

玉米播种期水分胁迫及补水对幼苗生长的影响

谢倩 陈冠英 陶洪斌* 张萍 周楠 任伟 王璞

(中国农业大学 农学与生物技术学院/农业部农作制度重点实验室,北京 100193)

摘要 由于降雨时空分布不均,我国玉米主产区在播种期经常遭遇季节性干旱,严重限制玉米播种、萌发和苗期生长,与之相适应的灌溉措施有待于完善。本研究以郑单958为材料,在控制条件下布置盆栽试验,研究玉米播种期水分胁迫以及播后补水对玉米出苗和根系生长的影响,明确补充灌溉的缓解作用,并确定在不同土壤墒情下播种后的适宜补灌量。本研究设定7个处理:正常供水,轻度水分胁迫下设定湿土点种、播后补灌15.0 mm和22.5 mm蒙头水,中度水分胁迫下设定湿土点种、播后补灌15.0 mm和22.5 mm蒙头水。结果表明:1)随着土壤墒情变差,玉米出苗率下降,叶面积和生物量显著减小,根冠比增大,根系的生长受到阻碍。2)播种后浇灌蒙头水是有效缓解土壤干旱带来不利影响的农艺措施之一,显著提高玉米出苗率,缩短出苗时间,促进根系生长,根条数、根层数、总根长、根表面积和根体积显著增加,与不补水相比,补灌蒙头水处理的根长增加13.5%~146.6%,根表面积提高22.9%~166.8%,根体积增加32.9%~117.6%。3)补灌蒙头水对水分胁迫越重的处理效果越显著,且补灌量越大,缓解程度越高。其中,播种时土壤墒情为田间持水量的50%~65%时,适宜在播种后补灌22.5 mm的蒙头水缓解旱情,促进幼苗根系的生长。

关键词 玉米;根系;生长;播种期;干旱;蒙头水

中图分类号 S 513

文章编号 1007-4333(2015)05-0016-09

文献标志码 A

Effects of drought and irrigation after sowing on maize seedling growth

XIE Qian, CHEN Guan-ying, TAO Hong-bin*, ZHANG Ping, ZHOU Nan, Ren Wei, WANG Pu

(College of Agronomy and Biotechnology/Key Laboratory of Farming System of Ministry of Agriculture,

China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract Seasonal drought frequently occurred at maize sowing stage due to unevenly distributed precipitation in China, which limited seed emergence and seedling growth severely. Irrigation after sowing played an important role on maize seedling developments, and the corresponding irrigation amounts shall be determined to ensure plant establishment. Therefore, a pot experiment was conducted under greenhouse condition to clarify a proper irrigation amount after sowing under drought stress. Seven treatments were designed: sufficient water supply, light drought stress with 0, 15, 22.5 mm water after sowing and medium drought stress with 0, 15, 22.5 mm water after sowing. The results showed: root development and growth were inhibited as soil moisture decreased. Simultaneously, emergence rate, leaf area, shoot and root dry matter accumulation decreased with an increase of root-shoot ratio due to drought stress; Supplemental irrigation after sowing is one of the effectively agronomic measures to release drought stress, which significantly increased emergence rate, shortened emergence time and promoted root growth. Compared with no irrigation after sowing, root number, root layer number, root length, root surface area and root volume were all significant increased after irrigation; Irrigation after sowing had more significant effect under medium drought stress than under light drought stress. In addition, higher amount of irrigation water led to stronger recover effect. Irrigating 22.5 mm water after sowing relieved drought stress and promoted root establishment when soil moisture was between 50% - 65% of the field capacity.

Key words maize; root; growth; sowing stage; drought; irrigation after sowing

收稿日期: 2014-12-22

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(2014JD056)

第一作者: 谢倩, 硕士研究生, E-mail: 740523306@qq.com

通讯作者: 陶洪斌, 副教授, 主要从事作物抗逆节水栽培与资源高效利用研究, E-mail: hongbintao@cau.edu.cn

玉米是我国三大主要粮食作物之一,在国民经济中占重要地位^[1],我国玉米种植区主要分布在从东北到西南的玉米带上。由于降雨季节性分布不均,我国东北春玉米区经常出现春旱,素有“十年九旱”之说,同时西南玉米区春旱也逐年增加,而黄淮海夏玉米区由于轮作接茬、抢时播种也经常出现播种期干旱,目前季节性干旱已经成为制约我国玉米生长的最主要的自然逆境因素^[2-4]。当玉米在播种期遭受干旱后,出苗率大幅下降,导致缺苗断垄,影响幼苗的生长以及果穗的发育,进而影响产量形成^[5]。苗全、苗齐和苗壮是玉米高产的前提,良好的群体结构是高产和稳产的保障^[6]。因此,提高出苗质量和缓解播种期干旱是保证幼苗生长是产量形成的关键。

玉米幼苗的生长主要包括地上部和根系的生长,根系的生长与地上部的形态形成有极显著相关性,是作物干物质生产的基础,根系生长受限将影响玉米地上部生长和产量的形成^[7-10]。然而,播种期遭遇干旱会限制幼苗的生长,降低株高,减少光合面积,同时严重阻碍根系的生长,根长和根表面积等指标显著下降^[5,11]。在播种期底墒不足的情况下,如何促进根系的生长,形成健壮的根系构型,同时保持较高水分利用效率,是生产中亟需解决的问题,对农业资源的高效利用有重要意义^[12]。

在玉米生产中,常常针对播种期干旱的问题采用浇灌蒙头水等措施,以有效缓解旱情,促进种子萌发出苗,保证幼苗根系和地上部的生长,建立健壮群体。蒙头水是指在作物播种后,因土壤干旱,造成种子不能正常萌发,或是萌发后顶土困难,而采取的保苗和齐苗的灌溉措施^[13-15]。然而灌溉蒙头水后,也容易发生土壤板结、导致土壤通气性变差和土温降低等问题,进而限制苗期生长。另外,当灌溉量较大或者灌溉较为频繁时,土壤板结程度加重,会严重限制作物生长^[13]。因此,在玉米播种期遭受干旱必须浇灌蒙头水时,要重点把握灌溉量,既保证玉米生长的耗水需求,提高水分利用效率,又减少蒙头水的不利影响,是合理灌溉的关键问题。

本研究旨在比较不同底墒下补灌蒙头水的量对玉米出苗和苗期根系生长的影响,以期确定不同土壤墒情下适宜的补灌量,来应对玉米播种期可能遭遇的干旱。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

试验共设7个处理:足墒播种(CK),保持土壤含水量为最大田间持水量的70%~75%;轻度水分胁迫(土壤含水量为田间持水量的60%~65%)条件下,湿土点种(即为了避免水分胁迫下直播玉米出苗困难,保证试验绝对的出苗对照,此处理设置微量补水为50 mL/穴,湿润播种穴,供给种子吸水萌发)、播种后分别补灌蒙头水15.0和22.5 mm(生产中,补灌蒙头水常用的量为149~224 m³/hm²,本研究在控制条件下采用盆栽土培法,折算后为15和22.5毫米);中度水分胁迫(土壤含水量为田间持水量的50%~55%)条件下,湿土点种(50 mL/穴)、播种后分别补灌蒙头水15.0和22.5 mm。其中,轻度水分胁迫和中度水分胁迫条件下,补灌蒙头水后,当土壤含水量降到对应的含量时,采用称重法补水,保持土壤水分含量在播种前的范围内。由于播种期重度水分胁迫下很难进行播种,即便补灌也很难确保出苗,生产上补灌的作用不大,所以本试验没有设计重度胁迫处理,只考虑轻度和中度胁迫下的补水作用。试验中每个处理取样4次,每次各处理取样2盆,每盆3株,共6株,单株测定各项指标,共6次重复。

1.2 试验布置

试验于2014年在中国农业大学农学与生物技术学院日光温室内进行,试验期间温室内平均温度24.3℃,昼夜温差3.6℃。采用盆栽土培法,盆内径30 cm,高29 cm,侧壁有通气管,也可用于补水。取大田0~20 cm表土,风干过筛,土质为壤土,全氮含量0.91 mg/kg,有效磷含量为25.30 mg/kg,速效钾含量为436.04 mg/kg,有机质含量21.28 g/kg,pH为6.9,土壤容重为1.31 g/cm³,田间持水量为31.83%。选用黄淮海地区主栽品种郑单958为试验材料(河南省农业科学院选育,北京德农有限公司商品),每个处理13盆,每盆播种6粒,播种深度为3 cm,于两叶一心定苗,每盆留苗3株。播种后按试验设计补充灌溉一次,直至土壤含水量降低至各处理控制的含水量范围内,之后隔天采用称重法补水,每次土壤水分均补充到播种前土壤含水量范围内(即足墒、轻度胁迫和中度胁迫)。每盆装风干土15 kg,土壤中混有机肥(鸡粪)13.30 g/kg土

壤,氮肥(尿素,含氮46.4%)0.06 g/kg 土壤,磷肥(过磷酸钙,含 P_2O_5 12%)0.05 g/kg 土壤,钾肥(硫酸钾,含 K_2O 52%)0.07 g/kg 土壤,作为基肥与土壤混匀后装盆,装盆过程中分层压实至接近大田土壤容重。

1.3 测定指标及方法

播种后 15 d 开始取样,每周取样 1 次,分别为播种后 15、22、29 和 36 d,每次取样 2 盆,每盆 3 株,每次取样均测定叶面积、根条数、根层数、根系形态指标和生物量。出苗数统计从播种后第 6 天开始,到第 14 天截止,出苗率/% = 出苗数/播种种子总数 \times 100。叶面积测定采用长宽系数法,即叶面积 = 叶长 \times 叶宽 \times n(n 为换算系数,展开叶系数为 0.75,未展开叶为 0.50)。根系取样采用挖掘法,保持地上部和地下部的完整性,挑捡出土壤中中断损根条,冲洗干净,统计单株根条数和根层数后,用根系扫描仪(EPSON PRFECTION V700 PHOTO, Japan)扫描,所得图片用软件(WinRhizo Pro Vision 2009c, Regent Instruments Inc, Canada)进行分析,测得根长、根表面积和根体积等指标。每次取的样品在 105 $^{\circ}C$ 下杀青 30 min, 80 $^{\circ}C$ 下烘至恒重测定生物量,其中根冠比 = 地下部干重/地上部干重。

1.4 数据处理及分析

采用 Microsoft Excel 2007 软件进行数据处理,方差分析采用 SAS 9.0 统计软件。

2 结果与分析

2.1 出苗率

随着播种墒情变差,玉米出苗率下降,出苗时间相对延迟,补灌蒙头水促进种子出苗,补灌量越大,出苗情况越好(图 1)。正常供水处理出苗整齐且快,出苗率最高,播种后 6 d 即达 100%。轻度水分胁迫下(图 1(a)),总体出苗情况比对照差,整齐度低,出苗率下降,差异显著,播种 7 和 14 d 后湿土点种处理的出苗率分别为 14.8% 和 72.2%;中度水分胁迫下(图 1(b)),玉米出苗情况最差,出苗率低且出苗时间延后,湿土点种处理下出苗时间较其他处理推迟 4 d 左右,播种 8 d 后才陆续出苗。而播后补灌一定量蒙头水能有效的改善土壤墒情差对种子出苗的影响,随着补灌量的增加,出苗率增加,达到最大出苗率的时间缩短。轻度水分胁迫下补灌 22.5 和 15.0 mm 蒙头水玉米最终出苗率提高 30.8% 和 15.4%,中度水分胁迫下分别提高 48.6% 和 11.4%,与对照相比差异显著。轻度水分胁迫和中度水分胁迫下补灌 22.5 mm 的处理均在第 10 天左右达到各自处理的最大出苗率。可见,当土壤墒情不足时,播种后浇灌蒙头水能够缓解水分胁迫对出苗的抑制,在一定程度上提高出苗率,结果显示补灌 22.5 mm 蒙头水更有利于玉米出苗,提高出苗速度和整齐度。

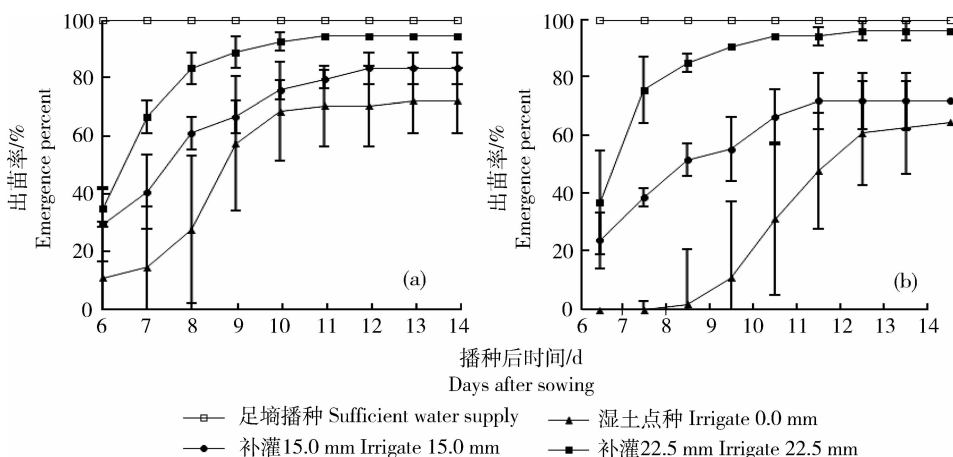


图 1 轻度水分胁迫(a)和 中度水分胁迫(b)条件下补灌量对玉米出苗的影响

Fig. 1 Effects of irrigation amount on the emergence percent of maize under light (a) and medium (b) drought stress

2.2 叶面积动态

玉米播种期土壤墒情的高低和播后蒙头水补灌

量的大小显著影响苗期叶片的生长(图 2)。土壤墒情变差后,叶面积减小,随着生长时间的延长,差异

越明显；而随着补灌量的增加，叶面积随着增大。正常供水和轻度水分胁迫下不同蒙头水处理的叶面积增长呈现先慢后快的趋势，随着时间的延长，叶面积增长速度加快；中度水分胁迫下，各处理的叶面积均缓慢增加。在播种后 21 d 内，轻度水分胁迫下补灌 22.5 mm 蒙头水处理保持较高的叶面积增长速率，达 8.3 cm²/d，其他处理的叶面积扩展速度慢，中度水分胁迫下湿土点种处理仅为 1.1 cm²/d。随着干旱时间的延长，足墒播种、轻度水分胁迫和中度水分胁迫条件下的叶面积差异显

著，表现为中度水分胁迫 < 轻度水分胁迫 < 水分充足，播种后 36 d，轻度水分胁迫和中度水分胁迫下湿土点种的处理的叶面积较足墒播种分别下降 49.2% 和 96.2%。在不同墒情下播种，蒙头水补灌量越大，叶面积也越大，叶片生长越快，播种后 29 d，轻度水分胁迫下补灌 22.5 mm 和 15.0 mm 比湿土点种处理的叶面积增加 106.0% 和 51.9%，中度水分胁迫下补灌 22.5 mm 和 15.0 mm 比湿土点种处理的叶面积增加 185.3% 和 56.6%。

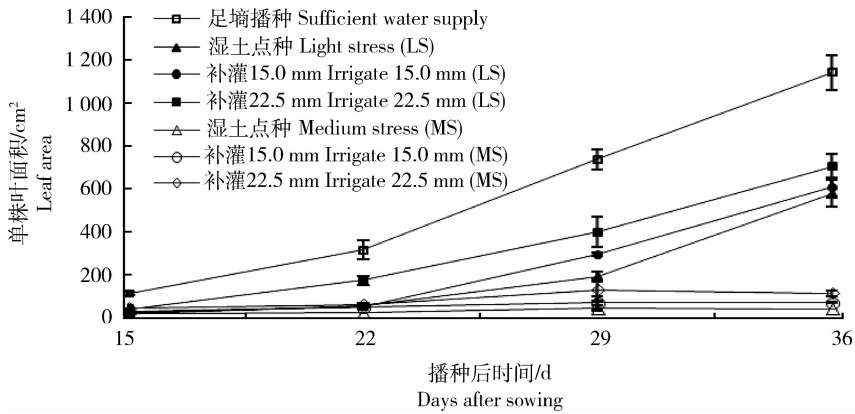


图 2 轻度水分胁迫和中度水分胁迫条件下补灌量对玉米单株叶面积的影响

Fig. 2 Effects of irrigation amount on leaf area of maize under light and medium drought stress

2.3 根系生长

根系直接感受土壤水分的盈缺，并通过根毛的吸收和木质部的运输，供应茎叶所需水分，完成植株蒸腾和生理活动，维持生长，根系生长情况是决定地上部分生长的关键因素。随着播种后时间的推移，足墒播种和轻度水分胁迫各处理的根条数和根层数逐渐增加，足墒播种为先快后慢，轻度水分胁迫为先慢后快；而中度水分胁迫下各处理的根系生长缓慢，在幼苗生长后期，外层根系缺水干枯，导致根条数较前一时期甚至有所下降(表 1)。中度水分胁迫下各处理根系的发育较轻度水分胁迫迟缓，越到后期，差异越显著，水分胁迫严重影响根系的生长，降低根原基的发生速度和数量。播后补灌一定量蒙头水能促进玉米根系的发生，快速建立根系构型，补灌 22.5 mm 蒙头水的效果优于补灌 15.0 mm 蒙头水；同时，补灌蒙头水对轻度水分胁迫的缓解幅度低于中度水分胁迫。播种 15 和 22 d 后轻度水分胁迫下补

灌 22.5 mm 处理的根条数比湿土点种增加 10.0% 和 34.4%，根层数则是没有变化或是增加 70.0%。播种 15 和 22 d 后中度水分胁迫下补灌 22.5 mm 蒙头水处理的根条数比湿土点种增加 180.0% 和 100.0%，根层数则增加 25.0% 或是没有变化。由于轻度水分胁迫处理的土壤水分含量高于中度水分胁迫处理，相同补灌量下，轻度水分胁迫的根系生长情况显著好于中度水分胁迫，播种后 36 d，轻度水分胁迫下补灌 22.5 mm 蒙头水处理的根条数和根层数比中度水分胁迫下补灌 22.5 mm 蒙头水处理高 316.7% 和 192.3%，差异显著。

2.4 根系形态

玉米幼苗的生长过程中主要是根系的形成，庞大、有序的根系是地上部生长的基础。有研究表明，根系的生物量与产量显著相关，根系的吸收和运输能力越强，产量越高^[16]。根长、根表面积和根体积作为根系生长强弱的指标，体现根系的吸收和运输能力。

表1 轻度水分胁迫和轻度水分胁迫条件下补灌量对玉米根系生长的影响

Table 1 Effects of irrigation amounts on root development and growth of maize under light and medium drought stress

胁迫程度 Stress level	补灌量/mm Irrigation amounts	根条数 Root number				根层数 Root layer			
		15 d	22 d	29 d	36 d	15 d	22 d	29 d	36 d
足墒 Sufficient water supply	0.0	6.2 a	11.5 a	17.7 a	18.8 a	1.7 a	2.5 a	4.0 a	4.0 a
轻度 Light stress	0.0	3.0 bc	3.2 bc	3.7 cd	3.2 b	1.0 b	1.0 c	1.5 bc	3.6 a
	15.0	4.5 b	2.8 bc	7.8 b	9.0 c	1.0 b	1.0 c	2.2 b	2.5 b
	22.5	3.3 b	4.3 b	6.8 bc	12.5 b	1.0 b	1.7 b	2.2 b	3.8 a
中度 Medium stress	0.0	1.5 c	1.6 c	1.3 d	1.0 d	0.8 bc	1.0 c	1.0 c	0.5 d
	15.0	1.3 c	1.3 c	2.2 d	2.7 d	0.5 c	1.0 c	1.0 c	0.8 cd
	22.5	4.2 b	3.2 bc	2.3 d	3.0 d	1.0 c	1.0 c	1.0 c	1.3 c

注:同一列数字后字母不同表示处理间差异显著($P=0.05, n=6$)。

Note: Figures within each column followed by different letters are significantly different ($P=0.05, n=6$), the same as in the following table.

2.4.1 根长

随着生长时间的延长,足墒播种和轻度水分胁迫处理下的总根长增长迅速,中度水分胁迫下各处理的根长呈缓慢增长趋势(图3)。播种时墒情越差,对根系生长的抑制作用越大。播种后36 d,轻度水分胁迫处理的总根长显著长于中度水分胁迫,轻度水分胁迫下湿土点种处理的总根长比中度水分胁迫下提高10.9倍。当土壤含水量为田间持水量的60%~65%时,补灌蒙头水显著增加根长,补灌量越大,根系生长越旺盛,播种后29 d,补灌22.5和

15.0 mm 蒙头水处理的单株总根长比湿土点种的处理长95.6%和14.8%。当土壤含水量为田间持水量的50%~55%时,补灌蒙头水有同样的促进趋势,但是差异不显著。在幼苗建成前期,蒙头水对中度水分胁迫处理的促进程度大于轻度水分胁迫,且差异显著,例如:播种后15 d,中度水分胁迫下补灌22.5 mm处理下的根长比湿土点种的处理增加172.0%,而轻度水分胁迫下补灌22.5 mm后根长只增加89.1%。综上所述,根系建成前期补灌22.5 mm蒙头水的增幅大于补灌15.0 mm蒙头水。

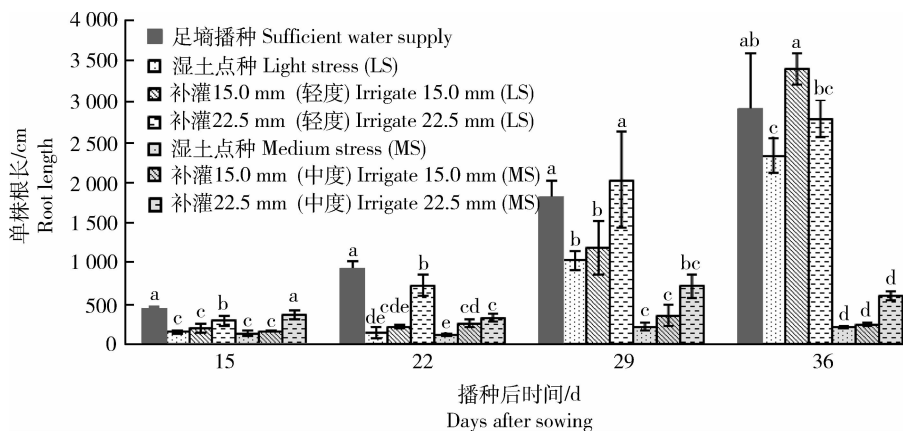


图3 轻度水分胁迫和轻度水分胁迫条件下补灌量对玉米单株根长的影响

Fig. 3 Effects of irrigation amount on root length per plant of maize under light and medium drought stress

2.4.2 根表面积

水分亏缺对单株根表面积的扩展有抑制作用,对轻度水分胁迫的抑制程度小于中度水分胁迫,播

种后36 d,轻度水分胁迫、中度水分胁迫条件下湿土点种处理的单株根表面积比足墒播种分别减少60.1%和94.2%(图4)。补灌蒙头水能缓解土壤

墒情亏缺对根系生长的影响,与补灌 15.0 mm 相比,补灌 22.5 mm 后能够形成更大的根表面积,根系吸收水分的面积增加,更有利于地上部分的生长。播种后 29 d,轻度水分胁迫下补灌 22.5 和 15.0 mm 的单株根表面积比湿土点种增加 111.0% 和 43.5%。

当土壤含水量极低(为田间持水量的 50%~55%)时,限制根系生长的主要因素是土壤含水量,虽然补灌蒙头水对幼苗前期的根系生长有显著的促进作用,但 3 周以后补灌的效果变得不明显;在轻度水分胁迫下,补灌蒙头水则能起到持续缓解干旱的作用。

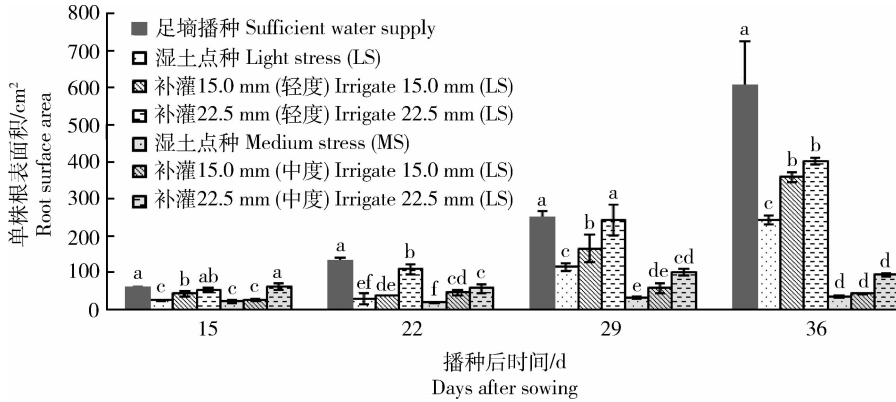


图 4 轻度水分胁迫和 中度水分胁迫条件下补灌量对玉米单株根表面积的影响

Fig. 4 Effects of irrigation amount on root surface area per plant of maize under light and medium drought stress

2.4.3 根体积

根毛吸收水分后通过根木质部运输到茎叶,满足地上部的水分需求。根系的体积一定程度上反映水分和养分的运输能力,“流”畅保证物质在各个器官中的合理分配,建立优势的幼苗形态。玉米播种后 1 个月内,各处理的根体积缓慢增长,初生根生长,根长和根表面积增加,随后上部节根生长,根体积迅速增加(图 5)。土壤水分对根体积抑制作用较大,与根长、根表面积的影响一致,表现为轻度水分胁迫<中度水分胁迫,且对根体积的影响程度大于对根长和根表面积的影响。播种后 36 d,轻度水分胁迫和 中度水分胁迫条件下湿土点种的

单株根体积分别较足墒播种下降 78.3% 和 94.9%。在幼苗生长前期,补灌蒙头水对中度水分胁迫下幼苗生长有较大的促进作用,有助于根系快速生长,随着生长的延续,蒙头水的效应减小,主要受土壤水分的影响,播种后 15 和 36 d,中度水分胁迫下补灌 22.5 mm 处理的根体积比湿土点种处理分别增加 207.2% 和 117.3%。轻度水分胁迫条件下,蒙头水补灌量越大,根系的生长越快,为根系进一步的扩展打下基础,其影响一直持续到后期,在播种后 36 d,补灌 22.5 和 15.0 mm 蒙头水处理的单株根体积比湿土点种处理的根体积增加 117.6% 和 49.5%。

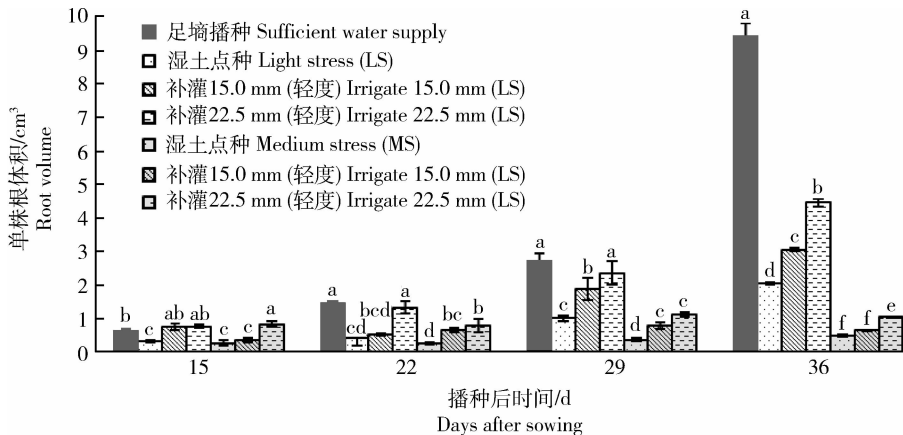


图 5 轻度水分胁迫和 中度水分胁迫条件下补灌量对玉米单株根体积的影响

Fig. 5 Effects of irrigation amount on root volume per plant of maize under light and medium drought stress

2.5 干物质积累

水分胁迫后地上部和地下部干重均减小,二者趋势相同,轻度水分胁迫下干物重的下降程度小于中度水分胁迫,土壤墒情越差,干物质积累越少,幼苗各器官的生长越慢,根冠比越大(表2)。播种2周内,各处理都维持较高的根冠比,此阶段主要进行根系的生长,随后地上部生长速度快于根系,根冠比逐渐减小。不同土壤墒情下,补灌蒙头水处理均促进生物量的累积,植株通过调节根冠比促进根系的生长,加强根系对水分的吸收,其中生物量的累积表现为中度水分胁迫>轻度水分胁迫,补灌22.5 mm蒙头水>补灌15.0 mm蒙头水。在播种后36 d,轻度水分胁迫下补灌22.5 mm和15.0 mm处理的地上部分干物质累积量比湿土点种处理分别增加

11.1%和4.5%,地下部分干物质累积分别增加23.3%和6.1%,对中度水分胁迫而言,补灌22.5 mm和15.0 mm处理的地上部分干物质累积比湿土点种处理分别增加460.3%和212.1%,地下部分干物质累积分别增加172.2%和116.7%,可见蒙头水对地上部地下部生物量的累积都有促进作用,但其促进程度的大小受土壤水分条件的影响。同时补灌蒙头水减弱根冠比的降低幅度,补灌量越大,对根冠比的削减越多,供水充足处理的根冠比则维持较低值。播种后15 d,轻度水分胁迫和中度水分胁迫条件下湿土点种、补灌15 mm、补灌22.5 mm蒙头水处理的根冠比与足墒播种相比分别增加284.4%、191.5%、129.3%、300.6%、225.5%和135.5%。

表2 轻度水分胁迫和中度水分胁迫条件下补灌量对玉米单株干物质积累和根冠比的影响

Table 2 Effects of irrigation amount on shoot and root dry matter accumulation per plant and root-shoot ratio of maize under light and medium drought stress

胁迫程度 stress level	补灌量/mm Irrigation amount	播种后 15 d DAS15			播种后 22 d DAS22		
		地上干物质 积累/g Shoot dry weight accumulation	地下干物质 积累/g Root dry weight accumulation	根冠比 R/S	地上干物质 积累/g Shoot dry weight accumulation	地下干物质 积累/g Root dry weight accumulation	根冠比 R/S
		足墒 Sufficient water supply	0.0	0.73 a	0.14 a	0.19 d	1.64 a
轻度 Light stress	0.0	0.11 d	0.08 d	0.72 a	0.27 cd	0.09 de	0.32 b
	15.0	0.18 c	0.10 bcd	0.54 bc	0.33 cd	0.10 cde	0.29 b
	22.5	0.25 b	0.11 bc	0.43 c	0.74 b	0.19 b	0.26 b
中度 Medium stress	0.0	0.12 d	0.09 cd	0.75 a	0.17 d	0.08 e	0.46 a
	15.0	0.14 cd	0.08 cd	0.61 ab	0.36 cd	0.11 cd	0.31 b
	22.5	0.27 b	0.12 ab	0.49 bc	0.46 c	0.12 c	0.27 b
胁迫程度 stress level	补灌量/mm Irrigation amount	播种后 29 d DAS29			播种后 36 d DAS36		
		地上干物质 积累/g Shoot dry weight accumulation	地下干物质 积累/g Root dry weight accumulation	根冠比 R/S	地上干物质 积累/g Shoot dry weight accumulation	地下干物质 积累/g Root dry weight accumulation	根冠比 R/S
		足墒 Sufficient water supply	0.0	3.88 a	0.66 a	0.17 d	6.69 a
轻度 Light stress	0.0	0.81 d	0.18 d	0.22 bcd	3.48 c	0.60 c	0.18 b
	15.0	1.33 c	0.25 c	0.19 d	3.64 bc	0.64 c	0.17 b
	22.5	1.91 b	0.39 b	0.21 dc	3.87 b	0.74 b	0.21 b
中度 Medium stress	0.0	0.32 e	0.09 e	0.27 ab	0.19 f	0.06 e	0.30 a
	15.0	0.45 de	0.13 de	0.28 a	0.60 e	0.13 d	0.22 b
	22.5	0.76 d	0.19 d	0.25 abc	1.08 d	0.16 d	0.15 b

3 讨论与结论

3.1 播种期土壤墒情不足对玉米出苗和苗期根系生长的影响

播种期土壤含水量低和墒情不足是影响玉米出苗和幼苗生长的主要因素之一。本研究表明,玉米在不同土壤墒情下播种,出苗时间、出苗率和整齐度差异显著(图1)。土壤墒情差,种子吸水萌发受抑制,造成出苗时间长,出苗率和整齐度下降,与足墒播种相比,中度水分胁迫处理的出苗率降低35.2%,出苗时间较其他处理推迟4 d左右(图1)。前人研究表明,随着土壤水分含量下降,玉米的发芽率和发芽势均显著下降,当土壤含水量低于10%时玉米种子不能正常萌发,活力指数显著下降,通常将5%的土壤含水量作为种子萌发和幼苗生长的最低水分值^[11,17-18]。播种期底墒不足对玉米的生产造成重大的影响,而近年来播种期干旱频发,因此采用有效措施缓解播种期干旱、促进幼苗的生长至关重要。

随着土壤含水量的下降,幼苗生长受到不同程度的影响,生物量累积减小,根冠比增大(表2),地上部分叶面积扩展被抑制,而地下部分根系的生长速度和程度则被减缓,根条数和根层数减少(表1),抑制根系对地上部水分和养分的供应;土壤墒情越差,抑制程度越大。播种期水分胁迫主要通过根系的生长和生物量的下降来影响植株的生长^[11]。随着玉米苗期干旱加剧,生物量累积下降,根冠比增大,根系活力提高,植株的耗水量下降,小株型玉米提高水分利用效率,大株型则相反^[19-21]。土壤墒情不足,阻碍根系的生长,玉米根系的总根长、根表面积和根体积随着墒情的变差而显著减小,且对根体积的影响更大(图3~5)。苗期发生水分亏缺后,根皮层细胞变小,根系横截面积减小,随着干旱的加重和时间的延长,根茎中维管束排列混乱,细胞发生变形,甚至破损解体,严重影响根系的吸收能力^[21-23]。

本试验在温室控制条件下进行,由于温度和通风情况与大田有一定的差异,且是盆栽试验,补灌蒙头水后的侧渗等都可能对试验结果造成一定的影响,但所有试验处理都是在相同的条件下进行,相互之间的比较是可信的,后期应布置大田试验验证试验结果。试验过程中,从盆侧的通气管补水,水分从下往上渗,在整个土体中,上部土体水分含量小,下部水分含量大,符合田间耕作层水分的分布状况。

3.2 播种后补浇蒙头水对玉米苗期生长的影响

补浇蒙头水是应对玉米播种期土壤墒情不足的措施之一,能有效缓解土壤含水量低对出苗的影响,显著提高出苗率,缩短出苗时间,促进幼苗的形态形成。本研究表明,在不同土壤墒情下播种后补灌蒙头水,旱情都得到缓解,促进玉米出苗,出苗率提高11.4%~48.6%,且补灌量越大,出苗情况越好(图1)。在生产中,西南春玉米区经常出现播种期干旱,在黄淮海夏玉米种植区播种期干旱出现的频率增加,同时受到接茬的时间限制,在遭遇播种期干旱时,播后补灌蒙头水是一项行之有效的栽培技术。在河北省山前平原区冬小麦-夏玉米高产模式中,为了确保小麦和玉米播种后苗全、苗齐、苗壮,当底墒不足时,可播后补灌适量蒙头水,促进玉米出苗和苗期建成,为丰产奠定基础^[6]。当夏玉米在适宜播种期内,降雨量不足,土壤墒情差,同时储水相对充足时,可以无墒播种,再浇灌蒙头水^[15,24]。目前蒙头水的运用主要集中在小麦的种植过程中,有研究^[13,25]认为,浇灌蒙头水会提高小麦拔节前期和全生育期的耗水量,同时降水利用效率和土壤水利用效率提高20%左右,但灌溉水利用效率有所下降。但是,浇灌蒙头水会导致土温下降、土壤表层板结和通气性差等结果,如何利用好蒙头水的优势,确定适合的浇灌量和浇灌时间,同时摒弃蒙头水带来的不利影响,是采取浇灌蒙头水这一措施的关键问题。本研究表明,浇灌蒙头水能有效缓解播种期干旱对玉米造成的影响,加速幼苗地上地下部生长,增加叶面积(图2),且对根系的生长影响较大,一定程度上增加根条数、根层数(表1),根系各项指标显著增加(图3~5),补灌蒙头水还能削弱根冠比的降低幅度,蒙头水量越大,削减越多,正常供水条件下玉米根冠比较低^[26]。播后蒙头水补灌量加大,土壤表层蒸散量增加,板结层加厚,可进行中耕破除板结层,增加透气性,同时补灌还可能引起土温下降,从而影响幼苗的生长,本试验没有记录土温的变化,后续的试验将会进行补充。通过各处理的对比研究,表明播种后补灌22.5 mm蒙头水更有利于玉米出苗和根系生长(图1、表1),且浇灌蒙头水对土壤墒情越差的处理缓解效果越好,根系生长前期主要受补灌蒙头水的影响,后期主要受土壤水分的影响(图4),前期蒙头水的促进作用对后期的生长也有不同程度的影响,在生产中,补灌蒙头水满足幼苗前期生长的需求,生长后期可能迎来雨季,改善土壤水分状况。

总而言之,玉米播种期土壤墒情严重影响出苗率、幼苗的生长、生物量的累积和根系的生长,造成幼苗整齐度降低、根系生长迟缓等现象。播种后补灌一定量蒙头水是改善土壤墒情、促进幼苗根系和地上部生长的有效措施。一定程度内,随着补灌量增加,根系的生长加快,总根长、根表面积和根体积增大,对土壤干旱的适应性加强。播种时土壤墒情为田间持水量的50%~65%时,适宜在播种后补灌22.5 mm的蒙头水缓解旱情,促进幼苗生长。

参 考 文 献

- [1] 赵久然,王荣焕.中国玉米生产发展历程、存在问题及对策[J].中国农业科技导报,2013(3):1-6
- [2] 王崇桃,李少昆.玉米生产限制因素评估与技术优先序[J].中国农业科学,2010,43(6):1136-1146
- [3] 胡亚南,李阔,许吟隆.1951—2010年华北平原农业气象灾害特征分析及粮食减产风险评估[J].中国农业气象,2013(2):197-203
- [4] Sudozai M I, Tunio S, Chachar Q, et al. Seeding establishment and yield of maize under different seed priming periods and available soil moisture[J]. Sarhad J Agric, 2013, 29(4): 515-528
- [5] 王琪,马树庆,徐丽萍,等.东北地区春旱对春玉米幼苗长势的影响指标和模式[J].自然灾害学报,2011(5):141-147
- [6] 郭彩娟.河北省山前平原区小麦-玉米高产高效技术体系的建立与验证[D].保定:河北农业大学,2011
- [7] 刘胜群,宋凤斌,王燕.玉米根系性状与地上部性状的相关性研究[J].吉林农业大学学报,2007(1):1-6
- [8] Jackson R B, Sperry J S, Dawson T E. Root water uptake and transport: Using physiological processes in global predictions[J]. Trends in Plant Science, 2000, 5(11): 482-488
- [9] 张玉芹,杨恒山,高聚林,等.超高产春玉米的根系特征[J].作物学报,2011(4):735-743
- [10] 孟宪欣,王洪刚,方仁柱.水分对玉米种子发芽及苗期生长的影响[J].安徽农学通报,2008(14):40-52
- [11] 夏来坤,刘京宝,乔江方,等.不同底墒处理对夏玉米生长发育及产量的影响[J].中国农学通报,2014(27):66-71
- [12] 管建慧,刘克礼,郭新宇.玉米根系构型的研究进展[J].玉米科学,2006,14(6):162-166
- [13] 方保停,邵运辉,岳俊芹,等.小麦蒙头水对耗水特性和产量的影响[J].麦类作物学报,2012(6):1124-1127
- [14] 李淑文,于森,杜建云,等.不同灌水处理下土壤水分动态及玉米水分利用效率研究[J].河北农业大学学报,2010(4):17-21
- [15] 朱金城,陶洪斌,高英波,等.底墒对夏玉米生长发育、水分利用及产量的影响[J].中国农业大学学报,2013,18(3):34-38
- [16] 张岁岐,周小平,慕自新,等.不同灌溉制度对玉米根系生长及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2009(10):1-6
- [17] 徐文强,杨祁峰,牛俊义,等.温度与土壤水分对玉米种子萌发及幼苗生长特性的影响[J].玉米科学,2013,21(1):69-74
- [18] 马树庆,王琪,徐丽萍,等.吉林玉米带春季土壤水分变化对玉米幼苗生长状况的影响[J].中国农业气象,2014,35(1):55-61
- [19] 许高平,王璞,薛绪掌,等.负压控水下不同株型玉米水分利用效率和产量的盆栽试验[J].农业工程学报,2014(15):148-156
- [20] 王智威,牟思维,闫丽丽,等.水分胁迫对春播玉米苗期生长及其生理生化特性的影响[J].西北植物学报,2013,33(2):343-351
- [21] 马旭凤,于涛,汪李宏,等.苗期水分亏缺对玉米根系发育及解剖结构的影响[J].应用生态学报,2010(7):1731-1736
- [22] 于海秋,王晓磊,蒋春姬,等.土壤干旱下玉米幼苗解剖结构的伤害进程[J].干旱地区农业研究,2008,26(5):143-147
- [23] 于涛,李万春,汪李宏,等.水分亏缺对玉米根毛区皮层解剖结构的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(10):111-118
- [24] 张守林,王要闯,戚廷香,等.黄淮海地区夏玉米超高产栽培技术研究[J].中国农学通报,2009,25(14):130-133
- [25] 张其鲁,魏秀华,姜官恒,等.小麦不同灌水组合模式优化研究[J].山东农业科学,2013(8):58-60
- [26] 侯玉虹,尹光华,刘作新,等.土壤含水量对玉米出苗率及苗期生长的影响[J].安徽农学通报,2007(1):70-73

责任编辑:袁文业