

内蒙古武川旱农试验区马铃薯 干旱监测系统的研究^①

田志会^②
(北京农学院)

龚绍先
(中国农业大学)

摘 要 根据 1993~1995 年的试验资料及应用有关的气象资料,提出了降水量及土壤水分的干旱指标,采用农田水量平衡方法建立了农田土壤水分动态预报模型,通过检验,对 0~100 cm 深度土壤水分预报值相对误差为±5.7%,提出了干旱预报方法,在以上工作的基础上,建立了一个针对内蒙古旱农试区马铃薯的干旱监测系统。

关键词 马铃薯; 干旱监测系统; 干旱指标

中图分类号 S152.71

The Study of Potato Drought Monitoring System of Dryland Experimental Area in Wuchuan of Inner Mongolia

Tian Zhihui Gong Shaoxian
(Dept. of Agronomy, BAC) (Dept. of Agrometeorology, CAU)

Abstract According to the data of field experiment (1993~1995) in the Wuchuan Inner Mongolia Drought Agriculture Experiment Area and the relevant meteorological material, potato water stress indexes of precipitation and soil water were bring up. A model of the prediction equation of soil moisture was built by means of the field water balance. The relative errors of the predictions from this model are about ±5.7% in the depth of 100 cm of soil. Means of prediction are put forward. Base on all of the work a potato drought-monitoring system for the area in the north of Yin Mountain of Inner Mongolia was set up.

Key words drought-monitoring system; potato; water stress index

内蒙古武川旱农试验区是“七五”和“八五”期间国家旱农攻关试验区之一。地处大青山以北的后山地区,自然条件属风沙高寒半干旱状况,多年平均降水量 350 mm 左右,降水变率大。本文报道试区主要基础研究内容之一,建立干旱监测系统的目的在于通过对大气水分、土壤水分、作物水分的动态监测,进行短期作物旱情预报,从而加强农田生产管理,提高作物产量。选择马铃薯作为研究对象是因为在内蒙古后山地区,马铃薯种植面积占种植总面积的 14.5%~18%,是该地区重要的经济、粮食、蔬菜作物。

收稿日期: 1995-12-12

①本试验为国家“八五”科技攻关课题“北方旱地农业增产技术”资助。

②田志会,北京德外朱辛庄北京农学院农学系,102206

1 材料和方法

供试材料为马铃薯(品种为克星1号),采用大田试验方法。

测定项目为:土壤水分特征常数,土壤湿度,作物生长发育状况观测。

资料来源:气象资料取自武川县气象站,马铃薯产量资料抄自武川县统计局。

2 结果与分析

2.1 土壤水分特征常数的确定

土壤水分特征常数包括土壤容重和田间持水量,这些常数的测量直接关系到系统运行结果的正确性。本文通过实际测定,得出试区不同地形0~100 cm的土壤水分特征常数。河滩地,田间持水量23.5%,容重 $1.54 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$;坡地,田间持水量26.3%,容重 $1.53 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$;梁地,田间持水量22.6%,容重 $1.439 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

2.2 马铃薯生育期间水分条件分析

利用1961~1992年的武川县降水量和马铃薯产量资料进行相关分析,得出马铃薯全生育期、块茎膨大期降水量与马铃薯产量的相关系数分别为0.6404和0.5503,都达到了0.01的极显著水平,即马铃薯产量的高低和年降水量及年内分配关系显著。

徐祝龄^[1]对试区马铃薯各生育阶段降水量的平均值及马铃薯需水量进行了统计。结果表明,从播种到块茎形成期降水量都不能满足马铃薯生长发育的需要,一直处于水分亏缺状态。全生育期水分亏缺达42.4 mm。7,8月份是该区降水最多的月份,占年降水量的68%,同时也是马铃薯产量品质形成的关键时期,也是马铃薯一生中需水最多的时期,需水量为188.5 mm,从此时期历年降水量来看能够满足马铃薯生长发育的需要,但是,此时期降水变率为25%,从1960~1993年34年间7+8月份降水量达到需水量的占52%,以上分析可以看出,干旱仍是马铃薯产量波动的主要原因。

2.3 马铃薯田土壤水分动态预报

马铃薯田干旱的发生,实质上是由于作物根系活动层内土壤水分不足引起的,因此研究农田干旱必须以土壤水分动态研究为基础,建立土壤水分预报模型。

目前国内外研究土壤水分的方法比较多,其中农田水分平衡方法是受欢迎的一种,它对影响土壤水分变化的因素考虑比较全面,适用范围广,理论研究深入。因此,本文选用水分平衡方法进行土壤水分预报。

2.3.1 农田土壤水分平衡方程 针对武川旱农试区,不具备灌溉条件,地下水埋深在7 m以下,所以灌溉量及地下水上升量可以忽略,对于渗漏量,一般而言,在土壤含水量低于田间持水量时,与由于蒸发引起的土壤水分损失相比,渗漏导致的土壤水分损失要缓慢得多,常忽略不计。径流量是地面坡度、土壤类型、降水强度、降水持续时间的函数,对于武川旱农试区的地形条件是不可忽略的。经过徐祝龄多年观测得出马铃薯田降水量与径流量的关系为:当一次降水量(mm)为:10~15,15~25,25~35,35~45,45~55,55~65,>65时,径流量占降水量之比(%)相应为:10,20,30,40,50,60,>60。蒸散量是土壤水分损失的主要部分。通

过以上分析,农田土壤水分平衡方程可以简化为:

$$W_n = W_{n-1} + (P - R) - E$$

式中: W_n 某一时段末的土壤含水量, W_{n-1} 某一时段初的土壤含水量 P 时段内的降水量, E 时段内农田蒸散量, R 时段内的径流量。

2.3.2 农田蒸散量的计算 本文采用 1979 年联合国粮农组织提出的改进的有植物覆盖的 Penman 公式计算可能蒸散量。这一公式有较好的理论基础,并考虑了风速与气压的订正^[2,3],其形式为:

$$E_0 = \frac{\frac{P_0}{P} \cdot \frac{\Delta}{\gamma} \cdot R_n + E_a}{\frac{P_0}{P} \cdot \frac{\Delta}{\gamma} + 1.00}$$

式中: P_0 海平面气压(hPa), P 某站平均气压(hPa), R_n 净辐射量($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$), E_0 可能蒸散量($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$), E_a 干燥力(mm), γ 干湿球常数, Δ 温度为平均气温 T_a 时的饱和水汽压曲线斜率。

为了使此 Penman 公式适用于我国干旱半干旱地区,应对公式中某些项加以因地制宜的修正。其中辐射差额项 R_n 的表达式为:

$$R_n = 0.75R_A(a + bn/N) - \sigma T_k^4(0.56 - 0.07 \sqrt{e_d})(0.1 + 0.9n/N)$$

式中: R_A 天文辐射($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$), σT_k^4 是平均温度 T_k 时的黑体辐射, n/N 日照百分率, e_d 空气实际水汽压(hPa), a, b 根据日照时间估算总辐射量的系数, R_A 、系数 a, b 的确定方法采用文献[4,5]。

空气动力学项 E_a 的表达式采用张懿^[6]根据内蒙三盛公蒸发试验站及甘肃上谄蒸发试验站资料提出的计算 E_a 的公式:

$$E_a = 0.22[1 + 0.88(0.72 U_{10})^2]^{1/2}(e_s - e_d)$$

式中: U_{10} 10 m 高的风速, e_s 为 $T=T_s$ 时的饱和水汽压。

Δ 的计算方法参考文献^[3],采用公式为:

$$\Delta = \frac{e_s}{273 + T_s} \left(\frac{6463}{273 + T_s} - 3.927 \right)$$

$$e_s = 33.8639[(0.000738 T_s + 0.8072)^8 - 0.000019(1.8 T_s + 48) + 0.001316]$$

湿度常数为 $\gamma=0.66$ 。

在影响土壤水分的因子中, Penman 公式比较完整的揭示了气象因子的综合作用,但它是在一定的假设条件下计算得出的,所以和农田实际蒸散有一定差异,需要进行订正:

$$E = E_0 \cdot K_c$$

E 为农田实际蒸散, K_c 为订正系数, 由于本试区缺乏马铃薯系统的观测资料, K_c 取值参考文献[7], 把马铃薯的生长发育分为五个时期, 始期为 0.4~0.5, 前期为 0.7~0.8, 中期为 1.5~1.2, 后期为 0.85~0.95, 收获期为 0.7~0.75, 整个生育期平均为 0.75~0.9。

2.3.3 马铃薯土壤水分预报方程的确定 在内蒙古武川旱农试验区, 马铃薯田土壤水分状况主要决定于三个因子: 初始土壤水分贮存量, 生育期有效降水量和作物耗水量。采用前面提出的简化的农田水分平衡方程, 就可以得出以旬为时段的土壤水分预报方程:

$$W_n = W_{n-1} + (P - R)_{n-1} - 10K_{c_{n-1}} \cdot E_{n-1}$$

式中 W_n 、 W_{n-1} 分别为预报旬和前一旬初的土壤水分贮存量(mm), $(P - R)_{n-1}$ 为前一旬有效降水量(mm), $K_{c_{n-1}}$ 为前一旬的作物系数, E_{n-1} 为前一旬的平均可能蒸散量($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)。

2.3.4 马铃薯土壤水分预报方程的检验 采用文中确定的马铃薯土壤水分预报方程, 运用 1994 年武川试区(0~100 cm)的马铃薯土壤水分资料及当年气象资料进行土壤水分预报, 预报结果及实测值如下, 其平均相对误差为 $\pm 5.7\%$, 结果还是令人满意的。见表 1。

表 1 1994 年武川试区马铃薯田土壤水分预报模型检验(0~100 cm) mm

日 期	降水量	实测值	预报值	误差	相对误差(%)
5 月中旬	0.3	207.3	219.3	-12	-5.8
5 月下旬	0.0	200.6	191.4	9.2	4.6
6 月上旬	0.1	212.0	183.4	28.6	13.6
6 月中旬	3.6	237.9	203.1	34.8	14.6
6 月下旬	54.1	223.4	216.1	7.3	3.3
7 月上旬	33.6	224.5	234.7	-10.2	-4.6
7 月中旬	5.6	216.4	221.0	-4.6	-2.1
7 月下旬	60.2	235.2	208.4	26.8	11.4
8 月上旬	35.5	222.2	222.9	-0.7	-0.3
8 月中旬	44.9	207.6	206.7	0.9	0.4
8 月下旬	21.0	202.9	197.8	5.1	2.5
平 均				± 12.7	± 5.7

2.4 干旱指标的确定

干旱指标是表示作物遭受干旱程度的一个标准, 用它来标明有无干旱发生, 并作为干旱轻重分级的标准, 它是认识干旱灾害的第一步。

目前国内外所用干旱指标很多, 在本文中选取降水量和土壤水分作为干旱指标。

2.4.1 降水量干旱指标 干旱是降水少引起的一种农业气象灾害, 对于某一具体地方来说, 多年平均降水量是比较确定的, 根据常年的降水量安排的农业生产也是相对稳定的。因此, 某一年或某一时段的降水量如果少于某一界限值, 就可能发生干旱, 用这个界限值作指标比较直观。

通过相关分析可以看出: 马铃薯全生育期降水量、7+8 月降水量、头年 6~9 月降水量加本年 1~4 月降水量与马铃薯产量的相关性达 0.01 的极显著水平, 所以选取全生育期降水量 P 作为全年干旱状况的干旱指标, 选取头年 6~9 月降水量加本年 1~4 月降水量 P_1

作为春旱指标,选取 7+8 月降水量 P_2 作为马铃薯伏旱指标。

根据历年丰欠年状况结合各相应年的降水量作相关散布图,由相关散布图求出降水量的干旱指标,如表 2:

表 2 降水量干旱指标

mm

项 目	全年育降水量干旱指标 (5 月 1 日~9 月 20 日降水量)		春旱指标(头年 6~9 月+本年 1~4 月降水量)		伏旱指标 (7+8 月降水量)	
	适 宜	$P > 250$		$P_1 > 260$		$P_2 > 160$
轻 旱	$200 < P \leq 250$		$210 < P_1 \leq 260$		$100 < P_2 \leq 160$	
重 旱	$P \leq 200$		$P_1 \leq 210$		$P_2 \leq 100$	

应用以上确定的指标结合各年的实际情况进行分析检验,其符合率达 85%。

2.4.2 土壤水分指标 作物干旱是大气干旱和土壤干旱共同作用的结果,土壤干旱往往是大气干旱较长时间的累积状况,同时作物直接吸收的水分主要来自土壤。土壤缺水,作物吸收不到足够的水分补偿蒸腾的支出,就会发生干旱,用土壤水分指标评估干旱比用降水指标更切合实际,且具有相对稳定性(表 3)。

表 3 土壤水分干旱指标(0~50 cm)

春播时干旱指标				块茎形成膨大期干旱指标		
干旱等级	相对含水量/%	出苗率/%	干旱等级	相对含水量/%	苗情状况	
过 湿	>82	<80	适 宜	>73	植株生长健壮	
适 宜	82~48	>80	轻 旱	75~52	中午萎蔫	
轻 旱	48~34	80~50	重 旱	52~44	白天一直处于萎蔫状态,第二天早上吸水后有所恢复	
重 旱	<34	50	极 旱	<44	白天处于萎蔫状态,叶片枯黄卷曲下垂,第二天早上吸水后不能恢复正常,干旱时间继续延长,最后枯萎至死。	

本文在前人研究成果的基础上,根据 1993~1994 年马铃薯的土壤水分资料及相应苗情状况资料确定马铃薯的干旱指标。用相对含水量(实际土壤湿度与田间持水量的比值)表示,相对含水量可消除不同质地土壤对干旱指标值的影响(表 4)。

2.5 马铃薯干旱预报

土壤非胁迫水分贮存量是指计划层土壤湿度大于干旱指标的土壤含水量,根据文献^[8],马铃薯所能吸取土壤水分的平均最大深度为 92 cm,所以在试区计划层取 100 cm。土壤非胁迫水分贮存量在马铃薯生长发育和产量形成过程中起着十分重要的作用,引入此量可以比较直观的描述土壤墒情状况。马铃薯干旱预报即马铃薯各旬非胁迫土壤水分贮存量的预报。

表4 由冬前贮水量及收获至封冻前有效降水量评价墒情

项 目	前 茬				
	压 青	家豌豆	春小麦	莜 麦	胡 麻
收获期	07-15	08-15	08-25	09-10	10-01
贮水量占田间持水量的百分比/%	95	82	83	69	55
收获至封冻时有效降水量/mm	133.2	59.3	39.3	22.1	3.4
来年马铃薯春播时墒情评价	优	优	优	良	差
出苗率/%	>90	>90	>90	>80	>70

预报方程是在土壤水分预报方程的基础上稍加改进而成:

$$(W_n - I_d) = (W_{n-1} - I_d) + (P - R)_{T-1} - 10K_{CT-1} \cdot E_{T-1}$$

式中 I_d 为干旱指标,把 $W_n - I_d$ 和 $W_{n-1} - I_d$ 分别用 W_T 和 W_{T-1} 代替得:

$$W_T = W_{T-1} + (P - R)_{T-1} - 10K_{CT-1} \cdot E_{T-1}$$

式中 W_T, W_{T-1} 分别为预报旬和前一句旬初的土壤非胁迫水分贮存量(mm)。

通过逐旬输入未来气象要素和作物系数值,就可递推下一句句初的土壤非胁迫水分贮存量。如果某一时段 $W_T > 0$ 时,则表示土壤湿度在干旱指标以上,不出现干旱。如果 $W_T < 0$ 时则出现干旱。

根据1994年武川试区马铃薯的土壤水分资料及当年气象资料,检验了这种方法的准确度,通过检验可知,预报值与实际值的符合率可达89%,此方法具有一定的优越性,方法简便,只要计算出 $W_T < 0$ 就可得出农田干旱的结论,但此方法也有它的缺点,只能进行粗略的干旱预报,要看干旱程度的大小,还必须用具体的干旱指标来确定。

2.6 马铃薯干旱监测系统的建立与运行

2.6.1 日期序号化 为方便计算机运行,把马铃薯生育期序号化,从播种期5月1日开始为1号,依此类推一直到收获9月20日为143号。

2.6.2 系统数据库 系统数据库包括气象资料数据库,土壤资料数据库,作物资料数据库。

2.6.3 系统建立 本系统是在国内通用机种IBM系列AST-386SX/16微机上实现的,系统支持软件包括汉字DBASE III、C语言,和Super-WPS汉字处理系统,本文采用汉字输出,C语言计算。

2.6.4 系统运行(图1)

2.7 结论

对于作物的干旱监测是一个复杂问题,涉及到土壤、作物、大气多个因子,而从目前的研究工作中来看,多是零散、孤立的,各有不同的侧重面。本文在综合前人研究方法的基础上,全面完整的建立了一个马铃薯干旱监测系统,包括土壤水分的动态预报,干旱指标的确定,干旱预报等几个部分,但由于实验条件及改进各种方法的难度,系统也存在着一些不完善之处,有待进一步改进。

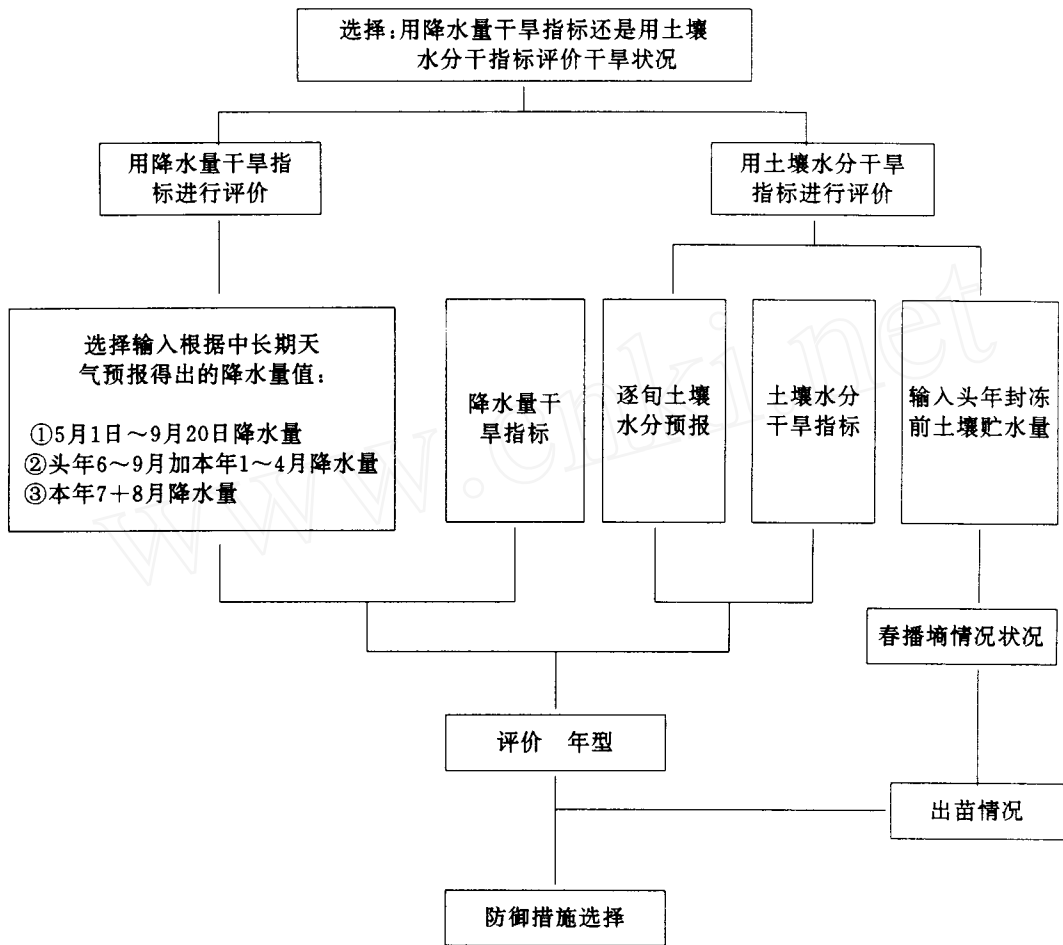


图1 系统运行框图

参 考 文 献

- 1 徐祝龄. 武川旱农试区马铃薯田水分平衡. 北京农业大学学报, 1994(1): 42~46
- 2 联合国粮食及农业组织. 农业气象监测与作物收成预报. 罗马, 1979
- 3 谢贤群, 左大康, 唐登银主编. 农田蒸发——测定与计算. 北京: 气象出版社, 1991, 134~137
- 4 刘寿东. 内蒙古旬太阳总辐射的计算方法(一). 内蒙古气象, 1986, (3): 24~26
- 5 刘寿东. 内蒙古旬太阳总辐射的计算方法(二). 内蒙古气象, 1986, (4): 19~20
- 6 张懿. 干旱地区蒸发力计算的讨论. 中国农业气象, 1991, 12(1): 22~25
- 7 中国农业百科全书. 农业气象卷. 北京: 农业出版社, 1986, 486
- 8 哈里斯 P M 主编. 马铃薯改良的科学基础. 北京: 农业出版社, 1984, 231