

杨凌城区雨水资源利用潜力计算及其效益分析

吕 玲¹, 吴普特^{1,2}, 赵西宁^{1,2}, 王玉宝³

(1. 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100;

3. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 应用径流系数法分析了杨凌示范区城区雨水资源利用潜力。2007 年可直接收集利用的雨水总量为 123.91 万 m³, 占该年杨凌城区总用水量的 28.3%; 可处理后回用的雨水总量为 367.15 万 m³, 但目前仅有占城区总面积 1.98% 的绿地利用雨水 12.93 万 m³, 其它均未予利用; 预计到 2020 年, 以枯水年计算, 可直接收集利用的雨水总量为 3 233.03 万 m³; 可处理后回用的雨水潜力巨大。并进一步对杨凌城区实施雨水利用后可能产生的经济、社会和生态效益进行了评价分析。

关键词: 雨水利用潜力; 径流系数; 水资源; 杨凌示范区

中图分类号: TV122 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)05-0225-05

随着城市化规模越来越大, 城市人口增加, 工业迅速发展, 导致城市需水量急剧增加。城市用水严重挤兑了农业用水, 严重制约了社会经济的可持续发展。以 1998 年为例, 工业用水、城市生活用水和农业用水三者用水比例为 74.6%、20.4% 和 5.0%, 农业水资源通过不同途径改为非农用途的问题越来越严重^[1]。伴随着经济社会的发展, 近年来传统水资源的短缺与社会经济可持续发展的矛盾日益尖锐, 已引起世界各国的普遍关注和重视, 城市雨水利用作为非传统水资源的一种利用形式, 已经成为当今解决用水危机的重要途径之一。城市雨水利用的技术如屋顶集雨、屋顶绿化、雨水拦截入渗等研究已经取得了较大进展, 但在城市雨水利用潜力方面的研究涉及较少, 这成为限制对雨水资源进行合理规划利用的约束条件之一。杨凌示范区自成立以来, 城市建设突飞猛进, 对其研究具有典型性, 本文以杨凌城区为例, 对城区的雨水资源化潜力进行计算, 以为城市雨水利用合理规划提供理论依据。

1 研究区概况

杨凌农业高新产业示范区 1997 年国务院批准成立时, 城市建成面积 3.5 km², 其中科研教育用地占建设用地的 53%, 全区人口 11.6 万人; 2002 年经 5 年的发展, 城市建成面积达 12.5 km², 全区总人口达到 15.26 万人; 2007 年揉谷乡划归杨凌后, 城市建设区面积约 18.8 km², 全区现有人口 19.08 万人。预计, 到 2020 年底, 杨凌城区面积达 50 km², 人口约

为 30 万。受降水及下垫面条件影响, 杨凌自然地表水资源量年均 535.66 万 m³, 多年平均地下水天然资源量为 3 387.34 万 m³, 可开采量为 3 099.76 万 m³。杨凌建有 19 座抽水站, 以韦河水、漆水河和渭高干渠为水源, 在保证率为 50% 时, 年可供水量为 1 318.7 万 m³, 当保证率为 75% 时, 可供水量为 1 182.6 万 m³^[2]。但是, 降水径流多成洪流排入河流和渠道, 基本未能利用。随着区内城市化水平的不断加快, 人口的增加等因素影响, 水资源短缺已成为不争的事实。雨水资源作为一种最直接、最经济和最根本的水资源, 对其加以利用势必成为解决杨凌水资源短缺、改善城市生态环境的有效措施。

杨凌良好的水文地质条件为雨水利用提供了有利条件: 杨凌北靠黄土台塬区, 位于鄂尔多斯地台南端, 地貌以渭河冲积平原为主, 海拔高度在 431~563 m 之间, 地势北高南低, 西高东低, 南北呈阶梯形, 雨水走向好, 而地势低缓的东南方又集中了全区约 80% 的新建工业园和居民小区, 面积较为开阔, 若能在此地开展雨水收集, 前景可观^[3]; 示范区土壤包括塬土类、黄土类和潮土类三种类型, 其中塬土类和黄土类占地面积高达 95%, 成土母质为黄土, 具有土层疏松, 保水保肥的特点。雨季雨水经地表入渗进入土层, 可解决旱季用水矛盾。

2 资料和方法

2.1 资料情况

杨凌气象站于 2008 年 1 月 1 日才正式运行, 观

收稿日期: 2009-01-16

基金项目: 国家科技支撑计划(2007BAD88B10); 教育部重点项目(108182); 西北农林科技大学青年学术骨干支持计划

作者简介: 吕 玲(1983-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水土保持与城市雨水利用。E-mail: 373352780@163.com。

通信作者: 吴普特(1964-), 男, 研究员, 主要研究方向为节水灌溉技术和水土保持研究。E-mail: gjzwpt@vip.sina.com。

测资料仅为一年。武功气象站建于 1954 年 1 月 1 日,距杨凌约 10 km,可利用武功气象站的观测资料对杨凌地区进行分析。本研究主要调查收集了以下资料:在陕西省气象局获得武功气象站 1955~2007 年逐月降雨资料;通过杨凌城建局获得杨凌示范区 2007 年城乡规划和杨凌 2007~2020 年城乡总体规划图。

2.2 研究方法

通过绘制 P-III 频率曲线^[4],得到 25%、50%和 75%保证率下的年降水量;利用 CAD 软件对杨凌示范区现状图和规划图进行矢量化,统计各用地类型的面积。

由径流系数法计算杨凌雨水可利用量,方法如下:

杨凌城区用地可分成住宅区、商业区、工业区、铁路场地、对外交通用地、绿地等用地类型,结合杨凌城区实际,并在分析相关文献资料的基础上,获得相应下垫面的径流系数以及初期弃流量等。根据径流系数法估算杨凌城区可利用雨水量^[5],具体算法如下:

$$Q = \alpha \cdot \eta \cdot \varphi \cdot P \cdot A \quad (1)$$

$$Q_g = \alpha \cdot \lambda \cdot P \cdot A \quad (2)$$

其中: Q 为可利用雨水量(m^3); α 为研究时段降水量占全年降水量的比例,对杨凌而言,以 4~10 月份为研究时段,其降水占全年降水量的比例为 0.905; φ 为下垫面降水径流系数,各类下垫面 φ 的取值如表 1 所示; P 为年降水量; A 为不同下垫面面积; η 为折减系数,与季节和下垫面等条件有关,因对各类下垫面处理工艺不同, η 的取值也有差异:对高校区、住

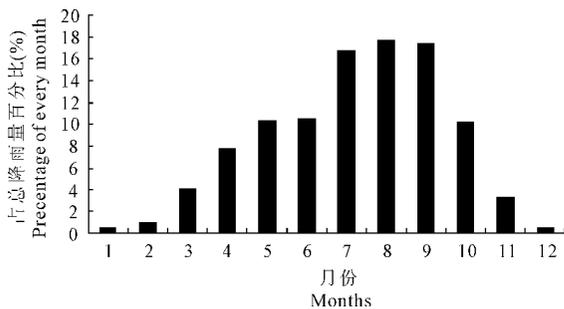


图 1 杨凌月平均降雨量

Fig. 1 The month-average rainfall in Yangling

3.2 杨凌城区用地类型统计

由杨凌各用地类型面积(如表 2)可知:在 2007 年,杨凌绿地面积仅 28.98 hm^2 ,占城区总面积的 1.98%,而道路广场不透水硬化地面却达到 395.36

宅区, η 取 0.70;对商业区, η 取 0.56;其它城市分区, η 取 1.00^[6]; Q_g 为透水地面(绿地)下渗雨水量; λ 为透水地面(绿地)的入渗率,取值范围在 0.40~0.85,因杨凌土壤入渗条件好,入渗率可取 0.75^[7]。

表 1 不同下垫面分区降水综合径流系数^[8]

Table 1 The simulated runoff coefficients of different underlying surface

地区分类 District classification	径流系数 Runoff coefficient	地区分类 District classification	径流系数 Runoff coefficient
商业区 Business area	0.70~0.95	工业区 Industrial area	0.50~0.80
教育区 Educational area	0.20~0.35	铁路场地 Railway area	0.10~0.25
住宅区 Residential area	0.60~0.75	沥青混凝土路面 Road area	0.70~0.95

3 结果分析

3.1 杨凌城区降雨资料分析

通过分析武功气象观测站 1955~2007 年逐月降雨资料可知:杨凌城区年平均降雨量为 590.6 mm。其中,1~3 月份以及 11、12 月份降雨次数少,以微雨和小雨为主,11 月份也有大雨出现的可能性;该地区降雨主要集中在 4~10 月份,占到了全年降雨量的 90.5%,在这一段时期内,中到大雨出现的频率增加,同时也是暴雨的多发期,尤在 6、7、8 和 9 四个月份出现的机率最大。通过选配 P-III 频率曲线,得 $C_v=0.27$, $C_s=0.54$,不同频率年的降雨量如下图所示:降水保证率分别为 25%、50%和 75%时所对应的年降水量约为 695 mm、568 mm 和 468 mm。

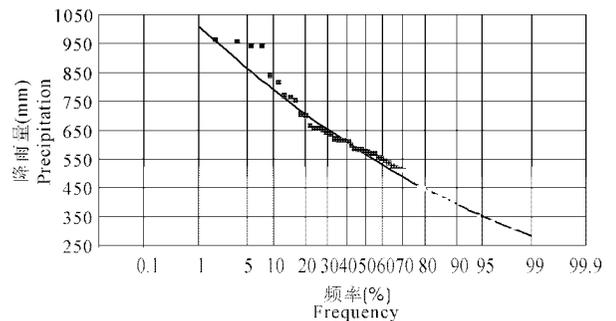


图 2 杨凌年降水量频率曲线

Fig. 2 The frequency curve of annual precipitation in Yangling

hm^2 ,占全区总面积的 27.06%;2007 年该地区主要用地类型为工业用地,面积为 415.64 hm^2 ;预计到 2020 年,杨凌用地面积快速扩张,各类用地面积都有增加,绿地面积增加到 5 734.06 hm^2 ,占全区总面

积的 49.90%;住宅区和工业区的面积相当,两者均超过了 1 200 hm²;道路广场用地面积为 1 689.26 hm²,占全区总面积的 14.70%,虽然用地比例下降幅

度大于 10%,但用地面积却增加了 1 293.90 hm²,这样大面积的不透水硬化地面的形成必然给城市生态环境,特别是城市水文条件带来巨大影响。

表 2 杨凌用地类型统计(hm²)
Table 2 The land-use type in Yangling

项目 Item	住宅区 Residential area	商业区 Business area	工业区 Industrial area	道路广场 Square	铁路用地 Railway area	教育科研区 Educational area	绿地 Greenland
2007 年面积 Area(2007)	192.55	142.84	415.64	395.36	19.09	266.50	28.98
百分比(%) Percentage	13.18	9.78	28.45	27.06	1.31	18.24	1.98
2020 年规划面积 Planning area (2020)	1272.37	528.92	1296.64	1689.26	47.43	922.88	5734.06
百分比(%) Percentage	11.07	4.60	11.28	14.70	0.41	8.03	49.90

3.3 杨凌城区可利用雨水量估算

杨凌 2007 年总降雨量为 657.4 mm,根据公式(1)和(2)以及表 1 与表 2,计算 2007 年(现状年)杨凌城区可利用雨水量,结果表明:2007 年住宅区、商业区和教育科研区经初期弃流折减后,可直接收集的雨水总量为 123.91 万 m³,占 2007 年杨凌城区总用水量 438 万 m³ 的 28.3%;道路广场、工业区的产汇流总量为 367.15 万 m³,处理后回用潜力巨大,但因现状年绿地面积只占全区的 1.98%,仅有 12.93 万 m³ 的雨水进行绿地灌溉及回灌地下水系统。在目前杨凌区地下水存在超采,地下水位持续下降,城市化进程又导致降水入渗回补地下水量迅速减少的形势下,增大绿地回灌水量将是一个切实可行的办法。

预计,到 2020 年,随着各用地类型面积的增加,收集到的雨水量也相应加大。丰水年(25%)可直接收集的雨水总量为 4 801.18 万 m³,平水年(50%)为 3 923.84 万 m³,即使在枯水年(75%)也可收集到 3 233.03 万 m³,多年平均可利用雨水量可达到 4 079.97 万 m³。由住宅区、商业区以及教育科研

区收集到的雨水只需简单的沉淀、消毒等处理,即可作为非饮用水源,如冲厕、清洁等使用;与污水处理相比,雨水处理工艺相对简便,成本也较低。根据西北农林科技大学水利水电科学研究院水利建设规划^[9],预计 2020 年杨凌城区居民生活用水量将达到 1 268.97 万 m³,工业用水量及农业灌溉用水量(枯水年)分别达到 4 400.08 万 m³ 和 1 755.90 万 m³。以枯水年计,直接收集的雨水完全可以满足城区居民生活用水,多余的雨水还可用于工业以及周边农村的灌溉用水;从工业区和道路广场收集到的雨水,可通过雨水管网输送到相应的处理机构进行处理后,供给各行各业使用,可作为工业生产用水水源之一;通过绿地回灌,补充到地下的水量由 2007 年的 12.93 万 m³,增加到 2020 年的 1 821.45 万 m³(以枯水年计),雨水回灌量是杨凌地下水可开采量的 58.76%。若能够将道路广场中的停车场、人行道以及非机动车道的不透水硬化地面改装,铺设成透水砖地面,则雨水经下渗回灌地下水的数量还将进一步增加,这一措施补充了超采的地下水,进而也防止了因此而引发的地面沉降和地面裂缝等一系列生态问题。

表 3 不同下垫面分区可利用雨水量(10⁴ m³)
Table 3 Available rain-water resources on different underlying surfaces

年份 Year	保证率 Guarantee rate	住宅区 Residential area	商业区 Business area	工业区 Industrial area	道路广场 Square	铁路用地 Railway area	教育科研区 Educational area	绿地 Greenland	总计 Total
2007	现状年 Present	54.13	39.26	173.10	194.06	1.99	30.52	12.93	505.98
2020	25%	378.14	153.70	570.89	876.56	5.22	111.74	2704.94	4801.18
	50%	309.04	125.61	466.57	716.39	4.27	91.32	2210.65	3923.84
	75%	254.63	103.50	384.43	590.26	3.52	75.24	1821.45	3233.03
	多年平均 Mean	321.33	130.61	485.13	744.89	4.44	94.96	2298.61	4079.97

3.4 杨凌城区雨洪利用的效益分析

3.4.1 经济效益 以枯水年为例,分析杨凌城区雨水利用带来的经济效益。经调查,杨凌各行业用水价格如表 4 所示,假设雨水市场价格 0.3 元/m³[10],若通过雨水管道从工业区、道路广场和铁路用地收集到的雨水全部用于工业生产,预计到 2020 年,一年内可节省企业用水支出为(384.43+590.26+3.52)

×(2.70-0.3)=5634.49 万元;假设住宅区、商业区和教育科研区收集到的雨水全部用于居民生活中的非饮用水,则一年内可为居民节省用水开支为:(254.63+103.50+75.24)×(2.2-0.3)=823.40 万元。若在丰水年或平水年,则会为企业和居民节省更大一笔用水开支。

表 4 杨凌水价表(元)
Table 4 The water price in Yangling

项目 Item	居民生活用水 Domestic water use	工业企业用水 Industrial water use	行政事业用水 Administrative water use	经营服务用水 Service water use	特种行业用水 Special water use
自来水价格 Running water price	1.40	1.90	2.20	3.10	5.20
污水处理费 Sewage treatment charge	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
用户最终负担价格 Final price	2.20	2.70	3.00	3.90	6.00

3.4.2 社会效益 杨凌城市化进程逐年加快,道路广场等硬化地面用地面积迅速增加,城市产汇流量也随之增大,大量的雨水径流给城市排水系统带来巨大压力,若这些径流不能被快速排走,就会带来城市洪涝灾害发生。杨凌 4 座陇海铁路立交桥是城市南北交通的咽喉要道,但由于杨凌城市地形坡度大,雨水汇流急,4 座铁路立交桥洞几乎每年雨季都会因暴雨出现大量积水而中断交通的现象,若能够在此处合理布设实施雨水利用措施,对雨洪进行拦蓄利用,就可以避免这一现象的发生。假设 2020 年为丰水年,如果对该区实施雨水利用措施,经由住宅区、商业区以及教育科研区收集利用的雨水和经由绿地下渗的雨水总量为 3 348.51 万 m³,而由雨水管道排出的雨水量仅为 1 452.67 万 m³,大大降低了城市排水系统的负荷,防止了因城市暴雨洪水引发的交通问题,减轻了渭河汛期防洪压力。

3.4.3 生态效益 雨水用于地下水补给将会缓减地面沉降危机。据调查,多年平均地下水天然资源量为 3 387.34 万 m³,可开采量为 3 099.76 万 m³,2007 年地下水超采量超过了同年雨水经由绿地系统回灌地下的水量(12.93 万 m³),给生态环境带来很大威胁。若采取一定的雨水利用措施,预计到 2020 年,一方面随着绿地面积的增加,回灌量可达到 1 821.45 万 m³,另一方面通过其它用地类型收集到的雨水总量为 1 411.57 万 m³(以枯水年计),可将其它收集到的雨水用于居民生活和生产用水,大大减少了对地下水的开采量,同时也缓减了城市用水紧张。

4 结论与讨论

城市雨水利用在国外先进国家已发展很快,而我国却刚刚起步,也仅限于北京、上海等经济发达城市。对于中小城市而言,雨水利用不存在或者只处于起步阶段。根据 2020 年杨凌雨水利用规划图可知,虽然在 2020 年杨凌已经采取了雨污分流措施,但只是降水产生的径流通过雨水管网排放到宝鸡峡渭惠渠、渭高干渠和渭河中,没有采取其它雨水利用措施,造成了水资源的极大浪费。通过上述分析可知,杨凌雨水资源可利用量非常可观,我们应该以一些雨水利用成功的城市为借鉴,同时结合杨凌自身特点,在雨水的收集利用、运行管理等方面开展研究并予以实施,能够有效地利用雨水资源,保护城市生态环境,促进杨凌经济和社会的可持续发展。

杨凌城区雨水利用的实施不仅需要技术支持,还需要通过相应的政策、法规、管理等相应的配套政策,才能保证最终实现。开展杨凌城区雨水利用应采取以下对策以保证其顺利实行:(1)加强雨水利用的科学研究。首先要明确当地的雨水水质、水质在不同降水过程和下垫面条件下的变化规律;其次要加强雨水利用措施合理优化布局的研究。这项工作需要得到相应科研机构和政府的大力支持。(2)制定合理水价,促进雨水利用。合理的水费可以抑制用水的浪费,促进用户投资建设节水和雨水利用工程,用经济手段提高水资源利用效率鼓励雨水利用,最终达到水资源的可持续利用的目的。(3)加强雨水利用的宣传与示范。许多人对雨水利用还很陌

生、存在疑虑,相关政府部门应大力宣传雨水知识,并建立示范工程,使雨水利用技术能得到广大用户的接受和推广。

参考文献:

- [1] 冯保清. 农业用水与城市用水转化之初探[J]. 水利发展研究, 2003, (4): 42-44.
- [2] 张文洲, 何武全, 王玉宝, 等. 杨凌水资源开发利用现状及对策[J]. 水资源与水工程学报, 2005, 1(16): 75-77.
- [3] 吕建灵, 王礼力, 葛超. 杨凌农业高新产业示范区雨水资源化探索[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 289-291.
- [4] 林莺, 李世才. 水文频率曲线简捷计算和绘图技巧[J]. 水利水电技术, 2002, 33(7): 52-53.
- [5] 杜玉柱. 吕梁市城市雨水利用规划研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [6] 张木兰. 城市雨水资源化利用研究[D]. 郑州: 华北水利水电学院, 2005.
- [7] 吴淑芳, 张华, 吴普特. 杨陵区土壤物理特性的水平与垂直变化规律[J]. 水土保持研究, 2002, 9(2): 14-22.
- [8] 周乃晟, 贺宝根. 城市水文学概论[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1995: 112-114.
- [9] 马孝义, 张英普, 王玉宝, 等. 杨凌农业高新技术产业示范区水利建设规划[R]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学水利水电科学研究院, 2004: 26-28.
- [10] 焦盈盈, 隋涛, 尹倩倩. 济南市雨洪利用潜力分析与对策研究[J]. 山东建筑大学学报, 2007, 22(6): 521-525.

Calculating the available rainwater resources and analyzing the benefits of their utilization in Yangling urban area

LU Ling¹, WU Pu^{1,2}, ZHAO Xi-ning^{1,2}, WANG Yu-bao³

(1. College of Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. National Engineering Research Center for Water-saving Irrigation at Yangling, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Runoff coefficient method is used to analyze the potential amount of rainwater utilization in Yangling Agricultural Hi-tech Industries Demonstration Zone, and the results indicate that the total amount of recuperated rainwater from the urban area in 2007 is $1\ 239\ 100\ \text{m}^3$, accounting for 28.3% of the zone's total water consumption. The total amount of runoff yield and possible water use is $3\ 671\ 500\ \text{m}^3$, but only $129\ 300\ \text{m}^3$ is now used for green land irrigation. It is predicted that by the year of 2020 year, the total amount of directly harvested rainwater is $32\ 330\ 300\ \text{m}^3$, showing a huge potential of rainwater utilization. Evaluation and analysis is also made of the possible economic and social benefits resulted from rainwater utilization.

Keywords: potential of rainwater utilization; runoff coefficient; water resources; Yangling Agricultural Hi-tech Industries Demonstration Zone