

黄土高原北部农牧交错带庭院集雨量估算及优化利用分析

马治国^{1,2}, 郑大玮²

(1. 福建省气象研究所, 福州 350001; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘 要: 试验区处于位于黄土高原北部农牧交错带的内蒙古自治区准格尔旗, 生态环境恶劣, 气候干旱, 雨水是黄土丘陵区唯一水源, 集雨工程是经济发展的重要支柱。以典型庭院为例, 计算出多年平均集雨量为 240.7 m^3 ; 人均生活用水量在高、中、低三种水平(分别为 30, 20 和 10 L/d)下, 基本年需水量分别为 33, 22 和 11 m^3 ; 庭院养殖业每年需水量在高、中、低三种水平下分别为 38.04, 31.66 和 25.73 m^3 ; 庭院种植业的每年最大用水量(干旱年)和平均用水量(平水年)分别为 18.1 和 10.1 m^3 。根据基本限制因素—生存周期和经济效益, 确定用水优先序为: 人的生活用水—养殖业用水—种植业用水; 并且在 3 个子系统内部, 又进一步细化了用水的优先序。估算庭院集雨量和优化配置使用有限的雨水资源, 对当地的经济、社会和生态发展都有重要的意义。

关键词: 黄土高原北部农牧交错带; 庭院集雨量估算; 雨水资源优化配置和利用

中图分类号: S273.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)05-0235-03

Estimation of Rain-collection Amount and Water Utility in a Courtyard in the Ecotone of North Loess Plateau

MA Zhi-guo^{1,2}, ZHENG Da-wei²

(1. Institute of Meteorology in Fujian, Fuzhou 350001, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agriculture University, Beijing 100094, China)

Abstract: The experimental areas lie in Zhungeer county of Inner Mongolia Autonomous Region in the ecotone of North Loess Plateau. Because the ecological environment is fairly vulnerable and the climate is semi-arid, the rain-collection projects are the important supports to regional economic development. According to investigation in a typical courtyard, it counts that the average annual amount of rain gathered is 240.7 m^3 , people's needs for water amount in 3 levels (30, 20 and 10 L/d) each is 38.04, 31.66 and $25.73 \text{ m}^3/\text{a}$; the amount of the breeding water in the 3 levels each is 38.04, 31.66 and 25.73 m^3 ; the largest and the least amount of a courtyard planting is: 18.1 and 10.1 m^3 respectively. According to the basic limiting factors: survival period and economic effect, the sequence priority is determined as the following: the water use of people's living, the breeding, and the planting. It also does a new sequence priority inside the 3 subsystems. The estimation of the rain-collection amount and optimized distribution of water use has significance for the development of economy, society and ecology of these areas.

Key words: agro-pastoral region in north Loess Plateau; the estimation of amount of rain-collection in a courtyard; optimized allotment and utility of rain resources

在半干旱黄土高原区, 降水偏少且分布不均, 集水工程对于提高庭院经济发展水平、促进当地经济和社会发展和提高人均收入具有重要的意义(赵松岭, 1996;)。试验点位于晋陕蒙交界处的内蒙古准格尔旗, 属于黄土高原北部农牧交错带(赵松乔, 1953; 周立三等, 1955; 周廷儒等, 1992; 程序, 1999; 马治国等, 2004), 是半干旱大陆性季风气候, 干旱严重, 水资源缺乏, 雨水是黄土丘陵区的唯一水源, 集雨经济的发展极大的缓解了当地农业生产中的水资源不足问题, 为干旱农业的发展提供了条件。本文根据试验点的数据, 计算了典型庭院的大气降水集雨量, 并且对其在庭院内部的分配利用分别进行了计算和分析。

1 典型庭院集雨量分析

1.1 雨水集蓄潜力初步估算

试验点面积 75.8 km^2 , 年降水约 400 mm 。雨水资源总量 3.032 亿 m^3 , 人均雨水资源 12.974 m^3 。但由于地形与植被的再分配导致雨水资源的时空分布极不均匀, 一方面导致绝大部分雨水蒸发和流失, 另一方面也提供了利用雨水分布密集时段和非生产空间集蓄雨水, 用于农民生活和生产关键时空的可能性。试验点现有路面、屋顶和庭院面积约占总土地面积 1%, 近两年试验场观测结果平均集流效率分别为年降水总量的 0.43 和 0.74, 考虑到实际集流时的效率要低于试验场的水平, 暂定为 0.3 和 0.6, 并假定路面与农户屋顶

* 收稿日期: 2005-11-02

基金项目: 国家“十五”863 重大科技专项课题(2002AA2Z4221)资助

作者简介: 马治国(1979-), 山东陵县人, 硕士, 主要从事农业气象和生态研究。

及庭院集雨面的面积比为 4∶1, 则试验点可能集蓄的可贮水量为 10.9 万 m³, 占雨水总资源量的 0.36%, 人均 46.6 m³。如生活用水达到 30 L/d, 即年用水 11 m³, 则可用于庭院生产用水有 35.6 m³。将来如能修建专门的集雨面, 则可大大增加可集蓄雨水量。试验点现有耕地 748 hm², 根据试验场模拟结果, 径流损失约占 20%。采取等高田、沟垄种植、隔坡梯田等田间集雨措施后, 至少可减少一半, 即 40 mm 水量。对于全部耕地约 30 万 m³, 大致为路面与庭院集雨潜力的 3 倍, 但田面集雨不具备可控性。庭院雨水的来源主要包括屋顶和庭院的内部部分, 也有部分是来自附近的路面和周围的高坡地。以周围农户的庭院建设情况来看, 屋顶的面积在 180~240 m², 庭院在 350~500 m² 之间, 周围道路和高坡的面积则是庭院面积的 1~3 倍, 也可以作为雨水的来源。

1.2 庭院集雨量的初步计算

测算屋顶、庭院和附近路面可收集雨水的数量是进行集雨庭院经济建设的必要条件。以试验点附近的一个典型庭院为例子, 初步测算一下可集雨水的数量。典型庭院的面积大小为: 屋顶 200 m², 庭院内部为 400 m², 道路面积是 300 m², 附近可集雨高坡地(自然地面)面积是 300 m², 则:

$$Q = \sum_{i=1}^n K_i \times T \times S_i \tag{1}$$

式中: K——不同集雨面下的集雨系数。本例中的庭院屋顶和内部场地都是混凝土结构, 根据试验结果, 实验小区在 2003 年雨季(6~8 月)的平均集流效率: 混凝土 68.2%; 原土夯实 36.5%; 天然土面 31.7%; S——不同集雨面的面积; 由于实验站附近 42 年平均降水量为 392.1 mm, 最大年降水量为 635.5 mm(1961 年), 所以此为 T 值; 最后可得出: 一个典型的庭院多年平均集雨量为 240.7 m³; 最大集雨量为 390.1 m³。

表 1 典型庭院在不同降水保证率下的可集雨量

降水强度	保证率/%	降雨量/mm	可集雨量/m ³	旱井/(30 m ³ ·个 ⁻¹)
中雨	80	135	82.86	3
	60	200	122.76	4
	30	300	184.14	6
大雨	60	100	61.38	2
	15	200	122.76	4

由公式(1), 还可以推算出不同保证率下的现有集雨能力与最大集雨潜力。从一定降水量的保证率看, 10 mm 中雨以上降水 80% 以上保证率的降水量仅 135 mm, 保证率 60% 的降水量为 200 mm, 达到 300 mm 的保证率只有 30%。对于大雨过程, 总降水量 200 mm 只有 15% 的可能性, 100 mm 以上保证率为 60%。在这样的情况下, 可以算出不同保证率下的一个典型庭院的可集雨量, 见表 1。

1.3 庭院雨水的可控形态

(1) 人的生活用水量计算

在一个典型的庭院中, 其每年生活用水量可用下式计算:

$$Q_1 = K_1 \times m \times d \tag{2}$$

式中: Q₁——一个典型的庭院的每年生活用水量; K₁——雨水综合利用在当地不同农村社会发展水平的每天每人的标准用水量, 可分为高、中、低三种水平, 分别为 30、20 和 10 L/d; m——一个典型庭院中的居住的人口数量; d——一年的天数。

根据上式可得出, 在三种不同需水标准下, 一个典型庭院的基本年需水量为: 33、22 和 11 m³。

(2) 庭院生活节水对策

¹ 提高雨水的循环利用。在人们的生活中, 有一些用水

可以循环利用, 直接从人饮用水转化到牲畜用水和庭院种植业当中去。例如, 餐具洗刷用水可以转化为牲畜用水; 而日常洗衣服等用水则可直接储存保留下来, 作为种植业用水来源。

④节水量计算

$$Q_2 = K_2 \times Q_1 \tag{3}$$

大约可以有近 20% 的生活用水节约下来, 即 K₂=20%, 可得出在三种不同需水标准下, 一个典型庭院的基本年节约量分别为: 6.6、4.4 和 2.2 m³。节约的这些水, 就相当增加了对等量的集雨量, 可投入到庭院种养业中去。

(3) 用于庭院种养业的剩余可用水量计算

$$Q_3 = (1 - K_3) \times Q - Q_1 + Q_2 \tag{4}$$

式中: Q₃——用于庭院种养业的用水量; Q——典型的庭院多年平均集雨量; K₃——存储过程中年损耗系数, 据估算可为 10%; Q₁——每年生活用水量; Q₂——循环节水量。

可得出庭院种养业的剩余可用水量为: 190.2、199 和 207.8 m³。

2 庭院养殖业需水量分析

2.1 庭院需水量计算

庭院养殖业需水量应该包括大牲畜、羊、猪和禽等饮用水。按照一个典型的庭院经济单元计算, 即将调查户数的牲畜与户数的平均值作为标准(共 619 户, 大牲畜为 366 头, 羊为 5 193 只, 猪为 857 头, 家禽为 1 660 只), 得到标准值为平均每户大牲畜为 0.8 头, 羊为 8 只, 猪为 1 头, 家禽为 3 只。按照表 2 的畜禽饮水标准, 可得到在当地不同农村社会发展三种水平下的用水量, 见表 3。

由此, 我们可以得出一个基本的庭院养殖业的年需水量在高、中、低三种水平下分别为 38.04、31.66、25.73 m³。农户可以根据自己现有的旱井的数量、集雨量来确定合理的养殖数量, 以及不同畜种间的养殖比例。

表 2 牲畜饮水不同标准的需水量

建设标准	畜禽养殖用水/(L·d ⁻¹ ·只 ⁻¹)			
	大牲畜	羊	猪	禽
高	40	5	20	1
中	35	4	17.5	0.75
低	30	3	15	0.5

表 3 典型庭院养殖业的用水额计算

建设标准	畜禽养殖用水/(L·d ⁻¹ ·只 ⁻¹)				总需水量/(m ³ ·a ⁻¹)
	大牲畜	羊	猪	禽	
高	32	42	28	3	38.04
中	35	32	18	2	31.66
低	30	24	15	2	25.73

清洁用水则是指清扫畜圈、天气炎热牲畜降温用水等方面的。这样的用水根据各自的实际条件, 使用标准不同。

2.2 养殖业节水对策

(1) 实施小气候调控, 减少蒸发。在气候干燥的情况下, 应该建立避热的场所, 给牲畜一个凉爽的环境。这样, 可以防止牲畜大量体内水分蒸发而引起的需水量的增加。养殖设施中的温度、光照等环境小气候要素是影响牲畜需水量的关键环境因素, 夏季必须将其置于低温弱光照的环境下, 冬季注意保暖, 可防止水分的无效散失。

(2) 改进饮水设备, 防止浪费。在落后的农村, 普遍实行的是自由式的饮水, 牲畜在饮水中会浪费一些宝贵的水资源。在这样的情况下, 需要加强饮水设备的建设和管理, 实行定时定量供水。

(3) 分开饮水畜群, 防止争抢。畜群一起饮水, 会因为争

抢而倾洒饮用水。所以, 可将混乱的畜群分开各自放饮, 防止抢水过程的浪费。

(4) 经常清扫畜圈, 减少冲洗。养殖业需水中的牲畜饮水为生理需水, 必须予以保证, 主要是防止浪费。清洁用水为生态需水, 如能勤清扫可减少不必要的冲洗次数, 以节省总用水量。

3 庭院种植业需水量的分析

3.1 典型农户的种植业面积分析

按照庭院经济生态规划, 要确保一个农户有充足的蔬菜来源, 则需要至少建设一个小拱棚作为蔬菜生产地。小拱棚的建设面积为 30 m², 可以种植白菜、豆角、茄子等蔬菜。

庭院菜地用水灌溉方式和灌溉量, 如下表:

表 4 庭院菜地用水灌溉量

灌水次数(次)	灌水定额 / (m ³ · hm ⁻²)
8	180

另外, 还需要建设至少 667 m² 的大棚等经济作物用地, 用来增加农民的收入。主要作物为西瓜和小香瓜等经济作物。

表 5 西瓜集雨补灌制度表

水文年	补灌次数/ 次	总补灌定额/ (m ³ · hm ⁻²)
平水年	2	142. 5
干旱年	3	262. 5

3.2 庭院种植业用水量的分析

根据庭院种植业的种植面积和种植的种类, 可以分别计算出庭院种植业用水:

$$Q=\sum_{i=1}^iK_i\times S_i\tag{5}$$

式中: K_i ——不同作物的灌水定额量, m³; S_i ——不同作物的种植面积, hm²; i ——代表不同的作物种类。由此, 可以计算出庭院种植业的最大用水量(干旱年)和最小用水量(平水年): 18. 1 和 10. 1 m³。

4 庭院经济用水的优先序排列

庭院经济用水主要有人的生活用水、畜牧养殖业用水和种植业用水三个方面组成。对于庭院经济这个整体而言, 应参考文献:

[1] 赵松岭. 集水农业引论[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996.
[2] 赵松乔. 察北、察盟及锡盟——一个农牧过渡地区经济地理调查[J]. 地理学报, 1953, 19(1): 43- 60.
[3] 周立三, 等. 甘青农牧交错地区农业区划初步研究[M]. 北京: 科学出版社, 1955.
[4] 周廷儒, 张兰生, 等. 中国北方农牧交错带全新世环境演变及预测[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
[5] 程序. 农牧交错带研究中的现代生态学前沿问题[J]. 资源科学, 1999, 21(5): 1- 8.
[6] 马治国, 郑大玮, 段玉, 等. 黄土高原北部农牧交错带生态问题和农业可持续发展年[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 240- 242.

(上接第 234 页)

面, 另外由于水位的下降, 形成了一定的动水压力, 从而增大了坡体重力或下滑力。

参考文献:

[1] 周平根. 地下水与岩土介质相互作用的工程地质力学研究[J]. 地学前缘, 1996, 3(1- 2): 176.
[2] 仵彦卿. 地下水与地质灾害[J]. 地下空间, 1999, 19(4): 303- 309 .
[3] 王士天, 等. 大型水域水岩相互作用及其环境效应研究[J]. 地质灾害与环境保护, 1997, 8(1): 69- 88.
[4] Louis C. Rock hydraulics in rock mechanics[M]. New York: Verlay wien, 1974.
[5] 王媛. 单裂隙面渗流与应力的耦合特性[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(1): 83- 87.
[6] 陈平, 张有天. 裂隙岩体渗流与耦合分析[J]. 岩石力学与工程学报, 1994, 13(4): 299- 308.
[7] 徐则民, 杨立中. 渗流场与应力场相互关系研究中应注意的两个问题[J]. 矿物岩石, 1998, 18(1): 102- 107.
[8] 杨延毅. 裂隙岩体非线性流变性态与裂隙损伤扩展过程关系研究[J]. 工程力学, 1994, 11(2): 81- 90.