

冬小麦耗水量和耗水规律的分析

朱自奎 牛现增 付湘军*

(河南省气象局农业气象试验站)

提 要

本文根据1983年10月—1986年6月的试验资料,从产量与耗水量的关系上确定最佳耗水量。同时对籽粒产量、秸秆产量、水分利用效率和灌水费用等进行综合评判,确定最大经济效益的水分处理。并对不同生育阶段的耗水规律进行分析,为田间水分管理和气候评价提供依据。

一、引 言

冬小麦耗水量的研究,国内外灌溉、水利、农业和气象部门都做了很多工作。但耗水量悬殊较大,其原因在于:①试验设计中的水分处理不同,给分析工作带来一定的局限性;②研究的着眼点不同,得出的结论也不一样。有的单纯考虑产量的高低,有的则同时考虑经济效益和水分利用效率。我们认为,作物耗水量是作物生物学特性和外界环境条件统一的结果,应反映作物的气候适应性。只有在不同的土壤水分等级下研究其产量形成、经济效益和水分利用效率的规律,才能揭示耗水量的实质。对大田作物来说,灌溉只能作为一种辅助性手段,而不是水分的主要来源,特别在目前水资源比较紧张的情况下更应如此。否则,不仅在经济上得不偿失,而且也失去了评价自然资源的意义。

二、试验设计和方法

试验是在人为控制水分的条件下进行的。试验场设在河南巩县,地下水位37m,土壤类型为轻壤土,中等肥力。场内设有活动式防雨棚,可以防止自然降水对土壤湿度的影响。小区周围设有地下隔离层,以防止土壤水分在水平方向上的运动。试验共分4个水分处理等级,分别占田间持水量的

<40%、40—55%、55—80%和>80%,另设自然降水区作为对照。每个处理共设3个重复。供试品种为小偃六号和百农3217。试验期间,每10天进行一次土壤湿度测定,所用仪器为中子仪(503DR Hydroprobe Moisture Depth Gauge)和土钻,测定深度为1.3m。耗水量的计算方法采用简化的土壤水分平衡方程**进行计算。另外,在试验场设有两台水力式蒸发器,分别保持自然降水和>80%(占田间持水量)的土壤湿度,每日进行实际蒸散观测。

三、试验结果与分析

1. 产量与耗水量的关系

耗水量受许多因子的影响,其中最主要的是气象因子、土壤湿度和作物状况。虽然它是一个变量,但对于一定地区和一定的产量水平,应具有相对稳定性。目前国内外多从产量与耗水量的关系上确定耗水量指标。关于二者关系的研究,国内外看法并不一致。概

* 参加此项工作的还有本站侯建新和巩县气象站的赵宗汉同志。

** 简化的土壤水分平衡方程为, $E_T = 0.1 \sum_{i=1}^n h_i d_i (W_{1i} - W_{2i}) + P + I$ 。 E_T 为一定时间间隔的耗水量(mm); n 为取土层次; h_i 为第 i 层土层厚度(cm); d_i 为第 i 层土壤容重(g/cm^3); W_{1i} 和 W_{2i} 分别为时段开始和结束时第 i 层的土壤湿度,以干土重百分率的分子表示; P 和 I 分别为该时段内的降水量和灌溉量(mm)。

括起来, 可有三种观点: ①二者呈线性关系〔1〕; ②二者呈指数关系〔2〕; ③二者呈抛物线关系〔3〕, 〔4〕。这三种观点的共同之处在于: 当产量水平较低、耗水量较少时, 二者均具有线性关系的特征。但当产量水平较高、耗水量较大时, 则有上述不同的观点。根据3年试验结果, 不同水分等级下产量有明显的不同。在产量水平较低时, 随着耗水量的增大, 产量近似直线上升。但当产量达到一定水平后, 随着耗水量的增大, 产量增加并不明显, 甚至出现下降趋势, 二者呈明显的抛物线关系(图1)。其方程为:

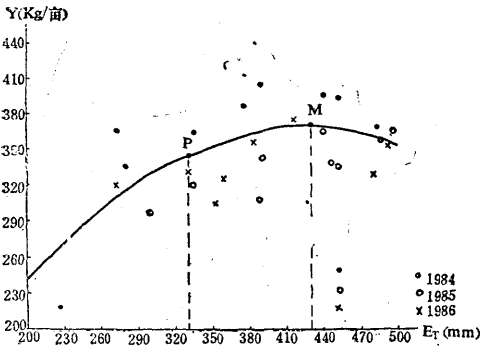


图1 冬小麦产量和耗水量的关系

$y = -67.47 + 2.02E_T - 2.35 \times 10^{-3}E_T^2$ (1)
 式中 y 为产量, 单位为 $kg/亩$; E_T 为耗水量, 单位为 mm 。经显著性检验, $F = 5.47$, 而 $F_{0.05} = 3.40$, 故该方程的回归效果良好。对上式求导, 可得最高产量 $y_{Max} = 366kg/亩$, 对应的耗水量为 $E_{T(Max)} = 430mm$ (即曲线上的 M 点)。许多国家正是根据这种原则来制定最佳灌溉方案的。

但是, 从水分利用效率的观点来看, 极值点耗水量并不是最佳耗水量。水分利用效率 $WUE = Y/E_T$ 〔3〕, 为每消耗1单位的水所形成的产量, 它随着 E_T 的增大而减小。曲线斜率 $\frac{dy}{dE_T}$ 可以反映 WUE 的变化过程。从图1可以看出, 在 M 点左方, 随着耗水量的增加, 斜率逐渐变小, 在邻近 M 点的一定范

围内, 斜率变化甚微, 且接近于零。运用最优分割理论, 对斜率总体 $\left| \frac{dy}{dE_T} \right|$ 进行最优分割, 可将斜率变化大和斜率变化小的两个子群分割开来。最优分割点 P 必须满足下式:

$$B^*(K, n) = \text{Max} \left\{ \frac{n \cdot K}{n - K} [\bar{y}(K) - \bar{y}]^2, \right. \\ \left. K = 1, 2, \dots, n - 1 \right\} \quad (2)$$

式中 $\frac{n \cdot K}{n - K} [\bar{y}(K) - \bar{y}]^2$ 为组间差, n 为总体样本数, K 为分割点序号, \bar{y} 为斜率总体平均值, $\bar{y}(K)$ 为第一子群斜率平均值。欲得到最优分割点 P , 则组间差 $B^*(K, n)$ 必须

达到最大。经检验, $F = \frac{B^*(K, n)}{T - B^*(K, n)}$ 。

$\frac{n - G}{G - 1} = 85$, 而 $F_{0.01} = 5.61$, 故分割是显著

的。与 P 点对应的 E_T 值(330mm), 可作为最佳耗水量指标, 产量可达343kg/亩。与极值点相比, 耗水量减少100mm, 而产量仅减少23kg, 可保证产量和水分利用效率同时稳定在较高的水平上。

2. 不同水分处理经济效益的综合评判

评价某一水分处理的好坏, 不能单纯从产量的高低来衡量, 而要从投入、产出和效率综合评价。我们取籽粒产量、秸秆产量、水分利用效率(WUE)和灌水量为评判因素, 建立单因素评判矩阵, 并取各行最大值为1, 分别求出该行其它元素与它的比值, 则单因素评判矩阵为:

	籽粒产量(kg/亩)				
	秸秆产量(kg/亩)				
$M_{4 \times 5} =$	水分利用效率(kg/mm)				
	灌水量(mm)				
	<40%	40—55%	55—80%	>80%	CK
	301.6	358.9	375.0	362.0	352.1
	585.4	644.6	694.4	929.7	622.2
	1.109	0.922	0.834	0.737	1.010
	-79.2	40.4	100.5	140.3	0

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} 0.8043 & 0.9571 & 1 & 0.9653 & 0.9389 \\ 0.6297 & 0.6933 & 0.7649 & 1 & 0.6692 \\ 1 & 0.8314 & 0.7520 & 0.6646 & 0.9107 \\ -0.5645 & 0.2880 & 0.7163 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

上述因素在评判中起多大作用，取决于它们的权重。确定权重的原则，是按照各因

$$\begin{aligned} L_{1 \times 4} &= \begin{pmatrix} \text{籽粒} & \text{秸秆} & \text{水分利用效率} & \text{灌水费用} \\ 349.9 \times 0.5 & 695.3 \times 0.06 & 349.9 \times 0.5 \times 0.5 & 93.7 \times 0.047 \\ = & (174.95 & 41.718 & 87.475 & 4.4039) \\ \Rightarrow & (0.5670 & 0.1352 & 0.2835 & 0.0143) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

由于灌水费用为支出项，应取负值，则：

$$L_{1 \times 4} = (0.5670 \quad 0.1352 \quad 0.2835 \quad -0.0143)$$

将 $L_{1 \times 4}$ 和 $M_{4 \times 5}$ 相乘，则得综合评判的结果为：

$$N_{1 \times 5} = L_{1 \times 4} \times M_{4 \times 5} = (0.8327 \quad <40\% \quad 40-55\% \quad 55-80\% \quad >80\% \quad \text{CK} \\ 0.8680 \quad 0.8734 \quad 0.8566 \quad 0.8810)$$

可以看出，在所有水分处理中，以对照区 (CK) 经济效益最高，其次为55—80%，第三为40—55%，而>80%的处理仅居第四位，可见并非灌水愈多愈好。根据3年试验结果，对照区耗水量平均为351mm，与上面确定的330mm基本一致。可取平均值340mm作为冬小麦耗水量的指标。

3. 耗水规律分析

冬小麦一生中由于受外界条件和生理、生态的影响，各阶段耗水量有着明显的不同。一般来说，冬前由于植株幼小，生长缓慢，植株体本身蒸腾量很小。但由于此期温度尚高，土壤蒸发较大，故耗水量较高。返青之后，温度迅速回升，叶面积扩大，耗水量很快增加，至抽穗前后达最大值。尔后，随着叶面积的减少而逐渐降低。根据3年试验资料，全生育期耗水量虽然年际间有些差异，但耗水规律却完全相同，反映了冬小麦耗水的内在规律和气候特征。取3年生长条件比较适宜的水分处理 (55—80%)，分别计算日耗水量占全生育期总耗水量的百分比，用3年平均点图，则日耗比随时间的变化曲线如图2所示。

其方程为：

素所有处理的平均值，分别计算其经济价值。籽粒、秸秆分别按0.50元/kg和0.06元/kg计算；灌水费用按0.047元/mm·亩计算；水分利用效率无法直接计算其经济价值，但该因素十分重要，取籽粒价值的一半计算，则权重矩阵为：

水分利用效率 灌水费用

$$349.9 \times 0.5 \times 0.5 \quad 93.7 \times 0.047$$

$$87.475 \quad 4.4039$$

$$0.2835 \quad 0.0143$$

由于灌水费用为支出项，应取负值，则：

$$L_{1 \times 4} = (0.5670 \quad 0.1352 \quad 0.2835 \quad -0.0143)$$

将 $L_{1 \times 4}$ 和 $M_{4 \times 5}$ 相乘，则得综合评判的结果为：

$$N_{1 \times 5} = L_{1 \times 4} \times M_{4 \times 5} = (0.8327 \quad <40\% \quad 40-55\% \quad 55-80\% \quad >80\% \quad \text{CK} \\ 0.8680 \quad 0.8734 \quad 0.8566 \quad 0.8810)$$

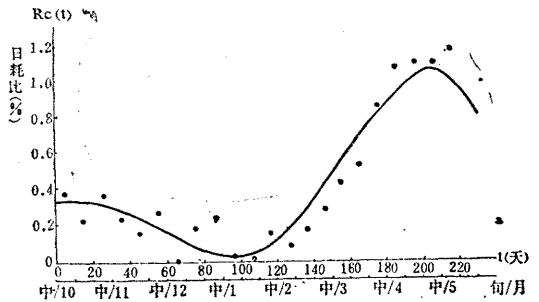


图2 冬小麦耗水规律曲线

$$\begin{aligned} R_c(t) &= 0.18 + 1.72 \times 10^{-2}t \\ &\quad - 4.94 \times 10^{-4}t^2 + 4.0 \times 10^{-6}t^3 \\ &\quad - 9.25 \times 10^{-9}t^4 \end{aligned} \quad (3)$$

式中 $R_c(t)$ 为日耗比， t 为生长日数，取10月11日为 $t=1$ 。对方程进行检验， $F=41.47$ ， $F_{0.01}=4.58$ ，故回归效果是显著的。

对 (3) 式求导，解方程 $R_c'(t)=0$ ，则极小值出现在 $t=95.3$ 天，极大值出现在 $t=205.3$ 天，分别相当于1月14日和5月4日。即在越冬期温度最低时耗水量最小，而在开花期耗水量最大。取任一时段 (t_1, t_2) 对 (3) 式积分，即

$$\int_{t_2}^{t_1} R_c(t) dt,$$

可得该时段耗水量占总耗水量的百分比，和

总耗水量340mm相乘，则得该时段耗水量。若时段分别取播种—越冬、越冬—返青、返青—拔节、拔节—开花和开花—成熟，则耗水量在各生育阶段的分配如附表所示。

附表 冬小麦不同生育阶段耗水量的分配

发育期 (月·日)	播种— 越冬 (10.11— 12.25)	越冬— 返青 (12.26— 2.18)	拔青— 拔节 (2.19— 3.28)	拔节— 开花 (3.29— 4.26)	开花— 成熟 (4.27— 5.31)
阶段耗水比 (%)	19.5	3.9	16.9	26.0	33.7
阶段耗水量 (mm)	66.3	13.2	57.5	88.4	114.6

不同生育阶段水分供应情况，对产量有不同的影响。根据3年试验资料，分别就拔节—抽穗、抽穗—成熟期的土壤湿度和产量做相关分析，发现这两个阶段的水分状况，对产量均有十分明显的影响，但以灌浆期更为显著。其相关系数分别为 $r_{拔} = 0.83$ 、 $r_{灌} = 0.96$ 。可见，保证灌浆期的水分供应，对提高产量是十分重要的。

四、结 语

在其它因子不成为限制因子的情况下，

产量与耗水量呈抛物线关系。在确定耗水量时，不宜仅考虑产量的高低，应同时考虑经济效益和水分利用效率。在兼顾的情况下，冬小麦耗水量以340mm为宜，既保证了较高的产量和经济效益，又避免了水资源的浪费，同时还不失其评价气候条件的意义。冬小麦不同生育阶段耗水量不同，开花期出现峰值，越冬期出现最低值。抽穗以后的水分供应情况对产量影响甚大，在水资源比较紧张的情况下，应优先保证灌浆期的用水。

参 考 文 献

- [1] J. doorenbos, Yield Response to Water, FAO Irrigation And Drainage Paper, No. 33, Rome, 1979.
- [2] 河南省水利科所、水电部农田灌溉所，河南省冬小麦需水量等值线图及灌溉分区评价的研究，1985。
- [3] Norman J. Rosenberg et al, Microclimate, The Biological Environment, Second Edition, A Wiley-Interscience Publication.
- [4] J. doorenbos, W. O. Pruitt, Guidelines for Predicting Crop Water Requirements, FAO Irrigation And Drainage Paper, No. 24, Rome, 1977.

An analysis of the amount and law of water

consumption for winter wheat

Zhu Zixi Niu Xianzeng Fu Xingjun

(The Agrometeorological Experiment Station of Henan Province)

Abstract

According to the data of experiment from October, 1983 to June, 1986, the paper analyzed and determined the optimum water consumption from the relationship between yield and water consumption. It also multievaluated the different treatments from grain yields, straw yields, water use efficiencies and irrigation costs and determined the optimum treatment. The results obtained from the two methods are the same. The law of water consumption during the different stages for winter wheat is analyzed and it is useful to water management of crop field and climatical evaluation.