

褐土区冬小麦及夏玉米的最佳灌溉模式

聂俊华 路洪义 施岗陵 贾继文

(山东农业大学)

摘要

褐土是山东省主要土壤类型之一，耕地面积有2600余万亩，主要粮食作物是冬小麦与夏玉米，采用的灌溉方式有15种。对不同灌溉模式下的土壤水分状况用土壤有效水指数法进行了研究，计算出各模式影响下的土壤月初有效水含量及土壤供水量。结果表明，在平常降雨年份和干旱年份，所有的灌溉模式的土壤供水在4、5月份不能满足冬小麦需要。多雨年份夏玉米不需灌溉，冬小麦仍需灌溉3次，灌溉定额以225毫米为最佳。正常降雨年份，夏玉米生育期内需灌水两次，灌溉定额以100毫米最佳。

山东省褐土广泛分布于鲁中南山地丘陵区，鲁东黄土分布及中生代砂页岩分布的地区也有发育。耕地面积有2600余万亩，粮食作物主要为冬小麦和夏玉米，采取一年两熟轮作制。山东省降雨量年际变化大，年内分配不均，灌溉是高产稳产的必需措施。为提高水资源的利用效率，促进作物的低耗高产，对不同灌溉模式下的褐土的土壤水分状况进行了研究。

一、材料与方法

(一) 山东省冬小麦、夏玉米灌溉模式

据山东省水科所等单位研究^①，山东省褐土地区冬小麦及夏玉米轮作的灌溉模式有15种

表 1 山东省冬小麦灌溉模式①

水文年份	模式编号	灌溉定额 (mm)	灌水次数	灌水模式 (mm)			
				越冬水	拔节水	抽穗水	灌浆水
正常年	1	180	3	—	60	60	60
	2	210	3	—	75	75	60
	3	225	3	—	75	75	75
	4	240	4	60	60	60	60
	5	270	4	60	75	75	60
	6	285	4	60	90	75	60
	7	300	4	75	75	75	75
多雨年	8	120	2	—	60	60	
	9	150	2	—	75	75	
	10	210	3	—	75	75	60
	11	225	3	—	75	75	75
干旱年	12	270	4	60	75	75	60
	13	285	4	60	75	75	75
	14	315	4	75	90	75	75
	15	330	4	75	90	90	75

^①山东省水科所等，主要农作物高产省水灌溉技术的研究(内部资料)，1987。

表 2

山东省夏玉米灌溉模式

水文年份	模式编号	灌溉定额 (mm)	灌水次数	灌水模式(mm)			
				出苗水	拔节水	抽雄水	灌溉水
正常年	1	50	1	50	—	—	—
	2	0	0	—	—	—	—
	3	100	2	50	—	50	—
	4	50	1	50	—	—	—
	5	100	2	50	—	50	—
	6	150	3	50	50	50	—
	7	120	2	60	—	60	—
多雨年	8	0	0	—	—	—	—
	9	0	0	—	—	—	—
	10	0	0	—	—	—	—
	11	0	0	—	—	—	—
干旱年	12	150	3	50	50	50	—
	13	120	2	60	—	60	—
	14	240	4	60	60	60	60
	15	240	4	60	60	60	60

(表 1、表 2)，其灌水次数和灌溉定额随地区及降雨频率不同而异。

(二)作物需水量及不同灌溉模式下供水量的计算

以土壤供水充足时作物的最大蒸散量 ET_m 表示作物的需水量，以不同灌溉模式下土壤的实际蒸散量 ET_a 表示土壤的供水量。 ET_m 用联合粮农组织推荐的彭曼法计算^[1, 2]， ET_a 则利用土壤有效水指数法(ASI)^[1, 2]估算：

$$ASI = \frac{I_a + P_e + W_b - [(1 - P)S_a \cdot D]}{\text{每月 } ET_m}$$

式中：ASI——土壤有效水指数； I_a ——每月灌溉用水量(mm)； P_e ——月有效降雨量(mm)； W_b ——月初土壤有效水含量(mm)； $(1 - P)S_a \cdot D$ ——当 $ET_a < ET_m$ 时，土壤中剩余有效水含量； ET_m ——作物的最大蒸散量(即作物的需水量)。

(三)ASI 法中有关参数的测定

1. 灌水量及灌水时间

根据表 1 和表 2 中冬小麦及夏玉米各生育期的灌水量进行灌溉，并参照有关资料，将各生育期的灌水时间按月份列于表 3。

表 3

灌 水 时 间

灌水生育期	冬 小 麦					夏 玉 米			
	播前造墒	越冬水	拔节水	抽穗水	灌浆水	出苗水	拔节水	抽雄水	灌浆水
灌水月份	10	11	3	4	5	6	7	8	9

2. 月有效降雨量

根据山东省气象局的52个气象站30年(1961—1990年)的气象资料，统计得出全省不同降雨年份月平均降雨量及年均降雨量(表 4)，在研究中将所有雨量均看作有效降雨量。

3. 月初土壤有效水含量

ASI法中应用的土壤有效水含量指的是作物根深达到的土壤中的有效水含量。山东省冬小麦、夏玉米轮作制下各月份作物平均根深列于表5。然后用下式计算出根深范围内土壤有效水含量(W_b)：

$$W_b = D \cdot S_a$$

式中：D——根深(m)； S_a ——月初土壤中有效水总量(mm/m)。

表4 山东省不同年份降雨量

单位:mm

月份	正常年	多雨年	干旱年
1	7.9	13.5	6.4
2	10.0	13.1	4.2
3	16.5	17.8	19.5
4	36.8	62.6	15.7
5	43.9	62.1	27.1
6	76.7	98.8	42.9
7	194.8	327.3	112.5
8	149.8	276.7	70.9
9	69.3	115.5	24.0
10	34.4	43.3	28.3
11	19.3	23.9	15.0
12	9.4	10.8	9.3
全年	668.4	1065.6	375.6

表5 山东省冬小麦、夏玉米各生长月份平均根深

单位:m

月份	冬小麦	夏玉米
10	0.16	
11	0.40	
12	0.50	
1	0.60	
2	0.75	
3	1.00	
4	1.20	
5	1.25	0.15
6	1.25	0.60
7		1.20
8		1.40
9		

在研究过程中，曾在山东各地设置试验点，测定各地土壤月初的有效水含量^[2]，但因只是观测3年的平均值，不能代表不同水文年的土壤实际有效水含量。本文中的 W_b 用水量平衡法算出，即： $W_b = W_b(\text{上月}) + \Delta W(\text{上月})$

式中： W_b 及 $W_b(\text{上月})$ 分别为本月及上月的月初土壤有效水含量， $\Delta W(\text{上月})$ 为上月土壤有效水贮量的变化值。

根据水量平衡公式： $\Delta W = P_e + I_n - R - ET_a - D$ ，

式中 P_e 及 I_n 分别为月有效降雨量及灌溉水量(表1、表2及表4中的数据)； ET_a 为每月实际蒸腾蒸发量，本文采用ASI法估算， R 为地表径流量； D 为深层渗漏量。在良好的保水措施下，耕地地表径流可看作零。另据研究^[3]，黄淮海平原区土表以下100cm深处全年水分的下行量及上行量之差大部分都在50mm/年以下，因此深层渗漏水及地下上升水也看作零。

据观测，正常降雨年份，山东省土壤在9月初有效水含量最高，基本达到或接近最大有效水水平。因此以9月份褐土的最大有效水含量作为9月份初的土壤有效水含量，其余各月的 W_b 在此基础上用水量平衡法算出。

褐土最大有效水含量系多点取样平均值，采用压力膜装置测定。在计算中假设作物吸水只从根深土壤中吸收，降水及灌溉水先满足根深土壤，超过土壤最大有效水含量的水量计入下月的 P_e 或 I_n 。

(四)不同灌溉模式下土壤供水量的计算

以不同灌溉模式下土壤的实际蒸散量 ET_a 代表土壤供水量。根据ASI、月 ET_a 及土壤根深部位有效水含量，按联合国粮农组织推荐的方法^[1]，计算出月平均 ET_a 。

二、结果与分析

(一) 不同灌溉模式对冬小麦、夏玉米轮作制下土壤水分状况的影响

根据水量平衡法计算出的 W_b 列于表 6。从表 6 中可看出, 灌溉模式对土壤有效水含量有强烈影响。同是在正常降雨年份, 在轮作周期结束时, 模式 6 比模式 2 的土壤有效水含量高 157.6mm/1.4m, 相应的灌溉定额则高 225mm。模式 8、9、10、11 为多雨年的灌溉模式, 在夏玉米生长期灌溉定额为 0, 土壤 W_b 主要受降雨影响, 在 9 月初 W_b 均达到土壤最大有效水含量^[2], 但在冬小麦生育期内, 仍可看出灌溉对 W_b 的影响。干旱年份 7、8、9 月土壤的 W_b 明显低于正常年份和多雨年份, 说明这 3 个月的灌水量仍偏低。

表 6 不同灌溉模式下褐土在月初的有效水含量 单位: mm/根深

作物	月份	灌溉模式															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
冬小麦	10	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	35.1	35.1	35.1	35.1	23.7	23.7	23.7	23.7		
	11	72.1	72.1	72.1	72.1	72.1	72.1	87.8	87.8	87.8	87.8	47.9	47.9	47.9	47.9		
	12	67.7	67.7	67.7	109.7	109.7	109.7	109.7	102.4	102.4	102.4	102.4	94.5	94.5	109.5	109.5	
	1	71.2	71.2	71.2	131.1	131.1	131.1	131.1	131.7	111.9	111.9	111.9	111.9	93.8	93.8	108.8	108.8
	2	78.0	78.0	78.0	137.9	137.9	137.9	137.9	152.9	130.7	130.7	130.7	130.7	93.9	93.9	108.9	108.9
	3	100.7	100.7	100.7	160.7	160.7	160.7	160.7	175.7	166.7	166.7	166.7	166.7	98.7	98.7	113.7	113.7
	4	125.4	140.4	140.4	185.4	200.4	215.4	214.7	203.1	218.1	218.1	218.1	129.5	129.5	159.5	159.5	
	5	72.6	90.6	90.6	114.6	138.3	153.3	153.3	172.6	202.6	202.6	202.6	71.6	71.6	89.6	88.6	
	6	52.5	51.9	54.5	57.3	68.6	77.4	83.6	61.1	75.6	117.0	125.8	34.7	49.7	49.1	46.0	
夏玉米	6	6.3	6.2	6.5	5.7	8.2	9.3	10.0	7.3	9.1	14.0	15.1	4.2	6.0	5.9	5.5	
	7	50.3	23.3	51.1	47.9	57.9	62.3	75.1	28.1	35.3	54.9	59.3	25.7	36.9	36.5	34.9	
	8	130.2	102.8	131.8	125.4	145.4	214.2	169.8	249.8	263.3	263.3	263.3	56.2	37.0	81.3	74.9	
	9	131.2	107.5	182.7	136.3	196.3	265.1	230.7	307.2	307.2	307.2	307.2	73.6	73.7	93.2	86.8	

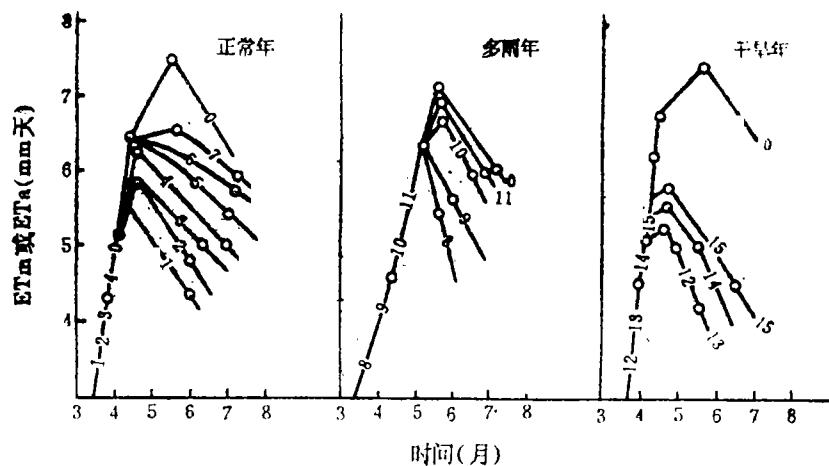
(二) 不同灌溉模式对土壤供水量的影响

将计算出的土壤月供水量(月 ET_a)与作物的月需水量(月 ET_m)绘于图 1, 图 2。由此可看出各灌溉模式对土壤供水量的影响及供水量对作物需水的满足程度。图 1 表明在各降雨年份, 现有的灌溉模式均不能满足冬小麦对水分的需求, 在 4、5 月份出现供水不足, 而且供水量差额随灌溉定额的增加而降低。越冬水对土壤的供水量影响不大, 在土壤底墒充足的情况下, 不浇越冬水土壤供水仍可满足冬小麦冬季需水。多雨年份灌溉模式 11 的土壤供水量接近作物的需水量。

在多雨年份, 降雨可满足夏玉米的需水要求, 可以不灌溉。干旱年份各灌溉模式均不能满足夏玉米需求, 正常降雨年份除灌溉模式 2 外, 其它模式均能满足夏玉米的需求(图 2)。

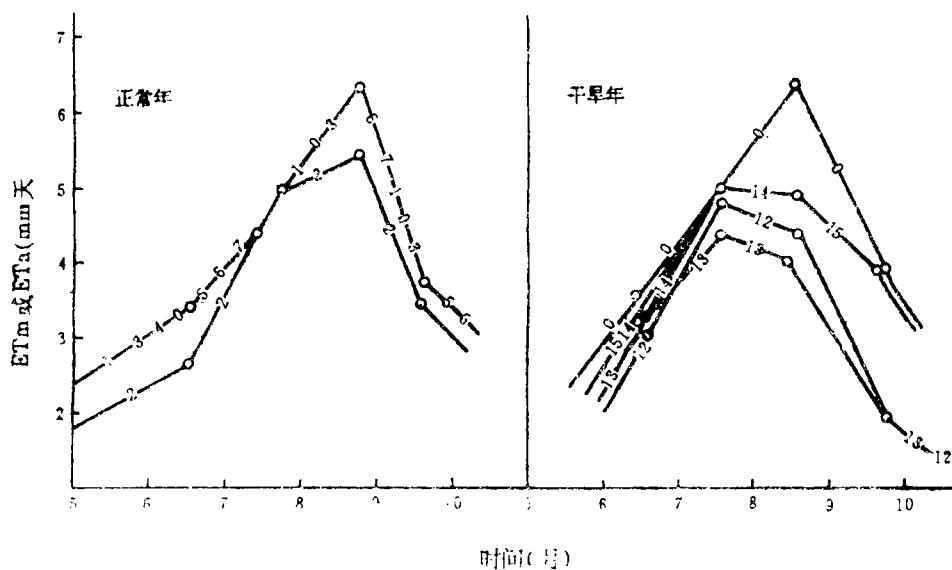
三、小结

1, 在山东省的地形, 气候影响下, 一般降雨年份及干旱年份的降雨量不能满足冬小麦一夏玉米轮作制下作物对水的需求, 多雨年份可满足夏玉米对水分的需求, 但小麦生长后期出现缺水。因此, 在无任何土壤保水措施情况下, 任何水文年份冬小麦均需灌溉, 而夏玉米仅需在一般降雨年份及干旱年进行灌溉。



图中 1、2、3、4、5、6、7；8、9、10、11；12、13、14、15 分别为各灌溉模式下土壤的供水曲线；○为冬小麦的需水曲线

图 1 不同降水年各灌溉模式下土壤对冬小麦的供水量



图中 1、2、3、4、5、6、7；12、13、14、15 分别为各灌溉模式下土壤供水曲线；○为夏玉米的需水曲线

图 2 不同降水年各灌溉模式下土壤对夏玉米的供水量

2，在一般降雨年份及多雨年份，夏季贮藏的土壤水分可满足小麦越冬要求，冬小麦可免浇越冬水。

3，在一般降雨年份及干旱年份，现有灌溉模式的土壤在4、5月份出现供水不足，若想取得更高的小麦产量，需加大这两个月的灌水量。多雨年份的灌溉模式中以模式11为最好，可基本满足冬小麦全生育期用水。

4，在一般降雨年份，采用模式1、3、4、5、6、7均可满足玉米生长需要，但从节水角度出发，以采用模式5为最佳。

李庆逵教授主编《中国水稻土》简评

赵庆文

(加拿大农业部列桥研究中心土壤管理与农作系统研究室)

《中国水稻土》一书总结近半个世纪以来中国水稻土研究经验，并参考国际土壤学研究有关资料，系统性的讨论了水稻土的形成、物化性质、养分状况、管理、改良及污染防治方法等，是一本具有学术基础及实用价值的重要科学文献。

该书第一篇、第二篇根据现代土壤学原理，配合中国特殊的地理与生态环境，对中国水稻土做了深入、彻底的理论探讨。在此理论基础上，第三篇与第四篇提出了因地制宜的科学管理方法，维持生产力的策略。该书扬弃了坊间一般土壤学教材片面讨论单一理论现象的形式，将水稻土视为一个整体的生态系统，并与环保配合。此为该书最大特点。

该书第三章：水稻土的微形态特征、第六章：水稻土的生态环境、第十四章：水稻土的吸附能力、及第二十三章：水稻的根际土壤环境，内容尤为充实深入，充分反应出中国在水稻土研究方面的深厚基础及国际领先地位，为本书的精华。本书第三十章触及当前颇受关注的水稻土污染及防治问题，对中国国内读者亦当有一定的启发作用。

近年水稻田与温室气体之间的相互机制受到国际土壤学界普遍重视，该书对水稻土生态系统的综合性探讨、及对中国水稻土发生与分布的详尽调查，已为中国研究水稻田与大气环境的工作奠定学理与背景文献的基础。

《中国水稻土》的出版，是中国土壤学家群为90年代土壤科学的继续发展所做的重要贡献，也是提高稻谷生产及维持水稻土生产力的权威性指南。

5，在干旱年份，现有的灌溉模式均不能满足夏玉米对水的需求，建议增大苗期及抽雄期灌水量，可使产量大幅度上升。

参考文献

- [1] 杜林博斯，A·H·卡萨姆，产量与水的关系，联合国粮农组织，1978。
- [2] 聂俊华等，山东省旱地冬小麦—夏玉米土壤水分状况的研究，土壤，资源、生态，环境（李永昌·徐瑛主编），青岛海洋大学出版社，1992。
- [3] 李韵珠等，不同地学条件下的土壤水均衡特点及类型，西南农业大学学报增刊，总第6期，1989。