

文章编号: 1005-0906(2011)04-0054-05

不同时期干旱和干旱程度对夏玉米生长发育及耗水特性的影响

肖俊夫, 刘战东, 刘祖贵, 南纪琴

(中国农业科学院农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003)

摘要: 通过防雨棚下测坑试验, 研究不同生育期干旱, 设轻度干旱和重度干旱对夏玉米生长状况、耗水规律、产量以及水分利用效率的影响。结果表明, 不同生育期干旱均会抑制植株株高和叶面积指数增长, 受旱越重, 株高和叶面积指数越小。适宜水分处理的植株株高与叶面积长势优于其他处理; 与适宜水分处理相比, 随着干旱时期的后移, 产量呈先降后升的趋势, 其中, 苗期轻度干旱的处理减产最少, 为 9.88%, 抽雄期重度干旱穗粒数最少, 为 349.98 粒, 减产最多, 达 32.67%; 夏玉米拔节期重度干旱处理的耗水量最低, 为 258.09 mm, 任何生育阶段受旱, 其日耗水量随着干旱程度的加重而降低。对各处理产量和耗水量进行分析, 两者呈良好的二次曲线关系, 拔节期轻度干旱处理的水分利用效率(WUE)最高, 为 2.202 kg/m³, 其次是苗期重度干旱的处理, 后期干旱处理由于减产幅度超过节水的幅度, WUE 降低。通过对各处理的产量和 WUE 综合分析, 确定了夏玉米节水高产的灌溉控制指标。

关键词: 干旱; 生长发育; 产量; 耗水量; 水分利用效率; 夏玉米

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Effects of Drought at Different Growth Stages and Different Water Availabilities on Growth and Water Consumption Characteristics of Summer Maize

XIAO Jun-fu, LIU Zhan-dong, LIU Zu-gui, NAN Ji-qin

(Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453003, China)

Abstract: By the experiment for test-pits under a rain shelter, the effects of drought at different growth stages and different water availabilities on growth, water consumption, yield and water use efficiency(WUE) of summer maize were studied. The results showed that drought at different growth stages would inhibit the increase of plant height and leaf area index (LAI). The more severe the drought hit, the smaller the plant height and LAI. Suitable for water treatment, the plant height and LAI were growing better than the other treatments. The yield showed the first rise after falling trend with drought time occurring later. The output reduction in seedling stage with the light-water deficit treatment was the least, that was 9.88%, while the grain number per spike in tasseling stage with the severe water deficit treatment was the lowest, was 349.98, and then the yield reduction was the greatest, was 32.67%. The water consumption of the severe water deficit at jointing stage treatment was the lowest at 258.09 mm. Any growth stage of drought-hit, its days as the water consumption decreased the severity of drought. Through the yield and water consumption of summer maize analysis, both showed a good relationship between the quadratic curves. WUE of the light-water deficit at jointing stage was the highest, 2.202 kg/m³, followed by treatment of dry weight in seedling stage. And because of the magnitude of production decrease was more than water-saving in late stage, WUE decreased. Finally, according to the results of yield and WUE in different treatments, properly reduce the limit of soil moisture for water-saving and high-yield in summer maize was put forward in this paper.

Key words: Drought; Growth; Yield; Water consumption; WUE; Summer maize

收稿日期: 2010-05-25

基金项目: 国家现代玉米产业技术体系建设专项资金 (nycytx-02-18)、国家科技基础性工作专项 “中国农业气候资源数字化图集编制” (2007FY120100)

作者简介: 肖俊夫(1961-), 男, 辽宁庄河人, 副研究员, 主要从事节水灌溉基础理论研究。

Tel: 0373-3393321 E-mail: xiaojunfu61@163.com

作物产量和水分利用效率的同步提高是当今节水农业所追求的主要目标,土壤水分状况则是影响作物生长发育及水分利用效率最主要的环境因子^[1]。在作物生长发育期间进行土壤水分的调控以提高作物产量和水分利用效率,仍是目前节水农业领域研究的热点之一^[2-7]。本试验通过对防雨棚下测坑中种植的夏玉米设置不同的土壤水分控制下限指标,研究不同生育期干旱和干旱程度对夏玉米形态指标、产量及其构成因素、耗水特性和水分利用效率的影响,分析产量与耗水量的相互关系,为确定夏玉米节水高产的灌溉控制指标以及灌溉制度提供理论依据与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

试验于2009年6月至9月在中国农业科学院农田灌溉研究所的作物需水量试验场防雨棚下的测坑中进行。试验地海拔73.2 m,多年平均气温14.1℃,无霜期210 d,日照时数2 398.8 h。

测坑上口面积为6.66 m²(2.0 m × 3.33 m),深度

为1.8 m,下部设20 cm的砂石滤层,土层深度为1.5 m。测坑内土壤为粉砂壤土,平均容重1.38 g/cm³,田间持水量24%,测坑上方的防雨棚在降雨之前关闭,雨后开启,有效地隔绝降雨,排除降雨对试验处理的影响。

土壤的养分含量分别为有机质9.76 g/kg,全氮0.876 g/kg,碱解氮89.1 mg/kg,速效磷21.40 mg/kg。前茬冬小麦收获后,夏玉米(浚009)于6月5日贴茬点种,每坑播种4行,每行种10穴,每穴播1~2粒,播后灌蒙头水,每处理灌水90 mm。6月12日出苗,6月20日定苗,每穴定苗1株。

不同处理的土壤水分下限控制标准见表1,每处理重复3次,当各处理土壤水分达到下限时,就进行灌水,灌水定额为900 m³/hm²,灌水量用水表计量。不同处理除土壤水分控制标准不同外,其余农业栽培管理措施相同,在拔节初期(7月10日)对各处理进行追肥,施尿素450 kg/hm²。夏玉米于9月15日收获,收获前,各处理均随机取样20穗进行室内考种,测定穗部性状和产量构成因素。

1.2 观测项目与方法

表1 夏玉米不同时期干旱和干旱程度试验处理土壤水分下限控制指标

Table 1 The soil moisture lower limit guide indexes of summer maize in different periods and drought degree experiment process %

处理 Treatment	编号 Number	苗期-拔节 Seedling-Jointing	拔节-抽雄 Jointing-Tasseling	抽雄-灌浆 Tasseling-Filling	灌浆-成熟 Filling-Mature
全生育期适宜	T ₁	65	70	75	70
苗期轻旱	T ₂	60	70	75	70
苗期重旱	T ₃	50	70	75	70
拔节期轻旱	T ₄	65	60	75	70
拔节期重旱	T ₅	65	50	75	70
抽雄期轻旱	T ₆	65	70	60	70
抽雄期重旱	T ₇	65	70	50	70
灌浆期轻旱	T ₈	65	70	75	60
灌浆期重旱	T ₉	65	70	75	50
全生育期轻旱	T ₁₀	55	60	60	50

注:表中的数字为土壤含水量占田间持水量的百分比。

Note: The figures in the table represented the percentage of the soil moisture content account for the field capacity.

1.2.1 土壤水分

0~20 cm采用烘干法测定,21~100 cm采用美国产CPN503DR中子水分仪测定,每20 cm土层测定一个数据,每周测定1次,灌水前后加测。

1.2.2 作物形态指标

定期观测夏玉米株高和叶面积。叶面积测定采用量测法,每次测定均在小区内随机取20株样本,直尺量测叶片的长度和最宽处数量,然后以长×宽

的乘积再乘以折算系数确定单株叶面积,取其平均数作为计算叶面积指数的基数。小区的叶面积指数用下式计算确定:

$$LAI = D \times A$$

式中, D 为群体密度(株/m²); A 为单株叶面积(m²/株)。

1.2.3 气象资料

由自动气象站采集常规气象数据,包括风速、降

水、水汽压、气压、日照时数、温度。

1.2.4 产量性状

收获前每处理随机取样 20 穗, 测定果穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、穗粒数、百粒质量。

1.2.5 实际产量

每处理去掉边行, 收获中间 2 行, 单收、脱粒、单晒, 测定实际产量, 然后随机选取晒干后的子粒测定百粒质量。

2 结果与分析

2.1 不同时期干旱和干旱程度对植株形态指标的影响

作物生长发育状况的好坏与土壤水分状况密切相关, 任一生育阶段干旱都会制约夏玉米株高和叶

面积的增长, 造成其株高和叶面积指数均低于适宜水分处理, 干旱越重, 受到影响的程度越大(图 1、图 2)。夏玉米的株高从出苗后逐渐增高, 抽雄以前增高速度最快, 抽雄后至灌浆初期株高增长缓慢, 趋于稳定。从最后一次测定时的株高来看, 全生育期连续轻度干旱处理的株高最低, 适宜水分处理的最高, 拔节期干旱处理对株高影响最大, 苗期干旱处理的次之, 任一时期受旱越重, 株高越低。由图 2 可以看出, 夏玉米的叶面积指数亦是随着生育进程的推进逐渐增加, 到抽雄期达到高峰, 随后开始逐渐降低, 任一生育期受旱都会制约叶面积指数的增长, 使其叶面积指数低于适宜水分的处理, 受旱越重, 叶面积指数越小, 连续轻旱的处理叶面积指数最低。

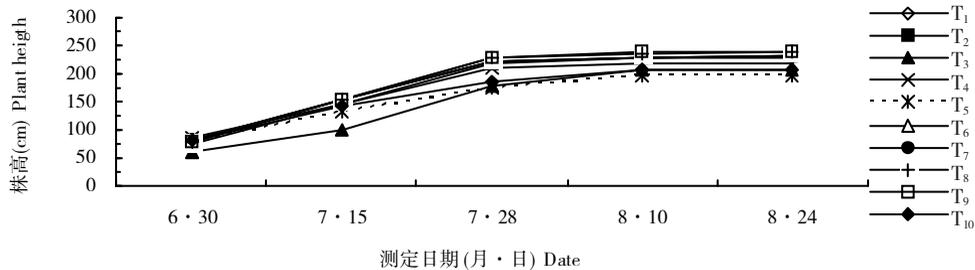


图 1 不同时期干旱和干旱程度夏玉米株高变化过程线

Fig.1 The hydrograph of summer maize plant height in different periods and drought degree

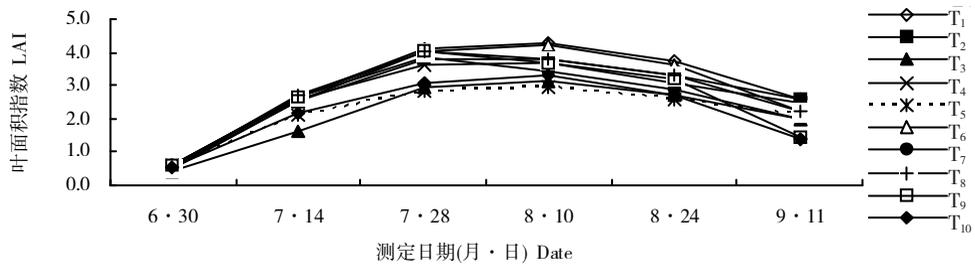


图 2 不同时期干旱和干旱程度夏玉米叶面积指数变化过程线

Fig.2 The change process line of summer maize leaf area index in different periods and drought degree

2.2 不同时期干旱和干旱程度对产量及构成因素的影响

由表 2 可以看出, 夏玉米穗粗、穗行数有随干旱时期的后移逐渐降低的趋势 (个别的处理除外), 在不同的生育阶段, 干旱越重, 对其果穗性状的影响越大。适宜水分处理的秃尖较短、果穗最粗、穗行数最多、百粒质量最大, 产量最高; 苗期重度干旱的果穗最短, 拔节期重度干旱的次之; 抽雄期重度干旱的穗粒数最少, 灌浆期重度干旱的百粒质量最小。苗期轻度干旱的处理减产最少, 为

9.88%, 显著低于适宜水分处理的产量; 拔节期轻度干旱、抽雄期轻度干旱和灌浆期轻度干旱处理间的产量差异不显著, 减产 14.95% ~ 16.34%; 苗期重度干旱、拔节期重度干旱和全生育期轻度干旱处理间的产量差异亦不显著, 减产了 27.08% ~ 29.38%; 抽雄期重度干旱处理的产量最低, 减产了 32.67%。不考虑连旱, 单从生育时期干旱来看, 抽雄期受旱的减产最多, 拔节期受旱的其次, 灌浆期受旱减产最少。适宜水分处理的产量与其他处理间的差异都达到了显著水平, 可见玉米对土壤

水分的亏缺较敏感,任一阶段的水分亏缺都会造成显著的减产,干旱越重,减产越多。

2.3 夏玉米各处理耗水量与耗水规律

表 2 不同时期干旱和干旱程度处理下夏玉米的产量性状

Table 2 The yield characters of summer maize in different periods and drought degree process

处 理 Treatment	果穗长(cm) Ear length	秃尖长(cm) Length of bare tip	果穗粗(cm) Ear thick diameter	穗行数(行) Ear row number	穗粒数(粒) Grains per spike	产量(kg/hm ²) Yield	减产率(%) Decrease rate
T ₁	18.02	1.92	5.25	16.4	498.69	7 590.0 a	0.00
T ₂	16.64	1.44	4.98	15.6	461.82	6 840.0 b	9.88
T ₃	13.99	1.03	4.71	12.4	380.63	5 535.0 e	27.08
T ₄	15.85	1.56	4.88	15.6	469.23	6 435.0 c	15.22
T ₅	15.26	1.14	4.73	15.6	395.86	5 360.0 e	29.38
T ₆	16.55	1.46	5.04	16.4	463.03	6 350.0 c	16.34
T ₇	15.93	2.72	4.96	16.4	349.98	5 110.0 f	32.67
T ₈	19.53	3.62	4.76	16.0	483.99	6 455.0 c	14.95
T ₉	15.54	1.20	4.79	15.8	465.98	5 885.8 d	22.45
T ₁₀	15.12	0.88	4.73	15.8	390.92	5 460.0 e	28.06

注:不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。 Note: Different letter express in 0.05 level differences remarkable.

夏玉米耗水量亦受干旱时期和干旱程度的影响,适宜水分处理的最高,为 384.08 mm,全生育期连续轻旱的最低,为 256.11 mm。从不同生育期干旱来看,拔节期重度干旱处理的耗水量最低,为 258.09 mm。在任一生育阶段,干旱越重,其阶段耗水量和全

期耗水量越少(表 3)。不同处理日耗水量的变化趋势均为播种出苗后逐渐增加,到抽雄-灌浆期达到高峰,随后逐渐降低;任何生育阶段受旱,其日耗水量均有随着干旱程度的加重而降低的趋势(图 3)。

2.4 夏玉米产量与全生育期耗水量之间的关系

表 3 不同时期干旱和干旱程度处理下夏玉米的耗水量

Table 3 The water consumption of summer maize in different periods and drought degree process

处 理 Treatment	阶段耗水量 Phase water consumption				全生育期 Whole growth
	播种-拔节 Sowing-Jointing	拔节-抽雄 Jointing-Tasseling	抽雄-灌浆 Tasseling-Filling	灌浆-成熟 Filling-Mature	
T ₁	112.34	92.13	65.28	114.33	384.08
T ₂	96.40	80.39	53.14	89.87	319.80
T ₃	60.81	72.65	50.62	74.01	258.09
T ₄	113.86	71.40	45.09	61.92	292.27
T ₅	111.82	62.46	44.33	61.19	279.80
T ₆	110.05	88.36	46.54	84.05	329.00
T ₇	109.69	84.43	33.59	64.10	291.81
T ₈	107.60	88.03	60.70	64.55	320.87
T ₉	110.74	87.83	56.75	54.65	309.96
T ₁₀	93.91	64.83	45.59	51.78	256.11

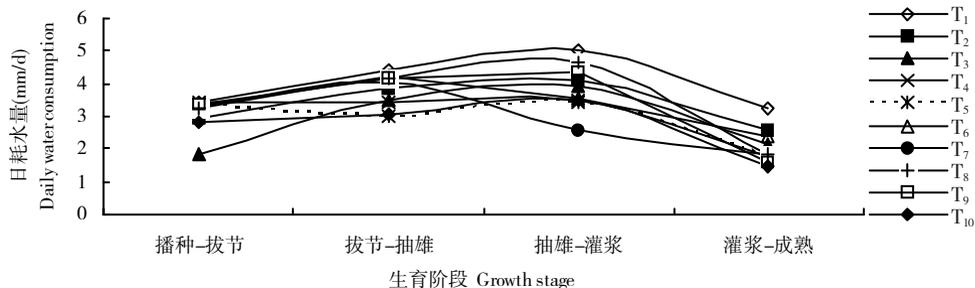


图 3 不同时期干旱和干旱程度夏玉米的日耗水变化过程

Fig.3 The hydrograph of date water consumption in different periods and drought degree for summer maize

根据不同处理夏玉米的产量和耗水量, 绘制产量与全期耗水量关系图(图 4)。夏玉米产量与耗水量呈良好的二次曲线关系, 其关系式分别为:

$$Y = -0.1026ET^2 + 86.308ET - 9937.8 \quad (r=0.8531)$$

式中, Y 为产量(kg/hm^2); ET 为耗水量(mm)。

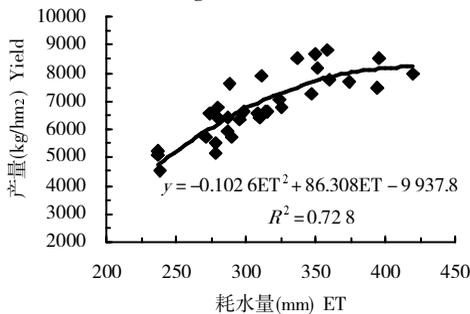


图 4 夏玉米产量与耗水量的关系

Fig.4 The relationships between yield and water consumption for summer maize

由图 4 可以看出, 夏玉米产量随着耗水量的增大逐渐增加, 当耗水量达到 420.6 mm 时, 产量达

表 4 不同时期干旱和干旱程度夏玉米的水分利用效率

Table 4 water use efficiency in different time drought and drought degree for summer maize.

处理 Treatment	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀
产量(kg/hm^2)	7590.0	6840	5535.0	6435.0	5360	6350	5110.0	6455.0	5885.8	5460.0
耗水量(m^3/hm^2)	3840.6	3198	2580.9	2922.7	2798	3290	2918.1	3208.7	3099.6	2561.1
WUE(kg/m^3)	1.976	2.139	2.145	2.202	1.916	1.930	1.751	2.012	1.899	2.132

夏玉米不同生育时期干旱对其生长发育、耗水规律以及水分利用效率都会造成影响, 干旱发生的时期以及程度不同, 其受到的影响亦不相同。通过综合分析评价, 得出夏玉米不同生育阶段的适宜土壤水分控制下限指标(表 5)。在对夏玉米进行农田水分

到最大值, 此后耗水量再增加, 产量会出现降低的趋势。

2.5 不同时期干旱和干旱程度对夏玉米水分利用效率的影响

作物水分利用效率(WUE)是指投入的单位水量所生产的经济产量, 即 $WUE=Y/ET$ 。由表 4 可知, 拔节期轻度干旱处理的 WUE 最高, 为 $2.202 \text{ kg}/\text{m}^3$, 比适宜水分处理提高 11.41%; 其次是苗期重度干旱的处理, 抽雄期重度干旱的处理 WUE 最低, 为 $1.751 \text{ kg}/\text{m}^3$, 适宜水分处理的居中。可见在夏玉米的中后期进行干旱处理由于减产幅度超过节水的幅度, 使得 WUE 降低, 在夏玉米的苗期适当地进行水分胁迫可以提高水分利用效率(8.23%), 产量减少 9.88%, 节水 16.73%。在生产上, 可以在玉米苗期进行适当的干旱锻炼, 促进根系下扎, 增加抗旱能力, 在减产不多的情况下有利于节水和水分利用效率的提高。

2.6 夏玉米节水高产的灌溉控制指标

管理时, 基于土壤墒情监测, 当夏玉米田的土壤水分达到相应生育阶段的下限值时, 就应进行灌溉。采用表 5 中的指标进行夏玉米农田的土壤水分管理, 再配合高产的施肥方案, 能实现玉米节水高产的目标。

3 结论与讨论

表 5 夏玉米不同生育阶段的土壤水分控制下限指标

Table 5 The soil moisture lower control limit target of summer maize in different growth stages

控制指标 Control target	播种-出苗 Seeding-Seedling	苗期 Seedling period	拔节-抽雄 Jointing-Heading	抽雄-灌浆 Heading-Filling	灌浆-成熟 Filling-Maturity
土壤水分下限(占田间持水量%)	70~75	60~65	65~70	70~75	60~65
深度(cm)	40	40	60	80	80

土壤水分是影响作物生长发育最重要的环境因子, 任一时期干旱都会制约夏玉米株高和叶面积的增长, 干旱越重, 受到影响的程度越大; 夏玉米不同生育期不同程度干旱对产量及其构成的影响不同, 与适宜水分处理相比, 各生育期干旱均引起产量的极显著下降, 尤其是抽雄期, 而且干旱越严重, 产量

降低也越多。苗期和拔节期重度干旱处理果穗较短, 抽雄期重度干旱主要是通过减少穗粒数影响产量, 灌浆期的重度干旱严重降低了百粒重。

夏玉米耗水量同样受干旱时期和干旱程度的影响, 适宜水分处理的最高, 拔节期重度干旱处理的最低, 任何生育阶段受旱, 其日耗水量、阶(下转第 64 页)

(上接第 58 页)段耗水量、全生育期耗水量均随着干旱程度的加重而降低。根据各处理产量与耗水量数据分析,两者呈良好的二次曲线关系,产量达到最大时,耗水量为 420.6 mm。产量和耗水量、WUE 之间表现出一种复杂的关系,在土壤水分亏缺情况下,产量对 WUE 的影响大于耗水量的影响。本试验结果表明,夏玉米的中后期进行干旱处理由于减产幅度超过节水的幅度,使得 WUE 降低;但当耗水量大幅度降低时,也会导致 WUE 明显升高,如夏玉米苗期干旱,在减产不多的情况下有利于节水和 WUE 的提高。

夏玉米的生长发育、耗水量及产量除受灌水的影响外,也受施肥时期、施肥量的影响。本试验没有考虑施肥因素的影响,下一步应把灌水和施肥结合起来进一步探讨对夏玉米生长发育、耗水量和产量

的影响,以提出节水高产的灌水和施肥指标。

参考文献:

- [1] 刘祖贵,陈金平,段爱旺,等.不同土壤水分处理对夏玉米叶片光合等生理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):90-95.
- [2] 孙景生,肖俊夫,段爱旺,等.夏玉米耗水规律及水分胁迫对其生长发育和产量的影响[J].玉米科学,1999,7(2):45-48.
- [3] 孙景生,肖俊夫,张寄阳,等.夏玉米产量与水分关系及其高效用水灌溉制度[J].灌溉排水学报,1998,17(3):17-21.
- [4] 任三学,赵花荣,霍治国,等.有限供水对夏玉米根系生长及底墒利用影响的研究[J].水土保持学报,2004,18(2):161-165.
- [5] 白丽萍,隋方功,孙朝晖,等.土壤水分胁迫对玉米形态发育及产量的影响[J].生态学报,2004,24(7):1556-1560.
- [6] 梁宗锁,康绍忠,邵明安,等.土壤干湿交替对玉米生长速度及其耗水量的影响[J].农业工程学报,2000,16(5):38-40.
- [7] 王艳,张佳宝,张丛志等.不同灌溉处理对玉米生长及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2008,27(5):41-44.

(责任编辑:李万良)