

东北北部黑土水分状况之研究

III. 黑土农业水分保证评价及春旱预测预报*

沈善敏 乔 樵 曾昭顺

(中国科学院林业土壤研究所)

对于东北北部黑土区的主要作物如小麦、大豆、玉米来说,自然水分供给能在多大程度上保证作物的良好生长和丰产需要?春季干旱对作物生长的影响和危害是否因作物种类不同而异?能否准确地预测预报黑土区春旱的形成和发生?为回答这些问题,作者在以往工作的基础上^[1-3],研究了不同作物下黑土农田的水量平衡,逐月比较了农田水分收入与支出之间的盈亏情况,并比较研究了不同年份的自然供水条件和作物的实际反应。

一、研究地点的平均降水分布及其变率

在地下水埋藏极深的黑土地区,降水几乎是农田水分的唯一来源。因此,降水的数量及其在年内的分布在颇大程度上左右着作物的水分供应状况。

由表1可见,这一地区的年降水量有着较大变化,而月降水量的变化更大,这说明黑土农田的水分收入逐年之间有着明显的波动。如果对各月的降水量和变率逐一加以比较,则7,8月不仅降水量最多而且其变率也最小,这使得作物生长最盛季节的水分供应相对比较稳定。6月降水变率较大,这对于多数中耕作物如大豆、谷子、玉米、马铃薯等来说,6月不过是它们的幼苗阶段,需水较少,因而影响也较小。但对于这时已进入生长盛期需水较多的小麦来说,6月降水量的较大波动使这一时期的水分供给显得极不稳定,从而有可能出现水分供应的某种脱节而造成干旱危害。

二、在充分供水条件下各作物的平均蒸发进程及年总蒸发

(一) 在充分供水条件下作物田间蒸发的经验式计算

在仅有少数年份实测资料的情况下,为了获得各种作物在充分供水条件下的平均蒸发进程和年总蒸发,常常可借助于经验式计算。Будыко^[6]的研究证实,在比较湿润的地区(年平均饱和差小于4毫米)辐射平衡与空气饱和差近于正比关系,因此在这一类地区用空气饱和差资料计算可能蒸发(亦即在充分供水条件下的蒸发)可获得良好结果。这一计算的公式如下:

$$E = K\Sigma D$$

* 九三农科所和九三气象站为这一研究工作提供了大量试验、观测资料,在此谨向九三农科所谢民泽技师和气象站温桂清站长等同志深致谢忱。

表 1 九三地区平均降水量及其变率 (1956—1966 年)

Table 1 The average rainfall and its relative average deviation at Jiusan region in Heilongjiang province (1956—1966)

月 份 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年 Total
降 水 量 (mm) Rainfall	3.4	3.2	6.4	17.8	37.0	82.4	115.6	104.8	71.7	21.3	5.9	4.9	474.4
平均离差 (mm) Average deviation	1.9	3.0	3.0	10.0	18.1	39.3	39.8	41.4	34.1	12.5	3.5	3.2	64.3
变 率 (%) Relative average deviation	55.9	93.8	46.9	56.2	49.0	47.7	34.4	39.5	47.6	58.7	59.3	65.3	13.6

注：九三气象站资料。

Note: Data from Jiusan Meteorological Station.

式中 E 为可能蒸发, D 为日平均饱和差, 单位用毫米或毫巴 (1 毫巴 = 0.75 毫米), K 为经验系数, 随作物和生育阶段而不同。阿尔巴捷夫^[4] 曾利用这一公式计算了在充分供水条件下各种作物的旬、月蒸发量和作物总需水量。

为了利用上式计算各作物不同生育阶段蒸发量, 首先必须确定各作物不同生育阶段的 K 值。为此采用了以下方法: 根据几种作物下 1 米土层土壤水量逐月逐旬的实测资料, 用水量平衡法计算得各作物不同生育阶段的旬蒸发量 (在计算中舍去了一部分土壤湿度偏低时的测定资料), 然后将旬蒸发量与同一旬的累加饱和差相比, 即可求得这一旬的 K 值, 即

$$K_{\text{旬}} = \frac{E_{\text{旬}}}{\Sigma D_{\text{旬}}}$$

式中 $E_{\text{旬}}$ 为用水量平衡法实测得的农田旬蒸发量, $\Sigma D_{\text{旬}}$ 为同一旬的累加饱和差, 单位毫巴。计算中所用实测资料的年数如下: 小麦 8 年 (1954, 1955, 1957, 1958, 1959, 1963, 1964, 1966), 大豆 5 年 (1960, 1961, 1963, 1964, 1966), 玉米 3 年 (1963, 1964, 1966), 所得各作物的平均 K 值列于表 2。

当有饱和差资料时即可利用前式并根据表 2 所列 K 值进行作物逐月逐旬的可能蒸发计算。同样, 根据多年旬平均饱和差资料, 即可进行作物在充分供水条件下的平均旬、月蒸发量计算。

(二) 在充分供水条件下九三地区各作物的平均蒸发进程

根据九三气象站历年 4 至 10 月各旬平均饱和差及由此计算得的旬累加饱和差资料, 并利用前式, 即可计算得九三地区小麦、大豆、玉米的平均可能蒸发量, 如表 3 所示。

表 3 和 1963, 1964, 1966 三年实测的三种作物蒸发进程^[5] 的基本规律是相似的, 只是平均蒸发进程总是要比个别或少数年份的蒸发进程显得更加平缓、均匀。同时也可以

表 2 小麦、大豆、玉米的平均 K 值
Table 2 The average K value of spring wheat, soybean and corn crops

月 Month	4			5			6			7			8			9			10				
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下		
小麦 Spring wheat	A period of ten days																						
	生育期 Growth period			苗期 Seedling stage			分蘖 Tillering			拔节 Elongating			抽穗—开花 Ear-ing-Flowering			灌浆 Grain filling			成熟 Ripening				
	旬 K 值 K value per ten days			0.15 0.16 0.17			0.20 0.22 0.27			0.40 0.53 0.62			0.68 0.66 0.59			0.50 0.42 0.35			0.30 0.28 0.28				
月 K 值 K value per month			0.16			0.24			0.52			0.64			0.43			0.30			0.28		
大豆 Soybean	A period of ten days																						
	生育期 Growth period																						
	旬 K 值 K value per ten days			0.15 0.16 0.16			0.17 0.21 0.21			0.30 0.43 0.55			0.65 0.69 0.69			0.65 0.58 0.47			0.28 0.22 0.20				
月 K 值 K value per month			0.16			0.19			0.43			0.68			0.57			0.28			0.20		
玉米 Corn	A period of ten days																						
	生育期 Growth period																						
	旬 K 值 K value per ten days			0.15 0.15 0.15			0.16 0.17 0.19			0.25 0.35 0.49			0.59 0.65 0.67			0.65 0.60 0.48			0.28 0.23 0.20				
月 K 值 K value per month			0.15			0.18			0.36			0.64			0.58			0.29			0.20		

表 3 九三地区小麦、大豆、玉米地平均可能蒸发量 (1956—1966年, 单位: mm)

Table 3 The average possible evaporation in spring wheat, soybean and corn fields at Jiusan region

月 Month	4			5			6			7			8			9			10			生长期蒸发量* Evaporation in growing period	生长期外蒸发量 Evaporation beyond growing period	年总蒸发量 (4—10月) Annual evaporation			
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下						
小麦 (合作6号) Spring wheat	旬计 Total in ten days			5	8	11	13	21	36	48	50	44	39	38	28	21	19	13	14	13	9	8	350	133	483		
	月计 Total in a month			24			70			131			121			68			39			30					
	旬计 Total in ten days			5	8	10	10	16	28	25	39	44	42	41	45	36	30	25	14	13	10	9				7	6
月计 Total in a month			23			54			108			128			91			37			22						
旬计 Total in ten days			5	8	9	10	16	25	32	39	38	38	44	36	31	25	14	13	11	9	7	6	331	106	437		
月计 Total in a month			22			51			92			120			92			38			22						
旬计 Total in ten days			5	8	9	10	16	25	32	39	38	38	44	36	31	25	14	13	11	9	7	6				331	106
月计 Total in a month			22			51			92			120			92			38			22						

* 作物生长期: 小麦: 5月-8月上旬, 大豆, 玉米: 6月-9月中旬。

* The growing period: Spring wheat-from May to 1st ten days of Aug., Soybean and corn-from June to 2nd ten days of Sept.

看出,如果包括生长期外的田间蒸发在内,小麦地的平均年总蒸发可超过这个地区的平均年降水量。

把 4 月至 10 月作为计算年总蒸发的时段是由于这个地区 4 月至 10 月是解冻季节, 4 月以前和 10 月以后地面和土壤均处于冻结状态, 平均气温在零度以下, 蒸发极为微弱可以略而不计。

三、不同作物的农业水分保证及季节性土壤冻层 对作物的供水调节作用

将这一地区的平均降水分布与各作物在充分供水条件下的蒸发进程相比较, 便可清楚看出降水量及其分布与各作物不同生育阶段对水分实际需要之间的协调程度(图 1)。

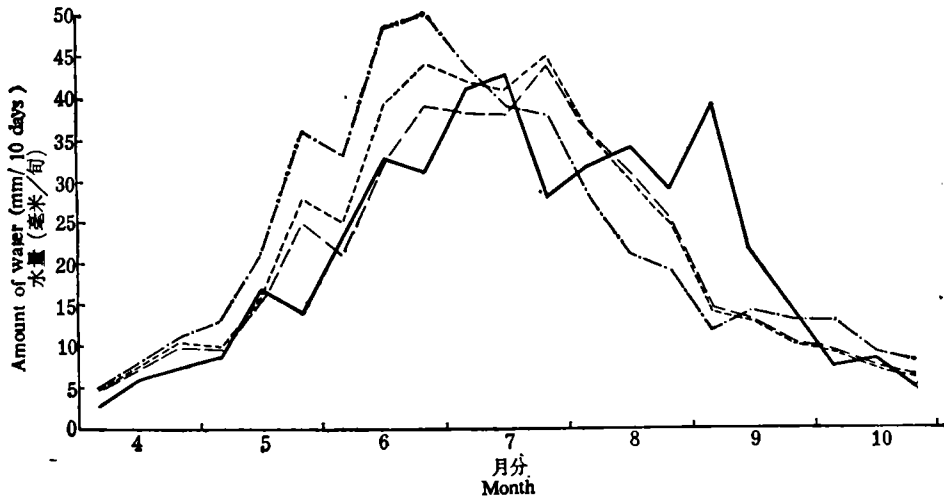


图 1 小麦、大豆、玉米地平均旬蒸发与平均旬降水比较

Fig. 1 The average possible evaporation in comparison With the average rainfall in every ten days in the fields of spring wheat, soybean and corn

— · — · — 小麦地 Spring wheat - - - - - 大豆地 Soybean
- - - - - 玉米地 Corn ————— 降水 Rainfall

由表 1、表 3 及图 1 可以看出,虽然九三地区的平均年降水量 474 毫米与几种作物农田的年总蒸发(437—483毫米)基本相适应,但降水与农田蒸发在年内的分配情况显示出两者之间并不协调,而且对不同作物来说这种不协调的情况也有明显不同。首先,降水在年内的分配未能恰好平衡作物各阶段的水量支出,在作物生长前期有一个明显的降水不足时期。其次,就不同作物而言,降水分布与大豆、玉米的蒸发进程配合稍好而与小麦的配合较差,尤其是 6 月中、下旬,当小麦已进入耗水高峰阶段,降水的高峰却远远落在后面,各作物 5, 6 两月降水量与可能蒸发量的差额是: 小麦 -82 毫米, 大豆 -43 毫米, 玉米 -24 毫米。

问题是: 在通常情况下, 事实上是通过何种途径弥补了这一时期由于降水不足而造

表 4 历年小麦地土壤融冻水对蒸发耗水的补给 (单位: mm)
 Table 4 The supply of thawing water from frozen soil layer for loss by evaporation of spring wheat field in various years

年份 Year	1米土层融冻水量 Thawing water storage within 1 meter depth of soil			6月 June			7月 July			8月 August			全年土壤 融冻水 最大消耗量 Max. consu- mption of thawing water in a year	年降水量 Annual rainfall
	测定日期 (日/月) Date of detn. (day/month)	总水量 Total water storage	有效水量 Available water storage	日期 Date	土壤最低 贮水量 Min. water storage in soil	融冻水消耗量 Thawing water consumption	日期 Date	土壤最低 贮水量 Min. water storage in soil	融冻水消耗量 Thawing water consumption	日期 Date	土壤最低 贮水量 Min. water storage in soil	融冻水消耗量 Thawing water consumption		
1954	6/5	417.2	208.8	1	383.5	33.7	28	373.7	43.5	26	307.5	109.7	109.7	419.5
1955	13/4	435.2	227.0	21	406.2	29.2	21	386.8	48.6	21	325.6	109.8	109.8	456.0
1957*	18/4	445.1	236.7	28	375.4	69.7	8	403.7	—	23	416.0	—	69.7	552.0
1958*	1957 25/11	432.0	223.6	28	303.0	129.0	18	271.2	160.8	8	281.6	—	160.8	553.6
1959	14/4	456.1	247.7	24	286.3	169.8	25	264.1	192.0	16	259.6	196.5	196.5	460.2
1963	21/4	374.1	165.7	1	340.0	34.1	2	380.4	—	2	367.2	—	34.1	572.4
1964	30/4	442.1	233.7	11	344.5	97.6	22	261.1	131.0	6	241.2	200.9	200.9	355.7
1965*	28/4	290.0	81.6	28	261.7	28.3	4	247.8	42.2	28	323.0	—	42.2	441.3
1966	21/3	377.1	168.7	11	314.5	62.6	21	293.3	83.8	1	277.3	99.7	99.7	487.3

* 九三气象站资料。

* Data from Jiusan Meteorological Station.

成的农田水分亏缺呢？1959 年的研究已经查明，这一地区作物生长前期的水分亏缺主要是由季节性土壤冻层解冻时释出的融冻水所弥补¹⁾。季节性土壤冻层在这一地区的高度发育，使得每年秋季降水中的盈余部分得以冻结的形态牢固地保存在土壤中，并于翌年春季化冻时供作物吸收利用。从而使这一地区降水分布与作物蒸发耗水之间的不协调状况大大地得到了改善。黑土季节性土壤冻层所能保持的水量随当年降水量的多少而定，在正常情况下，春季解冻时 1 米土层所能释出的有效水量平均可在 200 毫米上下。从这点也可看出黑土强大的蓄水保水能力对于改善农田的水分条件是何等地重要。

土壤融冻水对作物生长前期的理论补给量(6月末以前的平均可能蒸发量减去同期平均降水量)为：小麦 88 毫米；大豆 50 毫米；玉米 30 毫米。每年的实际补给量则有多有少，视春季降水量的多寡而定。在降水较少年份，融冻水的实际补给量可达 200 毫米上下，相当于这个地区平均年降水量的 40% 以上，补给时期可伸延至 8 月前后。从表 4 可看出，在观测的九年中，融冻水补给量大致在 30—200 毫米之间，九年平均为 110 毫米。

土壤融冻水对小麦生长期蒸发耗水的补给对保证小麦正常生长和获得丰收具有十分重要的意义，试举例比较说明如下：1964 年的降水量为 355.7 毫米，远不能满足小麦的耗水需要，但这一年春季土壤解冻时 1 米土层中贮有 234 毫米有效水分，这些水分大大弥补了降水之不足，小麦一生从中获得的水量为 201 毫米，这一年实验区的小麦产量为 498 斤/亩。1965 年降水量为 441.3 毫米，超过了 1964 年，但这一年春季土壤解冻时 1 米土层中仅保存 82 毫米有效水分，无力补偿降水之不足，以致到 6 月下旬土壤湿度下降到接近

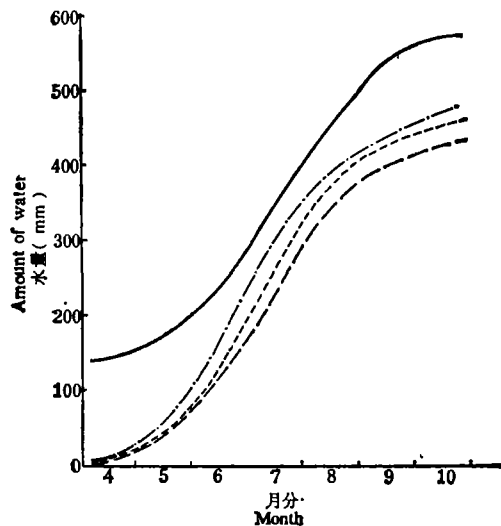


图 2 小麦、大豆、玉米地蒸发累积曲线与供水(土壤贮水加降水)累积曲线比较

Fig. 2 The accumulation curves of water supply in comparison with the possible evaporation curves in the fields of spring wheat, soybean and corn

—— 供水量 Water supply ····· 小麦地蒸发量 Evaporation in wheat field
 - - - - 大豆地蒸发量 Evaporation in soybean field - · - · - 玉米地蒸发量 Evaporation in corn field

1) 沈善敏, 刘振英, 1959: 东北北部黑土季节性土壤冻层对作物抗旱的意义。(资料)

凋萎温度,小麦遭受严重危害,实验区产量仅为 153 斤/亩,土壤融冻水对小麦的补给量在这一年里仅为 42 毫米。

如果将季节性土壤冻层在调节农田水分状况中所起的作用充分予以估计,则九三地区不同作物的供水保证可由图 2 表示。

图 2 中小麦、大豆、玉米地的蒸发累积曲线是根据表 3 的计算值绘制得。供水曲线则是根据这一地区土壤解冻时 1 米土层的历年平均易效贮水量(即大于土壤稳定湿度的那部分水分,平均约为 140 毫米)累加逐旬的降水量绘得。可以看出,当作物的供水条件不仅考虑了当年的降水数量,同时也估计了土壤融冻水的补给数量时,三种作物的一生都将处于良好的水分供应条件之下,表现在图中所有三种作物的蒸发累积曲线都包括在供水曲线之下。

由此可以认为:在九三地区的通常气候条件下,所有作物的一生都可以得到充分的水分供给,从而可保证作物正常生长。

四、春旱发生规律和对作物生长影响

(一) 春旱发生规律

事实上每年的气候条件决不会像通常的气候条件一样。由于年际之间的气候变化,常常在一些年份里显得水分过多,而在另一些年份里显得水分不足,出现所谓旱涝的现象。当决定作物生长前期供水的两个重要因素——春季降水量和土壤融冻水量中的任何一个下降到最低点,或者两个因素同时都降到相当低的水平,必将造成春季作物供水不足从而形成春旱。

春季降水少,融冻水贮量也少的例子可举 1965 年,这一年 4—6 月降水量仅 61.2 毫米(历年平均为 137 毫米),解冻时 1 米土层的有效贮水量 102 毫米,这一年发生了大春旱。

春季降水接近正常但融冻水贮量少的例子可举 1969 年,这一年 4—6 月降水量为 106 毫米,土壤有效贮水量为 159 毫米,该年发生了中旱。

土壤融冻水贮量正常但春季降水严重不足的例子可举 1961 年,这一年解冻时 1 米土层的有效贮水量为 194 毫米,但 4—6 月降水量仅 52 毫米,这一年也发生了中旱。

以上例举可以充分说明,黑土区春旱的形成与发生既与春季降水的多少有关,也与解冻时土壤中贮备水量的多少有关。

(二) 春旱对作物生长和产量的影响

长期的观察和调查证实,黑土区春旱主要发生在 6 月,受害作物主要是春小麦和其它麦类作物;中耕作物如玉米、大豆、马铃薯、谷子等受害较轻甚至不受影响。造成这种明显差别的原因有二: 1. 小麦生长前期较之所有其它中耕作物要消耗更多的水分(见表 3),因此在相同供水条件下小麦可比其它作物首先将土壤中的水分消耗殆尽,从而感到干旱。2. 6 月正是小麦进入抽穗—开花的重要季节,亦即进入所谓水分临界期,这时缺水干旱可严重危及小麦生殖器官的生长和发育,导致减产。表 5 所列资料说明,由于小麦前期生长受干旱影响,小麦株高较正常年份显著矮小,同时,由于生殖器官形成阶段受干旱危害,空

秕率高,每穗粒数明显减少。1965及1968两年后期雨水正常,所以这两年小麦的籽粒重并无明显变化,说明春旱对小麦产量构成因素的影响主要表现于穗、花分化受害,减少每穗粒数。

与小麦不同,中耕作物出苗晚,前期耗水少,同量水分可维持较长时间。同时,中耕作物在6月份尚处于幼苗阶段,即使受旱也不致危及正常的生长发育。在大春旱的1965年,九三农科所品种试验区的小麦产量只及正常年份的二分之一到三分之一,但大豆、玉米等作物可保持正常的产量水平。

表5 春旱对小麦生长及产量的影响*

Table 5 The effect of spring drought on the growth and yield of spring wheat

年 份		株 高 (cm)	穗 粒 数	千 粒 重 (g)	产 量 (斤/亩)
Year		Height of plant	Grains per ear	Wt. of 1000 grains	Yield (jin/mu)
正 常 年 Normal	1962	98.1	23.5	30.5	336
	1963	99.8	25.0	29.8	441
	1964	120.9	22.7	29.3	498
春 旱 年 Spring drought	1965	46.2	8.0	29.7	153
	1968	60.1	15.8	29.4	180

* 九三农科所资料,小麦品种合作6号,品种试验区产量。

* The data from Jiusan Institute of Agricultural Science

Yield from experimental plot of varieties of spring wheat.

从图3可看出九三农科所小麦品种试验区合作6号小麦(作为对照品种)的产量与历

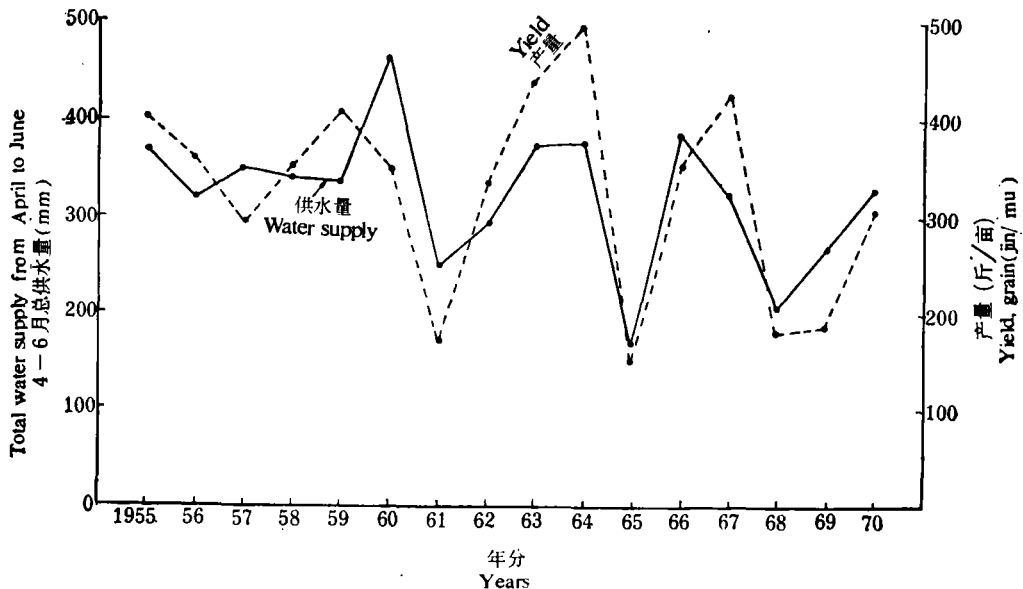


图3 历年小麦(合作6号)产量与4—6月总供水量(土壤贮水加降水)的关系

Fig. 3 The yields of spring wheat in relation to the total water supply (soil water storage plus rainfall) from April to June

年 4—6 月总供水量 (4—6 月降水量与土壤融冻水量之和) 之间的密切关系。自 1955 年至 1970 年的 16 年间, 九三地区发生中旱以上春旱的年份有 1961, 1965, 1968, 1969 四年, 这四年小麦产量随同 4—6 月总供水量都下降到了最低的水平。

五、黑土区春旱预测预报方法及小麦春旱等级划分

由上述讨论可知, 仅根据春季降水量的多少不足以判断是否可能发生春旱, 而必须考虑 4—6 月总供水量, 方能对春旱发生的可能性作出正确判断。例如 1956 及 1958 年, 九三地区 4—6 月降水量分别为 79.4 和 107.2 毫米, 但由于底墒充足 (238 及 229 毫米), 这两年均未发生春旱。1965, 1968, 1969 三年 4—6 月降水量分别为 61.2, 90.5, 106.3 毫米, 与 1956 及 1958 年相近似, 但底墒不足 (分别为 102, 113, 159 毫米) 结果发生了春旱。

(一) 春旱发生及危害等级的水量分界

如果将图 3 改绘成图 4 所示, 则不仅可看出 4—6 月总供水量与小麦产量的密切关系, 而且还可以清楚看出 4—6 月总供水量 280 毫米是一个明显的分界。当 4—6 月总供水量小于 280 毫米时小麦产量明显下降, 超过 280 毫米时小麦普遍都达到了丰产水平, 单产都在 300 斤/亩以上。

280 毫米的物理—生物学意义可作如下解释: 4—6 月总供水量 280 毫米中包括了解冻时 1 米土层的有效水量, 后者包括了大于凋萎湿度但小于土壤稳定湿度的水量约 50 毫米^[3], 因此 280 毫米中属于易效水的水量实际上只有 230 毫米, 这一数值恰好与 4—6 月小麦的田间总蒸发量 225 毫米 (见表 3) 相一致。当 4—6 月总供水量低于 280 毫米时, 小麦不得利用土壤稳定湿度以下的那部分水分, 而这部分水分的有效性很低, 可以保持作物缓慢生长免于凋萎, 但不能获得丰产。所以当 4—6 月总供水量低于 280 毫米时小麦产量将明显下降。

同理, 总供水量 230 毫米可作为小麦进一步遭受旱害的分界。这一数字表示, 当低于这个水量时, 如蒸发蒸腾强度不变, 小麦将被迫动用凋萎湿度以下的水分。事实上土壤湿度尚未降到凋萎湿度时, 小麦已开始被迫减少蒸腾, 在这种情况下严重的旱害便将发生。

根据上述分析同时参照小麦在干旱年分的实际反应, 可将九三地区小麦受春旱危害的等级划分如下:

大旱: 4—6 月总供水量小于 230 毫米, 小麦遭受严重旱害, 株高只及正常高度的 $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$, 无分蘖, 空秕率 30—50%, 产量为正常年份的 50% 以下。代表年份为 1965 年、1968 年。

中旱: 4—6 月总供水量 230—280 毫米, 小麦明显遭受旱害, 株高为正常高度的 $\frac{2}{3}$ — $\frac{3}{4}$, 几无分蘖, 产量为正常年份的 60—70%, 代表年份为 1961 年、1969 年。

轻旱: 4—6 月总供水量 280—320 毫米, 小麦仅有轻微受旱现象, 株高接近正常但稍矮, 不减产或略有减产, 代表年份 1956 年、1962 年。

正常: 4—6 月总供水量 320—380 毫米, 不早不涝, 小麦生长正常, 繁茂、丰产、高产。代表年份 1963 年、1964 年。

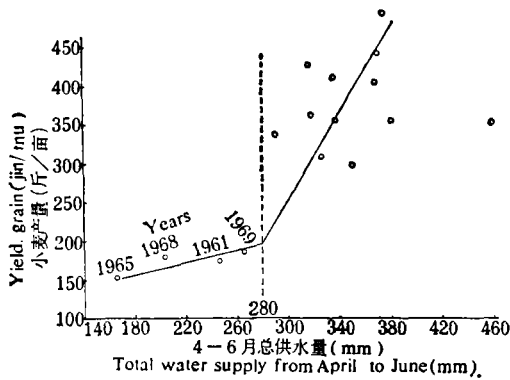


图4 4—6月总供水与小麦产量关系
(1954—1970)

Fig. 4 The yields of spring wheat in relation to total water supply (mm) from April to June (1954—1970)

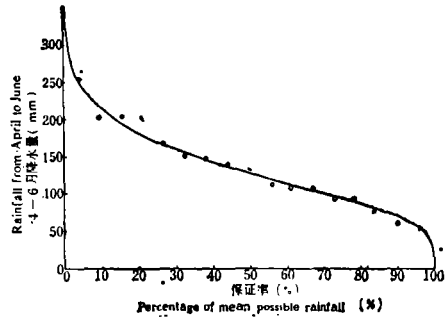


图5 九三地区1954—1970年4—6月降水量保证率曲线

Fig. 5 The percentage of mean possible rainfall in April-June, 1954—1970, at Jiusan region

(二) 小麦春旱预测预报方法

1. 4—6月总供水预测：由上述可见，只要能预测4—6月总供水，即可按上述春旱等级预测春旱发生可能以及危害小麦的严重程度。

对于4—6月降水量的预测，原则上可根据当地气象台站的长期天气预报获知。当不能获得此类长期预报时，可利用当地气象台站资料进行4—6月降水量的频率分析，绘制出4—6月降水量保证率曲线，这对于估计未来一年4—6月降水量达到或超过某一预报值的可能性将十分有用。鉴于九三气象站降水资料年代较短无法直接进行频率计算，因此不得不利用理论曲线进行选配并试用了皮尔逊 III 型曲线。这一类曲线常用于水文分析计算，具体计算方法可参考文献[5]或其它水文分析著作。绘制九三地区1954—1970年4—6月降水量保证率曲线的主要参数为：4—6月平均降水量134.9毫米，变差系数 C_v 0.42，偏差系数 C_s 0.83。所得曲线如图5所示，图中历年4—6月降水值与曲线十分靠近，说明曲线的选配是成功的。保证率曲线提供了4—6月降水量超过某一数额时的保证率，例如查图可知九三地区4—6月降水量超过150毫米的保证率为35%，超过100毫米的保证率为70%等等。

春季解冻时1米土层有效水量的预测可于前一年10月下旬以后土壤即将冻结时实测的有效水量经订正而求得。根据历年观测，冻结时1米土层水量加订正值20毫米约等于春季解冻时1米土层水量^[3]。例如冻结时测得1米土层有效水量为150毫米，则第二年春季解冻时应为170毫米。

2. 小麦春旱预测预报：当具备来年4—6月降水量的长期预报资料时，只需测算得农田1米土层解冻时的有效水分贮量并计算出4—6月总供水，即可按上一节小麦春旱等级进行预测预报。如仅有土壤有效水分贮量测算资料时，则可利用当地4—6月降水量的保证率曲线进行春旱发生可能性预报。方法如下：

已经知道，当4—6月总供水超过280毫米时便不可能有明显的干旱发生。如果已

确知 1 米土层中的有效水量为 w 毫米, 则不难理解, 只要 4—6 月降水量超过 $280-w$ 毫米就不会有旱害形成。4—6 月降水量超过 $280-w$ 毫米的可能性(即保证率)如何? 可由保证率曲线上查得。反之, 4—6 月降水量小于 $280-w$ 的可能性亦即发生春旱的可能性亦可求得。例如, 设已知春季解冻时 1 米土层的有效水量为 200 毫米, 则 4—6 月降水量超过 80 毫米时即不会形成旱害, 4—6 月降水量超过 80 毫米的保证率查图可知为 84%, 因此, 4—6 月降水量小于 80 毫米亦即发生春旱的可能性仅为 16%。从表 6 可以看出, 当春旱发生概率为 0.7 以上时, 两年(1965, 1968)都发生了大旱; 春旱发生概率为 0.40—0.69 时, 两年中有一年发生了中旱(1969)另一年未发生春旱(1962); 春旱发生概率为 0.10—0.39 时, 6 年中有 5 年未发生春旱, 只有一年发生了中旱(1961); 当春旱发生概率小于 0.10 时, 6 年均未发生春旱。因此, 根据春旱发生概率与春旱实际发生情况, 可将春旱发生可能性等级划分如下:

表 6 根据解冻时 1 米土层有效水量确定的历年春旱发生概率与春旱实际发生情况比较

Table 6 Actual situation of the spring drought in comparison with the probability of spring drought calculated according to the storage of available water within 1 meter depth of soil during thawing period

年 份 Year	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
解冻时 1 米土层有效水量 (mm) Available water storage within 1 meter depth of soil during thawing period	230	238	(182)	229	223	207	194	159	169	223	102	178	172	113	159	232
不发生春旱的 4—6 月降水量下限 (mm) The lower limit of rainfall from April to June without spring drought	50	42	98	51	57	73	86	121	111	56	178	102	108	167	121	48
4—6 月降水量大于下限的保证率 (%) The percentage of mean possible rainfall above the limit in April-June	97.0	98.0	71.0	98.0	95.0	88.0	81.0	53.5	61.0	96.0	21.0	68.0	62.5	25.0	53.0	97.0
发生中旱以上春旱的概率 Probability of spring drought	0.03	0.02	0.29	0.02	0.05	0.12	0.19	0.46	0.39	0.04	0.79	0.32	0.37	0.75	0.47	0.03
春旱实际发生情况 Actual situation of spring drought							中旱				大旱			大旱	中旱	

注: ①解冻时 1 米土层有效水量系由前一年土壤冻结时有效水量加订正数 20 毫米而得, 并全部订正为大豆
根土壤贮水量。

② 1960, 1962, 1963 三年为九三气象站供给的资料。1957 年为计算值。

小麦春旱发生等级	春旱发生概率	春旱发生可能性
I	> 0.70	极可能
II	0.40—0.69	很可能
III	0.10—0.39	可能
IV	< 0.10	不可能

当已具备 1 米土层有效水量的实测资料, 根据 4—6 月降水量保证率曲线和春旱发生分级标准, 即可进行春旱发生可能性分析, 当分析结果认为小麦春旱发生等级为 I、II 级时应发布春旱预报。

在实际应用中常常需要参照其它预报资料和方法, 特别是气象部门发布的长期天气预报, 使预报更为准确。我们自 1964 年起至 1970 年止, 于每年的 11 月份发布九三地区下一年春季的土壤墒情预报或春旱预报, 取得了较好结果并报准了 1965 年、1968 年两次大春旱, 有助当地生产部门提前做好防旱保墒准备。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院林业土壤研究所黑土工作队, 1959: 东北北部黑土水分状况。土壤集刊, 第二号, 科学出版社。
- [2] 乔樵、沈善敏、周绍权, 1963: 东北北部黑土水分状况之研究, I. 黑土水分状况的基本特征及其与成土过程的关系。土壤学报, 第11卷 2 期, 143—158 页。
- [3] 乔樵、沈善敏、曾昭顺, 1979: 东北北部黑土水分状况之研究, II. 黑土农业水分状况及水分循环。土壤学报, 第 16 卷 4 期, 329—338 页。
- [4] 阿尔巴捷夫 A. M. (卢其尧译, 1957), 1954: 栽培植物的水分循环。133—135 页, 农业出版社。
- [5] 列别捷夫 B. B. (青岛工学院水能利用教研组译, 1955), 1952: 水文学及水文测验学习题集。331—334 页, 高等教育出版社。
- [6] Будыко, М. И., 1956: «Тепловой Баланс Земной Поверхности», 170, Гидрометеониздат.

STUDIES ON MOISTURE REGIME IN BLACK SOILS IN NORTHERN PART OF NORTH-EAST CHINA

III. On the reliability of water supply for crop growth and the forecast of
spring drought in region of black soils

Shen Shan-min, Qiao Qiao and Zeng Zhao-shun

(Institute of Forestry and Pedology, Academia Sinica)

Summary

The field evaporation process and the annual rate of crop evapo-transpirations in the experimental fields under local climatic conditions were calculated by means of an empirical formula. Comparing data obtained with average raining process and amount of annual rainfall in the same fields, the results of water balance in black soils under different crops were obtained. Using these results to evaluate the adequate water supply to crops, we found that soybean and corn had a rather good reliability of water supply, but as for the spring wheat it appeared somewhat shortage, and was apt to suffer from drought. The seasonal frozen layer in black soil played an important role in the regulation of water supply, and the spring thaw in the frozen layer was the main source of water in the earlier stage of plant growth. Factors affecting spring drought were studied and methods for prediction of spring drought were suggested.