

封丘地区雨养麦田的水分供应和产量潜力

周凌云

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

本文通过对一块 $65 \times 106 \text{m}^2$ 的雨养麦田连续五个麦季生产潜力资料分析后。结果表明, 小麦在充分施肥 (N 为 $13 \text{kg}/\text{mu}$, P_2O_5 为 $7.5 \text{kg}/\text{mu}$) 的条件下, 其雨养麦田生产潜力的幅度为 $230-375 \text{kg}/\text{mu}$ 。而根据五个麦季的水分特征与封丘历年麦作的水分特征分布所做统计分析, 推定其生产潜力的置信度为 74.8% 。但是小麦产量与总耗水量的相关性不显著 ($r=0.67$)。研究结果表明, 尽管产量与总耗水量相关关系仍是一种重要的表述方式, 但我们必须对其实际过程加以分析。另外值得一提的是五个麦季的水分利用率 $\geq 0.75 \text{kg}/\text{mu}/\text{mm}$, 显著高于封丘地区的平均水分利用率 ($0.475 \text{kg}/\text{mu}/\text{mm}$) 和黄淮海平原的平均水分利用率 ($0.46 \text{kg}/\text{mu}/\text{mm}$)。它隐含表明增加肥料投入也是提高农田水分利用率的有效途径。

关键词 雨养麦田, 生产潜力

雨养农田的生产潜力系指作物依靠其生育期内的土壤供水和自然降雨供水条件下可获得的最高产量。大家知道, 作物产量的高低是受许多因素综合作用的结果, 但若排除病虫害等偶发因素的影响, 则品种和施肥是关键性的因素。而对水资源不足的地区, 如封丘来说, 水分因素也有显著的限制作用。当肥料不成为限制因素时, 即在“充分施肥”条件下, 本试验实质上已转为研究农田水分条件与作物产量的关系。故探求本区雨养麦田的生产潜力, 对制定优质的灌溉方案有实际意义, 而对该地区尚无灌溉条件的麦田, 以及对土地, 生物, 气候条件等与封丘相近地区的水资源管理与节水农业的发展, 其本试验结果均有直接的参考价值。

一、试验材料与方法

(一) 一般概况

封丘地区位于黄河以北平原的南部, 属于受季风影响的半湿润地区。历年均降雨量 (R) 为 618mm , 在黄河以北属中等水平, Penman 蒸发量 (ET_0)^[3] 为 1377mm 。但它的旱季雨季分明, 在 (4、5、6 月) 十分干旱, 降雨量占全年的 23% 。如以 R/ET_0 的比值表征地区的干旱程度, 则该时段为 0.27 , 而 (7、8、9 月) 雨季占全年的 59% , 平均 R/ET_0 为 0.90 。降雨与大气蒸发要求基本上持平, 水并不过量。另外降雨量分布不稳定也是该地区气候的显著特征之一。同一个月份的降雨量年际变异率高达 $65-173\%$ ^[1]。

土壤为黄河冲积物发育而成的黄潮土, 根据田间 77 个取样点样本分析, 试验地土壤质地可分为三层。表层 (0—30cm) 为砂壤土, 中层 (30—80cm) 为粉质粘土, 下层 (> 80cm) 为砂壤土¹⁾。剖面土壤的干

1) 根据多次土钻取土和少量剖而观察, 该层厚度达 220cm 。

容重及其变异见表 1。地力属中等水平,地下水位较浅(1—4m),变化幅度大。

表 1 土壤的容重(克/厘米³)
Table 1 Bulk densities of soils (g/cm³)

深度(厘米) Depth (cm)	平均值 Mean	标准差(克/厘米 ³) Standard deviation (g/cm ³)	变异系数 CV	样本数 Sample number
0—10	1.490	0.082	0.055	38
10—30	1.547	0.056	0.036	35
30—80	1.413	0.056	0.039	60
80—160	1.472	0.042	0.028	88

(二) 试验方法

本试验设在中国科学院封丘农业生态站试区内的一块 66×100m² 麦田中。连续进行了五个麦季(1984—1985, 1985—1986, 1986—1987, 1987—1988, 1988—1989)的试验观测。试验地中设 5 个土壤水分监测点(根据田间尺度,空间变异分析而选定的),分别埋设一组张力计和一个中子测水套管。以监测土壤水势和含水量。张力计的埋深为 10, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170 和 200cm, 土壤含水量每 10cm 为一测定层,测深至 200cm。在试验地中间设有一地下水位监测井,一个小型气象观测场设在试验地的旁边,以监测雨量、温度、湿度、风速、风向和日照。

试验地耕层(0—15cm)的土壤有机质平均含量为 0.864±0.153%,全氮为 0.056±0.007%。在五年小麦试验中,麦作规格是统一的,每季小麦的施肥量 N 为 13kg/mu, P₂O₅ 为 7.5kg/mu (这个施肥量估计亩产可达 400kg 以上的潜力,故称充分施肥)。小麦品种为宝丰 7228, 潜在产量 400kg/mu 以上。按当地传统方法播种,播量为 10kg/mu, 每年 10 月中旬播种,翌年 6 月初收割。生育期为 228±3 天,在生育期内除草 2 次。每季小麦取 60 个 4m² 的样方测定地上部分生物量和籽实产量。

二、结果与讨论

(一) 雨养麦田生产潜力的分析

雨养麦田的生产潜力系指依靠土壤储水和麦季期内降雨供水条件下的小麦可获得的最高产量。对本试验给定的品种潜在产量为 400kg/mu, 同时给予“充分施肥”条件。因此,试验实质是讨论水分条件与产量的关系,在无病虫害等偶发因素条件下,每个麦季达到的产量水平,可以认为是当季雨养水分条件下小麦的最高产量,我们用来表征雨养麦田的生产潜力。五个试验麦季的结果列于表 2,以其最低值和最高值来概化,其幅度为亩产 230kg—375kg。

水分因素是通过作物根系从根层土壤中吸取水分以蒸腾的形式对产量起作用的。因此,它与下述三个水分要素有关,(1)根层土壤有效储水(S_e);(2)麦季期内降水(R);(3)大气蒸发要求(ET_0)。研究作物根层土壤水分的补给,消耗与储存的关系,探明各时期土壤水分的过剩与亏缺,以便适时地排水灌溉,给作物生长提供有利的水分条件。此外,在地下水位浅的条件下,土壤储水还受毛管水上升的补给(U)和深层渗漏(D)的影响。对种植作物的土壤,其田间范围的农田水量平衡方程式为:

$$\Delta S_e = R + I - AET + U - RNF - D \quad (1)$$

式中 ΔS_e 为土壤有效储水量变化量; R 为降雨量; I 为灌溉量; AET 为作物耗水量; U 为毛管上升量; D 为深层渗漏量; RNF 为地表径流量。各量均以 mm 计算。

表 2 雨养麦田水分平衡要素

Table 2 Components of water balance in the experimental field

Year	一	二	三	四	五
	1984—1985	1985—1986	1986—1987	1987—1988	1988—1989
水分要素 (mm)					
Penman 蒸发量 (E_{TO})	631	669	660	663	626
降雨量 (R)	228.5	107.3	147.6	150.6	175.9
麦播期根层土壤有效储水量 (S_e)	517	454	189	177	229
麦作期根层土壤有效储水量差值 (ΔS_e)	-151	-247	-146.2	-126.6	-190
深层渗漏量 (D)	0.0	46	—	—	—
毛管上升量 (U)	-56	-18	—	—	—
实际蒸散量 (AET)	435.5	326.3	293.8	277.2	365.9
产量 (g/m^2)					
地上部生物量	1245±115	1062±154	855±171	631±150	815±137
籽实	550±53	563±64	387±103	346±99	406±70
茎秆	695±75	499±104	468±84	284±85	407±68
水分利用率 (kg/L)					
地上部生物量	2.86×10^{-3}	3.25×10^{-3}	2.91×10^{-3}	2.28×10^{-3}	2.23×10^{-3}
籽实	1.26×10^{-3}	1.72×10^{-3}	1.31×10^{-3}	1.25×10^{-3}	1.11×10^{-3}

注: 表中后三年的 D, U 测定值为零(由于后三年的地下水位较深, 无 U 补给。无大雨, D 为零。)

本试验为雨养, $I = 0$ 。而麦作期降雨强度小, 地面几乎无坡, 土壤容易入渗, 故径流量 RNF 可以忽略为零。那么方程式(1)变为:

$$\Delta S_e = R - AET + U - D \quad (2)$$

实际上平衡计算是测定 $\Delta S_e, R, U, D$ 求 AET 。是计算作物水分利用率的参数。

$$WUE = Y/AET \quad (3)$$

式中 WUE 为作物水分利用率; Y 为产量。

上述水分要素的监测结果列于表 2。按种麦时根层土壤储水量和麦季期内累计降雨量划分。五个麦季分别代表多雨-土壤储水丰足(1985), 少雨-土壤储水丰足(1986, 1989), 少雨-土壤储水亏缺(1987, 1988) 三种水分条件。这些水分条件大体上可以概括本区历年(1965—1989 年) 出现过的麦作水分条件。故其产量结果亦可能在以后各年重现。也就是说, 用它们来表征雨养麦田的生产潜力基本上是可信的。

(二) 雨养麦田生产潜力置信度分析

对土壤-植物-大气系统, 其作物的蒸腾强度一方面取决于大气的蒸发要求, 另一方面取决于土壤的供水。在雨养条件下, 土壤供水不仅取决于麦作期(10 月中旬至翌年 5 月) 的降雨, 同时也取决于麦播前的土壤储水, 后者也和麦播前的降雨及大气蒸发要求有密切

关系。假如我们用每年8月下旬至翌年5月的降雨(R)与Penman蒸发量(ETO)¹⁾的比(R/ETO)来表征麦作的水分条件。那么,对5个试验麦季播种时土壤有效储水量与麦播前55天(8月下旬至10月中旬)的 R/ETO 的相关分析表明(图1),它们的相关系数(r)为0.975,达到显著水平。这说明用该时段的 R/ETO 来表征麦田的有效储水量是合理的。故我们用每年8月下旬至翌年5月的 R/ETO 来表征麦作的水分条件。

封丘县历年(1965—1989)8月下旬至翌年5月的 R/ETO 分布示于图2,它近似为直线,表明它近似正态分布。5个试验麦季的 R/ETO 在图中分别以“○”标出,以其最小和最大值标定为置信区间 $P(0.238 < R/ETO < 0.505) = 0.748$ ^[2],便易得其置信度为74.8%。换言之,它就是本区雨养小麦获得亩产230—375kg的置信度。这个结果对本区在计划的产量水平下确定小麦的灌溉用水量及根据现有的水资源情况可以预测所能获得的产量有实际参考价值。

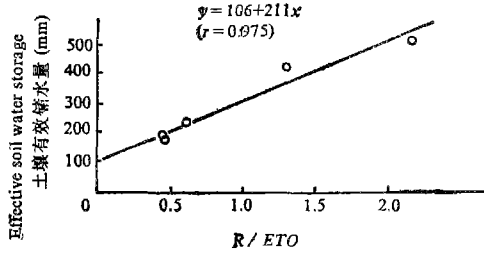


图1 麦播前55天的 R/ETO 与土壤有效储水量的关系

Fig. 1 The relation between effective soil water storage and R/ETO 55 days before sowing

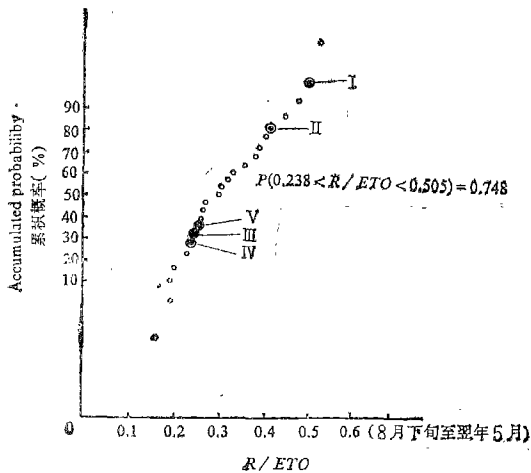


图2 封丘地区历年(1965—1989)雨养麦田水分条件的概率分布

Fig. 2 Probability distribution of water conditions of rainfed wheat field in Fengqiu (1965—1989)

豫北平原11个县以及封丘县历年8月下旬至翌年5月的 R/ETO 平均值。它们的麦作水分条件(R/ETO)与封丘地区相差 $\leq 5\%$,其中封丘西部的延津,原阳,汲县以及东部的南乐县相差较大(10—15%),主要是由于它们的降雨量较小;其余7个县与封丘相差 $\leq 10\%$ 。这暗示本文的试验结果在这些地区重现的可能性很大。当然,外推毕竟只是

(三) 试验结果的外推分析

豫北平原是河南省重要的小麦产区,全区小麦播种面积达1422万亩,产量达38.2亿公斤,它的土地,生物,气候条件与封丘相近。目前该区约有1/2的耕地尚无有保证的灌溉条件,即使在有灌溉设施的地区,由于近年工农业用水加剧,也面临水资源危机的威胁。因此,对本试验结果的外推加以讨论,也有实际意义。

若品种与施肥条件充分满足,则外推问题实质上是比较各地区麦季的水分条件与本区水分条件的异同。表3列出

1) $ETO = K[WxR_n + (1-W)f(u)(ea - ed)]$, W 为与温度有关的系数; R_n 为净辐射; $f(u)$ 为风速函数; $(ea - ed)$ 为日平均气温的饱和湿度差; K 为补偿系数。

一种科学预测,需要实证检验,我们希望它在后续研究中能得到证实。

表3 豫北平原历年(1951—1980)麦作的水分要素

(每年8月下旬至翌年5月总量的平均值)

Table 3 Water components of wheat field in North Henan Plain (1951—1980)

(Mean of total amount from the last ten days of Aug. to the end of May of next year)

地区 District	降雨量(mm) Rainfall (R , mm)	Penman 蒸散量 Penman evaporation (E_{TO} , mm)	R/E_{TO}	以封丘为参比的误差 Error (%)
封丘	293.9	943.0	0.312	—
延津	274.1	1006.1	0.272	-12.6
汲县	269.5	987.5	0.273	-12.4
原阳	269.9	1018.7	0.265	-15.0
新乡	267.5	892.7	0.300	-3.8
获嘉	263.1	936.0	0.281	-9.8
滑县	299.7	969.9	0.309	-0.8
长垣	304.4	935.3	0.325	4.4
濮阳	292.4	919.4	0.318	2.0
清丰	275.3	937.8	0.294	-5.8
南乐	265.1	980.7	0.270	-13.3
范县	271.0	942.0	0.288	-7.7

注: 根据河南省气象研究所提供的资料。

(四) 雨养麦田耗水量与水分利用率的分析

一般地说,当土壤供水充足时,决定农田水分蒸散的是气候,特别是净辐射。而在土壤水分成为限制因素的情况下,随耗水量(AET)增加,生物产量和经济产量随之增加, AET 和产量之间是线性关系^[6]。我们根据表2已给出各个麦季的实际蒸散量(AET)及其产量分析表明,不论地上部分生物量还是籽实量,都没有象通常的产量响应曲线那样表现出与 AET 的相关性。它们的线性回归(r)为0.646,二次回归(r)为0.668,均未达到显著水平。分析表明,问题出在第五个麦季的产量与其 AET 之比反常(图3),从 AET 与产量散点图可以看出,第五个麦季(在图中以“*”标出)扰乱了曲线的走向。

虽然第五麦季的降雨量为176mm较高于历年平均值(155mm),但是其密度大(23次降雨)。它作为耗水量的一个来源计入总耗水量中。但耗水量实际包含两部分:表观耗水与实耗水。大家知道,在降雨补给中,有一部分为冠丛截留,落入土中的雨水,也容易从湿润的表土中重新被蒸发。而同等的雨量,分配次数越多,其表观耗水比重越大,实效率低,对产量形成有效作用也低。然而,更为重要的是,在小麦需水最关键时期(抽穗前至灌浆前期)的20天内(生育期内第181—201天)麦田的蒸散强度只有1.9mm/天。显著低于其它麦季该时段的蒸散强度。究其原因是由于土壤有效储水(133—95mm)不足造成的结果。根层平均有效含水量只有 $0.07\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 左右,而该时段又无降雨,麦根吸水受到强烈限制,故显著影响它的产量。这说明关键时期的耗水作用是不可取代的。由此可见,尽管传统上产量与总耗水量相关关系仍是一种重要的表述方式,但我们必须对其实际耗水过程加以分析。它们常掩盖了这样的事实:尽管全生育期的总耗水量相同,而总耗

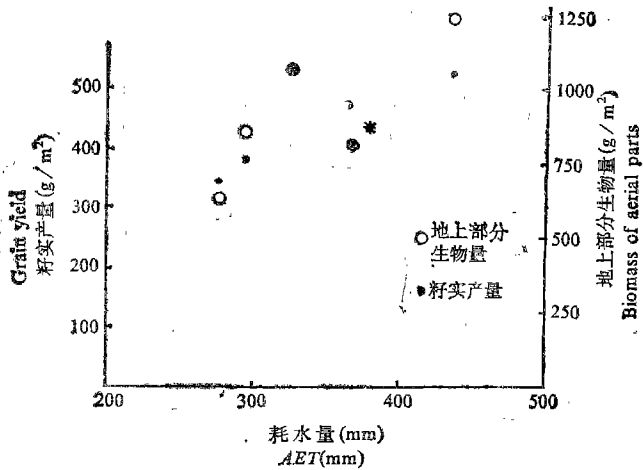


图3 小麦产量与耗水量的关系

Fig. 3 Relation between water consumption and wheat yield

水量值在各生长阶段的分配方式不相同,其产量是不相同的。这也就是说小麦在全生育遭受同量的缺水,但这些缺水发生在不同的生长阶段,显然其影响产量的程度是不相同的^[7]。必须研究各个阶段蒸散量与产量的关系。

(五) 关于增加肥料投入提高水分利用率的讨论

我们从表2的结果看,在充分施肥条件下,5个麦季的水分利用率 $\geq 0.75\text{kg}/\text{mu}$,其幅度为 $0.75-1.15\text{kg}/\text{mu}$,都显著高于封丘地区的平均水分利用率($0.475\text{kg}/\text{mu}\cdot\text{mm}$)和黄淮海平原的平均水分利用率($0.46\text{kg}/\text{mu}\cdot\text{mm}$)。这个结果暗示:这两个地区水的潜力尚未充分发挥,因为其平均施肥量(估计为N为 $6.4\text{kg}/\text{mu}$, P_2O_5 为 $2.25\text{kg}/\text{mu}$)^[8]尚未达到本试验的水平。暗示水分利用率的提高是增加肥料投入的作用。

从另一角度看,当有较高的肥料投入时,如果水分不足,便会降低肥料的利用率。以本试验产量最高的麦季(第二麦季)的肥料利用率为参比,则供水不足的麦季的肥料利用率下降31—38%,可见合理的水肥配合是一个值得研究的后续课题。探明水肥交互作用对总产量效应的贡献,提出合理的水肥配比,以便同时提高两个因素的利用率。

三、小 结

通过以上分析,得出的主要结论如下:

1. 封丘地区雨养麦田的生产潜力为 $230-375\text{kg}/\text{mu}$,根据该区历年的气象资料分析,这个产量幅度的置信度为74.8%。

2. 对五个麦季总耗水量与小麦产量相关分析表明,它们的一次回归(r)为0.648,二次回归(r)为0.668,均未达到显著水平。对其耗水过程分析表明,尽管产量与生育期内总耗水量相关关系仍是一种重要的表述方式,但是必须研究小麦各个生育阶段耗水量与产量的关系。

3. 五个麦季的水分利用率 $\geq 0.75\text{kg}/\text{mu}\cdot\text{mm}$,说明在适当范围内增加肥料投入可以

有效地提高本区的水分利用率。但在水分不足条件下肥料的利用率下降, 故探明合理的水肥交互作用对总产量效应的贡献, 合理的配比水肥用量, 同时提高两个因素的利用率是一个值得研究的后续课题。

参 考 文 献

1. 陈志雄、赵其国, 1989: 黄淮海平原的节水农业问题。土壤, 第 21 卷 4 期, 196—199 页。
2. 杨永歧, 1983: 农业气象中的统计方法。80 页, 气象出版社。
3. 席承藩等, 1985: 黄淮海平原综合治理与农业发展问题。68 页, 科技出版社。
4. 中国农科院土肥所, 1986: 中国化肥区划。79 页, 农业科技出版社。
5. Doorenbos J., et al., 1977: Guideline for Predicting Crop Water Requirements pp. 15—29. FAO Irrigation and Drainage Paper 24.
6. Aggarwal P. K. et al., 1986: Evapo-transpiration, water use efficiency, harvest index and grain yield. Field Crop Research, 13: 301—315.
7. Daniel Hillel, 1983: Advances in Irrigation. pp. 61—95. Academic Press.

WATER SUPPLY AND POTENTIAL PRODUCTIVITY IN RAINFED WHEAT FIELD IN FENGQIU REGION

Zhou Lingyun

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008)

Summary

This paper presents an analysis of the data from the experiment on potential productivity of rainfed wheat field carried out continuously for five years on a flat field of 66 m×100 m in Fengqiu. The results showed that under the condition of sufficient fertilizer supply, the potential productivity of the rainfed wheat field ranged from 3450 kg/ha to 5625 kg/ha, with a confidence of 74.8% obtained by the statistic analyses of water characteristics for the five wheat seasons and of the distribution of water in Fengqiu for all the previous years. The correlation between the wheat yield and the total water consumption was not obvious ($r=0.67$). In addition, it is worthwhile to mention that the water utilization rate of ≥ 0.75 kg/mu·mm for the five wheat seasons was remarkably higher than that in Fengqiu region (0.475 kg/mu·mm) and that in Huang Huai Hai region (0.46 kg/mu·mm). This implies that the increases of fertilizer supply is also an effective approach to increasing water utilization rate of the farmlands.

Key words Rainfed wheat field, Potential productivity