

麦田耗水与小麦生长发育及产量的关系

吴乃元 张廷珠

(山东省泰安农业气象试验站)*

提 要

本文根据1983—1984年和1984—1985年两年人工控制水份条件下的冬小麦农田水分试验资料,分析了农田耗水量与小麦生长特性、生理性状和产量的关系,得出了冬小麦拔节到成熟期的最佳水份指标和最佳产量。另外,讨论了水分利用效益问题。

一、引 言

水份条件与冬小麦生长发育和产量具有密切的关系。近30年来,各国许多学者把土壤、作物和大气作为一个系统来考虑,建立了一些土壤-作物-大气模式,并深入地研究了水份条件对作物生理活动的影响,提出了冬小麦不同发育期的水份短缺对产量影响的大小。我国北方小麦产区的小麦关键生育期大多处于少雨的干旱季节,水份不足严重影响着小麦的高产稳产。为了对小麦水份条件进行研究,我们在泰安市建立了一个试验基地。

本文将根据我们的试验资料,分析麦田耗水与小麦生长特性、生理性状和产量的关系,并从气候学角度提出了泰安市经济灌水方案。

二、试 验 设 计

试验地段位于泰安市南郊山东农业大学实习农场。土壤为中壤土。1米深田间持水量为22%,容量为1.45克·厘米⁻³,凋萎湿度为5.3%,试验期间地下水位在8米以下。供试小麦品种为鲁麦1号和济南13号,采用人工方法控制水份。地上部分用活动的防雨棚遮雨,地下部分采用不带底的水泥池。水份控制分两个时段:一是拔节期到抽穗期,二是抽穗到成熟期。每个时段均有五种不同的土壤水份处理,包括土壤相对湿度为<40%、40—55%、55—80%、>80%的四种处理和自然降水条件下的对照区(以下简称A、B、C、D、E处理)。拔节期土壤水份控制深度为0—50厘米,抽穗到成熟期为0—70厘米。

本文1986年1月14日收到,1986年6月18日收到修改稿。

* 参加试验的还有:韩方池、李象山、梁丰香、王方云和田洪泽。

观测项目有土壤湿度、自然状态和充分供水条件下的蒸散量、干物质累积量、叶面积系数、植株含水率、灌浆速度和净光合作用。此外还进行了物候期、作物高度和密度观测及产量分析等。气象资料采用本站气象观测记录。

三、麦田耗水的估算

农田耗水量即蒸散量, 主要包括土壤蒸发量和植物蒸腾量两部分。植物体内含水量占总耗水量比例很小, 一般可忽略不计。当土壤水分充足时, 蒸散量的大小与土壤和植物无关, 主要取决于气象条件。当土壤水分不足时, 蒸散量的大小主要取决于土壤含水量。

农田蒸散量一般均用经验公式估算。本文中可能蒸散量是采用1979年联合国粮农组织修正的并在世界许多地区应用的彭曼公式, 即

$$PE = \frac{\frac{P_0}{P} \frac{\Delta}{r} [0.75 R_A (a + b \frac{n}{N} - \sigma T_K^4 (0.56 - 0.079 \sqrt{e_d}))]}{\frac{P_0}{P} + \frac{\Delta}{r} + 1.0 + \frac{(0.10 + 0.90 \frac{n}{N}) + 0.26 (e_a - e_d) (1.0 + Bu)}{1.0}}$$

式中 PE 为某一时段的可能蒸散量 (毫米/日), P_0 为海平面气压 (百帕); P 为本站气压 (百帕); Δ 为气温 T_a 时的饱和水汽压斜率 (百帕/°C); r 为干湿表常数 (0.586 百帕/°C); R_A 为大气上界的短波辐射 (毫米); a 、 b 为与大气透明状况有关的系数, 不同地区取值不同, 本文取 $a = 0.18$, $b = 0.55$; n/N 为日照百分率; σT_K^4 为绝对黑体辐射 (毫米); e_a 为气温 T_a 时的饱和水汽压 (百帕); e_d 为实际水汽压 (百帕); u 为地面 2 米高处的风速 (米/秒); B 为风速系数, 取值如下:

表 1 B 值表

平均最低气温	平均最高气温与平均最低气温之差	B
—	$\bar{T}_M - \bar{T}_m \leq 12^\circ\text{C}$	0.54
> 5°C	$12^\circ\text{C} < \bar{T}_M - \bar{T}_m \leq 13^\circ\text{C}$	0.61
> 5°C	$13^\circ\text{C} < \bar{T}_M - \bar{T}_m \leq 14^\circ\text{C}$	0.68
> 5°C	$14^\circ\text{C} < \bar{T}_M - \bar{T}_m \leq 15^\circ\text{C}$	0.75
> 5°C	$15^\circ\text{C} < \bar{T}_M - \bar{T}_m \leq 16^\circ\text{C}$	0.82
	$16^\circ\text{C} < \bar{T}_M - \bar{T}_m$	0.89

根据上式我们估算了泰安1960—1980年冬小麦生育期各旬平均可能蒸散值以及1983—1985年两个冬小麦生长年度的可能蒸散值。根据这些估算结果可大致看出多年平均大气需水量和两个生长年度的大气需水量。图1是根据计算结果绘出的可能蒸散量变化图。

从图中可见, 冬前可能蒸散量随时间的推移逐渐减少。据计算, 越冬期达到最低, 从2月下旬开始可能蒸散量几乎直线上升, 5月中旬后变化平缓。1983—1985年两个冬

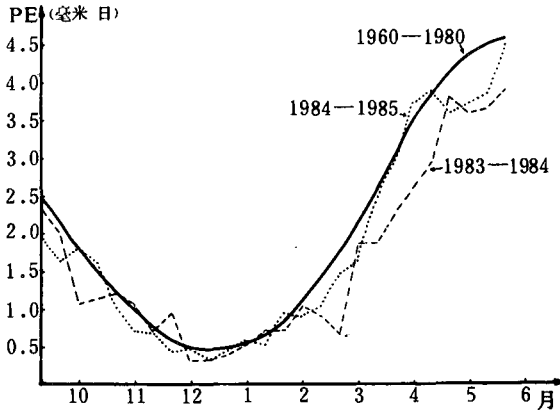


图 1. 泰安1960—1980年, 1983—1985年冬小麦生长年度的可能蒸散量
小麦生长年度的可能蒸散值趋势基本一致, 均比常年偏低, 尤以1984年春季偏低。

农田实际蒸散量表示的是农田真实的耗水情况。用简化的土壤水平衡方程进行计算:

$$ET = (W_0 - W_t) + R + I$$

式中 ET 为计算时段内 1 米深的实际蒸散量 (毫米); W_0 为初始土壤湿度 (毫米); W_t 为该时段末土壤湿度 (毫米); R 为该时段内降水量 (毫米); I 为灌水量 (毫米)。

因为我市春季降水少, 强度小, 所以不会发生径流, 地下水位深, 也不会有深层向上补水, 所以用上式所计算的蒸散量有足够的可靠性。

表 2 1985年不同水分控制期不同土壤
水分处理的实际蒸散量 (毫米)

时 段	水 分 等 级				对 照	
	实际蒸散量 (毫米)	<40%	40—55%	55—80%		>80%
拔节—抽穗期 (4月1—30日)		105.9	113.8	144.6	156.1	113.4
抽穗—成熟期 (5月1日—6月1日)		47.9	154.9	192.8	205.3	176.9

由表 2 可见, 两个水分控制时段, 实际蒸散量均随土壤含水量增加而增加, 55—80% 以下的增加速率大, 80% 以上则缓慢。

四、不同水分条件对小麦生长特性、生理性状和产量的影响

1. 不同水分处理对密度的影响

试验结果表明, 冬小麦密度随着农田蒸散量的增加而增加, 两者关系如下:

$$D = a - b \sum ET + c (\sum ET)^2$$

式中 D 为作物密度, $\sum ET$ 为水分控制期间的实际蒸散累积量, a 、 b 、 c 为回归系数。两个控制期、两个品种的回归系数 a 、 b 、 c 及检验结果列于表 3。由表 3 可见, 两个

品种间偏回归系数差异不大。

表 3 不同水分控制期作物密度与
累积蒸散量模拟方程的回归系数值

水分控制期	品种	a	b	c	样本	F 值
拔节—抽穗期	鲁麦 1 号	86.2869	-0.2129	0.0001	7	34.15
	济南 13 号	84.1405	-0.2418	0.0001	7	78.83
抽穗—成熟期	鲁麦 1 号	123.1026	-0.6375	0.0012	7	64.51
	济南 13 号	120.9520	-0.5892	0.0010	7	49.16

2. 不同水分处理对植株茎叶穗含水率的影响

茎叶穗含水率均随土壤水分的增加而增加。在五种处理中, 以茎叶的含水率差异最大, D 处理与 A 处理差值可达 68—103%, 穗含水率差异最小, D 处理与 A 处理相差仅 25—41%。经 t 检验证实, 各处理之间茎叶含水率差异显著, 而穗含水率差异不显著。这意味着在干旱情况下, 茎输送的水分显著减少, 有限的水分在植株内分配并不均匀, 通过自身调节首先满足籽粒的正常发育。另外, 检验证明, 抽穗到成熟期比拔节到抽穗期各种水分处理间的差异更为明显。这说明抽穗到成熟期对水分更为敏感, 这为合理灌溉提供了重要依据。

3. 不同水分处理对叶面积系数的影响

试验表明, 叶面积系数随土壤水分增加而增大。拔节期间土壤水分的差异不仅影响最大叶面积系数的大小, 而且也影响最大叶面积系数出现的时间。小于 40% 水分处理的最大叶面积系数只有 4.8, 出现在 4 月中旬, 而大于 80% 的處理的最大叶面积系数为 7.0, 出现在 5 月上旬。抽穗到成熟期水分条件的差异只影响叶面积衰退的速度。例如, 小于 40% 的处理的叶面积系数下降的速度要快得多, 叶片的枯萎比其它处理要提前一句。

4. 不同水分处理与干物质增重的关系

表 4 列出了不同水分处理下 1 平方米冬小麦干物质日增量。可以看出, 当土壤相对含水量在 80% 以下时, 干物质增量随水分增加而增加, 大于 80% 时, 干物质日增量反而变小。这说明并不是水分越多越好, 而是在适宜范围内才有利于干物质的累积。拔节期平均日增重量高于抽穗到成熟期; 不同品种也有差异, 济南 13 号在拔节期比鲁麦 1 号增重多, 而在抽穗到成熟期则相反。在两个水分控制时段内基本上以 C 处理的干物质日增重量最大。

表 4 不同时段各水分处理的平均干物质增重 (克/米²/日)

控制时段	拔节—抽穗期					抽穗—成熟期				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
鲁麦 1 号	17.0	20.0	23.3	24.1	20.8	9.8	15.4	19.1	16.5	12.8
济南 13 号	17.7	24.3	27.6	24.7	23.7	9.3	10.8	15.2	14.9	8.8

根据拟合试验, 小麦干物质增重量 (y) 与累积蒸散量 (ΣET) 的关系基本符合 s 型曲线关系。

$$y = \frac{W_0}{1 + e^{a+b\Sigma ET}}$$

式中 W_0 , a , b 为系数。

表 5 1平方米干物质增重与累积蒸散量关系式中的系数值(鲁麦1号)

时段	水分处理	a	b	W_0	R	时段	水分处理	a	b	W_0	R
拔节—抽穗期	A	1.99	0.0177	1500	0.94	抽穗—成熟期	A	2.17	0.0150	1500	0.85
	B	1.92	0.0120	1900	0.87		B	2.06	0.0207	1950	0.81
	C	2.25	0.0108	2450	0.92		C	5.50	0.0113	2550	0.65
	D	2.36	0.0110	2200	0.94		D	2.10	0.0154	1950	0.75
	E	2.50	0.0150	2200	0.93		E	1.69	0.0144	1773	0.76

根据表5所给的系数值计算的结果表明, 1平方米干物质增重的最大值均出现在55—80%处理中, 这说明土壤相对含水量介于55—80%之间是小麦拔节到灌浆期的适宜水分指标。

5. 不同水分处理对产量要素的影响

小麦产量要素包括每亩穗数、每穗籽粒数和千粒重。从表6中可看出:(1)每亩穗数最大值出现在C处理, 当土壤相对含水量>80%时反而减少。(2)对每穗粒数的影响以拔节期较明显, 抽穗到成熟期不明显。(3)水分和千粒重在拔节期水分增多, 粒重减少, 而抽穗到成熟期则相反。(4)两个控制时段均以C处理产量最高, A处理产量最低。这也说明55—80%的土壤相对含水量是小麦适宜的土壤水分指标。另外还可看出, 抽穗到成熟期各处理的产量均比拔节期控制的产量要低, 尤其是A、B处理减产幅度要大。这说明抽穗到成熟期对水分更为敏感, 此时缺水对产量的影响比拔节期缺水的影响要大。

表 6 不同时段不同水分处理下的产量要素

项目	时段处理	拔节—抽穗期					抽穗—成熟期				
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
穗数/亩(万)		33.8	39.9	44.1	43.5	39.7	32.9	37.2	40.9	39.7	39.2
粒数/穗(粒)		30.5	30.8	32.4	34.8	32.5	32.4	31.6	32.3	24.9	32.0
千粒重(克)		49.2	47.7	43.8	41.2	46.8	34.1	38.3	44.1	48.4	39.7
产量(斤/亩)		764.8	973.4	1032.6	979.4	960.2	575.2	836.7	1005.3	955.0	958.2
经济系数		0.45	0.46	0.43	0.40	0.41	0.35	0.42	0.43	0.44	0.44

表 7 不同控制时段不同品种的最佳产量与最适水分

时段	品种	模拟方程	样本	F	最适水分(毫米)	最佳产量(千克/亩)
拔节期—抽穗期	鲁麦1号	$y = 39.6 + 10.573x - 0.0361x^2$	10	10.96	146.4	542.6
	济南13号	$y = -110.1 + 13.9669x - 0.051x^2$	10	9.09	129.1	527.7
抽穗期—成熟期	鲁麦1号	$y = 220.1 + 6.7851x - 0.0213x^2$	10	18.43	159.3	507.0
	济南13号	$y = 318.0 + 5.4422x - 0.0161x^2$	8	9.41	170.0	518.6

1 平方米籽粒重 (y) 与累积的实际蒸散量 (x) 关系如表 7 所示。

从表 7 可看出, 小麦在前期生长正常的情况下, 要获得最佳产量, 拔节期的适宜需水量为: 鲁麦 1 号为 146.4 毫米, 济南 13 号为 129.1 毫米, 济南 13 号较耐旱。在抽穗到成熟期的需水量为: 鲁麦 1 号为 159.3 毫米, 而济南 13 号却需 170 毫米, 鲁麦 1 号在此时段较耐旱。我市春旱多发生在 5 月份, 故采用鲁麦 1 号可能增产明显。

五、不同水分处理情况下经济效益的综合评判

1. 不同水分处理下的水分利用效益 (WUE)

所谓水分利用效益是指作物整个生育期中消耗单位水分所形成的产量数。计算水分利用效益时, 3 月份前的实际蒸散量计算是根据自然对照区土壤湿度资料, 自 3 月份起到成熟期的则是根据各种水分处理的实测土壤水分资料计算的, 如表 8 所示。

表 8 不同时段不同水分的处理的水分利用效益 (千克/毫米·日)

控制期	拔节—抽穗期					抽穗—成熟期					
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	
水分处理期											
总蒸散量	359.2	414.5	474.6	498.3	382.2	229.5	384.8	441.4	466.8	402.5	
水分利用效益	鲁麦 1 号	1.06	1.18	1.09	0.99	1.26	1.26	1.09	1.14	1.14	1.16
	济南 13 号	1.23	1.27	1.14	1.03	1.34	1.33	1.14	1.12	1.13	1.28

从表 8 可看出, 在拔节到抽穗期控制水分的以 E 处理的水分利用效益最大, 在抽穗到成熟期以 A 处理的水分利用效益最大。

2. 综合经济评判

要取得最佳经济效益, 只考虑水分利用效益是不够的, 还要进行多要素的综合评判。选择评判因子时要考虑收入和支出项。本文选用以下 4 个因子: (1) 籽粒产量; (2) 秸秆产量; (3) 水分利用效益; (4) 灌水费用, 包括水、电、劳力和机械维修等费用。灌水量均以自然对照区的实际蒸散量为对比标准, 大于对照区的实际蒸散量为灌水量, 小于它的为负值, 需经转换。另外各因素在矩阵中的权重不同, 权重因子按经济价值折算, 然后将单因素矩阵与权重矩阵相乘得出评判结果。在拔节期控制水分的情况下, 以自然对照区的经济效益最高, 以 <40% 处理的经济效益最低。用同样方法求得抽穗到成熟期的评判结果是以 55—80% 处理的经济效益较高。再用同样方法对拔节期 E 处理和抽穗期的 C 处理进行评判, 结果是以拔节期的 E 处理经济效益最高。拔节期 E 处理土壤水分实际状况是: 1 米深土壤相对湿度为 69—46%, 0—50 厘米深为 61—36%, 抽穗到成熟期 1 米深土壤相对湿度为 50—38%, 0—50 厘米深为 54—36%。可见, 在拔节到抽穗期 1 米深土壤相对湿度以 70—45%, 0—50 厘米以 60—40% 为宜, 抽穗到成熟期以 1 米深土壤相对湿度 50—40%, 0—50 厘米 55—40% 为宜, 这可认为是经济效益最好的水分指标。

六、小 结

两年来的试验可得以下初步结果:

1. 麦田实际耗水量随土壤湿度而变,湿度越大,耗水越多。在土壤相对湿度55—80%以下时,耗水随土壤湿度增加的速率大,在55—80%以上增加的速率小。
2. 55—80%的土壤相对湿度是小麦拔节—灌浆期的适宜水分指标。
3. 抽穗—成熟期比拔节—抽穗期对水分更为敏感。在其它时段水分供应正常的情况下,在泰安市要获得最佳产量,鲁麦1号在拔节—抽穗期需水146.4毫米,济南13号需水129.1毫米;在抽穗—成熟期鲁麦1号需水159.3毫米,济南13号需水170毫米。
4. 在两个时段的不同水分处理中,1985年以自然对照区经济效益最高,即依靠天然降水不需灌溉就可获得最大经济效益。

泰安市的经济灌水方案,从气候角度来看,以灌两水(即孕穗水和灌浆水)经济效益最大。以上是两年试验结果,也仅局限于泰安,有关试验尚待进一步检验。

参 考 文 献

- [1] I. D. Teare and M. M. Peet, *Crop-water Relations*, Wiley Interscience, 1982.
- [2] 马文·E·詹森编,耗水量与灌溉需水量,农业出版社,1982.
- [3] 郑剑非、殷向荣、严茨,桑斯维特修订的水分区划方法介绍,气象科技,2,1982.

RELATIONSHIPS BETWEEN WATER CONSUMPTION FOR WHEAT FIELD AND WINTER WHEAT GROWTH

Wu Naiyuan Zhang Tingzhu
(*Taian Agrometeorological Station*)

Abstract

According to the experimental data of controlling water for winter wheat field in Taian, Shandong Province during 1983—1984 and 1984—1985, the relationships between the water consumption for wheat field and winter wheat growth, physiological condition and yield of winter wheat have been analysed. Optimum water index and optimum yield from the jointing stage to mature stage have been obtained. In this paper, We have also discussed water usage effect.