

干旱对不同种植密度玉米生长发育及产量的影响

梁烜赫^{1,2}, 徐晨¹, 赵鑫², 陈宝玉², 胡宇³, 曹铁华^{2*}

(1. 吉林农业大学, 长春 130118; 2. 吉林省农业科学院, 长春 130033; 3. 延边大学, 吉林 延吉 133002)

摘要:【目的】确定干旱条件下玉米适宜的种植密度。【方法】在移动式防雨棚内设5个种植密度,分别为5.0万、5.5万、6.0万、6.5万和7.0万株/hm²以及5个水分处理,即CK(全生育期土壤水分下限控制在田间持水率的75%±5%)、T1(拔节期,中度胁迫,土壤水分下限控制在田间持水率的50%±5%)、T2(拔节期,重度胁迫,土壤水分下限控制在田间持水率的40%±5%)、T3(灌浆期,中度胁迫,土壤水分下限控制在田间持水率的50%±5%)、T4(灌浆期,重度胁迫,土壤水分下限控制在田间持水率的40%±5%),研究了不同干旱程度对不同种植密度玉米生长发育及产量的影响。【结果】中度和重度干旱处理对玉米的生长发育和产量均有影响,拔节期中度水分胁迫对玉米的株高与干物质积累影响不大,对茎粗和叶面积指数有一定影响;灌浆期中度和重度的水分胁迫对玉米的形态指标及干物质积累均有显著影响。重度干旱对玉米的产量影响较大,较CK最大减产30.87%。水分正常或中度水分胁迫时,种植密度为6.5万株/hm²的处理产量最高,重度水分胁迫时,种植密度为6.0万株/hm²时产量最高。【结论】玉米植株种植密度过大或水分亏缺均会导致产量下降。因此,在较为干旱的地区,建议玉米种植密度为6.0万株/hm²,适当降低玉米的种植密度,可减少产量损失。

关键词:玉米;干旱;密度;生长发育;产量

中图分类号:S157.4

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0621

梁烜赫,徐晨,赵鑫,等. 干旱对不同种植密度玉米生长发育及产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2018,37(11):15-19.

0 引言

玉米是需水量大同时对水分胁迫比较敏感的作物。春玉米整个生育期的耗水总量为2 550~6 000 m³/hm²[1-3]。季节性干旱已成为半干旱区玉米生产的主要限制因素之一。干旱影响玉米生理特性,导致玉米生长发育缓慢、产量降低^[4]。严重干旱年份,可减产20%~40%^[5]。吉林省地处东北黄金玉米带,是我国重要的商品粮基地。每年不同区域降雨量差异明显,由东向西呈减少趋势。不同地区年际降雨量差异较大,其中,降雨量最少的是吉林省西部地区,年降雨量为300~500 mm。春旱、夏旱、伏旱、秋旱通常会贯穿在玉米的整个生育期^[6]。吉林省西部地区玉米生产占农业生产的60%,玉米播种至出苗期、生长发育中期和灌浆成熟期干旱发生频率分别为60%~96%、20%~40%和30%~52%,伏秋连旱时有发生,对玉米的播种、生长发育以及产量影响较大,阻碍了吉林省西部地区玉米产量的提高。

种植密度也是影响玉米产量的主要因素^[7]。合理的种植密度可使玉米群体与个体协调发展,在单位面积上获得最大产量。通常情况下,产量随种植密度的增加而增加,达到一定程度以后,产量逐渐下降^[8]。在确保适宜产量的前提下,减小玉米的种植密度,可以保证形成一个有效果穗所需的最小用水量。研究表明^[9],玉米的耗水量随种植密度的增加均呈增加趋势。增加种植密度后,底墒不好时,可能会造成减产。为此,从不同种植密度的角度出发,探讨干旱胁迫对不同种植密度玉米生长发育及产量的影响,旨在探寻干旱条件下玉米适宜的种植密度,为玉米生产过程中的灌溉和栽培管理提供一定理论依据。

收稿日期:2017-10-13

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFD0300807);吉林省科技厅重大项目(20160203003N Y);高层次留学人才回国工作资助;“十二五”粮食丰产科技工程(2012BAD04B02);吉林省科技厅重大项目(20140203010NY)

作者简介:梁烜赫(1980-),女。硕士研究生,主要从事农产品质量安全研究。E-mail: liangxuanhe_2004@163.com

通信作者:曹铁华(1974-),男。研究员,主要从事农产品质量安全研究。E-mail: caotiehua2002@163.com

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2014年5—10月在吉林省农业科学院洮南试验站进行。该区的年平均降雨量为430 mm,年内降雨量分布不均,属于西部半干旱地区。 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温平均在2 900 $^{\circ}\text{C}$ 左右,年平均日照时间为3 005 h,无霜期140 d左右。玉米播种前0~20 cm土层基础pH值为7.93,有机质质量分数为10.4 g/kg,水解性氮、有效磷和速效钾质量分数分别为62.76、56.76和161 mg/kg。

1.2 试验设计

试验玉米品种为郑单958。试验设5个种植密度,分别为5.0、5.5、6.0、6.5和7.0万株/hm²。参照郑盛华的水分处理^[10],5个水分处理分别为CK(全生育期土壤水分下限控制在田间持水率的75% $\pm$ 5%)、T1(拔节期,中度胁迫,土壤灌水下限控制在田间持水率的50% $\pm$ 5%)、T2(拔节期,重度胁迫,土壤灌水下限控制在田间持水率的40% $\pm$ 5%)、T3(灌浆期,中度胁迫,土壤灌水下限控制在田间持水率的50% $\pm$ 5%)、T4(灌浆期,重度胁迫,土壤灌水下限控制在田间持水率的40% $\pm$ 5%),用二因素随机区组试验设计,共25个处理,每个处理3次重复。小区长8 m,宽3.6 m。每个小区采用垄播方式,垄宽0.6 m,通过控制株距设计种植密度梯度。胁迫处理时,利用可移动防雨棚遮挡自然降水,采取实测计算补水量的方式进行人工灌溉,非处理的其他生育时期进行正常供水,保证玉米正常生长发育。每次灌水量按 $W=r\cdot H\cdot A\cdot (W_1-W_0)$ 计算,其中 r 为土壤体积质量(g/cm³); H 为土层深度,兹为20 cm; A 为小区面积(m²); W_1 为设计土壤含水率(%); W_0 为灌前实测土壤含水率(%)。灌水量采用水表控制^[11]。

1.3 测定项目与统计方法

分别在拔节期(2014年6月15日)和灌浆期(2014年8月5日)开始进行干旱胁迫处理,持续10 d后解除干旱胁迫,随后测定各处理的株高(直尺测量)、茎粗(利用数显卡尺测定地表处2个节间的中间处)、展开叶片的叶长和叶宽计算叶面积指数、干物质质量(取植株地上部分装于信封中,在105 $^{\circ}\text{C}$ 条件下杀青30 min,然后在80 $^{\circ}\text{C}$ 条件下烘干至恒质量),每个处理小区测定5株,之后恢复供水。在成熟期,每个处理随机取10株进行考种。

试验中所获得的数据,用Excel 2007和SPSS18.0软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 干旱对不同种植密度玉米形态指标的影响

表1为干旱条件下不同种植密度玉米的株高。由表1可知,不同处理玉米的株高均随着种植密度的增加而增加。在拔节期,除CK种植密度为6.5万株/hm²和7.0万株/hm²处理的株高差异不显著外,CK、T1、T2处理的不同密度之间株高差异显著($P<0.05$)。对比同一密度不同水分处理间的株高,T1处理与CK各密度之间差异不显著,而T2处理与CK、T2处理与T1处理各密度之间差异显著($P<0.05$)。灌浆期无论是同一密度不同水分处理间,还是同一水分不同密度处理间株高均有显著差异($P<0.05$)。

表1 不同种植密度玉米株高

种植密度/(万株·hm ⁻²)	拔节期			灌浆期		
	CK	T1	T2	CK	T3	T4
5.0	128.5d(a)	127.6e(a)	121.7e(b)	265.8e(a)	260.8e(b)	251.8e(c)
5.5	131.1c(a)	130.1d(a)	124.2d(b)	272.5d(a)	269.7d(b)	259.3d(c)
6.0	133.1b(a)	132.4c(a)	128.0c(b)	282.5c(a)	275.8c(b)	265.8c(c)
6.5	137.2a(a)	137.5b(a)	133.2b(b)	288.4b(a)	281.8b(b)	276.5b(c)
7.0	138.4a(a)	139.4a(a)	135.8a(b)	306.4a(a)	295.0a(b)	289.8a(c)

注 括号外面不同小写字母表示同列数据5%水平下差异显著,括号里面不同字母表示同行数据5%水平下差异显著;下同。

表2为干旱处理条件下不同种植密度玉米的茎粗。从表2可以看出,拔节期和灌浆期的玉米茎粗均随着种植密度的增加而减小。拔节期,同一水分条件下,CK各种植密度间茎粗差异显著($P<0.05$),T1处理中种植密度5.0万株/hm²与5.5万株/hm²之间、6.5万株/hm²与7.0万株/hm²之间差异不显著,其余种植密度间差异显著($P<0.05$)。T2处理中种植密度5.5、6.0、6.5万株/hm²之间差异不显著,其余种植密度间差异显著($P<0.05$)。同一种植密度条件下,种植密度为6.5万株/hm²时,T1与T2处理之间差异不显著,其余种植密度各处理之间均差异显著($P<0.05$)。灌浆期,无论是同一种植密度不同水分处理间,还是同一水分不同种植

密度处理间的茎粗均差异显著($P<0.05$)。

表2 不同种植密度玉米茎粗

mm

种植密度/(万株·hm ²)	拔节期			灌浆期		
	CK	T1	T2	CK	T3	T4
5.0	27.06a(a)	22.10a(b)	20.56a(c)	25.45a(a)	23.35a(b)	22.71a(c)
5.5	25.43b(a)	21.46a(b)	19.45b(c)	24.20b(a)	22.63b(b)	21.89b(c)
6.0	24.34c(a)	19.60b(b)	18.62bc(c)	23.74c(a)	21.79c(b)	20.77c(c)
6.5	23.42d(a)	18.64c(b)	17.94c(b)	22.73d(a)	20.71d(b)	19.66d(c)
7.0	22.28e(a)	17.82c(b)	16.58 d(c)	21.68e(a)	20.25e(b)	18.84e(c)

表3为干旱处理条件下不同种植密度玉米的叶面积指数。从表3可以看出,叶面积指数随着种植密度的增加而增加。拔节期,同一水分条件下,T1处理种植密度5.0万株/hm²和5.5万株/hm²之间叶面积指数差异不显著,其余各水分处理的不同种植密度之间叶面积指数均差异显著($P<0.05$)。同一种种植密度条件下,T2处理叶面积指数与CK均差异显著($P<0.05$)。灌浆期,无论是同一种种植密度不同水分处理间,还是同一水分不同种植密度处理间的叶面积指数均有显著差异。

表3 不同种植密度玉米叶面积指数

种植密度/(万株·hm ²)	拔节期			灌浆期		
	CK	T1	T2	CK	T3	T4
5.0	1.72e(a)	1.68d(a)	1.17e(c)	3.90e(a)	3.65e(b)	3.21e(c)
5.5	1.85d(a)	1.75d(b)	1.37d(c)	4.74d(a)	4.36d(b)	3.86d(c)
6.0	1.96c(a)	1.88c(b)	T2	5.08c(a)	4.62c(b)	4.10c(c)
6.5	2.29b(a)	2.06b(b)	1.73b(c)	5.41b(a)	4.90b(b)	4.52b(c)
7.0	2.63a(a)	2.47a(a)	1.86a(b)	5.85a(a)	5.45a(b)	5.04a(c)

表4为干旱处理条件下不同种植密度玉米的干物质积累量。由表4可知,拔节期,同一水分条件下,各处理的变化趋势基本一致,表现为随着种植密度的增加单株干物质积累量减少,且不同种植密度之间差异显著($P<0.05$)。同一种种植密度条件下,T2处理与CK、T2处理与T1处理差异显著($P<0.05$),而T1处理与CK之间除种植密度6.5万株/hm²外,其余差异不显著。灌浆期,同一水分条件下,玉米单株干物质质量随着种植密度的增加而降低,且不同种植密度之间差异显著($P<0.05$)。同一种种植密度条件下,CK、T3、T4处理三者之间的单株干物质质量均差异显著($P<0.05$)。

表4 不同种植密度玉米干物质积累量

g/株

种植密度/(万株·hm ²)	拔节期			灌浆期		
	CK	T1	T2	CK	T3	T4
5.0	38.60 a(a)	36.87 a(a)	33.66a(b)	369.9a(a)	307.9a(b)	275.2a(c)
5.5	33.86b(a)	32.19 b(a)	29.29 b(b)	332.1b(a)	280.8b(b)	236.5b(c)
6.0	30.16 c(a)	29.25c(a)	25.90c(b)	310.2c(a)	237.6c(b)	215.8c(c)
6.5	27.97d(a)	26.53d(b)	23.58d(c)	297.3c(a)	221.5d(b)	200.9c(c)
7.0	24.16e(a)	23.47e(a)	21.35e(b)	271.0d(a)	209.6e(b)	182.7d(c)

2.2 干旱对不同种植密度玉米产量的影响

表5为干旱处理条件下不同种植密度玉米的产量。从表5可以看出,在同一水分处理条件下,产量随着种植密度的增加呈现先升高后降低的趋势。CK和中度水分胁迫处理(T1、T3)在种植密度为6.5万株/hm²时产量最高,而重度水分胁迫处理(T2、T4)则在种植密度为6.0万株/hm²时产量最高。同一种种植密度条件下,除拔节期种植密度5.0万株/hm²和6.0万株/hm²产量变化规律不明显外,其余各处理的产量均随着胁迫程度的增加而降低。中度干旱(T1、T3)处理玉米产量的减产率小于重度干旱(T2、T4)处理。拔节期干旱玉米产量的减产率小于灌浆期干旱,灌浆期重度干旱条件下玉米减产最多,较CK最大减产率达到30.87%。

表5 不同种植密度玉米产量

kg/hm²

种植密度/(万株·hm ²)	CK	T1	T2	T3	T4
5.0	10 235.54d	9 732.24d	10 063.66d	9 424.49d	8 848.54d
5.5	11 455.58c	10 924.16c	10 699.42c	10 169.95c	9 640.09c
6.0	12 823.22b	11 861.00b	12 118.53a	11 567.85b	11 188.13a
6.5	13 772.91ab	12 928.07a	11 433.42b	12 307.12ab	10 551.51b
7.0	13 243.47a	12 277.59b	11 296.70c	11 824.52a	9 154.89d

2.3 干旱和种植密度交互作用对玉米生长发育及产量的影响

干旱和种植密度二因素交互作用对玉米生长发育及产量的影响结果(表6)显示,在玉米拔节期和灌浆期,干旱和种植密度对植株形态指标和产量影响均达极显著水平($P<0.01$),但二者交互作用在玉米不同生

育时期表现不同。拔节期对株高和叶面积指数的影响达极显著水平($P<0.01$),对茎粗和干物质量影响差异不显著;灌浆期对株高和茎粗的影响差异达极显著水平($P<0.01$),对叶面积指数和干物质量的影响差异不显著;对于不同阶段,干旱胁迫和种植密度交互作用均会对产量产生极显著的影响。

表6 干旱和种植密度交互作用对玉米生长发育及产量的影响

处理	拔节期					灌浆期				
	株高	茎粗	叶面积指数	干物质量	产量	株高	茎粗	叶面积指数	干物质量	产量
A	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
B	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
A×B	**	ns	**	ns	**	**	**	ns	ns	**

注 A代表水分处理,B代表种植密度处理;**表示差异极显著,*表示差异显著,ns表示差异不显著。

3 讨论与结论

水分胁迫对玉米的生长发育造成一定的影响,但并不一定导致玉米减产^[3-5],其原因是玉米各阶段的生长发育并不是相对独立的,当玉米苗期经受适当的水分胁迫,在控制植株生长的同时,可促进根系生长发育,增加其对深层土壤水分的吸收,使茎秆生长健壮,增强玉米的抗倒伏性能,减少叶片蒸腾,从而增强中后期的抗旱能力,这有利于节约水分、增加产量,问题的关键在于适度的水分胁迫指标的确定^[13]。有研究表明玉米三叶期干旱胁迫后,生育阶段推迟了13 d,叶面积偏小,但复水后株高和产量得到较大提高,而且最终产量差异不大^[14]。笔者认为,在拔节期中度水分胁迫对玉米的株高与干物质积累影响不大,对茎粗和叶面积指数有一定影响;而灌浆期中度和重度的水分胁迫对玉米的形态指标及干物质积累均有显著影响,这一结果与白莉萍等^[15]研究结果相似,说明在拔节期前,适当的水分胁迫对玉米植株的生长影响不大,灌浆期的水分胁迫对玉米的干物质积累有较大的影响。但也有研究显示,干旱胁迫导致玉米生长发育缓慢和减产程度的大小因胁迫时期、胁迫程度及持续时间而不同^[16]。白向历等^[17]研究表明,拔节期水分胁迫导致植株矮化、穗位高降低,从而使产量下降,特别是抽雄吐丝期干旱致使花期不遇,穗粒数大幅度下降,从而严重影响玉米的产量,这与本研究存在差异。

种植密度可显著影响玉米的生理性状和冠层环境因子,通过种植密度调控可以促进玉米生长发育,合理的种植密度可使玉米群体与个体协调发展,在单位面积上获得较高的产量^[18]。有研究表明,种植密度调控是获得最佳玉米群体产量的重要措施^[19]。刘娟等^[20]研究表明,种植密度增加,籽粒最大灌浆速率、最大灌浆速率时生长量显著降低,穗粒数、千粒质量显著下降,空秆率升高。也有研究表明,在6.0万~8.25万株/hm²种植密度范围内,随种植密度增加玉米产量显著增加,但当种植密度达到一定程度后,产量又随种植密度增加而降低^[21]。本研究结果显示,随着种植密度的增加,玉米的产量表现出先升高后降低的变化趋势,这与张冬梅等^[22]的研究结果基本一致。在正常水分条件下,种植密度为6.5万株/hm²时产量达到最高,进行水分胁迫,尤其是重度水分胁迫时,种植密度在6.0万株/hm²时产量最高,说明密度增加、干旱胁迫程度增加,产量显著降低。其原因是在水分供应不足的条件,在以增加群体密度来获得较高产量的同时,群体的水分竞争导致个体所获得的水分减少,导致对作物生长产生影响^[23]。有研究认为,干旱胁迫和种植密度对产量的形成和群体指标的影响随着种植密度增加而增大,交互效应尤为显著^[24]。本研究也表明,干旱和种植密度交互作用显著影响了玉米生长发育和产量。

综合分析认为,拔节期中度胁迫对产量的影响不大,但重度胁迫时6.5万~7.0万株/hm²种植密度严重减产。在灌浆期干旱胁迫,随着种植密度的增加,玉米产量随之降低,特别是高种植密度下产量受到严重影响。因此,在较为干旱的地区,建议种植密度为6.0万株/hm²,这样可弥补水分亏缺造成的单株玉米所需水分,从而有效减少产量损失。

参考文献:

[1] VAMERALI T, SACCOMANI M, BONA S,et al. A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two corn hybrids[J]. Plant Soil, 2003, 255:157-167.

[2] 李树军, 黄先顺, 张建国. 不同玉米杂交种萌发期及花期抗旱性研究[J]. 黑龙江农业科学, 2011(12):1-3.

[3] 谷岩, 孙杨, 郭占全, 等. 膜下滴灌不同玉米品种水分利用效率及产量研究[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(3):51-55.

[4] FARRE I, OIJEN M V, LEFFELAAR P A. Analysis of maize growth for different irrigation strategies in Northeastern Spain[J]. European Journal of Agronomy, 2000,12:225-238.

- [5] 齐伟, 张吉旺, 王空军, 等. 干旱胁迫对不同耐旱性玉米杂交种产量和根系生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(1):48-52.
- [6] 赵炳南, 朱风文, 杨威, 等. 吉林省西部半干旱区玉米灌溉现状分析及对策[J]. 吉林农业科学, 2010, 35(6):8-10,15.
- [7] 杨世民, 廖尔华, 袁继超, 等. 玉米密度与产量及产量构成因素关系的研究[J]. 四川农业大学学报, 2000, 18(4):321-324.
- [8] 石元亮, 秦裕波, 孙毅, 等. 土壤水分与玉米种植密度及产量的相关性研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(4):793-796.
- [9] 黄学芳, 刘化涛, 黄明镜, 等. 密度对不同玉米品种产量形成和耗水量的影响[J]. 安徽农学通报, 2010, 16(21):59-61.
- [10] 郑盛华, 严昌荣. 水分胁迫对玉米苗期生理和形态特性的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(4):1 138-1 143.
- [11] 刘永辉. 夏玉米不同生育期对水分胁迫的生理反应与适应[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(2):171-175.
- [12] 董印丽, 王玉昆. 种植密度对郑单958玉米生理特性和产量的影响[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(2):293-294.
- [13] 张英普, 何武权, 韩健. 水分胁迫对玉米生理生态特性的影响[J]. 西北水资源与水工程, 1999, 10(3):18-21.
- [14] 纪瑞鹏, 车宇胜, 朱永宁, 等. 干旱对东北春玉米生长发育和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(11):3 021-3 026.
- [15] 白莉萍, 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):1 556-1 560.
- [16] 张淑杰, 张玉书, 纪瑞鹏, 等. 水分胁迫对玉米生长发育及产量形成的影响研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(12):68-72.
- [17] 白向历, 孙世贤, 杨国航, 等. 不同生育时期水分胁迫对玉米产量及生长发育的影响[J]. 玉米科学, 2009, 17(2):60-63.
- [18] 郭春明, 王雪, 赵鑫, 等. 密度调控对半干旱区不同株型玉米品种冠层和产量指标的影响[J]. 玉米科学, 2017, 25(6):113-118.
- [19] 肖继兵, 孙占祥, 蒋春光, 等. 密度和施氮量对垄膜沟播春玉米干物质积累和产量的影响[J]. 玉米科学, 2017, 25(1):98-106.
- [20] 刘娟, 董树亭, 刘鹏, 等. 增密与施氮对不同耐密型玉米产量及籽粒灌浆特征的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(1):38-47.
- [21] 刘春晓, 董瑞, 张秀芝, 等. 不同种植密度对玉米叶面积指数干物质积累及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(2):36-39.
- [22] 张冬梅, 张伟, 陈琼, 等. 种植密度对旱地玉米植株性状及耗水特性的影响[J]. 玉米科学, 2014, 22(4):102-108.
- [23] 刘胜群, 郭金瑞, 张卫建, 等. 种植密度对春玉米茎秆和根系水分状况的影响[J]. 土壤与作物, 2014(3):93-98.
- [24] 王卓敏, 郑新颖, 薛立. 樟树幼苗对干旱胁迫和种植密度的生理响应[J]. 生态学杂志, 2017, 36(6):1 495-1 502.

The Impact of Drought and Planting Density on Growth and Yield of Maize

LIANG Xuanhe^{1,2}, XU Chen¹, ZHAO Xin², CHEN Baoyu², HU Yu³, CAO Tiehua^{2*}

(1. Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China; 3. Yanbian University, Yanji 133002, China)

Abstract: 【Objective】 The overarching objective of this paper is to elicit the effects of drought on growth and yield of maize planted under different densities in attempts to experimentally find suitable planting density at different drought level. 【Method】 The experiments were conducted in a mobile rainproof shelter, and the irrigations were determined based on real-time soil moisture measurements. We tested five planting densities: 50, 55, 60, 65 and 70 thousand/hm²; and five irrigation treatments: keeping soil moisture at 75%±5% of the field capacity during the entire growth season (CK), moderate water stress at the jointing stage by keeping the soil moisture at 50%±5% of the field capacity (T2), moderate water stress at the grain-filling stage by keeping the soil moisture at 50%±5% of the field capacity (T3), severe water stress at grain-filling stage by keeping the soil moisture at 40%±5% of the field capacity (T4). 【Result】 Both moderate and severe water stresses impacted the growth and ultimate yield of the maize. A moderate water stress at jointing stage did not have a noticeable effect on plant height and dry matter accumulation, but reduced the stem diameter and leaf area index. Moderate and severe water stresses at the grain-filling stage both significantly impacted the morphological index and dry matter accumulation, with severe water stress resulting a yield reduction by 30.87% compared to the CK. 【Conclusion】 The best planting density under normal irrigation or with moderate stress is 65 000 plants/hectare, while under severe water stress the density of 60 000 plants/hectare achieved the highest yield. Increasing planting density or water stress will reduce yield. In dry regions, therefore, decreasing planting density is a way to reduce yield loss.

Key words: maize; drought; density; growth and development; yield

责任编辑:白芳芳