城市水资源供需紧张的矛盾,涵养城市地下水源,改善水生态环境,为城市发展带来可观的经济效益。

[参 考 文 献]

- [1] 闫轲,方国华,黄显峰,等. 雨洪资源利用进展与利用模式探索[J]. 水利科技与经济, 2011, 17(3): 58-60.
- [2] 冯峰,许士国. 雨洪资源利用功能与需求耦合效益识别法研究[J]. 水文, 2009, 29(2): 28-31.
- [3] 王庆平,刘金艳,时振阁. 唐山市洪水资源利用可行性分析[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(4): 103-107.
- [4] 张荣. 雨洪利用在水资源可持续开发利用中的作用[J]. 地下水, 2007, 29(6): 25-28.
- [5] Zaizen M, Telrakaway, Matsumoto H, et al. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan[J]. Urban Water, 1999(1): 355-359.
- [6] Gantner K. Nachhaltigkeit urbaner Regenwasserbe. Wirtschafungsmethoden-Teil 1: Grundlagen [J]. GWF Wasserund Abwasser, 2003, 144(3): 240-247.

(下转第 284 页)

- gy, 2006(32):243-252.
- [7] Melissa E H, Michael D M, Phillip M F. Polyacrylamide added as a nitrogen source stimulates methanogenesis in consortia form various wastewaters [J]. Water Research, 2005, 39(14):333-334.
- [8] Walker P, Kelley T. Solids, organic load and nutrient concentration reductions in swine waste slurry using a polyacrylamide-aided solids flocculation treatment [J]. Bioresource Technology, 2003, 90(2):151-158.
- [9] 李长荣, 邢玉芬, 朱建康, 等. 高吸水性树脂与肥料相互作用的研究 [J]. 北京农业大学学报, 1989, 15(2): 187-191.
- [10] Shavit U, Reiss M, Shaviv A. Wetting mechanisms of gel-based controlled-release fertilizers [J]. Journal of Controlled Release, 2003, 88(1):1-13.
- [11] 杜建军, 苟春林, 崔英德, 等. 保水剂对氮肥挥发和氮磷钾养分淋溶损失的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4):1296-1301.
- [12] 何绪生, 廖宗文, 黄培钊, 等. 保水缓/控释肥料的研究进展 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(5):184-190.
- [13] 王百田, 马丰斌, 张府娥, 等. 凝胶状保水剂使用效果研究 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(2):65-68.
- [14] 杨永辉. 营养型抗旱保水剂与氮肥配施对土壤与作物的效应研究 [D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [15] 王文静, 王百田, 吕钊, 等. 复合保水材料对苗木生长的影响 [J]. 生态学杂志, 2012, 31(8):1961-1967.
- [16] 韦兰英, 袁维圆, 焦继飞, 等. 紫花苜蓿和菊苣比叶面积和光合特性对不同用量保水剂的响应 [J]. 生态学报, 2009, 29(12):6772-6778.
- [17] 李娟, 彭镇华, 高健, 等. 干旱胁迫下黄条金刚竹的光合和叶绿素荧光特性 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(6): 1395-1402.
- [18] 杨浩. 保水剂对黄绵土、褐土及沙土物理特性影响研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [19] 黄子琛, 沈渭涛. 干旱区植物的水分关系与耐旱性 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000.
- [20] Mrema A F, Granhall U. Sennerby-forsse plant growth, leaf water potential, nitrogenase activity and nodule anatomy in *Leucaena leucocephala* as affected by water stress and nitrogen availability [J]. Trees-Structure and Function, 1997, 12(1):42-48.
- [21] 袁国富, 庄伟, 罗毅. 冬小麦叶片气孔导度模型水分响应函数的参数化 [J]. 植物生态学报, 2012, 36(5):463-470.
- [22] 徐林娟, 徐正浩, 李舸, 等. 不同土壤水分供给下水稻叶水势的变化规律 [J]. 核农学报, 2011, 25(3):553-558.
- [23] 李秧秧, 刘文兆. 土壤水分与氮肥对玉米根系生长的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(1):13-15.
- [24] 徐振剑, 华培, 蔡典雄, 等. 农田水肥关系研究现状 [J]. 首都师范大学学报, 2007, 28(1):83-88.
- [25] 张晓艳. 保水剂与不同外源物质的配比对植被生长影响研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [26] 王婷. 复合保水新材料的试验研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [27] 崔建恒, 周海燕, 张铜会. 沙地春玉米叶片水势与土壤水肥关系的研究 [J]. 中国沙漠, 2000, 20:64-65.
- [28] 王新爱, 李永胜, 杜建军, 等. 保水剂在不同铵盐溶液体系中的吸水和吸附氨离子特征 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(7):117-123.
- [29] 寇太记, 张雅莉, 马继红, 等. 保水剂施用对丹参物质形成与养分利用的影响 [J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 64-67.

(上接第 218 页)

- [7] 汤喜春. 雨洪资源利用的必要性及其措施探讨 [J]. 湖南水利水电, 2005(5):71-73.
- [8] 孙德威. 城市雨洪利用技术综述 [J]. 中国防汛抗旱, 2010(1):32-36.
- [9] 王情, 张广录, 王晓磊, 等. 中国北方城市雨水资源利用探讨 [J]. 水资源保护, 2009, 25(4):86-90.
- [10] 王永磊, 姜小平, 王德民, 等. 我国城市雨水利用技术及对策 [J]. 山东建筑工程学院学报, 2006, 21(2):151-153.
- [11] 杜玉柱, 菅瑞卿. 吕梁市雨水利用的潜力分析及发展对策 [J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2006, 18(3):7-8.
- [12] 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: 黄河水利出版社, 2002.
- [13] 邓风, 陈卫. 南京市居住区雨水利用探讨 [J]. 中国给水排水, 2003, 19(5):95-97.
- [14] 任雅娴. 湛江市雨洪利用潜力分析 [J]. 水利水电快报, 2008, 29(S):56-58.
- [15] 孙慧修. 排水工程. 上册 [M]. 4 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999:63-81.