

# 黄土高原南部农田水量平衡分析研究

张孝中 韩仕峰 李玉山

(中国科学院  
水利部西北水土保持研究所)

## 提 要

本文依据长期田间实验资料,分析了黄土高原南部裸地及农田水量平衡特征,研究了不同水文年对其影响,得出在平水年年蒸散量与降水量呈平衡状态;在干旱年份年农田蒸散量远大于裸地,说明农田具较高的调节能力,有利于作物生长,干旱年作物影响到农田水量平衡的全过程。干旱年农田水量平衡值为负。台塬区作物(冬小麦)对农田水量平衡的强烈影响为3~5三个月;高原区为4~6三个月;与作物发育相一致。无论平水年还是丰水年,作物对年农田水量平衡值仅在作物旺盛生长时期有较大影响。高原区裸地、农田年蒸散量均高于台塬区,干旱年高原区农田蒸散量与平水年相等,说明高原区更利于作物的生长。

关键词: 农田蒸散量 农田水量平衡值

## 一、研究地区概况

黄土高原南部地势相对平坦,海拔高度为400~1400m,大部分地区为1000m左右。年降水量变化在550~700mm之间,降水的季节性分配差异明显,一年可划分为干、湿两个季节,其中7~11月为湿季,该季降水占全年的70%左右,其余月份为干季。此气候条件不利于秋播作物的生长,对春播作物生长有利。

该区农业土壤主要为瘠土和黑垆土,土壤颗粒组成以粉粒为主,占颗粒总量的70%以上,物理性粘粒含量为20%左右,为中壤质土壤,具有较高的蓄水库容,在田间持水量条件下,0~300cm土层含水量达720~860mm,可将全年降水纳蓄起来,其中有效水为470~630mm,可以满足一季作物对水分的需要量。本区土壤具有很强的入渗能力,稳定入渗速率达1.35~12mm/min,第一分钟末的入渗速率为45mm/min左右,降水一般不产流。

## 二、农田水量平衡

### (一) 影响农田水量平衡的要素分析

农田水量平衡包含两个部分:一是水分收入部分,另一部分是水分支出。水分收入包括三项:降水、灌溉和地下水补给。支出部分为:土壤蒸发、作物蒸腾、地表径流和深层渗漏。农田水量平衡计算公式可用下式表示:

$$\Delta G = P + I + R - N - F - (E_p + E_s)$$

式中:  $\Delta G$ —农田水量平衡值;  $P$ —降水量;  $I$ —灌水量;  $R$ —地下水补给量;  $N$ —地表径

流量； $F$ —深层渗漏量； $E_p$ —作物蒸腾量； $E_s$ —土壤蒸发量。

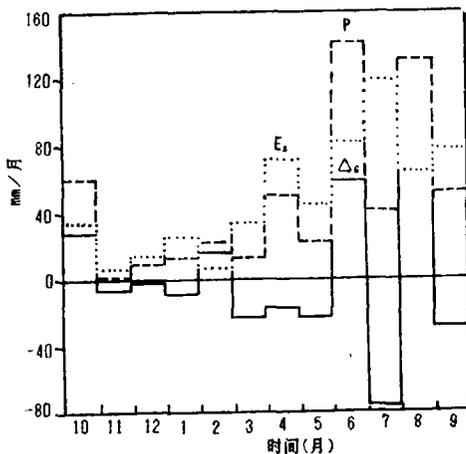
黄土高原南部大部为旱地，无灌水条件；又因该区地下水埋藏相对较深，多在100m以下，降水为该区农田水分的唯一给源。同时由于该区地势相对平坦和土壤具有很强的入渗能力，地表径流量可略去不计。据研究该区农田降水渗透为200cm左右，与计算层相一致，故深层渗漏可略去不计。土壤蒸发和作物蒸腾一般不易区分开来，二者可合称为蒸散。这样该区农田水分损失仅通过蒸散。其农田水分平衡方程可简化为：

$$\Delta G = P - (E_p + E_s)$$

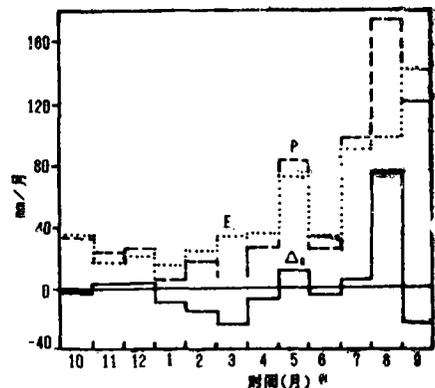
## (二) 农田水量平衡特征

1. 裸地水量平衡。(1) 年内水量平衡。为了分析种植作物田块的水量平衡，以裸地作为对照。裸地因其地面无植物生长，故土壤蒸发是水分损失的唯一途径。黄土高原南部根据其海拔高度可以分为两个不同地类：一、台塬区，海拔高度低于1000m，干燥度大于1.50，气候比较干旱；二、高原区，海拔高度大于1000m，干燥度低于1.50，降水量高于台塬区，气候相对较湿润。

图1为黄土高原南部台塬（澄城）裸地水量平衡。从图中可以看出，土壤蒸发量在一年中7月份最高，可达117.6mm，6月份次之为92.5mm；4月份土壤蒸发量也相对较高，主要是开春气温回升，同时土壤湿度较高所致。11、12、1、2四个月最低为5.8~21.8mm，土壤蒸



---降水量 .....蒸发量 ——水分平衡值  
图1 南部台塬（澄城）裸地水量平衡



---降水量 .....蒸发量 ——水分平衡值  
图2 南部高原（洛川）裸地水量平衡

发量的高低与降水一般同步。水量平衡值一年中大部分月份为负值，说明大部分月份裸地水分处于亏缺状态，最大亏缺量可达76.6mm。在降水量大于土壤蒸发量的月份，其水量平衡值为正值，表明裸地水分有盈余，其中8月份高达69.2mm。从全年情况来看，土壤蒸发量为572.2mm，降水量为552.1mm，土壤蒸发量同降水量接近，裸地水分收支变化全年大致平衡。

南部高原区（洛川）裸地水量平衡如图2所示。土壤蒸发一年中7、8、9三个月较高，因该段气候为高温，高湿，土壤蒸发最高值可达144.5mm，土壤蒸发的最低值时段与台塬区一致，也是11、12、1、2四个月，因该时段是一年中的最冷季，四个月降水量占不到全年降水的10%。水量平衡值8月份最高，为75.4mm，说明该月裸地水分有较大盈余。1~4月为负值，表明该时段裸地水分一直处于亏缺状态。全年总的看，土壤蒸发总量为637.6mm，降水量627.2mm，二者基本接近，一年内的裸地水分大致处于收、支平衡状态。

从以上情况看台塬区和高原区裸地水量平衡有相同之处,也有不同之处。相同之处为:①土壤蒸发量的大小与气候状况相一致,高温高湿期也是土壤蒸发的高峰期,否则相反;②年降水量与年总蒸发量大致相等,即裸地水分处于平衡状态。不同之处:①台塬区土壤蒸发高峰期较高原区提前一个月。②高原区较台塬区土壤蒸发量高,洛川年土壤蒸发量较澄城高出65.4mm。

(2) 不同水文年裸地水量平衡。黄土高原南部台塬区在干旱年土壤蒸发量相对较低,全年仅为435.1mm,除冬季外其它月份蒸发量相差不大,最高月份仅为71.0mm,年蒸发量高于降水量。裸地水量平衡值一年中有8个月为负值,几乎全年处于亏缺状态,年水量平衡值为

表1 南部台塬区(澄城)不同水文年裸地水量平衡比较

水文年	项目	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	全年
		(mm)												
干旱年 1985~1986年	P	85.0	0.0	0.0	4.8	2.8	16.6	19.0	22.0	45.9	32.3	32.8	52.2	363.4
	Es	16.4	39.6	3.0	18.0	29.2	29.8	42.8	47.1	71.0	53.5	53.9	25.8	435.1
	ΔG	68.6	-39.6	-3.0	-13.2	-26.4	-13.2	-23.8	-25.1	-25.1	23.8	-21.1	26.4	-71.7
平水年 1988~1989年	P	58.9	0.0	9.3	12.5	21.7	10.9	52.2	21.4	140.6	41.0	131.2	52.4	552.1
	Es	32.1	5.9	12.6	21.8	5.8	34.7	70.7	45.1	82.5	117.6	62.0	81.4	572.2
	ΔG	26.8	-5.9	-3.3	-9.3	15.9	-23.8	-18.5	-23.7	58.1	-76.6	69.2	-29.0	-20.1
丰水年 1987~1988年	P	42.1	21.4	0.0	0.1	10.0	40.0	24.8	41.1	90.1	229.8	165.0	28.2	712.6
	Es	20.8	16.1	10.6	2.7	10.0	34.7	43.3	64.9	87.5	159.1	150.7	33.5	644.2
	ΔG	21.3	5.3	-10.6	-2.6	0.0	5.3	-18.5	-23.8	2.6	60.7	34.3	-5.3	68.4

-71.7mm,说明在干旱年份裸地水量平衡支出量大于收入量。丰水年的情况与干旱年相反,年内各月水量平衡值有一半以上为正值,年土壤蒸发量远低于年降水量,年水量平衡值为正值,总量高达68.4mm,裸地水分有较多盈余。从不同水文年比较来看,土壤蒸发量丰水年大于平水年,而平水年又高于干旱年,年土壤蒸发量与年降水量成正相关。

黄土高原南部高原区不同水文年裸地水量平衡与台塬区有一致趋势。干旱年份的水量平衡值除7、8、9三个月外均为负值,年土壤蒸发量远较降水量高,年水量平衡值为-57.2mm,丰水年虽然年内有9个月水量平衡值为负值,但由于5~9月水量平衡值,达80mm以上,年水量平衡值仍呈正值,且高达75.4mm。与台塬区相比,不同水文年土壤蒸发量均较台塬高。

2. 农田水量平衡。(1) 年内农田水量平衡。农田水量平衡和裸地相比有所不同,农田水分的损失途径,不仅通过土壤蒸发,而且还通过作物蒸腾。

黄土高原南部农田水量平衡如表3所示,一般来说作物生长期农田蒸散量高于裸地,特别是作物旺盛生长阶段,台塬区3、4、5三个月,最高4月份可达97.1mm;高原区为4、5、6三个月,较台塬区向后推迟一个月,最高5月份可达134.22mm,也较台塬区推后一个月,故农田蒸散与作物生长同步。无论台塬区还是高原区7、8、9三个月的农田水量平衡值均高于裸地,

表2 南部高原区(洛川)不同水文年裸地水量平衡比较

水文年	项目	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	全年
		(mm)												
干旱年 1981~1982	P	17.3	17.6	0.1	0.9	8.6	29.2	19.2	21.8	71.7	115.7	162.0	52.2	516.3
	Es	58.9	35.8	10.5	11.3	19.0	31.8	68.6	115.4	89.9	42.9	50.2	39.2	573.5
	$\Delta G$	-41.6	-18.2	-10.4	-10.4	-10.4	-2.2	-49.4	-93.6	-18.2	72.8	111.8	13.0	-57.2
平水年 1984~1985	P	34.8	21.1	22.9	4.8	9.1	7.2	25.4	82.2	28.2	97.6	172.8	121.1	627.2
	Es	34.8	18.5	20.3	15.2	23.7	32.0	33.2	71.6	33.4	92.4	97.4	144.5	537.6
	$\Delta G$	0.0	2.6	2.6	-10.4	-15.6	-23.8	-7.8	10.6	-5.2	5.2	75.4	-23.4	10.4
丰水年 1982~1983	P	22.1	26.4	0.0	19.0	1.3	25.6	53.8	142.5	97.6	128.3	91.2	135.7	743.5
	Es	22.1	29.0	13.0	21.6	3.9	38.6	61.6	59.3	123.6	149.3	96.4	49.9	668.1
	$\Delta G$	0.0	-2.6	-13.0	-2.6	-2.6	-13.0	-7.8	83.2	-26.0	-21.1	-5.2	85.9	75.4

表3 黄土高原南部农田(小麦)水量平衡比较

地区	项目	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	全年
		(mm)												
台塬 (澄城) 1983 1989	P	58.9	0.0	9.3	12.5	21.7	10.9	52.2	21.4	140.6	41.0	131.2	52.4	552.1
	Ep + Es	16.7	10.6	9.3	20.4	21.7	58.4	97.1	65.3	82.5	78.0	33.8	47.1	546.8
	$\Delta G$	42.2	-10.6	0.0	-7.9	0.0	-47.5	-44.9	-44.9	58.1	-37.0	92.4	5.3	5.3
高原 (洛川) 1984 1985	P	34.8	21.1	22.9	4.8	9.1	7.2	25.4	82.2	28.2	97.6	172.8	121.1	627.2
	Ep + Es	86.8	23.7	22.9	12.6	16.9	30.6	82.6	134.2	54.2	43.0	94.8	40.5	642.8
	$\Delta G$	-52.0	-2.6	0.0	-7.8	-7.8	-23.4	-57.2	-52.0	-26.0	54.6	78.0	80.6	-15.6

其中台塬区最高值达92.4mm, 高原区该值均为正值远高于其它月份, 该时段农田水分比裸地得到较多补偿。在作物旺盛生长时段的农田水量平衡值低于裸地, 此时农田水分主要用于作物蒸腾, 是农田水分支出的高峰期, 农田水分亏缺较大。台塬区与高原区相比较, 年农田蒸散量前者低于后者。从年内总农田水量平衡值看, 无论台塬区或高原区, 农田水分收支大致平衡, 即年降水量约等于年农田蒸散量。

(2) 不同水文年农田水量平衡比较。不同水文年农田水量平衡情况如图3和图4所示, 与裸地有相同趋势, 即无论是台塬或高原区, 干旱年的农田蒸散量均大于年降水量, 年农田水量平衡值是负值。而且干旱年农田水量平衡值远较裸地为低, 其中台塬区低73.6mm, 高原区低166.4mm。在干旱年内台塬和高原区农田较裸地水分有较大亏缺, 有9个月农田水量平衡值均

低于零，此时段恰是秋播作物的生育期，对作物生长不利。干旱年农田蒸散量与平水年相当，台塬区略低，低出38.1mm，而高原区二者几乎相等，相差仅0.3mm，表明在干旱年农田水分具有良好的调节能力，使作物生长不致受较大影响。

丰水年农田蒸散量较平水年和干旱年为高，与裸地相近，年水量平衡值为正值，农田水分有所盈余。其中台塬区6、7、8三个月的农田水量平衡值较高；高原区为7、8、9三个月，在这一阶段，农田水分得到补偿。

### 三、结论

从以上分析可以得出以下几点结论：

(一) 平水年裸地和农田的水分收支基本平衡，即年降水量与年蒸散量大致相等。作物对农田水量平衡的影响仅发生在作物旺盛生长时期，台塬区为3、4、5三个月，高原区为4、5、6三个月，高原区作物（冬小麦）较台塬区推迟一个月，此阶段农田水量平衡值明显低于裸地，均为负值，是农田水分的亏缺高峰期。无论台塬区或高原区7、8、9月农田水量平衡值均高于裸地，此时期

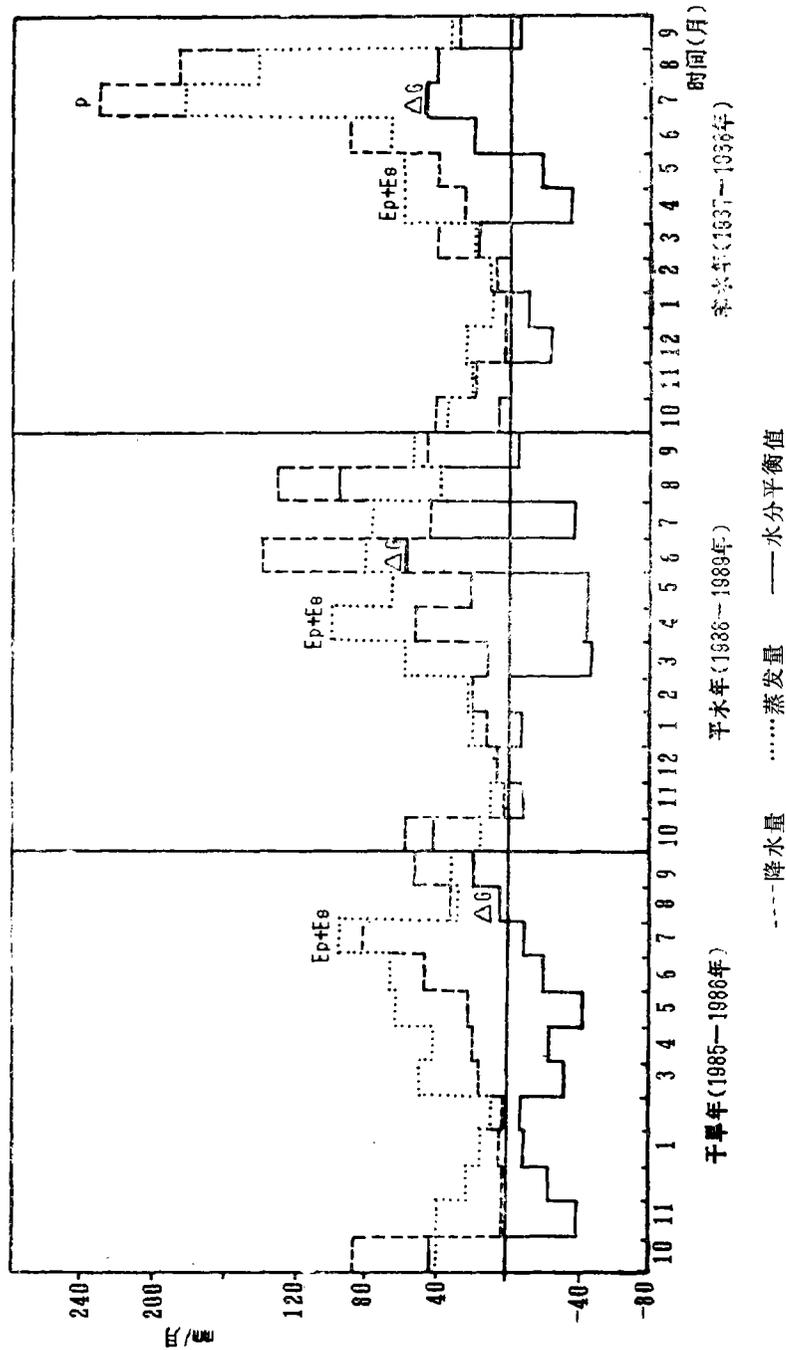


图3 黄土高原南部台塬(澄城)农田水量平衡

是农田水分的恢复补偿期。平水年年农田水量平衡值不受作物影响。

(二) 干旱年冬小麦田水量平衡值远较裸地为低, 台塬区低73.6mm, 高原区低166.4mm, 农田水分有较大亏缺, 且农田水量平衡值的低峰期正好处于秋播作物的生育期, 对作物生长不利。干旱年与平水年农田蒸散量相差不大, 其中高原区接近, 说明黄土高原南部土壤对农田水分具有良好的调节能力, 特别是高原区, ——作物生长不受太大的影响。干旱年农田蒸散量远高于降水量。这说明作物在干旱年不仅在其生长阶段对农田水量平衡有较大影响, 而且影响农田水量平衡的全过程。

(三) 丰水年无论裸地和农田的水量平衡值均大于零, 即年蒸散量低于年降水量, 裸地和农田接近, 说明年农田水量平衡值不受作物制约, 作物影响仅发生在其旺盛生长阶段。丰水年农田蒸散量一般高于平水年, 而平水年则高于干旱年(洛川干旱年例外)。

(四) 高原区裸地或农田蒸散量无论什么年型均高于台塬区, 表明高原区农田水分比台塬区有较高储量, 在干旱年份具有较高的调节能力, 对作物生长有利。黄土高原南部, 旱地农业水分的研究重点应在台塬地区。

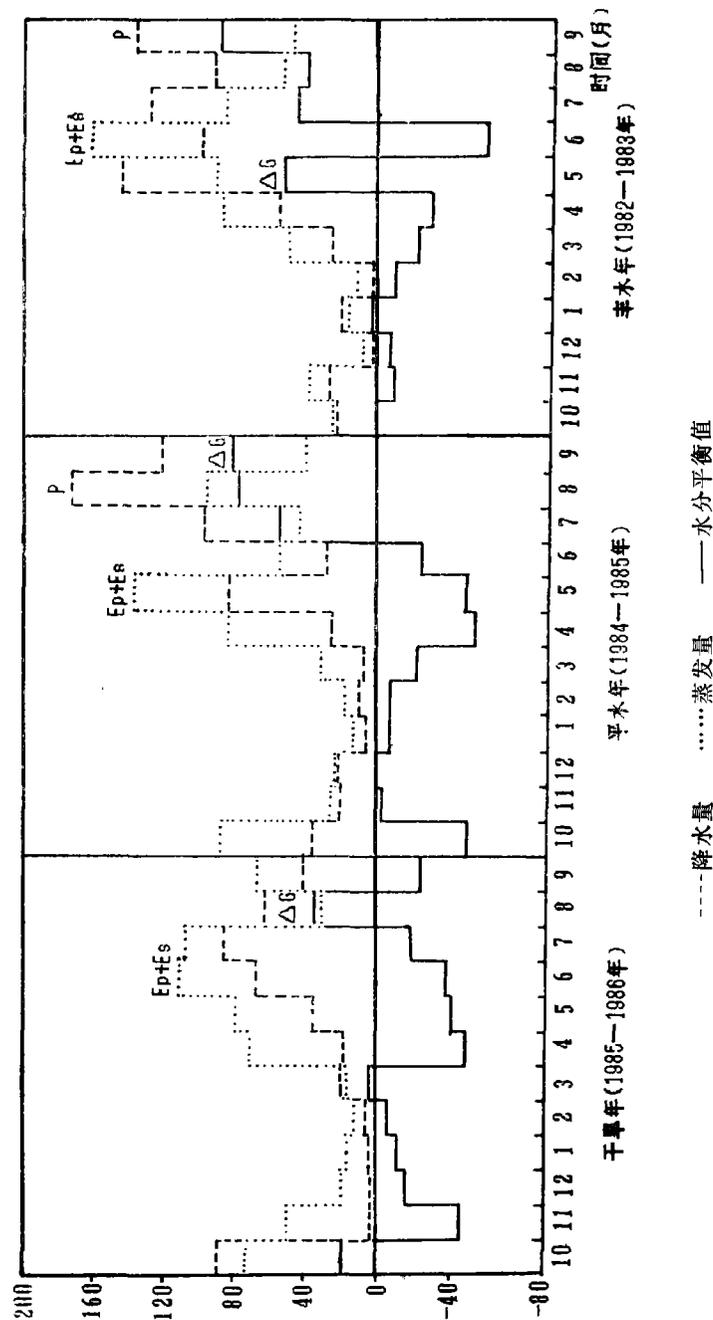


图4 黄土高原南部高塬农田(冬小麦)水量平衡