

沧州地区冬小麦的水分供需特征 及水资源的合理利用

赵聚宝

(中国农业科学院农业气象研究室)

提 要

本文根据前人的田间试验结果和气象观测资料,应用彭曼公式和气候生产潜力的理论与方法,分析了沧州地区冬小麦水分供需特征,并从理论上探讨了不同时期灌水的生产效率。结果表明:本区小麦冬前水分条件较好,基本上可以满足需要,返青后水分供需矛盾日趋尖锐,返青—成熟各关键期各生育阶段的缺水幅度为88—138mm,产量降低幅度为18—50%。

灌溉的增产作用以拔节—抽穗期最好,在灌溉量相同的情况下,分别比返青—拔节期和抽穗—成熟期灌溉的增产40.6%和18.3%。

一、引言

沧州地区位于冀中平原的东部,地势低平,海拔高度在20m以下。本区属暖温带大陆性季风气候,光热资源丰富,发展农业生产的潜力很大。但旱涝盐碱等自然灾害频繁,生态功能失调,农作物产量低而不稳,是黄淮海平原治理难度最大的地区之一。

冬小麦是本区的主要作物,播种面积占耕地面积的40%左右,居所有作物之首。在冬小麦生育期间,太阳总辐射为234.4—242.8kJ·cm⁻²(越冬期不计),占年总量的45%左右;0℃以上的积温多年平均为2000—2300℃,平均最低气温-9.8℃,极端最低气温-21.8℃,一般年份都能安全越冬,光热资源比较充裕。但本区冬小麦生长正处于少雨季节,生育期间多年平均降水量为106.9—135.8mm,只占年降水量的五分之一左右,远不能满足高产的需要,进行人工补充灌溉是高产栽培的重要措施之一。然而,本区水资源有限,如何使有限的水资源发挥最大的增产效益,是农业生产中的重要研究课题。

本文根据前人田间试验结果和多年气象观测资料,对冬小麦的水分供需特征进行了分析,并从理论上探讨了不同时期灌水的生产效率,以期达到经济、合理灌溉,节水增产的目的。

二、计算方法

1. 需水量、实际耗水量和水分满足率的计算方法

作物需水量是在最佳耕作栽培条件下,生长茂盛的大田作物叶面蒸腾和棵间土壤蒸发所消耗水量的总和,其数值决定于天气气候条件、土壤水分状况和作物的生物学特性。英国彭曼(H. L. Penman, 1948)指出,在土壤水分适宜时,作物的需水量与同一气象条件下潜在蒸散量成比例,即:

$$\frac{ET_m}{PET} = K. \quad (1)$$

式中,ET_m为需水量,PET为潜在蒸散量,K_c为作物系数。

潜在蒸散量的计算方法很多,其中彭曼法是以能量平衡-空气动力学理论为基础推

导出来的综合分析式,在各种自然条件下都能取得较好的结果。本文应用联合国粮农组织 (FAD, 1979) 提出的彭曼修正式计算潜在蒸散量^[1]。其数学表示式为:

$$PET = \frac{W \cdot H_t + A_t}{1 + W}$$

其中: $W = \frac{\Delta}{r} \cdot \frac{P_0}{P}$

$$H_t = \frac{1}{59} \times 0.75(a + b^n/N) \cdot R_a - 1.98 \times 10^{-9} T_k^4 (0.56 - 0.079\sqrt{e_a}) (0.10 + 0.90^n/N)$$

$$A_t = 0.26(1.0 + 0.54u_2)(e_a - e_d)$$

式中, P_0 为海平面大气压 (hPa), P 为测站大气压 (hPa), Δ 为饱和水汽压—温度曲线的斜率, r 为干湿表常数, R_a 为天文太阳辐射, T_k 为以绝对温度表示的空气温度, n/N 为日照百分率, e_a 为空气的水汽压 (hPa), e_d 为饱和水汽压 (hPa), u_2 为 2m 高的风速 ($m \cdot s^{-1}$), a 、 b 为与大气透明状况有关的系数, 本文根据文献 [2] 确定。

作物系数因作物的种类、发育期而异,多数作物是苗期较小,随着作物生长发育逐渐增大,到生长盛期达到最大,而后又下降。作物系数还随气候条件而变化,具有一定的地域性。联合国粮农组织根据各地的试验资料确定的小麦 K_c 值,始期为 0.3—0.4,苗期为 0.7—0.8,中期为 1.05—1.2,后期为 0.65—0.75,收获期为 0.2—0.25。李玉山在洛川通过田间试验确定的冬小麦 K_c 值,苗期为 1.2,越冬期为 0.4,返青期为 0.9,拔节期为 1.2,产量形成期为 0.9,全生育期为 0.9。王道龙根据北京、曲周、淮阳两年的田间试验资料求出冬小麦 K_c 值,冬前为 0.79,越冬前为 0.55,返青—拔节期为 0.89,拔节—抽穗期为 1.11,抽穗—成熟期为 1.10,全生育期为 0.89。由于本区位于黑

龙港地区,所以本文引用王道龙所得结果,并参照有关资料,把抽穗—成熟期的 K_c 值订正为 0.9。

实际耗水量 ET_a 是指作物在其生长期间所得到的水量。在旱作条件下,主要有两个来源,一是降水,二是土壤有效水储量。在没有实测资料时,土壤水储存量用下式估算:

$$S_a = S_{a_{i-1}} + p - K_c \cdot PET \quad (2)$$

式中 S_a 为本生育阶段土壤水储存量, $S_{a_{i-1}}$ 为前一阶段土壤水分储存量, p 为降水量,其它符号含意同前。单位均以 mm 表示。当 $p + S_{a_{i-1}} \geq ET_m$ 时, $ET_a = ET_m$, 否则, $ET_a = p + S_{a_{i-1}}$ 。

作物的水分满足率定义为实际耗水量占需水量的百分数,即: $ET_a/ET_m \times 100\%$ 。

2. 气候生产潜力的计算方法

作物的最高产量主要取决于作物本身的生物学特性及其对环境的适应程度。而气候生产潜力是指气候因素处于最佳状态时,作物所能达到的产量上限。影响产量的气候因素有太阳辐射、温度和水分,因此,作物的气候生产潜力按限制因素可分为光合生产潜力、光温生产潜力和光温水生产潜力。

光合生产潜力是在温度和水分条件处于最适状态时,由光能资源所决定的生产潜力,其值决定于太阳辐射强度和作物群体转化利用太阳光能的效率。文献 [3] 考虑光合有效辐射、反射、漏射、光饱和限制、非光合器官无效吸收、呼吸损耗及作物光能转化的量子效率等,把光合生产潜力模式概括为 0.204Q 斤/亩。本文根据文献 [1],把小麦的呼吸损耗改为 0.40,不考虑漏射,而以叶面积系数加以修正,并假定冬小麦有效叶面积为 5,叶面积修正值为 0.5。则光合生产潜力模式改为:

$$Y_L = 0.092Q \quad (3)$$

式中 Y_L 为生物学光合生产潜力 (斤/亩), Q 为生育阶段的太阳总辐射 ($J \cdot cm^{-2}$)。

光温生产潜力可视为灌溉管理完善,水、肥、病虫害对产量均无影响时,由光、温资源所决定的生物学产量。光温生产潜力可用下式表示:

$$Y_{Lt} = f_t \cdot Y_L = 0.092Q \cdot f_t \quad (4)$$

式中 Y_{Lt} 为光温生产潜力 (斤/亩), f_t 为温度订正函数。据文献 [3],

$$f_t = 4.301 \times 10^{-2} \cdot t - 5.771 \times 10^{-4} \cdot t^2,$$

其中 t 可用小麦生育期的平均气温代替。

光温水生产潜力是在自然条件下,由光、温、水资源共同决定的生物学产量。水分对产量的影响主要表现在农作物对缺水程度的反应。对 (4) 式进行水分条件订正,得到光温水生产潜力的计算式为:

$$Y_{Ltw} = 0.092Q \cdot f_t \left[1 - k_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right) \right] \quad (5)$$

式中 Y_{Ltw} 为光温水生产潜力 (斤/亩), k_y 为产量反应系数,据文献 [1],冬小麦的 k_y 值,苗期为 0.2,花期为 0.6,产量形成期为 0.5,全生育期为 1。其它符号含意同前。

小麦的收获指数 (又称经济系数) 变化在 0.35—0.45 之间,高产麦田取值应在 0.4 以上。

(5) 式可用来计算自然条件下的农作物的产量,也可用来估算不同时期灌水的增产效果。

三、结果与分析

1. 冬小麦的需水量和需水规律

各地的试验资料表明,在土壤水分适宜时,高产麦田的耗水量相对比较稳定,黄淮海地区约为 310—370 方/亩,即 465—555mm。我们根据前人的田间需水量试验结果和多年气象资料,应用 (1) 式计算结果,本区高产麦田的耗水量为 551.3mm,即 367.5 方/亩 (见表 1)。

由表 1 可以看出,小麦的需水量随生育阶段不同而异。返青前耗水量较少,冬前耗

表 1 冬小麦田间需水量和需水规律

项目	生育阶段		越冬期	返青 拔节	拔节 抽穗	抽穗 成熟	全生 育期
	播种	越冬					
日数	71	90	41	30	31	263	
需水量(mm)	92.3	42.8	99.7	164.2	152.3	551.3	
耗水模系数(%)	16.7	7.8	18.1	29.8	27.6	100.0	
日耗水量(mm)	1.30	0.48	2.43	5.47	4.91	2.1	

水量占总耗水量的 16.7%,越冬期占 7.8%。返青后,气温逐渐升高,小麦茎叶生长日趋繁茂,耗水量随之增加,返青—成熟的耗水量占总耗水量的 75.5%,其中拔节—成熟的耗水量占总耗水量的 57.4%。从耗水强度看 (见图 1),冬前分蘖期和拔节—抽穗期是两个耗水高峰期,冬前高峰期的日耗水量达到 2mm 以上,拔节—抽穗期的峰值达到 6mm/日左右。越冬期耗水强度最小,日平均耗水量为 0.3—0.4mm。

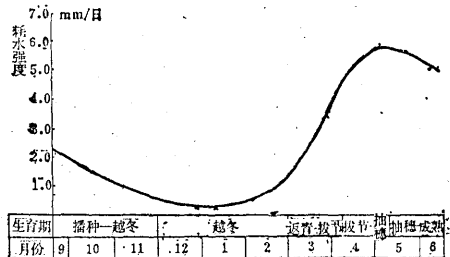


图 1 冬小麦耗水强度变化曲线

2. 冬小麦水分的供需特征

本区冬小麦多在 9 月末 10 月初播种,翌年 6 月 10 日前后成熟,全生育期多年平均降水量为 135.8mm,仅为高产小麦田间总耗水量的四分之一,水分供需矛盾比较突出。各生育阶段的水分供需状况列于表 2。

表 2 的资料表明,冬小麦各个生育阶段的降水量都不能满足需要,但各生育阶段的水分供需状况也有差异。由于秋季紧接在雨季之后,土壤储水较多,在正常年份,冬前的降水和土壤水基本上可以满足需要。进入

表2 冬小麦水分的供需状况

项目	生育阶段		越冬	返青 拔节	拔节 抽穗	抽穗 成熟	全生 育期
	播种 越冬	越冬					
需水量(mm)	92.3	42.8	99.7	164.2	152.3	551.3	
降水量(mm)	39.3	13.0	12.0	27.0	44.5	135.8	
实际耗水量(mm)	92.3	30.9	12.0	27.0	44.5	206.7	
水分满足率(%)	100.0	72.2	12.0	16.4	29.2	39.0	
降水量占需水量的%	42.6	30.4	12.0	16.4	29.2	25.6	

越冬期，水分开始不足，水分满足率下降到72.2%。返青后，春雨稀少，土壤供水能力也越来越差，水分供需矛盾日趋尖锐，返青—拔节期水分满足率仅12%。拔节—抽穗期，营养生长和生殖生长并进，是冬小麦的需水关键期，水分满足率只有16.4%。特别是孕穗期对水分非常敏感，称为需水临界期，干旱缺水对产量影响最大。各生育阶段的水分盈亏量及对产量的影响由图2表明，越冬期缺水11.9mm，产量降低率为5.6%；返青—拔节期缺水87.7mm，产量降低率为17.6%；拔节—抽穗期缺水137.2mm，产量降低为50.2%；抽穗—成熟期缺水107.8mm，产量降低率为35.4%。可见拔节—抽穗期缺水最多，对产量的影响也最大。

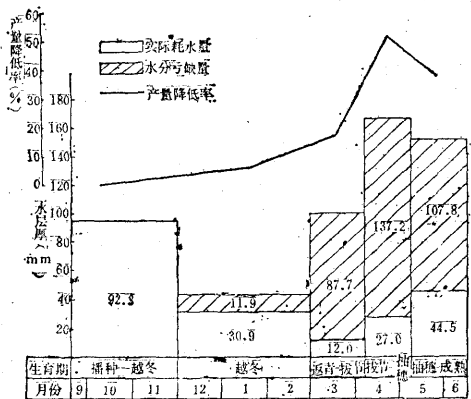


图2 冬小麦全生育阶段的实际耗水量、水分亏缺量和产量降低率

3. 不同时期灌溉的水分生产效率

小麦是耗水较多的作物，在影响产量形成诸因素均处于最佳状态时，其耗水系数为500—600。目前，本区高产麦田的耗水系数可以达到700—800，一般麦田为1100—3000，水分还有很大的生产潜力。近年来，农业、地理、水利、气象部门的科研单位在本区做了很多节水增产的试验研究工作，国家气象局气科院农气所在山东泰安和河南巩县进行的节水灌溉试验，在冬小麦需水关键期灌两水，灌水量节约50%左右，而产量却无显著差异，大大提高了水分的生产效率。

根据作物的水分供需状况制定灌溉方案时，应充分考虑自然降水和土壤储水，在地下水位高的地区还要考虑地下水补给，才能做到合理灌溉，节约用水。上述分析结果表明，在正常年份，本区小麦冬前的降水和土壤储水基本可以满足需要，入冬后，单纯依靠降水和土壤供水就不能完全满足小麦高产的需要，需补充灌溉。为了制定合理的灌溉制度，我们应用(5)式计算出不同灌溉处

表3 冬小麦的产量、耗水量、耗水系数

处 理	灌 溉 期	灌 溉 定 额 (mm)		耗水量 (mm)	估算 产量 (斤/ 亩)	耗水 系数
		阶 段 灌水量	合 计			
一个 阶段 灌 溉	返青—拔节	87.7	87.7	294.4	296.0	1326
	拔节—抽穗	137.2	137.2	343.9	489.7	936
	抽穗—成熟	107.8	107.8	314.5	376.8	1113
两个 阶段 灌 溉	返青—拔节	87.7	224.9	431.6	574.4	1002
	拔节—抽穗	137.2				
	返青—拔节	87.7	195.5	402.2	430.4	1246
	抽穗—成熟	107.8				
	拔节—抽穗	137.2	245.0	451.7	747.7	806
	抽穗—成熟	107.8				
三个 阶段 灌 溉	返青—拔节	87.7	332.7	539.4	919.1	783
	拔节—抽穗	137.2				
	抽穗—成熟	107.8				
不 灌				206.7	243.4	1132

理下的理论产量、耗水量和耗水系数,以比较各种灌溉方案的增产效果(见表3)。

由表3可以看出。冬小麦返青后各个生育阶段浇水都有增产作用,但不同时期浇水的效果不同。如果水源紧张,只能在一个生育阶段浇水时,拔节—抽穗期浇水的效果最好。在灌溉量相同的情况下分别比返青—拔节期和抽穗—成熟期增产40.6%和18.3%。如果水源条件较好,可在两个生育阶段灌溉,则以拔节—抽穗期和抽穗—成熟期的灌溉效果最好,比在其他两个阶段灌溉增产24.8—55.1%。从提高水分的生产效率来看,在返青—拔节期和在返青—拔节期及抽穗—成熟期灌溉的,水分生产效率低于旱地,耗水系数为1246—1326,灌溉水的生产效率为0.43—0.88斤/mm。在抽穗成熟期灌溉的,水分生产效率接近旱地,耗水系数为1113,灌溉水的生产效率为1.10斤/mm,其他灌溉方案的水分生产效率为1.41—2.00斤/mm。

四、初步结论与建议

根据本文的计算、分析,可得出以下几点结果:

1. 纵观本区冬小麦各个生育阶段的天气气候条件,以冬前为最适宜。因此,在栽培上首先应抓好适时播种,充分利用冬前有利的光、温、水资源培育壮苗。小麦良种的抗旱特性主要表现在前期根系发育快。壮苗与根系发育关系极大。所以冬前培育壮苗是增强小麦抗旱性、提高水分利用率的重要措施,而适时播种是培育壮苗的关键。“一早三

分壮”,早年更要适时偏早播种。其次是施足底肥,早施化肥。

2. 根据本文计算结果,本区冬小麦越冬期缺水11.9mm,返青—拔节期缺水87.7mm,共缺水98.6mm,折65.7方/亩。因此,在冬前日平均气温为5℃左右时,充分利用冬季水源,浇一次定额较大的冻水,而不浇或晚浇返青水是适宜的。

3. 在正常年份,本区冬小麦应浇好4水,

(1) 11月中旬浇一次冻水,浇水定额为50—60方/亩;(2) 翌年3月下旬浇一次起身水,定额为40—45方/亩;(3) 4月中、下旬浇一次拔节水,定额为45—50方/亩;(4) 5月中、下旬浇一次灌浆水,定额为40—45方/亩。全生育期总灌水量为175—200方/亩(即262—300mm)。每次灌水后应紧密结合中耕松土,减少土壤水分蒸发,提高灌溉水的利用率。

4. 在特殊年份,应根据苗情、墒情适当调整灌溉期和灌溉量。秋旱年,耕作层含水量低于田间持水量的70%时,播前应增加一次底墒水,足墒下种,保证全苗是高产栽培的前提。湿润年,可根据苗情、墒情不浇起身水,但拔节水不能省,视当年的天气气候情况,可适当提前或推迟浇这一水。

参考文献

- [1] FAO, Yield response of water, Irrigation and drainage paper 33, 1979.
- [2] 赵聚宝, 河北省太阳总辐射的气候计算方法和空间分布, 河北师范大学学报, 1982年1期。
- [3] 于沪宁, 赵丰收, 光热资源和农作物的光热生产潜力, 气象学报, 40卷3期, 1982年。

Evaluation on the water condition of winter wheat and reasonable use of water resource in Cangzhou region

Zhao Jubao

(Laboratory of Agrometeorology, Chinese Academy of Agricultural sciences, Beijing)

Abstract

Based on the results of field experiment and the meteorological data by predecessors, using Penman's formula and the theory and method of potential productivity of climate, the evaluation on the water condition of winter wheat in Cangzhou region is analysed. The productive efficiency of irrigated water in different period is investigated in theory. The results show that the water condition is better before winter, yet water supply after the reviving is out of proportion to water requirement, an amount of water deficit is about 88—138mm in each growing period, the yield decreased about 18—50%.

The effect of irrigating on the increased yield is the best at jointing-earring stage under the same irrigated quantity, the increased yield is more 40.6% and 18.3% than the stages of reviving-jointing and earing-ripening respectively.