

丘陵区土壤水与天然降水综合利用技术及分析计算

乔暑晓, 乔光建

(河北省邢台水文水资源勘测局, 河北 邢台 054000)

摘要 通过对邢台市丘陵区降雨特性与作物需水量计算发现:天然降水时空分布集中,不能满足农作物全生育期生长需要,播种期和苗期是该区干旱季节,应采取人工措施,保证该时段供水。结合该区特点,利用土地自然坡度积蓄雨水,作为农作物播种定苗用水和灌溉补充水源,在苗期,利用地膜覆盖技术,减少土壤蒸发,保证作物苗期正常生长。土壤水与天然降水综合利用技术,为保证该区农业发展发挥了重要作用。

关键词 坡面集流,集雨工程,雨水利用技术,地膜覆盖技术,邢台市丘陵区

中图分类号 TV213.4 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2009)S1-0006-04

邢台市丘陵区面积 178.4 km²,海拔高程 100 ~ 150 m,主要土壤为褐土^[1]。受自然地理环境的影响,季节性干旱缺水突出,地表水和地下水开发利用难度大,水资源匮乏,水土流失严重,生态环境恶劣,水资源问题困扰当地农业生产的发展。

根据该区降水量集中的特点,在地头、路边建设小水窖、小水柜等微型集雨工程,将汛期的降雨径流积蓄起来,作为农业灌溉的补充用水,在播种后的苗期,利用地膜覆盖措施减少土壤无效蒸发,保证苗期墒情,在汛期,充分利用天然降水,满足作物生长需水。土壤水与天然降水综合利用技术,为保证该区农业发展发挥了重要作用。

1 作物需水量分析计算

作物需水量,从理论上讲,就是指在作物生育期内,土壤水分条件适宜、土壤肥力状态良好、农艺技术措施使用适当、作物能够充分发挥其生态生产力潜力的理想条件下的作物耗水量,即作物潜在耗水量或最大可能耗水量。作物需水量主要受气象因素的影响,此外也受植物、土壤因素,以及灌溉、排水和耕作栽培技术等人为措施因素的影响^[2]。

气候因素对作物需水量的综合影响可用潜在蒸发量来表示。目前常采用联合国粮农组织 1979 年修订的彭曼公式^[2]来分析计算潜在蒸发量。并以此为参数来反映气候条件对作物需水量的影响。作物的生物学特征(主要包括作物的种类、品种、生长发育节律等)及其生长发育状况对作物需水量的影响,一

般采用作物系数(K_c)来表征,因此,只要知道了潜在蒸发量和作物系数,即可用作物系数与潜在蒸发量的乘积计算出作物需水量。即:

$$E = K_c E_t \quad (1)$$

式中: E 为作物需水量,mm; K_c 为作物系数; E_t 为作物蒸发量,mm。

作物需水量在不同的地区和不同的生育阶段有所不同,要根据当地气象资料计算。作物需水量因地区和时间而有明显差异。在同一气候地带,干旱和半干旱地区的需水量又大于湿润和半湿润地区的需水量。同一种作物在不同水文年份和生长发育阶段,需水量也不同。北方地区现有的一年一季的农作物主要有春玉米、棉花、大豆、花生等,该类作物生长需水阶段正是降水充沛的季节。以下分别对邢台市丘陵区春玉米、棉花不同生育阶段需水量进行分析。

1.1 春玉米不同生育阶段需水量

玉米的生长期,发芽出苗期和苗期日需水量小,拔节后大大增加,抽穗开花期达到最高峰,抽穗前 10 d 和以后 20 d 左右的时期是玉米的需水临界期,到灌浆期仍需较多水分,腊熟期以后才显著减少。华北地区春玉米不同生育阶段需水量见表 1。

1.2 棉花不同生育阶段需水量

棉花的生长分为萌芽出苗、苗期、蕾期、花铃期和吐絮成熟期 5 个阶段。棉花生长历经春夏秋冬 4 个季节,春分到立冬 16 个节气。相对于其他农产品来讲,棉花生长期较长,受自然因素的影响较大。华北地区棉花不同阶段生育需水量见表 2。

表 1 华北地区春玉米不同生育阶段需水量

生育阶段	生育期时段	天数/ d	阶段 需水量/ ($m^3 \cdot hm^{-2}$)	日平均 需水量/ ($m^3 \cdot hm^{-2}$)	占全生育 期需水量 比例/%
播种~出苗	6月上旬	5	74	14.85	2.0
出苗~拔节	6月中旬~6月下旬	23	649	28.2	17.7
拔节~出穗	7月上旬~7月下旬	26	1127	43.35	30.8
出穗~灌浆	7月下旬~8月上旬	10	504	50.4	13.8
灌浆~腊熟	8月上旬~8月下旬	26	1151	44.25	31.4
腊熟~收割	9月上旬~9月上旬	11	158	14.4	4.3
全生育期		101	3663	32.57	100

表 2 华北地区棉花不同生育阶段需水量

生育阶段	生育期 时段	天数/ d	阶段 需水量/ ($m^3 \cdot km^{-2}$)	日平均 需水量/ ($m^3 \cdot km^{-2}$)	占全生育 期需水量 比例/%
幼苗期	4月中旬~ 6月上旬	50	615	12.3	12.2
现蕾期	6月上旬~ 7月上旬	30	738	24.6	14.7
开花 结铃期	7月中旬~ 8月下旬	45	2313	51.4	46.1
吐絮期	8月下旬~ 10月上旬	45	1125	25	22.4
收获期	10月上旬~ 11月上旬	32	230	7.2	4.6
合计		202	5021	24.9	100

2 山区降雨特性分析

2.1 降雨量时空分布

邢台市西部山区降水量具有年内非常集中的特点,全年降水量的 80% 左右集中在汛期(6~9月),而汛期降水量又主要集中在 7、8 两个月,甚至更短的时间内,多以暴雨的形式出现。特别是一些大水年份,降水量更加集中。如獐獏站 1963 年最大 7 天降水量 2050.8 mm,占全年降水量的 80.5%,最大 30 天降水量 2151.5 mm,占全年降水量的 84.4%。该区非汛期 8 个月降水量仅占全年降水量的 20% 左右,而非汛期又以 4、5、10 月所占比重较大^[3]。

邢台市山区降水量年际变化很大,且常有连续几年偏多或连续几年偏少的现象。以历年年降水量最大值与最小值之间的比值 K 来表示年际变化,根据西部山区各雨量站监测的年降雨量资料分析,各站极值比大都在 4.0 以上,其中,獐獏、侯家庄两个雨量站变化幅度最大,极值比分别为 9.4 和 9.2。

2.2 降雨量频率计算

对年降雨量系列进行频率计算,频率曲线采用皮尔逊 III 型曲线,频率计算采用适线法。对于变差系数 C_v 值的确定,在适线中对系列中出现的特大、特小值,一般不做处理,由于年降水量相对稳定,偏差系数 C_s 的取值一般用 C_v/C_s 值来反映。邢台市山区多年平均降水量 594.5 mm,其西部山区不同频

率年降水量计算成果见表 3。

表 3 邢台市西部山区年降水量频率计算成果

年平均 降水量/ mm	参数		不同频率年降水量/mm			
	C_v	C_v/C_s	20%	50%	75%	95%
594.5	0.45	3.5	778.8	529.1	398.3	297.3

2.3 降水量年内分配计算

邢台市西部山区不同保证率降水量年内分配统计见表 4。

表 4 邢台市西部山区降水量不同保证率年内分配成果

月份	降水量/mm		
	枯水年	平水年	丰水年
1	2.0	2.7	4.0
2	4.5	6.0	8.8
3	8.2	10.9	16.0
4	16.4	21.7	31.9
5	23.1	30.7	45.2
6	40.1	53.3	78.5
7	115.5	153.5	225.9
8	122.0	162.1	238.6
9	34.3	45.5	67.0
10	20.2	26.8	39.4
11	9.6	12.8	18.8
12	2.3	3.0	4.4
合计	398.3	529.1	778.8

由表 4 可见,该区年降水量非常集中,大部分雨水以径流形式流向下流。要充分利用雨水资源,只有把降雨集中时的雨水拦蓄,作为农作物需水季节的补充水源。

3 主要农作物天然降水供需平衡分析

在半干旱区,降雨是农业生产的主要水源,但降雨时空分布不均,作物的需水期常常和降雨期不一致。在丘陵地区,由于水资源短缺,土地贫瘠,农业生产种植一般为一年一收的玉米、谷子和棉花等作物。下面分析玉米、棉花生育阶段降水供需特征。

3.1 春玉米种植模式生长期降水供需特征分析

从春玉米不同生长阶段分析,春玉米苗期处于干旱少雨季节,降雨供需错位较为严重,以月为计算时段对天然降水与作物需水进行平衡计算。在平水年,只有在 6 月份缺水,该时段缺水为 24.1 mm,在以后生长阶段,降雨均能满足作物生长需水量。而在枯水年,春玉米在生长前期缺水达 74.3 mm,以后时段能满足作物生长需水量。表 5 为天然降雨条件下不同保证率降水情况春玉米生长缺水计算成果。

3.2 棉花各生育期降水供需特征分析^[4]

棉子发芽出苗与土壤水分状况关系密切。一般土壤水分为田间持水量的 70% 左右时,发芽率高,出苗快;若土壤水分为田间持水量的 45%,则发芽

表5 天然降雨条件下春玉米种生长
缺水计算成果 mm

月份	平水年			枯水年		
	降水量	作物需水量	作物生长缺水	降水量	作物需水量	作物生长缺水
1	2.4	0	0	2.0	0	0
2	5.4	0	0	4.5	0	0
3	9.9	0	0	8.2	0	0
4	19.6	0	0	16.3	0	0
5	27.8	0	0	23.0	0	0
6	48.2	72.3	-24.1	39.9	72.3	-32.4
7	138.8	137.9	0	114.9	137.9	-23
8	147.1	140.3	0	121.4	140.3	-18.9
9	41.0	15.8	0	34.1	15.8	0
10	24.3	0	0	20.1	0	0
11	11.6	0	0	9.6	0	0
12	2.7	0	0	2.3	0	0
合计	478.8	366.3	-24.1	379.0	366.3	-74.3

率低,出苗慢。该时期主要靠土壤墒情水分维持苗期正常生育。

适宜棉花根系生长的土壤水分为田间持水量的60%~70%,该时期降水不能满足作物生长需要,要适时进行补灌。

蕾期土壤湿度以保持田间持水量的60%~70%为宜,如果低于55%或高于80%,都会不利于棉株正常生育,影响增蕾保蕾。该时期降水量充沛,天然降水能满足作物需水。天然降雨条件下棉花生长缺水计算成果见表6。

表6 天然降雨条件下棉花生长缺水计算成果 mm

月份	平水年			枯水年		
	降水量	作物需水量	作物生长缺水	降水量	作物需水量	作物生长缺水
1	2.4	0	0	2.0	0	0
2	5.4	0	0	4.5	0	0
3	9.9	0	0	8.2	0	0
4	19.6	18.4	0	16.3	18.4	-2.1
5	27.8	38.1	-10.3	23.0	38.1	-15.1
6	48.2	68.9	-20.7	39.9	68.9	-29
7	138.8	148.6	-9.8	114.9	148.6	-33.7
8	147.1	145.0	0	121.4	145.0	-23.6
9	41.0	55.0	-14	34.1	55.0	-20.9
10	24.3	25.9	-1.6	20.1	25.9	-5.8
11	11.6	2.2	0	9.6	2.2	0
12	2.7	0	0	2.3	0	0
合计	478.8	502.1	-56.4	379.0	502.1	-130.2

4 坡地单位面积集水量和蓄水工程容量计算

在邢台丘陵区耕地坡度较大,一般在10°~15°,集流效率高。雨水积蓄工程适应土地零星分散、建造常规水利工程难以实现的地方。在干旱的丘陵区,集雨工程也可作为一种有效的补充灌溉措施^[5]。

4.1 年径流系数计算

根据《邢台市水文计算手册》中多年平均径流系

数等值线图,求得丘陵区天然状态下年径流系数。流域内年径流系数分布不均匀,采用加权平均计算,根据邢台市多年平均径流系数等值线图,该流域年径流系数可由下式计算:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{R_i + R_{i+1}}{2} \right) F_i}{F} \quad (2)$$

式中: R 为丘陵区流域多年平均径流系数; F 为丘陵区流域面积,km²; F_i 为两相邻等值线间的部分流域面积,km²; R_i 为等值线所代表的年径流系数值; n 为计算流域内等值线分割区个数。

通过计算得,丘陵区年降雨径流系数为0.25。

4.2 单位面积集水量计算

利用坡面汇集雨水蓄积在池塘,在作物需水关键期输送到附近农田。应选择或修成平整光滑的坡面以增大有效径流量。汇流坡面直接采用作物种植面,把汛期降雨产流收集起来,储存在水窖中。

在自然降雨条件下,自然集水面的径流产生过程十分复杂,与降雨量、降雨强度、雨型、前期土壤含水量、植被盖度和坡度等都有关系。根据对邢台市丘陵区降雨径流关系分析,采用年降雨径流系数作为坡面集流面集流效率计算,则单位面积集水量可用下式计算:

$$W_a = k\eta R_p M \quad (3)$$

式中: k 为单位换算系数; M 为集水面积,km²; R_p 为对应频率 P 的年降水量,mm; η 为山场集流面集流效率(径流系数); W_a 为天然降雨条件下单位面积年集水量,m³/hm²。

按照枯水年计算,年降水量为398.3mm,降雨径流系数采用0.25,则有效降雨为99.6mm。集水量为996m³/hm²。不同保证率降雨情况下集水量见表7。

表7 天然山场单位面积集水量计算结果

典型年	年降水量/ mm	集流效率	净水量/ mm	集水量/ (m ³ ·hm ⁻²)
$P=50\%$	529.1	0.25	132.3	1323
$P=75\%$	398.3	0.25	99.6	996

4.3 集水工程容积计算

为防止泥沙进入,应在蓄水工程前修建沉沙池,在水流入口处建拦污栅。蓄水工程的形式有水窖、水池、水罐等。

按照技术、经济合理的原则,确定蓄水工程的容积是集水工程建设的一个重要方面。影响蓄水容积的主要因素有地形、土质条件、用途要求、当地经济水平、技术能力等。蓄水设备的容积可按式计算^[2]:

$$V = \frac{KW}{1 - \alpha} \quad (4)$$

式中: V 为蓄水容积, m^3 ; W 为耕地面积可集水量, m^3 ; α 为蓄水工程蒸发、渗漏损失量,取 $0.05 \sim 0.1$; K 为容积系数,在半干旱区,灌溉供水工程取 $0.6 \sim 0.9$ 。

式(4)中的 W 按下式计算:

$$W_p = K_1 R_p F \quad (5)$$

式中: K_1 为单位换算系数; W_p 为计算的耕地面积内可集水量, m^3 。

储存系统是集水系统的一个有机组成部分,该区常用的蓄水设备有池塘、水窖等。蓄水设备的大小和位置的选择,需考虑集流、灌溉、地形等条件,即选择降雨后能形成地表径流且有一定集水面积的地方,而且选择在灌溉农田附近,引水、取水都比较方便的位置。

5 地膜覆盖节水技术

通常的地膜覆盖是在土壤表面设置一层非透气性的塑料薄膜,它最直接的功效就是阻碍土壤水分垂直蒸发和土外水分的垂直进入。迫使水分横向运移(向覆盖处移动)或放射性蒸发(向开孔处移动)。

在干旱区,在充分利用降雨资源的同时,结合地膜覆盖技术,可进一步达到节水的目的。由于薄膜的气密性强,地膜覆盖后能显著地减少土壤水分蒸发,使土壤湿度稳定,并能长期保持湿润。根据有关实验资料,采用地膜覆盖技术,节水效果一般达到 $30\% \sim 50\%$ [2]。在丘陵区,在充分利用天然降水的同时,采用集雨补灌和地膜覆盖技术相结合的农业用水模式,取得了良好的效果。

6 丘陵区土壤水与天然降水综合利用技术

根据上述分析,天然降水只有在汛期能满足农作物生长需水,其他时段均不能满足作物生长的需要,因此,应采取相应的措施,保证农作物生长需水。

利用蓄水工程保证农作物适时播种:利用坡面收集雨水,集雨技术简单易行,降雨集存系统工程投资小,工程完成后,可在不需要燃料和电力条件下提供水量,而且能适应各种复杂地形,蓄水工程规格因地制宜,便于施工和维护。丘陵区农作物播种定苗,是保证全年收成的关键,利用微型蓄水工程适时供水,保证农作物播种用水,为作物生长奠定基础。

利用地膜覆盖技术保证苗期作物生长:播种后,正是降水量较少的春季,降水量不能满足作物需水。通过表5、表6可知天然降水条件下作物缺水按平水年计算,春玉米在6~7月缺水 55.4mm ,棉花在4~7月缺水 69.6mm 。采用地膜覆盖技术,减少土壤蒸发,保证苗期作物的正常生长。由于苗期农作物需水量较小,根据多年种植实践,采用地膜覆盖技

术保墒能满足作物正常生长。

进入汛期后,正是作物需水量较大的时期,丰水年和平水年,天然降水完全能满足作物在该时段的需水。遇到伏天干旱年份,利用蓄水工程的蓄水,对农作物进行补充灌溉。对丘陵干旱区,在没有水源的情况下,充分利用天然降水,结合集雨补灌和地膜覆盖的节水技术,是解决该区农业发展的一项有效措施。

邢台市董家沟地处山前黄土丘陵地带,农业生产长期以来靠天吃饭。开展旱地坡面集雨工程和地膜覆盖技术相结合后,村里的旱地农业收成有了保障。2007年,这个村虽遭受了春季连续干旱无雨,在建有集水池的地方,耕地做到了适时灌溉和播种,结合地膜覆盖技术,粮食产量没有受到天气干旱的影响。因此土壤水与天然降水综合利用技术是丘陵区保持农业增产丰收的有效措施。

7 结 论

邢台市丘陵区地表水匮乏、地下水埋藏深,水资源开发利用困难,充分利用土壤水和天然降水,是该区农业发展的一项重要途径。

利用路旁、地边或耕地下方建设微型水利蓄水工程,拦蓄汛期降水径流,为次年作物播种、补灌提供水源,为解决丘陵区播种定苗提供水源。

在播种后的苗期,利用地膜覆盖技术,在干旱的春季起到保墒保水的作用,通过多年实践,地膜覆盖下的土壤水能满足该时段农作物正常生长。有效利用土壤水,是促进丘陵区农业发展的有效措施。

汛期降水量大,正是农作物需水量大的时期,可充分利用天然降水。同时收集坡面径流储存于蓄水工程之中,作为来年补充水源。

在半干旱农牧交错带的丘陵区,可利用有利地形聚集雨水,并结合地膜覆盖技术,充分利用土壤水和天然降水,满足农田的播种需求和补充灌溉,保证作物正常生长,促进农业发展。该模式也可为类似地区提供参考。

参考文献:

- [1] 乔光建. 区域水资源保护探索与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 186-193.
- [2] 崔毅. 农业节水灌溉技术及应用实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 181-206.
- [3] 张均玲, 乔光建. 山丘区塑料大棚集水节水栽培技术[J]. 水资源保护, 2008, 24(2): 92-94.
- [4] 乔光建. 北方地区雨水利用技术及分析计算[J]. 水文, 2008, 28(4): 57-60.
- [5] 李国正, 苏晓红, 简明凯, 等. 河北省“非常规水资源”现状、潜力分析及对策[J]. 水资源保护, 2005, 21(3): 58-60.

(收稿日期: 2008-10-15 编辑: 徐娟)