

文章编号: 1005-0906(2014)04-0109-05

不同灌溉方式对春玉米根系分布、养分累积及产量的影响

蔡红光, 袁静超, 闫孝贡, 刘剑钊, 张秀芝,
张洪喜, 魏雯雯, 任 军

(吉林省农业科学院农业资源与环境研究所, 长春 130033)

摘 要: 通过田间试验, 研究不同灌溉方式下东北中部春玉米区土壤结构、根系形态、地上部养分累积及产量构成。结果表明, 灌溉后土壤三相相比显著变化, 土壤固相下降, 液相和气相比比例显著增加, 0~20 cm 土壤容重降低 6.7%~17.9%; 灌溉后 0~60 cm 根系干重及根长总量略有增幅, 且在深层土壤中的比例增加, 有利于植株对养分和水分的吸收; 与不灌溉(CK)相比, 隔沟交替灌溉(T1)、全垄灌溉(T2)下植株氮、磷、钾含量平均提高 14.5%、42.6%、16.1%, 生物量和产量平均提高 19.8% 和 14.3%。因此, 在春玉米关键生育期合理补水可以改善土壤结构, 降低土壤容重, 促进根系合理分布, 增加植株养分吸收, 进一步增加产量。

关键词: 春玉米; 灌溉方式; 根系分布; 养分累积

中图分类号: S513.071

文献标识码: A

Effect of Irrigation on Root Distribution, Nutrient Accumulation and Grain Yield in Spring Maize

CAI Hong-guang, YUAN Jing-chao, YAN Xiao-gong, LIU Jian-zhao, ZHANG Xiu-zhi,
ZHANG Hong-xi, WEI Wen-wen, REN Jun

(Institute of Agricultural Resource and Environment, Jilin Academy of Agricultural Sciences,
Changchun 130033, China)

Abstract: An experiment in the field was carried out to study the soil structure, root morphology, nutrient accumulation, grain yield and its component under different irrigation modes in the middle of Northeast. The results indicated that three phase proportions of soil change significantly under irrigation conditions. The proportion of soil phase decreased and the proportion of liquid and gas phase increased significantly. The soil bulk density in 0–20 cm decreased 6.7%–17.9%. There were not significant for root dry weight and root length in 0–60 cm soil layer in different irrigation treatments. However, the proportion of root dry weight and root length in the deeper soil layer was higher after irrigating. It was also beneficial to the nutrient accumulation and water utilization. Comparing with the CK, the N, P and K accumulations were increased 14.5%, 42.6% and 16.1% in the T1 and T2 treatments and the biomass and grain yield were increased 19.8% and 14.3%, respectively. So it is necessary to reasonable irrigation for getting higher grain yield by improving the soil structure, decreasing the soil bulk density, adapting the distribution of root in soil layer, and increasing the nutrient uptake of plants.

Key words: Spring maize; Irrigation method; Root distribution; NPK accumulation

收稿日期: 2013-10-12

基金项目: 科技支撑课题(2013BAD07B02, 2011BAD16B10, 2012BAD04B02)、吉林省科技支撑重大项目(20106025, 20126026)、吉林省青年科研基金(201201090)、吉林省玉米产业体系专项

作者简介: 蔡红光(1981-), 男, 吉林舒兰人, 博士, 副研究员, 主要从事植物营养生理与养分资源高效利用研究。

Tel: 0431-87063171 E-mail: caihongguang1981@163.com

任 军为本文通讯作者。Tel: 431-87063171 E-mail: renjun557@163.com

东北春玉米区是我国三大玉米主产区之一,目前其玉米种植面积已超过全国总面积的1/3,玉米产量占到全国总产量的40%以上^[1]。由于种植区生态因子的差异,东北中部春玉米区多以雨养为主,但近年来气候干燥化趋势明显,季节性干旱频发^[2,3],土壤墒情不足已成为限制东北中部春玉米产量进一步增加的主要因子^[4~6]。干旱胁迫会严重限制玉米根系的生长,影响植株的养分吸收,进而对产量造成负面影响^[7]。通过在玉米关键生育期进行适当灌溉可以有效解决干旱对植株生长及养分吸收的抑制。在西北半干旱地区及华北玉米小麦轮作区,灌溉方式及灌溉用量等均有大量的研究^[8~11],且已具有较为完善的技术体系。在东北中部地区目前此方面研究鲜有报道,本研究在玉米生长关键期进行补水,探讨在增加灌溉措施后对土壤结构、根系生长及地上部养分吸收的影响,为通过合理灌溉实现东北中部春玉米产量进一步提高提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2011年4~10月在吉林省公主岭市吉林省农业科学院试验田(43°29'55"N, 124°48'43"E)进行。试验田为玉米连作区。玉米生育期间(5~9月份)活动积温2 983℃·d,日照时数542.6 h,降雨量320.6 mm,属于较干旱年份。供试土壤为黑土,0~20 cm耕层土壤的主要性状为有机质26.0 mg/kg,速效氮243 mg/kg、速效磷37.2 mg/kg、速效钾126.0 mg/kg,pH值6.6。

1.2 试验设计

试验设3个处理,不灌溉(CK)、隔沟交替灌溉(T1)、全垄灌溉(T2)。2011年试验区5月上旬至7月中旬降水量小于30 mm,灌溉时间分别为6月中旬和7月上旬,即拔节至抽雄前,T1处理灌水量共计70 mm(第1次40 mm,第2次30 mm),T2处理灌水量130 mm(第1次80 mm,第2次50 mm)。每个处理4次重复,随机区组排列,小区面积为144 m²。灌溉处理采用沟灌垄播,均匀垄种植。

供试品种为先玉335。各处理均施氮225 kg/hm²,磷(P₂O₅)90 kg/hm²,钾(K₂O)90 kg/hm²。磷肥为磷酸二铵(18-46-0),钾肥为氯化钾(含K₂O 60%),均一次性基施。氮肥为尿素(含N 46%),30%作为底肥,10%作为种肥,其余于拔节期开沟追施。试验于4月下旬播种,10月上旬收获。其他管理方式均同一般大田。

1.3 测定项目与方法

在玉米播种前采集0~20 cm耕层土壤样品,采用常规方法测定土壤养分。玉米根系取样采用剖面挖掘法,在花期取样,每个小区选取长相均匀的植株2株,以每株所占土地面积划出界限,其中0~40 cm每10 cm为一层,40~60 cm为一层。每层土体中的所有可见根系由人工挑出,用水冲洗干净,根系上附着的水用吸干纸吸干后放入封口袋,-20℃冰箱中保存。每层根系分别用扫描仪(Epson V700)扫描后获得根系图片,利用WinRhizoPro5.0软件分析(Pro2004b,Canada)获得根长、根表面积等指标;然后烘干称重,测得根系干重。成熟期取样,地上部分叶、茎(鞘)、子粒、穗轴4部分烘干,粉碎,用于测定N、P、K含量。全氮采用凯氏定氮法,全磷采用钼锑抗比色法,全钾采用火焰光度计法^[12]。小区收获中间2行,以含水量14%折算产量。

1.4 数据处理

所有数据均采用Microsoft Excel 2007处理,采用SAS 8.0统计软件进行多重比较(LSD法)。

2 结果与分析

2.1 灌溉方式对土壤物理化学性状的影响

灌水后,土壤三相比发生显著变化。随着灌溉量的增加,0~60 cm土壤液相比比例显著增加,同时气相比比例亦随之增加,固相比比例随之下降。通过灌溉可显著改善土壤结构,增加土壤透气性;与CK处理相比,T1和T2处理下的土壤容重显著下降,降幅最高达17.9%,并随着土壤层次的加深而趋缓(表1)。

从表1中还可以看出,0~60 cm土壤无机氮含量在3个处理间差异显著。与CK处理相比,T1和T2处理下的0~60 cm土壤无机氮总量显著降低,可能是由于其随水下移,也可能是由于灌溉促进了根系对土壤中氮素的吸收。从其在土壤的剖面分布来看,铵态氮含量的降幅主要表现在0~10 cm,在21~60 cm无显著变化;硝态氮在0~10 cm的变化同铵态氮相似,降幅为49.0%~74.0%,但随着土壤层次的加深,T1和T2处理下的土壤硝态氮含量则呈现上升趋势,在21~60 cm的土壤硝态氮含量均显著高于CK处理。CK处理下降雨较少,且无灌溉,肥料均集中在0~20 cm土层中,T1和T2处理下的氮肥则随水下移至21~60 cm,增加其土层中硝态氮的含量。

2.2 灌溉方式对根系分布的影响

从0~60 cm土层根系总干重和总根长看,灌溉

后根系总干重和总根长略有增幅(图1、图2),不同土壤层次间有较大差异。CK处理下根系主要集中在0~20 cm,其根干重和根长比例分别占总量的92.1%和86.1%;随着土层加深,其根干重和根长急剧下降,在21~60 cm土层中,每层根干重和根长比例仅占总量的1.4%~5.9%。与CK处理相比,T1和

T2处理下的根干重和根长在21~60 cm比例分布更高,平均占总量的22.4%,表明灌水改善土壤结构,促进了根系向下生长,同时也增加了深层土壤中的养分含量,从而更有利于根系对养分的吸收。表明合理灌溉更加有利于根系下扎,从而吸收更多的养分和水分,供作物生长。

表1 不同灌溉处理下0~60 cm土壤物理化学特征
Table 1 The characteristics of physics and chemistry in soil in 0-60 cm under different irrigation conditions

处 理 Treatment	土层(cm) Soil layer	容重(g/cm ³) Bulk density	固相(%) Solid	液相(%) Liquid	气相(%) Gas	铵态氮(kg/hm ²) Ammonium-N	硝态氮(kg/hm ²) Nitrate-N
CK	0~10	1.33	56.12	25.60	17.98	11.77	75.27
	11~20	1.53	63.12	28.70	8.18	2.88	17.97
	21~30	1.50	64.60	26.70	8.60	1.42	1.42
	31~40	1.54	63.62	27.70	8.66	2.55	3.90
	41~50	1.44	61.86	25.60	12.14		
	51~60	1.45	59.72	27.30	12.88	2.50	2.50
T1	0~10	1.24	49.81	25.80	24.39	5.09	38.41
	11~20	1.37	58.50	31.25	10.25	0.96	18.35
	21~30	1.43	58.11	29.30	12.56	1.44	4.31
	31~40	1.45	58.25	31.25	10.51	1.75	6.90
	41~50	1.38	55.18	30.35	14.48		
	51~60	1.40	55.63	29.05	15.32	6.10	6.66
T2	0~10	1.09	43.87	22.50	33.63	1.38	19.59
	11~20	1.31	55.84	29.55	14.61	3.60	14.08
	21~30	1.38	58.34	30.10	11.60	4.27	8.74
	31~40	1.43	56.09	29.50	14.42	3.50	7.26
	41~50	1.40	55.21	29.80	15.00		
	51~60	1.42	55.73	29.10	15.17	1.67	8.08

注:铵态氮、硝态氮0~40 cm每10 cm为一层测定,40~60 cm为一层。
Note: The content of ammonium-N and nitrate-N were divided into 10 cm during 0-40 cm and 20 cm in 40-60 cm.

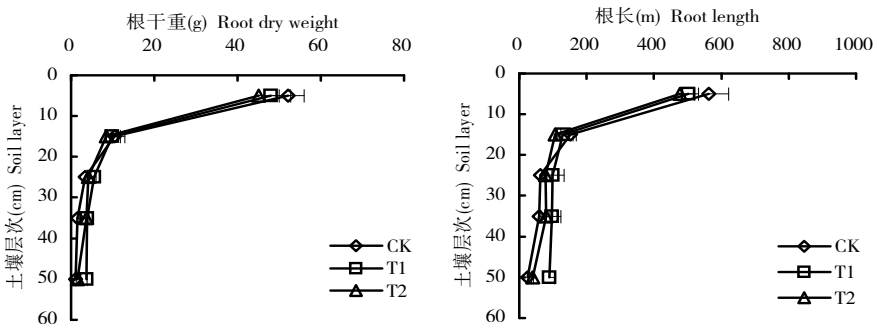


图1 不同灌溉方式下根系干重、根长在0~60 cm土壤剖面的分布
Fig.1 The root dry weight, root length under different irrigation conditions in 0-60 cm soil layer

2.3 灌溉方式对生物量及产量的影响

从表2可以看出,灌溉显著促进了植株的生长。与CK相比,灌溉处理下植株生物量增加16.4%~23.3%,产量增加13.5%~15.0%;从产量构成上来看,灌溉主要增加了穗粒数,与CK相比,T1

和T2处理下的单穗粒数分别增加了10.0%和16.1%,且处理间差异显著,表明灌水促进了子粒结实。相比而言,穗数和粒重在3个处理间则无显著差异。T2处理下的生物量和产量较T1处理分别高6.0%和1.3%,但处理间差异不显著。

表2 不同灌溉处理下生物量、产量及产量构成因素
Table 2 Biomass, grain yield and its components under different irrigation conditions

处 理 Treatment	生物量(kg/hm ²) Biomass	产量(kg/hm ²) Yield	单穗粒数(粒) Grain number per ear	穗数(穗/hm ²) Ear number	千粒重(g) 1 000-grain weight
CK	20 904 b	10 436 b	499.4 b	62 150 a	349.7 a
T1	24 325 a	11 850 a	549.2 a	64 167 a	340.5 a
T2	25 776 a	12 006 a	579.7 a	65 000 a	322.0 a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note: Values followed by different letters in the same column means significant difference at 5% level. The same as the following tables.

2.4 灌溉方式对植株地上部养分累积的影响

灌溉后植株养分累积量明显增加。与CK相比,T1和T2处理下的吸氮量分别增加16.3%和13.2%,吸磷量分别增加59.9%和25.7%,吸钾量分别增加19.4%和12.7%。3个处理间均以T1处理下的氮、磷、钾养分累积量最高;从秸秆和子粒的分配比例来看,T1处理下,子粒中氮、磷、钾累积比例最高,

分别为67.6%、67.7%和16.9%,表明T1处理下养分从秸秆向子粒中的转运效率较高;与T1处理相比较,T2处理下的植株秸秆中磷含量比例较高,为47.4%,可能是由于灌溉量过大导致植株营养生长时间延长,养分转移不充分而致;此外,T2处理下植株秸秆中钾比例也高于T1处理,亦可能因同样原因。

表3 不同灌溉处理下养分累积量
Table 3 The nutrient accumulation under different irrigation conditions

处 理 Treatment	N		P		K	
	秸 秆	子 粒	秸 秆	子 粒	秸 秆	子 粒
	Straw	Grain	Straw	Grain	Straw	Grain
CK	78.1 b	162.2 b	18.1 b	32.9 b	113.3 b	21.8 b
T1	90.4 a	189.0 a	26.3 a	55.0 a	134.1 a	27.2 a
T2	87.4 a	183.5 a	30.3 a	33.7 b	129.9 a	22.4 b

3 结论与讨论

东北中部春玉米区属于雨养区,在关键生育期进行补偿灌溉对于春玉米产量的进一步提高具有重要意义^[13]。张淑杰等研究表明,东北地区干旱频率较高的时段为苗期,其次为拔节-孕穗期,而此时段降雨多寡对于产量形成至关重要。王贵满等^[14]研究表明,播种至出苗期、拔节至大喇叭口期和抽雄至吐丝期3个时期的降雨量与产量呈极显著正相关。本研究在春玉米关键生育期进行补水试验,研究表明,灌水不但可以增加土壤含水量,还可以改善土壤结构,降低土壤容重,增加土壤通透性,从而更有利于根系在土壤深层的建成。此外,本研究中3个处理下0~60 cm玉米根系的根干重和根长总量差异并不明显,可能是由于本试验灌溉是在玉米生长中早期进行,玉米根系总量增幅较小,这与农梦玲等^[15]研究结果一致;同时也表明与根系总生物量相比,根系在土壤剖面的分布对根系吸水功能和作物生产力具有更重要的作用^[16,17]。

就两种灌溉方式而言,隔沟交替灌溉既可以节约灌水量,同时更加有利于根系的建成和分布,根系分布更为合理,对土壤中氮、磷、钾等养分的吸收能力更强,有利于生物量的累积和产量的形成。全垄灌溉处理下土壤硝态氮下移明显,其下移的硝态氮一部分被植物根系吸收,另一部分可能随水下移至深层^[18],脱离根区,在增加灌溉量之后要考虑氮素的移动,如施肥之后即过量灌溉可能会引起养分下移,并不利于根系吸收^[19],这也可能是全垄灌溉处理下植株养分累积及产量均与隔沟交替灌溉处理下无显著差异的原因。本研究表明,在东北中部春玉米关键生长期,进行适当灌溉可有效改善土壤固、液、气三相比比例,促进根系生长,增加根系对土壤中氮、磷、钾等养分的吸收,显著提高子粒产量。

参考文献:

[1] 中华人民共和国农业部[M]. 中国农业年鉴,北京:中国农业出版社,2012.
[2] 魏凤英,张 婷. 东北地区干旱强度频率分布特征及其环流背景[J].自然灾害学报,2009,18(3):1-7.

- Wei F Y, Zhang T. Frequency distribution of drought intensity in Northeast China and relevant circulation background[J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(3): 1-7. (in Chinese)
- [3] 张淑杰, 张玉书, 孙龙戡, 等. 东北地区玉米生育期干旱分布特征及其成因分析[J]. 中国农业气象, 2013, 34(3): 350-357.
- Zhang S J, Zhang Y S, Sun L Y, et al. Analysis of distributional characteristics and primary causes of maize drought in Northeast China[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2013, 34(3): 350-357. (in Chinese)
- [4] 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.
- Wang C T, Li S K. Assessment of limiting factors and techniques prioritization for maize production in China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(6): 1136-1146. (in Chinese)
- [5] 闫孝贡, 刘剑钊, 张洪喜, 等. 吉林省春玉米大面积增产与资源增效限制因素评估[J]. 吉林农业科学, 2012, 37(6): 9-11, 24.
- Yan X G, Liu J Z, Zhang H X, et al. Assessment of limiting factors on high yield of large-scale spring maize production and high efficiency of resource in Jilin province[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2012, 37(6): 9-11, 24. (in Chinese)
- [6] 赵兰坡, 王鸿斌, 刘会青, 等. 松辽平原玉米带黑土肥力退化机理研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(1): 79-84.
- Zhao L P, Wang H B, Liu H Q, et al. Mechanism of fertility degradation of black soil in corn belt of Songliao plain[J]. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(1): 79-84. (in Chinese)
- [7] 宋海星, 李生秀. 水、氮供应和土壤空间所引起的根系生理特性变化[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 6-11.
- Song H X, Li S X. Changes of root physiological characteristics resulting from supply of water, nitrogen and root-growing space in soil [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(1): 6-11. (in Chinese)
- [8] 苗文芳, 陈素英, 邵立威, 等. 不同灌溉处理对夏玉米氮素吸收及转移的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2): 293-299.
- Miao W F, Chen S Y, Shao L W, et al. Effect of irrigation on nitrogen uptake and translocation in summer maize[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(2): 293-299. (in Chinese)
- [9] 谭军利, 王林权, 李生秀. 不同灌溉模式下水分养分的运移及其利用[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 442-448.
- Tan J L, Wang L Q, Li S X. Movement and utilization of water and nutrient under different irrigation patterns[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(4): 442-448. (in Chinese)
- [10] 陈小莉, 李世清, 王瑞军, 等. 半干旱区施氮和灌溉条件下覆膜对春玉米产量及氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 14(4): 52-658.
- Chen X L, Li S Q, Wang R J, et al. Effect of film mulching on yield and nitrogen balance of spring maize under different nitrogen and irrigation treatments in semi-arid region[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 14(4): 652-658. (in Chinese)
- [11] 张喜英. 提高农田水分利用效率的调控机制[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(1): 80-87.
- Zhang X Y. Regulating mechanisms for improving farmland water use efficiency[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(1): 80-87. (in Chinese)
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 肖俊夫, 刘战东, 刘小飞, 等. 中国春玉米主产区灌溉问题分析与研究[J]. 节水灌溉, 2010(4): 1-7.
- Xiao J F, Liu Z D, Liu X F, et al. Analysis and study on irrigation problem of main spring maize area of China[J]. Water Saving Irrigation, 2010(4): 1-7. (in Chinese)
- [14] 王贵满, 赵丽娟, 李影, 等. 吉林非灌溉地区春玉米产量年际间变异的气候限制因子分析[J]. 基层农技推广, 2013, 1(2): 15-19.
- Wang G M, Zhao L J, Li Y, et al. Limited factors of variation of years for grain yield of spring maize in non-irrigation region of Jilin province[J]. Grass-roots Agricultural Technology Extension, 2013, 1(2): 15-19. (in Chinese)
- [15] 农梦玲, 李伏生, 刘水. 根区局部灌溉和氮、钾水平对玉米干物质积累和水肥利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1539-1545.
- Nong M L, Li F S, Liu S. Effects of partial root-zone irrigation and N, K levels on dry mass accumulation, water and nutrients use of maize[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 16(6): 1539-1545. (in Chinese)
- [16] 梁宗锁, 康绍忠, 石培泽, 等. 隔沟交替灌溉对玉米根系分布和产量的影响及其节水效益[J]. 中国农业科学, 2000, 33(6): 26-32.
- Liang Z S, Kang S Z, Shi P Z, et al. Effect of alternate furrow irrigation on maize production, root density and water-saving benefit[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2000, 33(6): 26-32. (in Chinese)
- [17] 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, 25(10): 1-6.
- Zhang S Q, Zhou X P, Mu Z X, et al. Effects of different irrigation patterns on root growth and water use efficiency of maize[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(10): 1-6. (in Chinese)
- [18] 刘小刚, 张富仓, 田育丰. 交替隔沟灌溉和施氮对玉米根区水氮迁移的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 2025-2032.
- Liu X G, Zhang F C, Tian Y F. Effects of alternative furrow irrigation on transport of water and nitrogen in maize root zone[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(7): 2025-2032. (in Chinese)
- [19] 刘小刚, 张富仓, 杨启良, 等. 控制性分根区灌溉对玉米根区水氮迁移和利用的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 62-67.
- Liu X G, Zhang F C, Yang Q L, et al. Effects of controlled root-divided irrigation on transport and utilization of water and nitrogen in maize root zone soil[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 62-67. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)