

# 砂姜黑土区旱作物灌溉效益分析\*

朱祥明

孙怀文

(中国科学院南京土壤研究所)

(安徽省水利科学研究所)

## 摘要

3年的试验结果表明,在淮北平原砂姜黑土地区,实行沟灌或喷灌均能提高夏玉米的产量;而灌溉时间及灌水定额则因时因地而异;计算夏玉米的耗水量可采用经验公式推算,亦可根据当地实测资料进行计算,二者的结果大体上相近。

砂姜黑土主要分布于淮河以北广大平原地区,涉及皖、豫、鲁、苏4省,面积达400余万公顷。是我国由半湿润地区向北亚热带亚湿润地区的过渡带,具有明显的过渡带气候特征,降水的年际与年内分配变率较大;旱、涝(渍)灾害频繁,加之地势低平,灾情通常较重。

由于砂姜黑土区降水季节雨量分配不均,往往不能与主要旱粮作物的正常需水期和需水量相同步。因而严重制约了该区粮食生产的稳定与高产。因此,为提高砂姜黑土地区的粮食产量,除合理施肥,广泛推广先进的农业新技术外,适时地对旱粮作物进行补充灌溉,是该地区实现粮食稳产、高产的一项重要举措。

本文所指的灌溉,实际上是根据砂姜黑土区的气候特点,所采取的补充性灌溉。其灌水时间和定额,系根据土壤水分状况和作物对于水分的需求来决定。其基本原理是,根据不同作物在不同的生育期内对水分的需求丰缺情况,建立农田水分平衡,以满足高产作物对水分的需求量。

基本工作方法则是,采取定时、定点监测土壤水分的动态变化,以作物在不同的生育期内所要求的适宜土壤水分下限,为适时、定额灌水的指标。

本试验始于1990年,先后在安徽省亳州市古城(淤黑姜土地区)及安徽省怀远县鲍集试验区(黄姜土地区),两个不同的砂姜黑土类型区进行,具有一定的代表性。本文重点以怀远县鲍集试验区1992年夏玉米的灌溉试验为例,以说明砂姜黑土地区旱粮作物补充灌溉的必要性,和不同灌溉方式的增产效果。

## 一、试验设计

### (一) 试验处理

1992年夏玉米不同灌溉方式的增产效益试验,根据砂姜黑土地区的气候特点,土壤条件、种植结构等多因素的实际而定,选用的灌水方法有沟灌、喷灌与不灌(对照)3个处理,每处理设3次重复,共9个试验小区,每小区的实际面积为 $77.14m^2$ (0.116亩),小区之间留 $13.5m^2$ 的保护区。采用随机排列,每一处理区设一固定采土点。沟、喷灌处理均为每小区3次,沟灌

\* 本文得到顾国安教授的指导与斧正。

灌水总量  $126\text{m}^3/\text{亩}$ , 喷灌  $102\text{m}^3/\text{亩}$ 。

## (二)供试作物与施肥

供试作物为夏玉米,品种为“掖单3号”,6月17日播种,采用宽窄行种植,即大行距为70cm,小行距为46.2cm,株距为30cm,每小区立苗420株(3600株/亩),氮肥分两次施用,分别于播种时做基肥和拔节期追肥施入。

磷钾肥料均于播种时作基肥一次施入。每小区施肥总量为:N 2.41kg,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0.69kg,  $\text{K}_2\text{O}$  0.72kg(即N 20.83kg/亩,  $\text{P}_2\text{O}_5$  5.96kg/亩,  $\text{K}_2\text{O}$  6.22kg/亩),养分供应能基本上满足作物高产的要求。

## (三)测定项目

在夏玉米整个生育期内采取定点、定时监测土壤水分的动态变化,以及降雨、蒸发、作物生长情况的观测记载。并依据夏玉米在不同生育期内对水分的需求实际,参考有关的试验资料,

表1 夏玉米不同生育期土壤水分的监测时间、深度及灌水下限指标

生育期	苗期	拔节期	抽雄孕穗期	灌浆期	成熟期
采土间隔时间(天)	10	5	5	5	10
测定深度(cm)	40	60	60	60	60
灌水下限指标 (土壤含水量占田间持水量%)	65	70	75	75	60

规定了夏玉米不同生育期测定土壤水分的时间和深度,以及灌水下限的土壤水分指标(表1)。

## 二、结果分析

### (一)夏玉米生长期土壤水分的变化

夏玉米生长期虽正值淮北平原多雨季节,但其降水分配却极不均,致使土壤水分变化幅度较大。所以在开展灌溉的同时必须注意排涝。夏玉米生长期(6—10月)该地区曾出现两次短期干旱和两次短期涝渍。第一次干旱出现在6月29日—7月7日,降雨量只有4.3mm,土壤含水量迅速下降,0—40cm土壤含水量由23.1%下降到18.5%;第二次于7月24日—8月4日,10天内降雨量只有2mm,加之此时正值高温天气,蒸发量大,0—40cm土壤含水量由20.6%降到17.1%,已低于适宜土壤水分的下限。在两次短暂干旱之后,紧接着于7月9日—10日突降暴雨,在不到48小时内降雨量达102.2mm,致使地下水位急剧上升,土壤水分迅速达到饱和,并形成地表径流。之后,又于8月29日—9月1日,3日内降雨达83.9mm。这些短期旱涝都给夏玉米的正常生长带来了一定危害。从3年试验期内的降水情况来看,夏玉米在播种期以及从拔节—雌穗吐丝受精期的一段时间内,降雨总是不能满足夏玉米生长发育的需水要求(重点指有效降雨),这是造成夏玉米减产的主要原因之一。

为了说明夏玉米在不同生育期内土壤水分的动态变化,现将大气降雨、地下水埋深及土壤含水量等资料绘制成图(图1)。

从图1可以看出,砂姜黑土地区土壤含水量和地下水埋深主要受大气降雨的影响。据观测,在夏、秋高温季节,如7—10天无雨时,地下水位可从1米迅速降到1.5—2米以下,根系活动层内平均土壤含水量可从22%降至18%以下;反之,如降水强度过大(日降雨量超过60mm以上)时,降水的实际有效利用率只有40—70%。

这与砂姜黑土不良的水分物理特性有关。砂姜黑土耕层和犁底层质地粘重、结构性差,蒸发时水分以液态运行(含水量大),运行整体性强,因而加快了土壤水分(0—30cm)的蒸发损失,据作者所做的耕层(0—15cm)原状土蒸发试验<sup>[1]</sup>表明,从田间持水量开始,蒸发5天,土壤水分损失30%,有效水分损失52%;蒸发10天,土壤水分损失41%,有效水分损失73%;15天

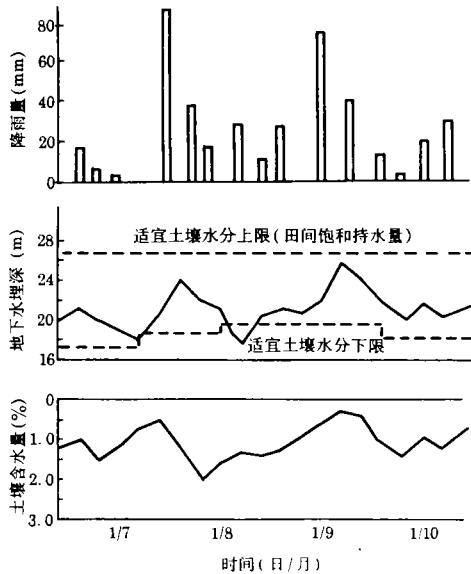


图 1 夏玉米生长期降雨、地下水和土壤含水量的变化

分的需求量,通常用最大蒸发量乘以一定的系数来表示。其表达式为:  $ETO = kc \cdot PET$ , 式中  $ETO$  为农田需水量( $mm$ ),  $kc$  为作物需水系数,  $PET$  为最大蒸发量( $mm$ )。所谓作物需水系数,系指作物在充分供水的条件下,作物需水量与最大蒸发量之间的关系为一经验系数( $kc$ ;简称需水系数)。作物的需水系数因作物不同以及各类作物在不同的生育期而有一定的差异。一般苗期或黄熟期小,营养生长期和产量形成期大。据文献介绍,夏玉米的需水系数( $kc$ )为 0.75—0.95<sup>[3]</sup>。

根据试验地内实测气象资料统计,夏玉米全生育期内最大蒸发量为  $427mm$ , 将其代入上述公式计算,夏玉米全生育期内需水量为  $320$ — $406mm$ 。

第二,根据实测资料进行计算,其方法是,对三种不同处理的地块采用定时、定点采土测定土壤含水量,以时段初的储水量为基数,减去时段末的土壤储水量,其余额为作物耗水量,在此阶段如遇降雨或人工灌水,再加上有效降雨或灌水量,以此得出夏玉米在各个生育阶段的实际耗水量。其表达式为:  $SA_1 + (P \text{ 或 } M) - SA_2 = ETM$ , 式中  $ETM$  为实际作物耗水量( $mm$ );  $SA_1$  为时段初土壤储水量( $mm$ );  $SA_2$  为时段末土壤储水量( $mm$ );  $P$  为有效降雨量( $mm$ );  $M$  为有效灌水量( $mm$ )。其中有效降雨量或有效灌水量可用下式求得:  $P \text{ 或 } M = SAe - SAc - ETM$ 。式中的  $SAc$  为降雨前(或灌水前)土壤储水量( $mm$ );  $SAe$  为雨后(或灌水后)土壤储水量( $mm$ );  $ETM$  为降雨(或灌水)期间的作物耗水量( $mm$ )。其中  $ETM$  可根据降雨或灌水前一时间段和后一时间段耗水量与蒸发量的平均比值来确定。当降雨量较小而不足以使土壤根系活动层达到田间持水量时,则全部降水为有效,而不必再使用以上公式推求有效降雨量。

根据实测资料计算,夏玉米全生育期内,三种不同处理的作物耗水量: 沟灌最高, 达  $384.6mm$ , 其次为喷灌达  $373.3mm$ , 而不灌(对照)只有  $315.0mm$ (表 2)。夏玉米耗水量的实测值与经验公式推导的需水量基本吻合,而不灌(对照)则比经验公式计算的需水量要略小,这可

后土壤水分损失  $53\%$ , 有效水分损失达  $93\%$ 。反之,由于砂姜黑土的胀缩性很大,可高出两合土三分之一以上,尤以黑土层与黄土层的膨胀量为大,可达  $24\%$ , 故在遇雨后土体迅速膨胀,导致裂隙闭合,阻滞土壤表层水分的下渗而造成暂时性的涝渍危害。

因此,在夏玉米生长期必须严格注意降雨、土壤水分和地下水位埋深的动态,做到旱时补充灌水,涝(渍)时清沟排水。鉴于淮北平原夏、秋之际降雨频率、强度多变,故遇干旱时灌水应审慎,最好采用低定额灌水,切忌大水漫灌。

## (二) 夏玉米的耗水规律

计算夏玉米的耗水量,我们采用了经验公式推求<sup>[2]</sup>和实际田间测算两种计算方法,并对其结果进行相互验证。

首先,根据经验公式推求农田需水量( $ETO$ )。所谓农田需水量是指在水分供应充足,不影响作物生长发育的情况下,作物对水

表2 灌溉方法对夏玉米耗水量的影响

灌溉方法	发育阶段	时间		水面蒸发 (mm)	耗水量 (mm)	日平均耗水量 (mm)	耗水系数(kc) (%)
		起 (月)	讫 (日)				
不灌 (对照)	播种——出苗	6.17	6.26	9	33.6	17	1.90
	出苗——拔节	6.26	7.28	33	104	2.50	0.79
	拔节——抽雄	7.28	8.19	23	121	3.74	0.83
	抽雄——灌浆	8.19	9.20	32	130	2.80	0.75
	灌浆——黄熟	9.20	10.6	16	67	2.52	0.60
	全生育期	6.17	10.6	113	456	2.71	0.72
沟灌	播种——出苗	6.17	6.26	9	33.6	15	1.70
	出苗——拔节	6.26	7.28	33	140	3.29	1.02
	拔节——抽雄	7.28	8.19	23	121	4.41	1.00
	抽雄——灌浆	8.19	9.20	32	130	3.64	0.99
	灌浆——黄熟	9.20	10.6	16	67	2.65	0.65
	全生育期	6.17	10.6	113	456	3.40	0.90
喷灌	播种——出苗	6.17	6.26	9	33.6	14	1.61
	出苗——拔节	6.26	7.28	33	140	3.08	0.98
	拔节——抽雄	7.28	8.19	23	121	4.70	1.01
	抽雄——灌浆	8.19	9.20	32	130	3.36	0.96
	灌浆——黄熟	9.20	10.6	16	67	2.58	0.60
	全生育期	6.17	10.6	113	456	3.30	0.88

以证明不灌(对照)区的土壤供水已不能满足夏玉米在全生育期内的需水要求。

另外,从表2和由各个时段耗水量实测数据中可以明显看出,夏玉米在全生长期有两个耗水高峰区,第一高峰区在拔节孕穗期(7月8日—8月12日),日耗水量达4.00—4.36mm;第二高峰值区在灌浆期(8月20日—9月17日)。日耗水量达3.90—4.15mm;而苗期和黄熟期的日耗水量则较少,分别只有2.10—2.36mm和2.50—2.65mm。

根据实测资料推算出的夏玉米各个生育阶段的需水系数(kc)苗期为0.40—0.55,营养生长期(拔节期)为0.65—0.80,生殖生长期(孕穗—抽雄)为1.05—1.10,产量形成期(灌浆期)为0.80—0.95,黄熟期为0.55—0.60,全生育期的平均需水系数为0.75—0.95。

### (三)灌溉对调节土壤水分的作用

如前所述,砂姜黑土地区降水是补充土壤水分的主要来源,之所以出现干旱,主要是由于

表3 降雨对夏玉米需水的满足度 (单位:mm)

项 目	6 月		7 月			8 月			9 月			10 月
	中旬 (17—20)	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬 (10月6日)
降雨量	旬内 累计	13.4	2.5	1.8	100.2	70.3	17.3	85.3	106	19.8	31.9	15.4
		13.4	15.9	17.7	118	191	208	294	400	419	451	468
有效降雨	旬内 累计	13.4	2.5	1.8	55	28	17.3	47.5	39.0	19.8	31.9	15.4
		13.4	15.9	17.7	72.6	101	118	166	205	224	256	273
作物耗 水量	旬内 累计	8.8	20.5	41.8	60	31.7	32.7	45.2	26.4	31.4	42.3	36
		8.8	29.3	71.1	131	162	194	240	266	298	340	385
水分供应 亏盈	旬内 累计	+4.6	-18	-4.0	-5	-3.6	-15.4	+2.3	+12.6	-11.6	-10.4	-8.0
		+4.6	13.4	-53.4	58.4	-62	-77.4	-75.1	-62.5	-74.1	-84.5	-93.1

\* (1) 为沟灌处理实测数据(不包括3次灌水的数据); (2) 有效降雨,为土壤对降水的吸纳达到田间饱和持水量止,计算方法为降雨量减田间饱和持水量所吸纳的降水,余下为多余水分产生地表径流入沟渠排出。

降雨分配不均所致。1992年夏玉米生长期间的降雨量达467.5mm,完全可以满足夏玉米的需水要求,但由于分配不均,加之降雨过于集中,强度较大,致使有效降水所占比重较小,因此,对于高产而耗水量大的夏玉米,仅靠降雨则难以满足作物的需水要求。从表3可以看出,从高产玉米不同的生育时段所消耗的水分与其相应的有效降雨量相比,多数时间处于水分亏缺状态,尤其在需水高峰时段,如不及时进行补充灌水,必然造成一定程度的减产。

前文已提到,在夏玉米生长过程中,共出现两次旱情,夏玉米生育期不同灌溉处理的土壤含水量的测定结果表明,灌溉对调节砂姜黑土水分状况具有良好的效果。不仅短时间内提高土壤水分含量及时解除了旱情,而且对水分调节作用所持续的时间也比较长。灌溉后的土壤,其含水量基本上始终高于不灌(对照小区)的土壤,直至出现较大的降雨为止。

从上述可知,在砂姜黑土地区,夏、秋两季气候多变,降水变率很大的情况下,在大面积扩种耗水量大的高产粮食作物时,如无灌溉条件及时调节土壤水分的话,要取得稳产高产是不可能的。

#### (四)灌溉对夏玉米的增产效果

灌溉不仅满足了作物的需水要求,而且促进了土壤养分和肥料的有效供应,因而取得了显著的增产效果。从考种和产量结果看,两种灌水方法均取得较好的效果(表4)。

几年来的试验结果证明,灌溉对夏玉米的增产作用与全生育期的干旱程度有关,特别是与夏玉米各生育阶段的旱情与连续干旱时间长短有关,根据夏玉米耗水量的测定结果(表2)表

明:苗期(指拔节前)耗水量较小,占总耗水量10%,拔节期占20—25%,孕穗期占30—40%,灌浆期占22—25%,黄熟期占10—15%,所以掌握夏玉米生长期的耗水规律,可以指导适时灌溉,特别是夏玉米籽粒形成的敏感阶段(抽雄孕穗—灌浆阶段),是耗水高峰时期。此时,要特别注意大气降水,地下水埋深及土壤含水量的动态变化,以便指导灌

表4 灌溉方法对夏玉米的增产效果

灌溉方法	株高(cm)	空秆率(%)	双穗率(%)	穗长(cm)	百粒重(g)	籽粒产量(kg/亩)	灌比不灌增产(%)
不灌(对照)	192	3.5	1.6	19.8	31.9	572	—
沟灌	213	0	5.5	23.3	35.3	745	30.3
喷灌	210	0.6	5.3	21.4	36.0	689	20.6

水的时间与灌水量。

#### (五)不同灌溉方法下夏玉米对土壤水分的有效利用

夏玉米对土壤水分的有效利用,因土壤的供水条件和籽粒产量不同而有明显差别,其通常用水分生产率或水分生产效率(单位耗水量的籽粒产量)来表示。籽粒产量愈高,尽管其耗水量亦随之增大,但其增大的幅度则远没有籽粒增产的幅度大,所以水分生产率反而较大;反之,籽粒产量愈低,由于非生产性的水分消耗(如裸间土壤蒸发)相对较大,其耗水量随籽粒产量降低而减少的幅度则较小,所以水分生产率亦较小。本试验亦明显符合这个规律,3组不同处理的

水分生产率,明显随着籽粒产量的提高而增大,即沟灌最大,喷灌次之,不灌(对照)最小(表5)。从表5可知,在农业生产中,任何能够提高作物产量的技术措施,都能够提高对土壤水分的有效利用,而对于水肥状况不良的砂姜黑土来说,改善排水条件、发展灌溉、配以合理施肥,则是提高产量的关键。

表5 不同灌溉方法下夏玉米对土壤水分的有效利用

灌溉方法	籽粒产量(kg/亩)	耗水量		每kg籽粒消耗水量(m <sup>3</sup> )	水分生产率(kg/亩·mm)
		mm	m <sup>3</sup> /亩		
不灌(对照)	571.5	315.0	210.3	0.55	1.81
沟灌	744.6	384.6	256.4	0.52	1.94
喷灌	689.1	373.0	248.7	0.54	1.86

·水分生产率=籽粒产量(kg/亩)/耗水量(mm)

(下转第323页)

表 5 1993 年各处理土柱的矿化水补给量(升/月)

月份	雨量 (mm)	土柱号														
		$\frac{W_1}{E_1}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{8}{8}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{11}{11}$	$\frac{12}{12}$	$\frac{13}{13}$	$\frac{14}{14}$	$\frac{15}{15}$
1	11.3	4.70 4.48	7.10 4.53	2.45 1.42	1.88 1.56	2.07 4.58	1.74 2.33	9.87 2.58	2.02 3.42	1.61 2.50	1.74 2.79	2.72 3.82	1.21 1.83	0.93 4.91	1.68 4.74	1.93 1.81
2	9.8	4.22 6.14	2.84 5.55	2.14 1.45	4.79 1.07	1.67 2.80	0.68 1.83	6.67 5.81	1.60 1.88	1.08 1.16	1.66 1.69	3.87 2.38	0.57 14.8	1.05 0.27	5.88 2.57	1.46 1.30
3	21.6	13.4 12.3	4.43 8.59	4.51 1.47	8.25 10.8	3.26 3.58	1.69 0.98	7.76 7.33	2.06 3.86	3.45 0.51	3.41 21.5	47.64 3.10	2.55 0.14	3.30 22.1	2.49 01.57	3.20 0.75
4	92.5	13.2 15.2	95.5 13.5	8.93 2.94	12.8 16.2	8.60 7.06	4.89 2.67	13.6 10.4	7.78 3.64	6.75 0.99	13.1 2.54	9.17 4.79	5.54 1.11	12.3 2.27	6.96 2.88	5.18 3.23
5	80.4	13.0 12.4	2.97 15.3	1.53 1.00	5.67 4.43	0 1.71	0 0.63	0.20 8.53	0.02 4.48	0.10 1.00	0.08 /	0.71 0.37	1.35 /	1.79 /	0.57 1.44	1.07 1.72
6	161.0	1.35 20.1	4.30 18.5	0.92 1.11	9.78 12.6	0.92 5.08	0 0.56	9.91 14.1	0.03 3.14	0.40 0.03	0.01 3.05	0.26 2.29	0 0.01	1.37 0.31	1.39 0.31	1.79 0
7	74.1	19.5 19.7	5.73 16.4	1.58 3.26	22.3 13.8	2.91 11.1	1.13 5.22	6.35 8.16	6.22 5.58	1.36 3.78	7.91 0.79	2.26 0.02	0.52 0.33	0.03 0.66	0.42 0.01	1.12 3.62
8	109.1	14.6 14.2	7.32 13.0	10.61 5.59	19.9 15.5	8.47 6.20	17.5 3.13	32.1 6.39	22.3 5.45	12.0 5.28	45.4 0.16	38.3 0.01	10.0 0	35.3 2.57	21.6 2.67	27.0 0.25
9	40.2	20.7 18.9	12.6 13.0	27.3 7.49	21.7 19.9	17.7 13.7	27.7 3.62	27.1 16.9	21.7 8.01	23.5 12.2	36.9 6.15	36.3 1.05	36.5 0.30	35.8 2.55	21.4 5.54	44.1 0.69
10	4.4	10.6 13.14	5.02 8.99	5.81 10.2	13.2 16.2	2.73 15.5	4.76 2.30	4.98 14.2	2.87 4.44	4.95 9.74	4.84 8.97	4.85 3.44	4.61 6.76	2.77 5.24	3.40 5.41	7.92 3.10
11	90.9	3.65 5.33	1.22 3.97	0.94 4.12	6.60 3.39	0.44 6.05	2.76 0.73	0.80 2.50	1.95 1.60	1.42 7.72	2.99 2.84	4.59 1.32	2.79 8.79	0.41 0.88	1.52 1.74	3.70 0.52
12	0	15.3 13.4	2.25 4.62	0.62 2.70	16.0 10.9	0.72 3.65	2.19 0.11	3.44 5.97	1.21 1.41	0 6.43	2.99 2.00	4.45 0.47	3.05 8.22	0.25 2.11	0.65 1.04	1.03 0.41

注:W 代表种植作物的土柱;E 代表未种植作物的土柱。

### 参 考 文 献

[1] You, W. R and Meng, F. H., Salt-Water dynamics in soils: I. Effect of crop planting, *Pedosphere*, 3(1): 7-22, 1993.

(上接第 318 页)

### 参 考 文 献

[1] 孙怀文,淮北砂姜黑土的水分物理性质与旱、涝(渍)害的关系。砂姜黑土综合治理研究,104-114页,安徽科技出版社,1986。

[2] 贾大林主编,黄淮海平原治理与农业开发,第一章、第三节,32-33页,中国农业科技出版社,1989。

[3] 贾大林主编,黄淮海平原治理与农业开发,第33页,中国农业科技出版社。1989。