

文章编号: 1007-4929(2004)06-0008-04

试验研究

两种施肥水平下根区局部灌溉 对甜玉米水分利用的效应

黄春燕, 李伏生, 覃秋兰, 黄翠珍, 罗兰芬, 农梦玲

(广西大学农学院, 广西 南宁 530005)

摘要: 根区局部灌溉如分根区交替灌溉和部分根干燥灌溉是新的高效节水技术。研究了两种施肥水平条件下根区局部灌溉对甜玉米叶片光合、叶面积、干物质积累和水分利用的影响。结果发现, 与常规均匀灌水相比, 根区局部灌溉高、低肥处理的蒸腾速率分别降低 19.01% 和 17.50%, 光合速率分别提高 8.88% 和 18.34%, 叶片水分利用效率分别提高 34.69% 和 43.45%。随着甜玉米生育期的推进, 各灌溉处理间的叶面积差异逐渐缩小; 单株干物重分别下降 15.14% 和 24.38%, 蒸散量(即作物耗水量)分别下降 31.28% 和 29.58%; 冠层水分利用效率分别提高 23.48% 和 7.40%。这表明较高肥条件下根区局部灌溉的冠层水分利用效率提高较多, 因而根区局部灌溉技术的节水效应要与合理施肥相结合才能发挥更好的作用。

关键词: 局部灌溉; 甜玉米; 水分利用效率

中图分类号: S275.9 文献标识码: A

Effect of Partial Root-zone Irrigation on the Growth and Water Use of Sweet Corn under Two Fertilization Level

HUANG Chun-yan, LI Fu-sheng, QIN Qiu-lan, HUANG Cui-zhen, LUO Lan-fen, NONG Meng-lin

(Agricultural College, Guangxi university, Nanning 530005, China)

Abstract: Partial root-zone irrigation (PRI) such as alternate partial root-zone irrigation (APRI) and partial root-zone drying (PRD) is a new high-efficient water saving technique. Effect of partial root-zone irrigation on the photosynthesis, leaf area, dry mass accumulation and water use of sweet corn under two fertilization levels was studied in this paper. The author found that compared with conventional irrigation for whole root zone (CI), under high and fertilization for PRI, mean transpiration rate reduced 19.01% and 17.50%, photosynthesis rate increased by 8.88% and 18.34%, leaf water use efficiency (WUE) increased by 34.69% and 43.45%, respectively. With the advance of sweet corn growth stages, the difference of leaf area for different irrigation treatments lessened gradually, mean dry mass reduced 15.14% and 24.38%, mean evapotranspiration (i. e. water use) reduced 31.28% and 29.58%, while canopy WUE increased 23.48% and 7.40%. The result indicated that partial root-zone irrigation increased more canopy WUE under higher fertilization, so the water saving effect of partial root-zone irrigation should combine with rational fertilization.

Key words: partial root-zone irrigation (PRI); sweet corn; water use efficiency (WUE)

0 引言

根区局部灌溉如分根区交替灌溉和部分根干燥是近年来兴起的一种灌溉技术。它不要求作物根系全部湿润, 而是通过人为控制使根系层土壤水平或垂直剖面形成较干燥或较湿润区域, 利用植物气孔和根系对干旱的调节功能, 在不牺牲作物光合产物积累的基础上, 增加其对水分的利用效率。同时这种灌溉方式还可减少灌水间隙期间棵间土壤湿润面积, 减少棵间

蒸发损失。实践证明, 根区局部灌溉技术是一种高效的节水技术, 比常规灌溉节水效果明显, 水分利用效率提高 15%~33%^[1]。目前根区局部灌溉如分根区交替灌溉在干旱半干旱地区的试验研究和应用已有较多报道, 但尚未见在我国南方酸性土壤地区进行这方面试验研究的报道, 且以往的研究多在足量施肥条件下进行。本研究在温室盆栽条件下, 对两种施肥水平根区不同局部灌水方式对甜玉米光合、叶面积、干物质积累和水分利用的影响做了初步探讨。

收稿日期: 2004-06-06

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“863”计划)(2002AA6Z-3031), 国家自然科学基金(50279043), 教育部旱区农业水土工程实验室开发基金和广西大学基金(DD160002)资助。

作者简介: 黄春燕(1970-), 女, 硕士研究生, 主要从事植物营养学和水肥高效利用方面的研究。

1 材料与方法

本试验在广西大学农学院温室内进行。供试土壤采自本校农场第四纪红色粘土发育的水稻土,经风干、碾碎,并过 3 mm 孔径的筛。供试土壤 pH 值 6.3, 碱解氮(N)99.75 mg/kg, 速效磷(P)37.8 mg/kg, 速效钾(K)210.0 mg/kg, 田间持水量 30%, 土壤质地为重粘土。供试作物为甜玉米(凤凰 1 号)。

试验设 3 种灌水方式:①常规灌水,每次对土壤全部均匀灌水;②固定灌水,试验开始后每次始终固定对一个 1/2 区域土壤灌水;③交替灌水,每次交替对 1/2 区域土壤灌水。施肥水平设高肥和低肥。氮肥施用尿素(分析纯,AR),高肥水平为 N 0.15 g/kg 土,低肥水平为 N 0.075 g/kg 土;P、K 肥采用磷酸二氢钾(分析纯,AR),高肥水平为 P_2O_5 0.10 g/kg 土, K_2O 0.15 g/kg 土,低肥水平为 P_2O_5 0.05 g/kg 土, K_2O 0.075 g/kg 土。磷酸二氢钾用量计算以施 P 量为基准,其供 K 肥不足时用 KCl(分析纯,AR)补足。肥料以基肥施入,装盆前与土壤充分拌匀。试验共 6 个处理,分别为常规灌水低肥、常规灌水高肥、固定灌水低肥、固定灌水高肥、交替灌水低肥、交替灌水高肥,每个处理均重复 3 次,随机区组排列。试验在聚乙烯塑料盆(盆高 23 cm,直径 30 cm)中进行,所有处理盆中间均用塑料薄膜隔开,以阻止水分交换,两边各装土 7 kg,每盆共装土 14 kg。并在播种前将其浇至田间持水量的 80%。

2003 年 8 月 13 日,各处理沿塑料薄膜每盆播种 4 粒。8 月 16 日出苗,8 月 25 日间苗,每盆留长势均匀的植株 1 株。待玉米长至 3~4 叶时,进行水分控制。灌水控制在田间持水量的 65%~80% 的范围内,用称重法测定其土壤含水量,通过水量平衡法计算蒸腾蒸发(蒸散)量。各处理间其他农业技术措施相同。试验于 10 月 11 日即播后 60 d 结束。

播后 15 d 起每 10 d 测定一次叶面积。先量取每张完全展开叶片长度与叶片最大宽度,并将它们相乘,再乘以经验系数 0.75,然后将所有叶片的叶面积相加即为单株叶面积。播后 25 d 以后,每周找一晴天于上午 10:00 时用 TPS-1 光合系统测定叶片光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(g_s)1 次。植株收获后在烘箱内用 105 °C 杀青 30 min,60 °C 烘至恒重,分别测定根干重和地上部干物重,计算根干重比率。

水分利用效率(WUE)是植物蒸腾消耗单位重量的水分所同化的 CO_2 的量,本研究分别计算了两种基础的水分利用效率,即单叶 WUE(净光合速率与蒸腾速率的比值)和冠层 WUE(植株干物质总量与蒸散总量的比值)。

试验数据方差分析用 SPSS 程序中通用线性模型单因素变量法进行分析,方差分析包括施肥量,灌水方式和它们之间的两因素交互效应。多重比较用 Duncan 法。

2 结果与讨论

2.1 根区局部灌水方式对叶片光合速率、蒸腾速率及气孔导度的影响

拔节期前各处理的光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(g_s)没有显著差异(数据未列)。但随着生育期的推移,尤其是进入拔节期后,植株生长加快,不同水肥处理植株生理指标表现出一定的差异(见表 1)。

统计分析结果表明,灌水方式和施肥水平对光合速率的影响显著($P < 0.05$),对蒸腾速率和气孔导度的影响均不显著,而灌水方式×施肥水平交互作用对光合速率、蒸腾速率和气孔导度的影响不显著(见表 1)。

在相同施肥水平下,与常规灌水处理相比,根区局部灌水

表 1 根区局部灌水方式对甜玉米拔节期(播后 40 d)叶片生理特性的影响

灌水方式	施肥水平	光合速率 P_n / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度 g_s / ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 T_r / ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	单叶 WUE/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$)
常规灌水	低肥	26.53±2.85ab*	177.67±36.17a	3.96±0.46a	6.72±0.13c
	高肥	24.03±1.97b	146.00±14.18a	3.67±0.24ab	6.53±0.18c
固定灌水	低肥	34.17±1.53a	185.67±17.03a	3.43±0.31ab	10.05±0.50a
	高肥	27.00±3.06ab	155.00±19.63a	2.92±0.24b	9.21±0.37ab
交替灌水	低肥	28.63±1.33ab	160.00±5.03a	3.10±0.04ab	9.23±0.37ab
	高肥	25.33±2.78b	155.33±24.78a	3.03±0.36ab	8.38±0.26b
显著性检验(P 值)					
灌水方式		0.011	0.188	0.06	<0.001
施肥水平		0.044	0.377	0.267	0.037
灌水方式×施肥水平		0.584	0.704	0.766	0.526

$P < 0.05$, 表示显著; $P < 0.01$, 表示极显著; $P > 0.05$, 表示不显著, 下同

* 数值为平均值±标准误差,字母 a、b、c 等表示同一列在 $P_{0.05}$ 水平下的统计显著性差异,如不同小写字母,则处理之间差异显著($P < 0.05$),如相同小写字母,则处理之间差异不明显($P > 0.05$),下同。

处理的蒸腾速率降低,低肥和高肥处理平均分别降低 17.5% 和 19.01%,光合速率则平均分别提高 18.34% 和 8.88%。而不同灌水方式的气孔导度差异不明显。近年来分根控水试验的研究结果表明,处于干燥区域的根系能够感知土壤干旱,产生并

输出一种根源信号 ABA,当这种根信号传递到地上部后,可减少气孔开度,使蒸腾速率下降,而光合速率基本上不受什么影响^[2],本试验结果与上述报道基本一致。在相同灌水方式下,高肥各处理的蒸腾速率、光合速率、气孔导度均比低肥各处理

略有降低,但差异不明显。已有研究发现,在极度干旱的水分条件下,施肥比不施肥的大豆蒸腾速率明显降低^[3],造成这一现象的原因还有待进一步研究。

2.2 根区局部灌水方式对叶面积、干物质积累与分配的影响

与光合速率的测定结果一样,拔节期以前各处理的叶面积无显著差异。随着生育期的推进,各试验处理表现出显著差异(见表2)。

统计分析结果表明,灌水方式对播后40 d的叶面积影响极显著($P < 0.01$),对播后50 d的叶面积影响显著($P < 0.05$),但对播后60 d的叶面积影响不明显。施肥水平对播后40 d的叶面积影响显著($P < 0.05$),但对播后50 d和60 d的叶面积

影响不显著,灌水方式×施肥水平交互作用对播后40 d、50 d和60 d的叶面积的影响均不显著(见表2)。

从表2可以看出,各处理的叶面积均随生育时期的推进而逐渐增加。在相同施肥水平下,生育前期常规灌水处理的叶面积明显大于根区局部灌水处理,但随着生育期的推进,两者间的差异越来越小。播后40 d(拔节期)时,根区局部灌水处理的叶面积比常规灌水处理分别降低24.82%(低肥)和26.41%(高肥),播后60 d时各处理之间没有明显差异,高肥处理时根区局部灌水叶面积只比常规灌水降低9.38%,低肥处理时两者相近。这说明在生育前期,水分对甜玉米的冠层生长影响较大;而在生育后期,根区局部灌水方式对植株冠层的形成作用也日显重要,可增加玉米对土壤水分的有效利用,促进地上部形成合理的冠层结构,从而保证了一定的光合面积,使产量不致下降^[4]。

表2 根区局部灌水方式对甜玉米叶面积的影响

cm²/株

灌水方式	施肥水平	播后40 d	播后50 d	播后60 d
常规灌水	低肥	2190.62±18.96b	2588.59±54.49b	2796.4±186.32a
	高肥	2480.16±97.79a	3198.34±19.91a	3137.03±149.55a
固定灌水	低肥	1753.53±96.88cd	2740.84±197.66ab	2834.85±254.33a
	高肥	1905.33±65.18b	2754.09±60.47ab	2764.35±14.4a
交替灌水	低肥	1540.34±93.85b	2322.13±84.14b	2762.10±242.73a
	高肥	1744.76±47.04cd	2446.32±321.81b	2921.36±286.46a
显著性检验(P值)				
灌水方式		<0.001	0.044	0.761
施肥水平		0.013	0.102	0.469
灌水方式×施肥水平		0.729	0.215	0.684

统计分析结果表明,灌水方式对地上部干重和干物质总量影响极显著($P < 0.01$),施肥水平对地上部干重和干物质总量影响不显著,灌水方式×施肥水平交互作用对地上部干重和干物质总量影响见表3。根区局部灌水低肥和高肥处理的单株干物质总量分别比常规灌水处理下降24.38%和15.14%,差异明显(见表3)。地上部干重的变化规律与单株干物质总量一致,

低肥和高肥处理分别下降23.30%和14.64%(见表3)。常规灌水低肥处理的单株干物质总量(44.38 g/株)略高于高肥处理(42.45 g/株),而在根区局部灌水方式下,高肥处理的单株干物质总量(平均36.02 g/株)则略高于低肥处理(平均33.56 g/株),但差异未达0.05显著水平。不同灌水方式下高肥与低肥对地上部干重的影响与对单株干物质总量的影响相一致。

表3 根区局部灌水方式对甜玉米干物质积累与分配的影响

灌水方式	施肥水平	干物质总量/(g·株 ⁻¹)	地上部干重/(g·株 ⁻¹)	根干重/(g·株 ⁻¹)	根干重比率/%
常规灌水	低肥	44.38±0.46a	40.25±0.64a	4.13±0.39a	9.30±0.89a
	高肥	42.45±1.16a	39.13±1.30a	3.32±0.33b	7.84±0.84ab
固定灌水	低肥	34.19±1.26b	31.54±1.22b	2.99±0.17bc	8.79±0.76ab
	高肥	36.67±2.24b	33.85±2.17b	2.82±0.08bc	7.71±0.27ab
交替灌水	低肥	32.93±1.24b	30.20±1.05b	2.72±0.21bc	8.25±0.36ab
	高肥	35.37±0.69b	32.95±0.65b	2.42±0.21c	6.84±0.56b
显著性检验(P值)					
灌水方式		<0.001	<0.001	0.002	0.317
施肥水平		0.367	0.232	0.061	0.031
灌水方式×施肥水平		0.192	0.29	0.437	0.949

灌水方式对根干重影响显著($P < 0.05$),但对根干重比率无影响。施肥水平对根干重比率影响显著($P < 0.05$),但对根干重无影响,灌水方式×施肥水平交互作用对根干重和根干重比率均无影响(见表3)。在相同施肥水平下,根区局部灌水处

理的根干重明显低于常规灌水处理(见表3),而根干重比率只略低于常规灌水处理。低肥和高肥处理时根区局部灌水的根干重分别比常规灌水下降30.9%和21.1%,根干重比率分别下降8.42%和7.18%。这与他人干旱半干旱地区进行控制性

分根交替灌溉的结果不大一致^[5]。两种施肥处理间各灌水方式地上部干重、干物质总量和根干重差异不明显,而根干重比率差异明显,高肥处理根干重比率均低于低肥处理(见表3)。结果显示,施肥量比灌溉方式更能改变干物质在植物体内的分配,这与以往很多实验结果相似。

2.3 根区局部灌水方式对蒸散量及水分利用效率的影响

统计分析结果表明,灌水方式和施肥水平对甜玉米蒸散量(即水分利用量)、单叶水分利用效率和冠层水分利用效率影响极显著($P < 0.01$)或显著($P < 0.05$),但灌水方式 \times 施肥水平交互作用对甜玉米蒸散量、单叶水分利用效率和冠层水分利用效率均无影响(见表4)。

表4 不同施肥水平和灌水方式对甜玉米蒸散量及冠层水分利用效率影响的显著性检验(P 值)

变 量	蒸散量	冠层水分利用效率
灌水方式	< 0.001	0.004
施肥水平	< 0.001	0.009
灌水方式 \times 施肥水平	0.961	0.131

在相同施肥水平下,根区局部灌水处理的玉米蒸散量(即耗水量)与常规灌水处理差异显著(见图1),根区局部灌水低肥和高肥处理分别比常规灌水处理下降29.58%和31.28%。前述根区局部灌水处理的单株干物重虽然也有所下降,但其蒸散量下降更多,因此水分利用效率有较大提高。根区局部灌水低肥和高肥处理的冠层水分利用效率分别比常规灌水处理平均提高了7.40%和23.48%(见图2),因而在较高施肥条件下,节水效果明显。与常规灌水处理相比,由于根区局部灌水处理的光合速率上升而蒸腾速率下降,因而低肥和高肥处理叶片水分利用效率分别也提高43.45%和34.69%(见表1),叶片水分利用效率的提高,有效地弥补了由于叶面积下降而造成光合产物的减少。根区局部灌水处理能有效节水并显著提高叶片和冠层水分利用效率,可能是由于根区局部灌水每次湿润根区土壤的一半面积,能够有效地降低棵间无效蒸发。另一方面,根区局部灌水使作物总有一侧根系处于相对较为干燥区域,感知土壤干旱,形成缺水信号物质脱落酸(ABA)并将其传递到地上部,调节气孔的最优开度,因此在保持光合速率不下降的前提下使蒸腾速率下降^[6]。本实验证明,由于根区局部灌水可使棵间土壤蒸发和植株蒸腾耗水明显减少,二者累积的效果使玉米水分用量有一个较大幅度下降。

与低肥处理相比,根区局部灌水高肥处理的蒸散量平均下降了6.65%,差异显著。从前述可知,根区局部灌水方式高肥处理的干物质总量略高于低肥处理,因而水分利用效率(4.17 kg/m^3)明显高于低肥处理(3.63 kg/m^3),说明肥料能有效地促进水分的利用,从而提高水分利用效率。在本试验条件下,根区局部灌溉即固定灌水和交替灌水能提高水分利用效率,如结合合理施肥则更能显著提高作物对水分的利用效率。

3 结 语

①根区局部灌溉可减少无效蒸发,大幅度降低作物的蒸散

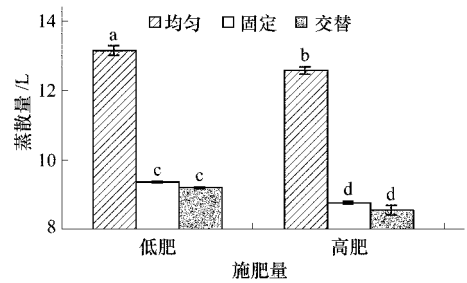


图1 根区局部灌水方式对甜玉米蒸散量的影响

注:图中数据点代表平均值 \pm 标准误差,字母a、b、c、d等表示的意义见表1说明,下同。

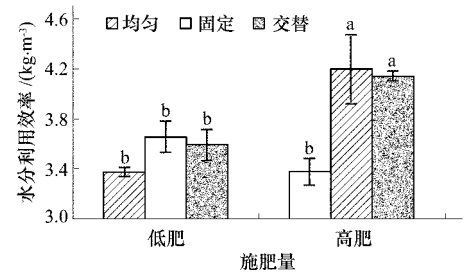


图2 根区局部灌水方式对甜玉米冠层水分利用效率的影响

量,而作物的干物质总量下降不明显。在本实验条件下,根区局部灌溉能有效地提高甜玉米的水分利用效率,节水效果明显,在较高肥条件下根区局部灌溉平均节水31.28%,水分利用效率平均提高23.48%。

②根区局部灌溉即固定灌水和交替灌水能提高水分利用效率,如结合合理施肥则更能显著提高作物对水分的利用效率。在本实验的水肥范围内,适当增施肥料可促进地上部光合产物的积累,干物质总量增加,从而有效地提高甜玉米的冠层水分利用效率。

③广西虽地处热带亚热带地区,但局部地区性缺水和季节性缺水的现象同样存在。本研究结果值得在生产实践中加以验证,以期能对解决广西的地区性缺水和季节性缺水起到一定的作用。

参 考 文 献

- [1] 孙景生,康绍忠,蔡焕杰,等. 控制性交替灌溉技术的研究进展[J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 1-5.
- [2] Zhang J H, Zhang X, Liang J. Exudation rate and hydraulic conductivity of abscisic acid treatment[J]. New Phytologist, 1995, 131(3): 329-336.
- [3] 张秋英,刘晓冰,金 剑,等. 水肥耦合对大豆光合特性及产量品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(1): 47-50.
- [4] 韩艳丽,康绍忠. 控制性分根交替灌溉对玉米养分吸收的影响[J]. 灌溉排水, 2001, 20(2): 5-7.
- [5] 武永军,刘红侠,梁宗锁,等. 分根区干湿交替对玉米光合速率及蒸腾效率的影响[J]. 西北植物学报, 1999, 19(4): 605-611.
- [6] 康绍忠,潘英华,石培泽,等. 控制性作物根系分区交替灌溉的理论与试验[J]. 水利学报, 2001, 11: 80-86.