

资:180

淮河流域河南省黄淮平原

主要旱作物需水量分析及灌溉定额拟定

河南省科学院地理研究所
水电部淮委规划设计院

一九八三年十一月

前 言

根据水电部下达的“水资源合理利用与供需平衡”科研项目，淮委规划设计院负责淮河流域及山东沿海诸河流域片该项目的研究，其中“主要旱作物需水量分析及灌溉制度拟定”课题，经淮委规划设计院与河南省科学院地理研究所商定，由地理所负责並技术指导，淮委规划设计院水资源室派员参加。

从今年七月开始，为了摸索经验，首先以淮河流域河南省黄淮平原部分为试点，对该区主要旱作物需水量进行了分析，並对该区灌溉制度进行了拟定，至十一月已完成科研报告，提交了阶段成果。

作物需水量分析，主要是研究各种作物灌溉及正个灌区灌溉所需要的水量，这方面的研究成果和资料，对于水资源合理利用与供需平衡的研究，以及对于灌溉工作的管理，都是必不可少的基本资料 and 依据。

由于作物需水量分析是个相当复杂的问题，所以大面积作物需水量的研究，多采用估算的方法。为此，我们通过对彭曼法、布一克法、饱和差法，以及蒸发皿法四种方法的计算比较、误差评定，选出了彭曼法作为我们研究地区的大面积作物需水量的适宜估算方

法。根据该方法及收集到的试验和气象资料，我们对正个研究地区的小麦、玉米、棉花三种作物，分别估算了它们的多年平均、中等年份（ $P=50\%$ ）、干旱年份（ $P=75\%$ ）的作物需水量数值，並作出了相应的作物需水量等值线图及灌溉分区图。

灌溉制度的拟定，我们是分区选择代表站，以各站不同作物、不同频率的作物需水量及降雨量资料和水量平衡计算的成果为依据，分区拟定小麦、玉米、棉花不同保证率的灌水次数和灌溉定额。

作物需水量分析和灌溉制度的拟定，要考虑许多复杂的因素，如作物生态、气象水文、土壤质地、水量和能量平衡等多种变量。目前，国内外不少学者，采用多种方法，正在对该问题进行探索和研究。由于我们掌握的情况有限，尤感实测资料不足，再加上时间仓促，水平有限，报告中不当之处，敬盼批评指正。

本课题由地理所张焕礼负责，淮委邹维贤、地理所刘绪震、淮委翟宗正、吴~~彦~~东、储德义参加。本报告由张焕礼、邹维贤编写，张焕礼执笔，刘绪震补充修改。该课题，河南地理所及淮委规划设计院领导十分重视，淮委水资源室向茂森主任关心指导。在制定本课题工作大纲过程中，武汉水利学院~~舒~~智付教授和中国农科院农田灌溉研究所陈玉民助研给予很大帮助。报告完成后，受单位委托，淮委翟宗正工程师，地理所王文楷付研究员以及阎占元、席荣~~功~~助理研究员审定，提出不少宝贵意见，在此一并致谢。

一、河南黄淮平原自然条件和作物种植概况

河南省黄淮平原包括豫东平原和淮北平原，位于东经 $113^{\circ}08'02''$ 至 $116^{\circ}38'48''$ 北纬 $32^{\circ}13'42''$ 至 $35^{\circ}00'21''$ 处于黄淮海平原西南部，东邻山东、安徽省，西以海拔 100 米等高线（大致以京广铁路线）为界，南自淮河北至黄河为界，包括周口、商丘、许昌、驻马店、信阳、郑州市、开封市五地二市 54 个县市的全部或部分，土地面积 50400 平方公里，占全省面积的 30.2%；耕地 4720 万亩，占全省耕地 44%；人口 2832 万人，占全省人口 40%，属南暖温带半湿润大陆性气候受季风影响，年平均气温 13—15 度之间，年平均积温 4500—4900 度，全年日照 2100—2600 小时，无霜期 210—220 天，平均年降雨量 650—1000 毫米，汛期占全年降雨量 60—70%，年平均水面蒸发 1200—1400 毫米。地貌类型颍河以北为黄河冲积平原，颍河以南为淮河冲积平原和湖积平原，冲积平原微地形波浪起伏。土壤质地为沙壤土和轻沙壤土及沙姜黑土等，河流属淮河流域，主要水系和河流有沙颍河、洪汝河、涡惠河包公河、沱河、淮北坡水河道和南四湖水系等，汛期四个月的径流量约占全年径流量的 70% 以上，一些中小河流非汛期经常断流，天然地表径流量利用率很低，目前各

种水源均受不同程度的污染，有效灌溉面积2690万亩，占总耕地面积的57%，农业生产在这个地区发展很不平衡，一些易旱易涝地区旱涝交错生产不稳。

作物种植制度，本区以种植旱作物为主，沿黄河引黄灌区，由于近年来引黄淤灌稻改，放淤改土以旱田改水田发展稻麦轮作一年两熟种植。其余黄淮平原种植制度均以一年两熟为主，少量为两年三熟。旱作物一年两熟前作以小麦为主，后作以玉米为主，所以对小麦和玉米一年两熟作物，分别对小麦，玉米进行需水量分析并制定灌溉制度，经济作物中棉花占主要地位故以棉花为代表进行分析。

二、作物需水量及有关术语的说明

由于作物需水量及有关术语目前很不统一，同样的术语在不同的文献中含意有区别，同样的意思在不同场合又用不同的术语，有必要对本课题使用的一些术语的含义加以说明，作物需水量：按照联合国粮农组织出版的教材——美国人J·Doorenbos和W·O·Pruitt合著《作物需水量计算与运用指南》（1977年初版）一书的说法：作物需水量，在一定的生长环境条件下，供应作物腾发损失所需的水分，以深度计，此作物系生长在大田之中，无病虫害现象，土壤水分和肥料不受限制，能够达到高产。“可以理解为

高产稳产农田中的作物腾发量，加上随之而来的田间土壤蒸发量，简称作物腾发量，用 ET_c 表示。

参考作物需水量，即参考作物潜在腾发量，它是“一种开阔草地的腾发量，此草地系由高为8—15厘米高矮均匀，生长正常以青草完全复盖著而且不缺水分，”用 ET_0 表示。

作物系数，是“作物腾发量(ET_c)与参考作物腾发量(ET_0)的比值，用 K_c 表示， K_c 随作物类别，生育阶段，及气候条件而变，主要反映作物的需水生物学特征。

有效降水量，采用美国土木工程师学会灌溉需水量委员会主席马文·詹森，在《耗水量与灌溉需水量》一书中的说法：“有效降水量为留在叶上或渗入到土壤中可用于蒸发蒸腾量，从而减少相应数量土壤水分损失的那部分降水量”，数值上等于降水量减去地表径流量和深层渗漏量。

地下水利用量，指地下潜水通过土层的毛管作用，升到作物根系活动层，能为作物吸收利用，或棵间蒸发，从而减少相应数量土壤水分损失的那部分水量，也就是通常说的潜水蒸发量。

三、作物需水量估算方法的选择

作物需水量可以通过实测资料求得，不过由于作物腾发量过程，是大气——作物——土壤——地下水这个复杂系统的产物，影响因

素很多，观测比较困难，在少数地点取得准确的、完整的资料就不容易，在大面积取得这种资料更为困难，即便在点上取得比较可靠的资料，直接用用水资源合理利用或规划设计也不可能满足要求，因为规划设计需要的条件，某种保证率，某种产量水平地区等，与实测条件地点并不一致，只有通过作物需水量分析，把试验地点的资料概化到大区，找出时空变化规律，才能推算设计情况下的需水量数值。

推算作物需水量的方法很多，大致可分为六类：

(1) 复合法：以蒸发过程中能量转换和空气动力学理论为基础，建立数学模型，推导出计算公式。(彭曼法为代表)

(2) 湿度法：以水气扩散理论为基础，建立蒸发量与空气湿度指标间的关系(如饱和差等)

(3) 辐射法：以辐射平衡为基础建立公式。

(4) 蒸发皿法：把水面蒸发作为气象条件的综合指标，把农田蒸发过程与水面蒸发过程做比拟，建立经验相关。

(5) 温度法：以温度为主要指标建立经验关系，(如布一克法)。

(6) 混合法：如索思韦特法。

选择计算方法的原则有四条：(1)本区有条件使用，(2)不仅可计算作物全生育期的需水量，还可以计算逐月的需水量，(3)

精度比较高，(4)有较好的理论基础，有较广泛的适应性，能推广到全淮河流域以至更广的区域，以便于交流和协调。

淮河流域以河南省平原，是这段研究成果的对象，本区灌溉试验站，水文试验站等，有实测作物需水量资料的只有搬口站一处，外围邻近地区只有引黄人民胜利渠试验站（忠义站）白沙灌渠试验站和徐州市农业试验站，这些站资料一般只有2—3年，忠义站虽年数达十多年，但所测数值，为不同灌溉次数的田间耗水量，产量水平有高有低，若按定义，用小麦700斤以上，夏玉米用单产500斤以上，棉花单产150斤以上为高产标准，则附合条件的只有5年，其中一年缺乏相应的气象资料，不能计算 ET_0 只能用四年的资料，所以本地区加上外围站只14个站年的资料。考虑上述原则和本区情况，我们选用四种方法进行精度比较：即彭曼法，布—克法，奥斯特罗米契法和蒸发皿法。

衡量某种方法的精度，我们用四个指标，因为用：绝对误差，相对误差，最大误差，均方差其中之一都有缺点，指标多点选优更可靠。

四种计算方法计算的都是参考作物腾发量 ET_0 ，按道理应用实测 ET_0 来求误差，但是没有实测 ET_0 资料，国内也难找到这种资料，一是参照文献中外比较成果参考应用，二是用 ET_c 实测值与 ET_0 的差值进行误差计算比较优选，把 ET_c 作为一个指标。

美国怀俄明大学农业工程系教授伯曼 (Robert D. Berman)。
 选用世界各不同自然环境条件下有几十年资料的十个地点对比了五
 类计算方法 16 个公式的误差摘录如下表。

估算的生长季 ETo 的相对误差情况表

(一)

地 点	彭曼法	布一克法	奥斯特罗米契法		平 均
	13	-25	7		-11
	6	-15	128		5
	30	35	-7		15
	-11	-19	-2		-18
	20	-26	54		3
	-14	-44	-4		-30
	30	-23	29		7
	-13	-18	22		-7
	19	- 5	35		3
	13	-46	11		-10
平均%	9	-19	27		- 4

估算的和实测的月平均 ET_0 的均方差表

(二)

地 点	彭曼法	布一克法	奥斯特罗米契法		所有方法
	0.53	1.16	0.58		1.14
	0.87	1.41	7.65		2.60
	0.57	0.77	0.30		0.91
	0.51	0.64	0.63		1.06
	0.77	1.10	2.37		1.08
	0.95	2.85	1.23		2.22
	0.90	0.77	1.65		1.00
	1.04	1.44	1.48		1.56
	0.59	0.47	0.95		1.02
	0.77	1.90	0.93		1.12
所有地点	0.77	1.29	2.88		1.48

本区和邻近地区四个站计算的多月 ET_0 和实测 ET_c 的比较各种误差指标情况如下表(三)。

估算的和实测的月平均 ETC 的相对误差均方差表

(二)

年 份	站 名 误 差 类	徐州站		搬口站		忠义站		白沙站	
		相对 误差%	均方 差	相对 误差%	均方 差	相对 误差%	均方 差	相 对 误差 %	均方 差
79	粮田			12.8	25.36	4.7	6.94	34.3	31.33
	棉田			8.1	14.70	25.6	12.75		
80	粮田			2.5	9.05	23.1	26.54	29.5	31.97
	棉田			6.0	9.90	12.4	9.31		
81	粮田	9.4	17.75	15.9	23.56	0.6	12.82	39.0	23.03
	棉田			3.6	13.23	2.4	5.90		
82	粮田	6.7	17.0			14.1	25.00		
	棉田					4.9	4.86		
83	粮田							15.8	17.46
	棉田								
合 计		16.1	34.8	48.9	95.8	87.8	104.1	118.6	103.8
平 均		8.1	17.4	8.2	16.0	11.0	13.0	29.7	26.0

从表(一)和表(二)资料可以看出彭曼方法最优, 因为它的理论基础比较完善, 适应性广误差小, 中央气象局已决定全国各省都用彭曼法计算蒸发率即最大可能蒸发量, 以此方法为基础便于应用和协调。

彭曼方法在本区使用的精度如何，目前还难以确切回答我们用彭曼方法计算了四个站 14 个站年逐月的月数值乘以作物系数后，得各月作物需水量计算值与实测值比较如下表：

站 名	各年逐月均方差值		各年逐月相对误差 %	
	误差幅度	平均	误差幅度	平 均
徐州	17.0—17.8	17.4	6.7—9.4	8.1
搬口	9.1—32.6	16.0	2.5—15.9	8.2
忠义	4.8—26.5	13.0	0.6—25.6	11.0
白沙	17.4—31.9	26.0	15.8—39.0	29.7

四、用彭曼法估算黄淮平原主要旱作物需水量

计算方法和步骤：

1. 计算参考作物腾发量

用本区内和区外邻近站 55 个站共 1100 个站年气象资料，为了便于使用气象资料，以每月为一个时段，用各时段的气象资料按月平均日值，用电算计算每个时段（月）的 E_{To} 。

2. 确定作物系数（ K_c ）值

确定黄淮平原主要旱作物 K_c 值的方法是，对忠义、搬口、白沙、徐州四个站通过实测资料分析确定的单站 K_c 值，进行综合确定黄

淮平原区的区域 K_c 值，分别按月求出小麦、玉米、棉花三种作物生育期各阶段（月） K_c 值，如表（四）。

3、计算黄淮平原区作物需水量

根据各站点的 ET_0 和 K_c 值分别计算小麦、玉米、棉花多年平均，不同保证率 $P=50\%$ ， $P=75\%$ 作物需水量。表五、表六、表七、表八、表九、表十。

4、绘制小麦、玉米、棉花三种作物多年平均，保证率 $P=50\%$ $P=75\%$ 等值线图〔（1）至图（9）〕

根据分析计算成果和等值线图。作物需水量的分布规律，小麦需水量自南向北递增多年平均需水量 360—410 毫米， $P=50\%$ 360—410 毫米， $P=75\%$ ，390—450 毫米，玉米需水量全区差别很小，多年平均需水量 410—420 毫米， $P=50\%$ 410—420 毫米， $P=75\%$ 440—450 毫米，棉花需水量分布自南向北递增，多年平均需水量 600—630 毫米， $P=50\%$ 590—620 毫米， $P=75\%$ 640—670 毫米。

5、作物需水量成果评价

根据沈阳农学院编的“农田水利学”一书公布的作物需水量在各地区的数值，旱作物需水量在华北、华中地区的情况是：

小麦需水量 在华北、华中地区的范围，干旱年 250—
~ 12 ~

各站作物系数(Kc)值表 (四)

站名	月 品种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全生育期
忠义	小麦	0.44	0.32	0.66	1.31	1.05					0.60	0.81	0.76	0.86
	玉米						0.23	1.06	1.41	0.80				0.80
	棉花				0.60	0.33	0.31	0.72	0.90	0.60	0.87	1.69		0.61
搬口	小麦	1.35	1.03	1.29	1.49	1.63					0.79	1.68	1.64	1.40
	玉米						0.90	0.75	0.69	0.66				0.77
	棉花				0.71	0.51	0.74	1.24	1.41	1.37	1.10	1.39		0.98
白沙	小麦	0.58	0.53	0.91	0.79	0.68					0.58	0.41	0.45	0.61
	玉米						0.46	0.97	0.97	0.80				0.83
徐州	小麦	0.28	0.46	0.85	1.34	1.03						0.86	1.18	0.98
综合	小麦	0.56	0.64	0.97	1.17	1.15					0.70	0.73	0.65	
	玉米						0.53	0.89	1.09	0.88				
	棉花				0.53	0.47	0.61	0.81	1.13	1.11	1.00	0.84		

500 ($\text{m}^3/\text{亩}$)，中等年200—400 ($\text{m}^3/\text{亩}$)。

玉米需水量：干旱年250—300 ($\text{m}^3/\text{亩}$)，中等年200—250 ($\text{m}^3/\text{亩}$)。

棉花需水量：干旱年350—500 ($\text{m}^3/\text{亩}$)，中等年300—450 ($\text{m}^3/\text{亩}$)。如果以此数据作为比较指标，在黄淮平原的需水量分析成果都在公布的需水量范围以内，同时这次分析计算都是根据试验资料分析的，也附合当地情况，有一定的使用参考价值。

五、灌溉制度的制定

1、灌溉分区的划分：

划分灌溉分区的原则：主要依照农业、气象、水利、地貌条件等。参考河南省农业区划、水利区划及农业气象热量资源区划分区，将本区分为：

I、引黄灌溉区——以引黄为主

II、豫东平原区——以井灌为主

III、淮北平原区——以井灌为主

2、灌溉制度制定：

水量平衡方程式

$$W_t - W_0 = P_0 + K + M - E_{Tc}$$

式中 W_0 、 W_t 分别为时段初和任一时间土壤计划湿润层内的含

水量； P_0 为保存在土壤计划层内的有效雨量， K 为时段内地下水利用量， M 为时段内的灌水量， ET_c 为时段内的作物需水量，以上各值采用毫米。

用彭曼法估算的作物需水量，再考虑地下水利用量，降雨量和土壤储水量等因素，用水量平衡图解分析法拟定主要旱作物生育期灌溉制度。

分析的步骤：

a、根据土壤计划湿润层深度（ H ）和作物所要求的允许土壤含水的上限，（ B_{max} ）和下限（ B_{min} ）计算出土壤计划湿润层的允许储水量上限（ W_{max} ）和下限（ W_{min} ）绘于图上（见附图）

$$W_{max} = HB_{max}; \quad W_{min} = 0.6HB_{max}$$

b、根据作物各生育期阶段（月）需水量（ ET_c ）地下水利用量（ $E_{潜}$ ）计算各生长期的（ $ET_c - E_{潜}$ ）值并绘制（ $ET_c - E_{潜}$ ）累积曲线。

c、根据设计保证率典型年雨量过程，进行设计湿润层调蓄，求出有效雨量逐时段给予图上。

d、自作物播种时土壤计划湿润层内储水量 W_0 逐日减去（ $ET_c - E_{潜}$ ），当有降雨时再加上有效雨量（ P_0 ）即计划湿润层土壤实际储水量（ W ）曲线。