

文章编号: 1000-0690(2002)05-0631-05

气象测报灌溉管理技术

李秀军¹, 李取生¹, 孙长占²

(1. 中国科学院长春地理研究所, 吉林 长春 130021; 2. 吉林农业大学, 吉林 长春 130026)

摘要: 节水灌溉是干旱、半干旱和半湿润地区发展农业生产提高粮食产量的重要措施, 经济有效的灌溉管理技术可起到既节水又增产的作用。本项技术是在总结国内外研究成果的基础上, 把水分-土壤-作物-大气作为一个整体, 利用物质能量守恒原理建立水量平衡方程。

依据测定土壤的物理参数(土壤容重、田间持水量、凋萎系数、初始土壤含水量), 再结合气象预报的温度、降雨资料, 用先进的计算方法, 获得灌溉时间和灌溉定额, 从而确定合理的灌溉制度。应用实践表明此项技术具有很好的增产和节水作用。

关键词: 气象测报; 灌溉管理; 节水灌溉制度

中图分类号: S165+.23 文献标识码: A

节水灌溉制度是指在一定气候、土壤和农业生产技术条件下, 为了促进农作物获得优质、高产、稳产及节约用水而制定的适时、适量用水的具体方案^[1], 主要包括灌水次数、灌水时间、灌水定额三个方面。通常使用的灌溉管理方法有两种: 一是经验法, 即根据实践经验, 观察植株生长状况和天气状况, 以及土壤干湿状况确定灌溉时间和灌溉定额。这种方法存在盲目性, 因为凭经验只能作出定性的结论干旱或不干旱, 不能从定量上确定灌溉定额, 易造成水资源的浪费。二是测土法, 即利用土壤水分检测仪器, 测定土壤水分变化情况, 指导灌溉^[2], 这种方法精确度高, 但是土壤水分检测仪器价格较昂贵, 而且检测仪器在田间布设的监测点要求较多、布设点要有代表性, 仪器的使用繁琐, 在我国目前的生产和生活水平下, 农业生产实际应用难度较大。“气象测报灌溉管理技术”是一种最新成果, 其特点是根据作物、天气的变化进行动态的灌溉管理, 具有精确度高、准确性强和便于实际操作的优点, 适于生产实践中应用。

灌溉管理是针对不同作物的不同生长发育阶段和天气的变化情况, 确定灌溉时间和灌溉定额, 对灌溉进行预报, 指导农田灌溉。

1 技术原理

水分-土壤-作物-大气是农业生产上的4个相互联系、相互制约、相互协调的系统, 它们遵循着能量守恒和质量守恒规律, 遵守着热力学和流体力学的定律以及热量平衡和水量平衡原则。水既是其中一项环节又是一个重要的载体。因此, 本项技术研究是把土壤、大气、作物作为三个主体, 通过水分把三者有机地连成整体。根据能量守恒定律、物质不灭定律, 建立水量平衡方程:

$$F_{\text{降水}} + Q_{\text{灌溉}} + W_{\text{初}} + W_{\text{土}} - W_{\text{渗}} - W_{\text{径流}} - W_{\text{凋萎}} = nET_c$$

式中: $F_{\text{降水}}$ 为自然降水量(mm); $Q_{\text{灌溉}}$ 为灌水量(mm); $W_{\text{初}}$ 为播种前土壤含水量(mm); $W_{\text{凋萎}}$ 为作物凋萎时土壤含水量(mm); $W_{\text{渗}}$ 为降水和灌溉水分向下层土壤的渗漏量(mm); ET_c 为作物蒸发蒸腾量(mm); $W_{\text{径流}}$ 为降水和灌溉后水分形成的径流量(mm); n 为时间(d); $W_{\text{土}}$ 为土壤有效含水量(mm)。

根据这一原理可计算土壤有效含水量:

$$W_{\text{土}} = F_{\text{降水}} + Q_{\text{灌溉}} + W_{\text{初}} - W_{\text{渗}} - W_{\text{径流}} -$$

收稿日期: 2001-11-17; 修订日期: 2001-12-19

基金项目: 国家“十五”科技攻关 2001BA508B05 和中国科学院知识创新工程重大项目的部分研究内容。

作者简介: 李秀军(1964-), 男, 辽宁北票人, 副研究员, 主要从事节水农业和区域农业研究。E-mail: Lixiujun@mail.ccig.ac.cn.

$W_{\text{凋萎}} - nET_c$

2 灌溉管理方法

2.1 土壤物理参数测定

- 1) 土壤容重 土壤容重是单位体积的土重,不同土壤差别很大,采用容重环刀法测定准确易行,将土壤分成 5 层,每 20 cm 一层,分别测定土壤容重。
- 2) 田间持水量 土壤田间持水量是排除土壤重力水后,本身所能保持的毛管悬着水的最大量,而毛管悬着水是作物生长可利用的最有效的土壤水分。测定方法采用田间实际铁框测定法。
- 3) 凋萎系数 凋萎系数是指作物永久凋萎时的土壤含水量,它是作物所能吸收土壤水分的最低值,低于这一值作物将死亡。经研究凋萎系数与土壤吸力(土壤水分势能)有密切关系,土壤吸力大,凋萎系数也大,反之减小,通常凋萎系数是土壤水分吸力的 4.2 倍^[3]。因此,凋萎系数采用土壤吸力测定法获得。测定凋萎系数可得到凋萎含水量($W_{\text{凋萎}}$)。
- 4) 土壤渗透系数 渗透系数是土壤水分向下层的渗透速率。土壤渗透性能与土壤水分特性、土壤孔性、土壤结构等因素有关。采用铁框法测定

- 土壤的渗透系数。
- 5) 初始土壤含水量($W_{\text{初}}$) 春播前测定土壤含水量是本项技术的一个重要环节,这样才能掌握土壤的初始含水量。测定方法采用土样烘干法,采样方法是根据地块大小分别取 5~ 15 个点的土样,初始土壤含水量不同年份有很大不同,通常为 50% ~ 85% 田间持水量。
- 6) 地表径流 当一次性降雨和灌溉水量超出土壤最大田间持水量时,形成地表径流。

2.2 作物耗水量的计算

- 1) Hargreaves 方法^① 此方法是美国国际灌溉管理中心的 Hargreaves 先生经过研究总结出的一种简便实用的计算作物耗水量(ET_c)的方法,现在已经被国际上普遍采用,其计算精度高达 95% 以上,是目前最简捷的方法。其方程为:
- $$ETP = 0.0023 \times Ra \times (T_c + 17.8) \times T_d^{1/2}$$
$$ET_c = K_c \times ETP$$
- 式中, ETP 为蒸发量(mm); Ra 为太阳辐射常数; T_c 为日平均气温(℃); T_d 为日最高气温与最低气温的差(℃); K_c 为作物耗水系数

- 2) 太阳辐射常数(Ra) 太阳辐射常数与所处的纬度和时间有关,根据联合国公布的全球公认的数字结果见表 1。

表 1 北半球作物生长期太阳辐射常数(Ra)
Table 1 Solar radiation constant of the Northern Hemisphere during crop growing

纬度	月 份							
	3	4	5	6	7	8	9	10
50°	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4
48°	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8
46°	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3
44°	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7
42°	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1
40°	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6

- 3) 作物耗水系数(K_c) 耗水系数主要取决于作物种类、叶面积、温度等因素,不同作物在不同的生长发育阶段作物耗水系数有很大不同,根据联合国粮农组织采用的数据资料和研究结果,主要作物的耗水系数见图 1。
- 4) 温度资料(T_d 、 T_c) 温度资料根据气象预报获得。
- 2.3 土壤水分控制标准
- 根据作物光合作用对土壤水分阈值反应与土

壤蒸发、作物蒸腾等的研究结果,作物生长发育期的水分供应,一部分来自降雨的叶面吸收,另一部分来自土壤吸收,而后者很主要,是作物生长主要的水分来源。既要实行节水灌溉,又要获得高产,确定土壤水分控制标准(阈值范围)是非常重要的,也就是土壤水分含量既要保证作物正常生长需要,使作物具有较高的光合作用能力和光合生产率,又要使田间达到最小的棵间蒸发。作物生长既要不产生水分胁迫,又不会造成过多的蒸腾,从而

① World water for agriculture precipitation management.

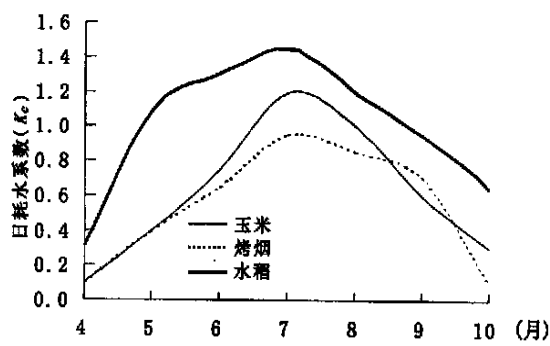


图 1 主要作物蒸腾系数(K_c)的生育期间变化
Fig.1 Change of transpiration coefficients of main crops during growing season

实现高的水分生产率, 高产而又节水。通常灌溉管理土壤含水量下限值为:

- 旱田 $W_{\text{准下}} = 60\% \sim 70\%$ 田间持水量;
- 蔬菜 $W_{\text{准下}} = 75\% \sim 80\%$ 田间持水量;
- 水田 $W_{\text{准下}} = 100\%$ 田间持水量;

土壤含水量上限值为:

- 旱田 $W_{\text{准上}} = 90\%$ 田间持水量;
- 蔬菜 $W_{\text{准上}} = 90\% \sim 95\%$ 田间持水量;
- 水田 $W_{\text{准上}} = 100\%$ 田间持水量;
- $W_{\text{准下}}$ 为作物正常生长土壤含水量下限 (mm);
- $W_{\text{准上}}$ 为土壤水分损失最小时的最大含水量 (mm)。

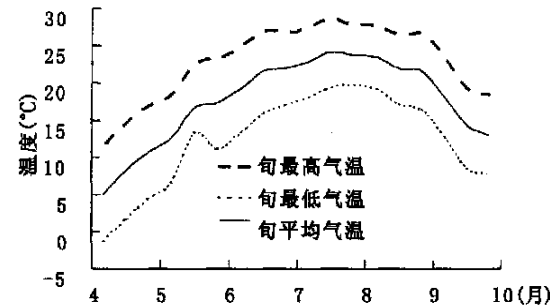


图 2 最高气温最低气温及平均气温
Fig.2 Change of the highest and the lowest air temperature and average air temperature

由图 3 中看出玉米生长期耗水量为前期低、中期高、后期低, 呈抛物线形, 这种耗水趋势与玉米的生物学特性和生理活性有着密切关系^[4]。玉米

2.4 灌溉管理预报和灌溉定额

综合以上各项的计算方法, 可获得土壤有效含水量($W_{\pm}$)的计算结果, 再根据温度和降水量的气象预报, 进而进行灌溉管理预报和灌溉定额的计算。

灌溉管理预报: 在未来时段的 n 天内

当 $W_{\pm} + F_{\text{降水}} > nET_c$ 时, 不需要灌水;

当 $W_{\pm} + F_{\text{降水}} < nET_c$ 时, 需要灌水, 灌水时间为当 $W_{\pm} = W_{\text{准下}}$ 时;

灌溉定额($Q_{\text{灌溉}}$) 计算: $Q_{\text{灌溉}} = W_{\text{准上}} - W_{\pm} -$

$F_{\text{降水}} - W_{\text{准下}}$;

$F_{\text{降水}}$ 为未来 n 天内降水量(mm)。

3 应用实例

试验地点选在大安科技试验区, 试验面积 2 hm^2 , 土壤为淡黑钙土, 灌溉方法为喷灌, 灌溉作物为玉米, 采用的数据为 1999 年的气象预报数据。

3.1 土壤物理参数

经测定试验田土壤容重分别平均为 1.35 g/cm^3 , 田间持水量平均 26.3% , 土壤的凋萎系数($W_{\text{凋萎}}$)平均 6.8% 。初始土壤含水量($W_{\text{初}}$)为 71.6% 田间持水量。

3.2 温度、降水量变化和玉米耗水量

日平均温度、日最高温度、日最低温度的变化和降水量变化通过气象资料获得如图 2、图 3 所示。

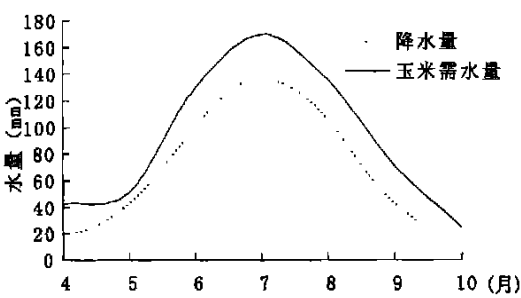


图 3 降水量和玉米耗水量变化图
Fig.3 Change of rainfall and corn water consumption

的不同生育时期的植株大小和田间覆盖状况有很大差别, 所以植株蒸腾和棵间蒸发量亦有很大不同。生育前期植株矮小, 地面覆盖不严, 田间水分

的消耗主要是棵间蒸发。生育中后期植株个体变大,由于叶片封行,地面覆盖较好,田间水分的消耗主要是植株蒸腾。各时期耗水量:

1) 播种至出苗耗水量少,只占总耗水量的 3.1%。

2) 出苗至拔节的幼苗期耗水量虽有所增加,但仍不大,占总耗水量的 17.8%。

3) 拔节至抽穗阶段,随着生长旺盛,茎叶增长渐加快,气温也随之不断升高,对水分需求增多,约占总耗水量的 30%。

4) 抽穗至灌浆期,日耗水量达到最高,但由于时间较短,因此耗水量占总耗水量 13.8%。

5) 灌浆至成熟期耗水量逐渐减少,但这一时期时间较长,耗水量占总耗水量的 31.5%。

因此,7月下旬至8月上旬为玉米抽穗灌浆期,生理耗水量最高。

3.3 玉米灌溉制度设计

根据玉米耗水规律与降水量变化,可计算出土壤有效含水量(因试验地区的一次降雨量不是太大,因此将水分向下层土壤渗漏量和地表径流量忽略不计)并与土壤水分下限比较(图4),图中土壤有效含水量低于土壤水分下限时既说明缺水,需要灌溉,从而计算灌水时期和灌水量。

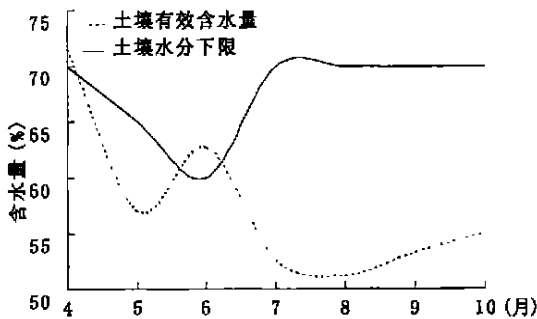


图4 土壤有效含水量与玉米生长土壤水分下限

Fig. 4 Change of effective water and the lowest limiting water in soil during corn growing

1) 玉米播种期正值春季少雨时期,土壤含水量较低,春旱时常发生,影响种子发芽出苗。但是灌水被作物利用的又较少,造成浪费。采用坐水种,使种子局部区域土壤含水量达到田间持水量的80%左右,可保证作物出苗和生长,是最为节水的

方法。坐水种的灌水量 $60 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 左右。

2) 出苗-拔节期属蹲苗期,对土壤水分下限的要求较低,土壤水分达到田间持水量的 60%~65% 既可。5月份因有坐水种的水分供应通常不灌水;5月底至6月初有两次降水(降水量 44.4 mm)土壤水分已基本满足要求;在6月中下旬缺水量较大,需灌水一次,灌水量 $480 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

3) 拔节-抽穗期是营养生长与生殖生长并进期,对水分需求增大,要求土壤水分达田间持水量的 70% 以上,从图5看缺水量较大,但是此时已进入雨季,降雨量较大,根据预报,7月降雨量 130 mm,但玉米耗水量将达到 170 mm,因此在7月中旬降水间隔期较长内补充灌水 $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

4) 抽穗-灌浆期需水量多,通常要求土壤达田间持水量 70% 以上,根据预报8月份降雨量 90 mm,不能满足玉米生长要求,中、下旬需要分两次灌水,灌水量各 $300 \text{ m}^3/\text{hm}^2$;9月初降水量少(37.2 mm),需灌水一次,灌水量 $400 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

5) 成熟期需水量减少,不灌水。

3.4 结果

利用这一灌溉方案,秋季测产结果玉米产量达到 $11\,460 \text{ kg}/\text{hm}^2$,创较高的产量,比未灌溉增产 70%,比利用经验法灌溉增产 27%,节约用水 $300 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

参考文献:

- [1] 胡毓骥,李英能,等(编). 华北地区节水型农业技术[M]. 北京:中国农业科技出版社,1995.
- [2] 赵聚宝,李克煌(主编). 干旱与农业[M]. 北京:中国农业出版社,1995.
- [3] 刘孝义(编). 土壤物理及土壤改良法[M]. 上海:上海科学技术出版社,1928.
- [4] 李秀军. 节水农业与松嫩平原西部粮食持续发展[J]. 北京:中国农学通报,1999,15(3): 58~62.
- [5] 许越先(主编). 节水农业研究[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [6] 马树庆,裴著香,安刚,等. 吉林省农业界限温度条件变化规律研究[J]. 地理科学,1999,19(1): 63~68.
- [7] 邓慧平,刘厚风,祝廷成. 松嫩草地40余年气温降水变化及其若干影响研究[J]. 地理科学,1999,19(3): 220~224.
- [8] 李秀军. 松嫩平原西部土地盐碱化与农业可持续发展[J]. 地理科学,2000,20(1): 51~55.

Irrigation Management Technique Through Meteorological Observation and Forecast

LI Xi-jun¹, LI Qiu-sheng^{1, 2}, SUN Chang-zhan²

(1. Changchun Institute of Geophy, the Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130012; 2. Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130026)

Abstracts: Water-saving irrigation is important to develop agriculture and increase yields in the arid, semi-arid and semi-humid areas. An economical and effective irrigation management technique can save water and increase yields as well. This technique, based on a summation of researches both in China and abroad, takes moisture content, soil, plant and atmosphere as an integral part of the whole, sets up an water-balance equation by means of the law of conservation of matters energy. The equation is:

$$W_{soil} = F_{rainfall} + Q_{irrigation} + W_{origination} - W_{runoff} - W_{wither} - W_{penetrate} - nETc$$

Such physical parameters as soil unit weight, field capacity, withering parameter, original soil's water content and etc. were surveyed. The meteorological data as temperature and rainfall from meteorological observation and forecast were obtained. The advanced method is applied to calculate crop's transpiration. According to the relation between soil's water content and crop's transpiration, the irrigation time and amount are obtained. Thereby a proper irrigation system is determined. The application shows that this technique has the very good function to increased corn yield and save water.

Key words: meteorological observation and forecast; irrigation management; water-saving irrigation system