

棉花耗水量和土壤水分指标研究

朱自奎 方文松 赵国强 邓天宏

(河南省气象科学研究所, 郑州 450002)

提 要

在进行 5 年的田间试验基础上, 从水分利用效率的角度确定了棉花的适宜耗水量指标, 根据棉花的蕾铃脱落率、气孔阻力、纤维品质以及产量结构等与土壤湿度的关系, 确定了棉花生产的适宜水分指标和干旱指标。

关键词: 棉花 耗水量 水分指标

引 言

在棉花栽培条件的研究中, 对密度、肥料、化学控制以及光照、温度等气象条件的研究较多, 对土壤水分与棉花生产的关系也有一定的研究。但随着棉花品种的更新、水资源的日趋紧张和我国“两高一优”农业的发展, 原有的灌溉定额和水分指标已经不能满足节水农业发展的需要。如何提高灌溉水的利用效率, 节约宝贵的水资源, 已是摆在我们广大科技人员面前的一大课题。为此, 我们从 1991—1995 年进行了连续 5 年的田间试验, 从水分利用效率的角度确定了棉花的适宜耗水量指标, 从土壤水分与棉花的生理生态、纤维品质以及产量构成因素等多方面入手, 确定了棉花的干旱指标和适宜水分指标, 这对指导棉花灌溉管理, 夺取棉花的高产稳产将有一定的意义。

1 试验设计

试验在郑州市南郊农业气象试验基地水分试验场进行。考虑到夏棉的大面积推广种植, 我们选用的夏棉品种为中棉 16, 5 月下旬营养钵育苗, 6 月上旬麦收后移栽。试验场为砂壤土, 中等肥力, 重量田间持水量 20.3%, 土壤容重 $1.46\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。场内设置 19 个处理(小区), 每个小区设 3 个重复, 小区四周埋设 2.5m 深的隔离层, 以防止土壤水在水平方

向上的流动。场内设有大型活动式防雨棚, 可同时覆盖 4 个试验小区, 用于控制自然降水对试验田的影响。小区一侧设有进水管和水表, 可以定量对棉花进行灌溉。

为研究不同生育阶段不同水分状况对棉花生长发育的影响, 试验设 4 个处理期, 分别为现蕾—开花、开花—花盛、花盛—吐絮和吐絮以后, 在每个处理期设 4 个水分等级, 使土壤湿度分别占田间持水量的 $<45\%$ 、 $45\%—60\%$ 、 $60\%—80\%$ 和 $>80\%$ 。

试验期间每月的 1、11、21 日用美国产 503DR 型土壤水分中子测定仪进行土壤湿度测定, 深度 2m, 同时进行棉花生育期、叶面积系数等的观测; 现蕾后定株进行蕾铃脱落率调查, 每 5 天一次。收获后进行考种和纤维品质分析。

2 结果与分析

2.1 棉花全生育期适宜的耗水量指标

在棉田灌溉工作中, 首先需要解决的是棉花耗水量的问题, 这是确定棉花灌溉定额的基本依据。棉花同其它作物一样, 在完成生长发育的过程中, 对水分有一定的要求, 这种要求是作物生物学特性和外界环境条件共同作用的结果。虽然作物耗水量在年际间会发生一定的变化, 但它毕竟要受自身生物学特性的制约, 所以从统计角度来说, 任何作物的

耗水量都应当稳定在一定的范围之内。本研究在5年试验期间,经历了干旱、雨涝和病虫害猖獗的年份,对棉花产量和耗水量有一定的影响。为了消除年际间其它因子的影响,突出水分在产量形成过程中的作用,我们取相对产量 Y_{ri} 和相对蒸散 Et_{ri} 进行分析,即

$$Y_{ri} = Y_i/Y_0 \quad (1)$$

$$Et_{ri} = Et_i/Et_0 \quad (2)$$

式中 Y_{ri} 为某年第 i 个水分处理的棉花相对产量, Y_i 为同年第 i 个水分处理的棉花实际产量, Y_0 为同年各水分处理的最高产量; Et_{ri} 为某年第 i 个水分处理的棉花相对蒸散量, Et_i 为同年第 i 个水分处理的棉花实际蒸散量, Et_0 为同年棉花生育期间的潜在蒸散,用联合国粮农组织(FAO)修订过的 Penman 公式^[1]求得。

用逐年相对产量 Y_{ri} 及其对应的相对蒸散 Et_{ri} 绘图(图1),可以看出,尽管该试验经历了不同的气候年型,其产量和耗水量仍呈现比较明显的抛物线关系,即在耗水量比较小时,产量较低;然后随着耗水量的增大,产量明显增加;当耗水量增大到一定程度时,产量不再增加,继之出现下降趋势。其拟合方程为:

$$Y_r = -0.0943 + 1.2607Et_r - 0.4581Et_r^2 \quad (3)$$

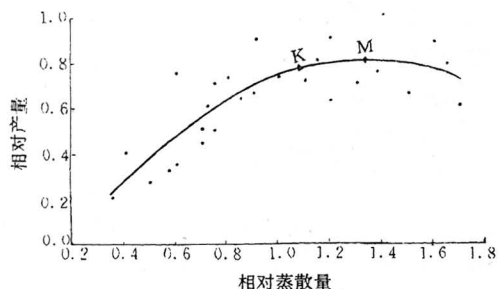


图1 产量与耗水量关系

对式(3)求导,并令 $dY_r/dEt_r = 0$, 可求得极值点 M, 对应的最高相对产量为 0.773, 相对耗

水量为 1.38。经计算,试验期间(1991—1995年)棉花生育期潜在蒸散平均值为 413mm, 则对应棉花最高产量的耗水量 $Et_m = 413 \times 1.38 = 569.9\text{mm}$ 。一些国家正是利用这个对应最高产量的耗水量来作为计划灌溉的指标。但是,从水分利用效率的角度看,这个指标并不十分适当。从图1曲线上可以看出,在 M 点附近,产量随耗水量变化甚微,曲线斜率 dY_r/dEt_r 很小,亦即水分利用效率很低。这从经济效益和水分利用效率的角度看是不可取的。为此,我们对曲线斜率总体 $|dY_r/dEt_r|$ 进行最佳分割,最佳分割点 K 的相对蒸散值 $Et_{rk} = 1.10$, 相应的耗水量为 $Et_k = 454.3\text{mm}$, 称为棉花最佳耗水量,也就是说,在耗水量达到此值之前,产量随耗水量的增加十分明显,而越过此值之后,则产量增加甚微,甚至有下降趋势,水分利用效率亦很低。用此指标来作为确定棉田灌溉定额或进行棉花气候条件评价的依据是具有重要意义的。

2.2 从蕾铃脱落率确定适宜水分指标

蕾铃脱落是棉花生产中的一个普遍现象,其机理十分复杂,而水分是影响蕾铃脱落的重要因素之一^[2]。土壤水分过小,不仅影响生成果柄的数量,而且可造成幼蕾失水萎缩而脱落;土壤水分过大,则造成植株营养生长过旺,群体郁蔽,光照不足,体内营养失衡,而导致蕾铃脱落。我们通过对不同生育期进行不同水分处理的棉株蕾铃脱落的系统观测,发现不同生育阶段棉花的蕾铃脱落既表现出共同点,也表现出不同点。本文对这些特点进行了定量动态模拟,确定了一些适宜增蕾保铃的水分指标,供生产上参考。

2.2.1 蕾铃脱落与土壤水分的一般关系

图2显示了棉花蕾铃脱落与土壤水分的一般关系。其模拟方程为

$$R = \exp(6.9508 - 0.119W + 9.417E - 04W^2) \quad (4)$$

式中 R 为全生育期棉花蕾铃脱落率(%), W

为土壤相对湿度(即土壤湿度占田间持水量的百分比)。从图中可以看出,当土壤湿度较小时,蕾铃脱落率较高,然后随着土壤湿度的增大,植株体水分供需得到缓和,脱落率减小。对式(4)求导,令 $\frac{dR}{dW}=0$,可得到蕾铃脱落率最小时对应的土壤相对湿度为63.9%,最小脱落率为24.3%。说明这时水分和养分的供需达到平衡,蕾铃的生长发育处于最佳状态。而后随着土壤湿度的增大,植株生长过旺,水分养分供需出现矛盾,蕾铃脱落率又逐渐增大。从图中可以看出,当土壤相对湿度在40%—90%的范围内,脱落率大体以 $W=63\%$ 为轴左右对称,一般来说55%—70%是棉花全生育期有利于增蕾保铃的土壤湿度范围。

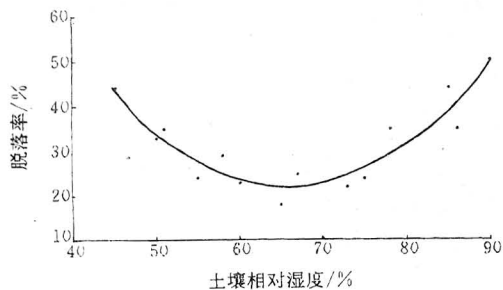


图2 蕾铃脱落的一般关系

2.2.2 不同生育阶段棉花蕾铃脱落的特点及水分指标

棉花的蕾铃脱落出现在现蕾—开花、开花—开花盛期、开花盛期—吐絮和吐絮以后4个阶段。图3为4个不同生育阶段经过不同水分等级处理后,蕾铃脱落率与土壤相对湿度的关系。可以看出,不管是哪一个生育阶段,其水分不足和水分过多均造成蕾铃脱落率的增加,这与图2所示的趋势是基本一致的。但其影响程度在不同生育阶段是不同的。开花盛期—吐絮期脱落率最大,这是因为进入开花盛期后,营养生长和生殖生长并进,两者容易发生不协调。有关研究资料表明,开花

后10天内形成的幼铃对水分特别敏感^[3],若土壤水分不能满足此时形成的蕾铃的需要,则导致大量脱落;而水分过多,往往造成棉株茎叶生长过快,群体郁蔽,通风透光性差,根系呼吸困难,抑制蕾铃发育而脱落。开花—开花盛期的脱落率居第二位,现蕾—开花期居第三,吐絮期最小。与脱落率最低点相对应的土壤湿度在不同的生育阶段也并不相同,为了准确地表达和分析这些特点的差异,我们运用数学方法建立了不同生育阶段蕾铃脱落率模型:

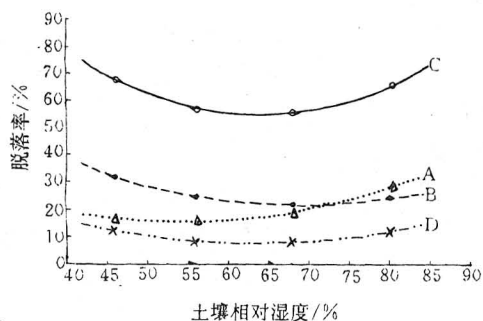


图3 不同生育阶段蕾铃脱落率

A:现蕾—开花期,B:开花—开花盛期

C:开花盛期—吐絮期,D:吐絮以后

$$\text{现蕾—开花 } R_1 = \exp(5.0772 - 0.0885W + 8.236E-04W^2) \quad (5)$$

$$\text{开花—花盛 } R_2 = \exp(7.3519 - 0.1279W + 9.362E-04W^2) \quad (6)$$

$$\text{花盛—吐絮 } R_3 = \exp(7.1931 - 0.1010W + 7.922E-04W^2) \quad (7)$$

$$\text{吐絮以后 } R_4 = \exp(8.5231 - 0.2034W + 1.1607E-03W^2) \quad (8)$$

运用数学方法,可求得脱落率最小时的土壤湿度值为:

$$W_{m1} = 53.7\% \quad W_{m2} = 68.3\%$$

$$W_{m3} = 63.7\% \quad W_{m4} = 63.4\%$$

其对应的脱落率为:

$$R_{m1} = 14.9\% \quad R_{m2} = 19.8\%$$

$$R_{m3} = 53.2\% \quad R_{m4} = 8.1\%$$

可以看出,适于增蕾保铃的土壤相对湿度

度在蕾期相对较低,约为 50%—55%,花期最高为 65%—70%,铃期和吐絮期居中,为 60%—65%。

2.3 利用棉花气孔阻力确定的土壤水分指标

气孔阻力的大小是表征作物蒸腾强度的一个重要指标。在棉花的不同生育阶段,我们对不同水分处理棉花叶片的气孔阻力进行了测定,发现气孔阻力与土壤湿度的关系十分密切。图 4 是 1991 年在棉花花铃期测定的气孔阻力随土壤湿度的变化曲线,可以看出,当土壤湿度比较适宜时,气孔阻力比较稳定;但当土壤湿度降低到一定程度时,气孔阻力会发生突变。我们根据曲线的拟合方程(9),利用最佳分割法可求出曲线的转折点 m 的土壤湿度 $W_m = 43.1\%$ 。

$$R_s = 4193.96 \times \exp$$

$$(-20.6391W + 15.649W^2) \quad (9)$$

式中 R_s 为气孔阻力($s \cdot cm^{-1}$), W 为土壤相对湿度。在该点左侧,随着土壤湿度的减小,气孔趋于关闭,气孔阻力急剧增大,可把此点的土壤湿度作为棉花的干旱指标。对(9)式求导,并令 $dR_s/dW=0$,可求得气孔阻力的极小值,与其对应的土壤相对湿度为 66.0%,此时叶片气孔完全张开,气孔阻力小而稳定,可以正常地进行呼吸作用和光合作用,可把它作为花铃期适宜的土壤湿度指标。

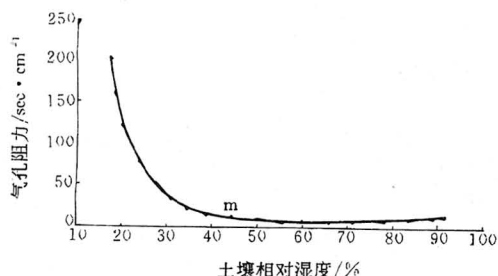


图4 气孔阻力随土壤湿度的变化

2.4 从棉花纤维品质确定的土壤水分指标

2.4.1 根据棉花纤维长度确定土壤水分指标

对于棉纤维发育的生理过程,前人已作较多研究,一般认为外珠被表皮细胞在开花当天突起膨大、伸长,开花后 10—20 天为快速伸长期,25—30 天为主要伸长期。此期正是纤维对环境条件的敏感期,条件适当,纤维伸长;反之,纤维变短^[4]。土壤水分在棉花纤维伸长过程中起着重要作用。我们对 1991、1993、1994 年经不同水分等级处理的棉花纤维长度进行了分析,考虑到盛一吐絮期是纤维形成的关键时期,我们选取这一时期的土壤湿度与纤维长度建立了关系,如图 5,可以看出二者关系也十分密切,即在干旱情况下纤维长度明显变短,随着土壤湿度的增加,纤维长度增长,当土壤水分增大到一定程度时,纤维长度达到最大值,而后随着土壤水分的继续增大,纤维长度下降。这种关系可以表示为:

$$L = \exp(2.5653 + 0.0246W - 1.918E - 04W^2) \quad (10)$$

式中 L 为纤维长度(mm), W 为土壤相对湿度。最有利于纤维伸长的土壤相对湿度为 $W_{max} = 64.1\%$ ^[5],这时的纤维长度可达 $L_{max} = 28.6mm$ 。对图 5 曲线斜率进行分析,斜率绝对值 $|\frac{dL}{dW}| \leq 0.07$ 的土壤湿度范围约为 58%—70%,即在此湿度下,纤维长度较长而稳定,可以作为适宜的土壤水分指标。

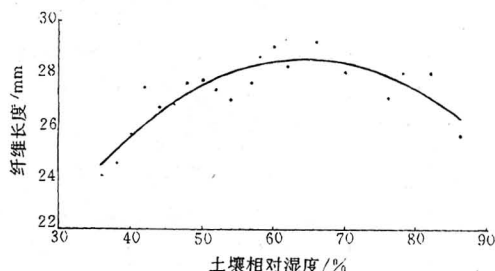


图5 纤维长度与土壤湿度关系

2.4.2 根据棉花纤维细度和强度确定的土壤水分指标

棉花纤维细度和强度是纤维品质的另外两个重要指标。较细的成熟纤维,成纱强度高,沙质柔软,光泽好。纤维细度有多种表示方法,通常用马克隆值(Mic)表示,即1英寸纤维的重量(μg),重量愈高,纤维愈粗;重量愈低,则纤维愈细。纤维强度是指纤维拉断时所能承受的最大负荷,以g表示。它与纤维成熟度有着密切的关系,强度高的纤维,成纱后的强度也高。本文用断裂比强度表示纤维的相对强度,它是纤维强度和细度的综合指标,单位为 $\text{g} \cdot \text{tex}^{-1}$ 。我们用1994年4种不同水分处理的棉花样本作了品质检验,其结果如表1所示。可以看出,土壤水分对纤维细度和强度均有一定的影响。当土壤水分不足或过多时,纤维细度增大,断裂比强度减少。而当土壤水分在65.0%—78.1%之间时,Mic值为4.25—4.31之间,接近纺织要求的中值;断裂比强度有所增强,为22.7—22.9 $\text{g} \cdot \text{tex}^{-1}$ 。因此,土壤相对湿度65%—75%可以作为获得优质纤维的水分指标。

表1 棉花纤维细度和强度检验结果

土壤相对湿度/%	细度/Mic	断裂比强度/ $\text{g} \cdot \text{tex}^{-1}$
81.1	4.57	22.60
78.1	4.31	22.73
65.0	4.25	22.85
58.6	4.50	21.70

2.5 从棉花产量结构确定的土壤水分指标

棉花种植密度一般在移栽或定苗时已经确定,产量的形成主要取决于以后棉株个体发育情况,即单株成铃数、单铃籽棉重和衣分。它们与土壤水分均有密切的关系。根据1993年棉花开花期至吐絮期土壤湿度与单株成铃数分析,两者呈抛物线关系(图6),模拟方程为:

$$B_F = -6.032 + 0.3608W - 0.002946W^2 \quad (11)$$

式中 B_F 为单株成铃数。单株成铃数最高的

土壤湿度 $W_{\max} = 61.2\%$ 。

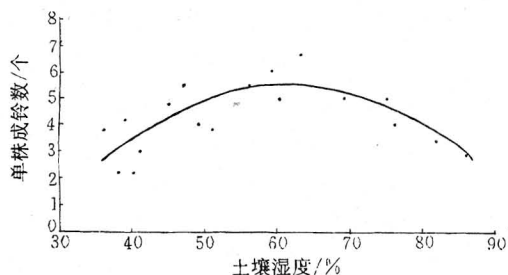


图6 单株成铃数与土壤湿度关系

与单株成铃数相类似,单铃籽棉重与土壤水分的关系亦呈抛物线关系,其模拟方程为:

$$W_b = 0.9921 + 0.1293W - 0.0009341W^2 \quad (12)$$

式中 W_b 为单铃籽棉重(g)。最大单铃重 $W_b = 5.47\text{g}$,与其对应的土壤湿度为 $W_{\max} = 69.2\%$ 。

3 结语

以上我们分析了气孔阻力、蕾铃脱落率和产量结构等与土壤湿度的关系,确定了棉花的干旱指标和适宜水分指标^[6],综合如下表:

表2 棉花不同生育阶段的土壤水分指标

发育期	干旱指标		适宜水分指标下限	
	土壤湿度	占田间持	土壤湿度	占田间持
	/%	水量/%	/%	水量/%
苗蕾期	12.1	41	16.3	55
花铃期	14.5	49	19.5	66
吐絮期	13.2	45	17.8	60

可以看出,不同生育阶段棉花要求的土壤水分指标是不同的。花铃期植株生长旺盛,蕾铃大量生成,加之气温高,日照长,要求有足够的土壤水分供应,所以干旱指标和适宜水分指标比较大。吐絮期由于气温有所下降,水分指标略有降低,此期的水分主要促进桃的发育,提高铃重,增加绒长及提高品质。苗蕾期水分指标较低,有利于根系下伸、株型紧凑、

生长稳健,这是取得高产所要求的前提条件。

不管是为了增蕾保铃,还是提高纤维品质,或者是为了改善产量构成因素,以上所得出的适宜土壤水分指标基本上是一致的,这反映了棉花植株体对水分条件的要求的稳定性,棉田的土壤湿度应保持在占田间持水量的55%—75%,全生育期的最佳耗水量约为450mm,这些可作为棉田灌溉的依据。当然,棉花生产是一个复杂的过程,水分的适当供应只是棉花高产的一个因素,还应加强管理,从水分、肥料、化学控制、品种选用等各方面

来创造一个适宜的生长群体,以实现棉花的高产优质。

参考文献

- 1 Frere M. and Popov G. F.. Agrometeorological Crop Monitoring and Forecasting. FAO Plant Production and Protection Paper. 1979, 17.
- 2 郑泽荣等.《棉花生理》.北京科学出版社,1981:230.
- 3 韩湘玲等.作物生态学.北京:气象出版社,1991:192.
- 4 陈光琬,唐仕芳等.土壤水分对棉花产量和纤维品质的影响.棉花学报,1991,4(1):30—40.
- 5 王宝英,张学.农作物高产的适宜土壤水分指标.灌溉排水,1996,15(3):35—39.

A Study of Cotton Water Consumption and Soil Moisture Indices

Zhu Zixi Fang Wensong Zhao Guoqiang Deng Tianhong

(Henan Research Institute of Meteorological Science, Zhengzhou 450003)

Abstract

Based on the farm experiment in five years, the optimal water consumption of cotton is determined from water use efficiency, and the suitable soil moisture and water stress indices for cotton growing are obtained from the relationships among the shedding rate of cotton buds and bolls, stoma resistance, fibre quality, yield element and soil moisture.

Key Words: cotton water consumption soil moisture indices