

## 分根区垂向交替供水对玉米生长影响的研究\*

史文娟

康绍忠

(西安理工大学水资源研究所 西安 710048) (西北农业大学农业水土工程研究所 杨陵 712100)

**摘要** 为探索1种新的节水灌溉技术——分根区垂向交替供水的节水增产效应,选用3种不同灌水方式(表面灌、下部灌、交替灌)和不同灌水周期(3 d、5 d、7 d)及不同灌水方式下的相同灌水量组合进行了盆栽玉米对比试验研究。结果表明,垂向交替供水是可行的,相同灌水量条件下交替供水对作物根系的生长有明显促进作用,使根系在土壤垂直剖面分布更为均匀。同时根系活力和吸收功能明显增强,整株作物长势呈现出苗壮根旺的特点。此外5 d的交替灌与3 d的表面灌相比,作物长势明显改善,且节水26%以上;7 d的交替灌与5 d的表面灌相比,作物长势无明显差异,但节水20%以上,而5 d的灌水周期是试验范围内交替灌应用时较为成功的方式。

**关键词** 垂向分根区交替灌溉 根系活力 水分利用效率

**Effect of alternative watering in vertical profile on corn growth.** SHI Wen-Juan (Water Resource and Environment Institute of Xi'an Technology University, Xi'an 710048), KANG Shao-Zhong (Soil-water Engineering Institute of North-western Agricultural University, Yangling 712100), *CJEA*, 2001, 9(2): 44~46

**Abstract** Under the condition of control test, by cultivation in pots containing soil, with corn as material, a new water-saving technology named the Control Root-splited Alternative Irrigation (CRAI) was studied. The treatments consisted of Surface Irrigation (SI), Low Irrigation (LI) and CRAI. The period of irrigation was 3 d, 5 d, 7 d. The watering amount is the same with the same irrigation method. The result showed that CRAI could stimulate root growth and make root distribution uniform in the vertical profile, and root activity was increased. Besides, crop growth of CRAI with 5 d was more improved better than that of SI with 3 d and water use efficiency was increased by 26%. Although no difference was found between the crop growth of CRAI with 7 d and that of SI with 5 d, WUE was improved by 20%.

**Key Words** Alternative watering in vertical profile, Root activity, Water use efficiency

控制性分根交替灌溉(Control Root-splited Alternative Irrigation, 简称 CRAI)<sup>[1]</sup>是1种新的节水灌溉技术,其基本含义是根据作物水分胁迫时产生的根信号,人为保持根系活动层的土壤在水平或垂直剖面的某个区域干燥,通过人工控制使根系在水平或垂直剖面的干燥区域交替出现,这样始终生长在干燥或较干燥土壤区域中一部分根系产生的水分胁迫信号可有效调节气孔关闭,而湿润区一部分根系从土壤中吸收水分以满足作物的最小生命之需,从而达到节水而不牺牲光合产物累积的目的<sup>[1]</sup>。此外由于交替供水后表层土壤总是间歇性的处于干燥状态,减少棵间一直湿润时的无效蒸发损失和总灌溉用水量。室内和田间试验已经证明控制性分根交替灌水技术(水平方向)比常规灌溉可节水30%以上<sup>[2]</sup>,是1项节水潜力很大的灌水新技术,由于垂直方向交替灌水技术实现难度较大,本研究于1998年利用人工模拟土柱进行了试验,旨在探索此种节水灌溉技术在理论和应用上的可行性及节水增产效果,为干旱地区实行经济用水方案提供依据。

### 1 试验设计与方法

试验在农业部农业水土工程重点开放实验站进行,人工模拟土柱置于具有防雨设施的大田中,土柱管为聚乙烯材料(PVC管),高50cm,口径11cm,土柱两侧每隔10cm打1小孔,以调节通气状况。下部灌和交替灌土柱中的供水管头用填有小石子的细纱布包裹,防止灌水时发生堵塞。在装土前PVC管从垂直方向被分割成两半,再用防水胶布紧密粘合在一起以利于不同生育期根的取样,每管装过筛的均匀耕层干土4.5kg,土壤中伴有均匀、数量相同的NPK复合肥,土壤容重为1.15g/cm<sup>3</sup>,土质为黑垆土,其田间持水量为0.28cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>,土柱上下层各埋有1根20cm长的波导线用于测定灌水前后土壤含水量。供试作物为“陕单

\* 国家自然科学基金项目(49725102)和国家重点基础研究发展规划(973)项目(G1999011708)共同资助

收稿日期:1999-12-31 改回日期:2000-01-26

9 号”夏玉米,7 月 20 日播种,每个土柱 4 棵,7d 后苗出齐,待长至 2 叶后留长势均匀的植株各 1 棵。

交替供水处理从拔节期开始至收获时截止,分 3 d、5 d、7 d 3 种灌水周期,每种灌水周期又分为表面灌、下部灌和上下交替灌 3 种灌水方式,共 9 种处理,每种处理设 8 个重复。每种处理灌水时间间隔、灌水量相同,表面灌的灌水区域为上层 1/2 土柱高度,下部灌为下层 1/2 土柱高度,交替灌为上下层交替进行。灌水量由灌水前所测定的同一灌水周期 3 种灌水方式中最低土壤含水量求得。处理前土壤含水量为 60%~70%田间持水量。处理前后作物的播种、施肥等管理措施完全一致。土壤含水量用时域反射仪(TDR)测定,根系活力用四氮唑法测定,并测量作物地上部、地下部干物质质量、鲜物质质量等指标,作物耗水量由水量平衡方程计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 控制性分根交替灌溉对玉米根系形态与功能的影响

控制性分根交替灌溉对根长及根长密度的影响。表 1 结果表明,交替灌与相同灌水量下的其他处理相比,拔节前期根系长度无多大变化,随生育期的发展,根系长度逐渐增加并在拔节后期超过其他 2 个处理。拔节后期当灌水周期为 3 d 时,交替灌的根系长度比表面灌和下部灌分别长 31.8%和 20.8%;当灌水周期为 5 d 时,交替灌根系长度分别高出表面灌和下部灌的 23.3%和 27.2%;当灌水周期为 7 d 时,交替灌比表面灌高出 27%,与下部灌无明显差别。开花期除 5 d 1 次的灌水处理差异较明显外,其他灌水周期的根系长度比组内的另 2 个处理增加幅度均有所下降。根条数除下部灌始终较少外,其他 2 个处理在整个生育期无显著差异。拔节前期表面灌的根长密度相对较大,根系分布主要集中在浅层土壤中,此后尽管根系长度相对增加,但

表 1 不同灌水处理的根系长势情况

Tab. 1 Root growth vigour under different irrigation water treatments

灌水周期/d Irrigation period	灌水方法 Irrigation treatments	拔节前期 Before shooting			拔节后期 After shooting			开花期 Flowering stage		
		根条数 Root number	平均根长/cm Average root length	根长密度/cm·cm <sup>-3</sup> density of root	根条数 Root number	平均根长/cm Average root length	根长密度/cm·cm <sup>-3</sup> density of root	根条数 Root number	平均根长/cm Average root length	根长密度/cm·cm <sup>-3</sup> density of root
3	下部灌 Low irrigation	15	17.5	0.067	15	20.7	0.079	16	25.5	0.104
	表面灌 Surface irrigation	20	17.5	0.089	20	22.6	0.115	26	23.5	0.156
	交替灌 Alternative irrigation	17	16.6	0.072	21	27.3	0.146	25	29.0	0.185
5	下部灌 Low irrigation	19	17.9	0.087	19	25.3	0.122	18	27.5	0.126
	表面灌 Surface irrigation	19	18.4	0.089	27	22.7	0.156	21	26.8	0.143
	交替灌 Alternative irrigation	17	19.6	0.085	23	31.2	0.183	28	34.0	0.243
7	下部灌 Low irrigation	16	19.9	0.081	17	29.9	0.130	21	27.2	0.146
	表面灌 Surface irrigation	20	18.5	0.094	23	23.0	0.111	22	25.5	0.143
	交替灌 Alternative irrigation	16	19.1	0.078	25	29.2	0.186	25	27.6	0.176

根长密度却明显减小,拔节后期和开花期除 3 d 的表面灌外已明显低于交替灌和下部灌,且以 5 d 的交替灌表现得更为突出。根长密度愈大,根系从土壤中吸收水分的能力愈强。同时根长密度的增加有助于土壤通气性和透水性增强,从而进一步促使作物对土壤水分和养分的吸收<sup>[3~4]</sup>。整体趋势交替灌的根系形态在拔节期变化最大而在开花期有所下降,初步表明拔节期是交替灌水技术成功运用的理想时期。

生育期内玉米根系和土壤含水量的垂直剖面分布。试验表明,拔节前期 70%以上的玉米根系分布在土柱上层,下层根系分布较少。随灌水间隔时间延长其下层根系所占比重逐渐增加,尤以交替灌表现更为突出。随生育期的发展,交替灌下层根量增加的比例及绝对数量比表面灌和下部灌表现更显著。由此可见,在相同灌水量情况下采用不同的灌水方式会使根系生长和分布发生明显改变,与其他 2 种灌水方式相比交替灌可促使根系在土壤中分布更为均匀且总根量明显增加;从含水量分布状况看,表面灌的土壤含水量分布与根系动态分布始终较为吻合,而下部灌和交替灌的土壤含水量分布与根系分布状态由开始差距较大到最后差距逐渐缩小,这说明水分对作物根系的诱导作用及作物生长对水分的反应不仅与土壤含水量有关且与不同灌水方式形成的土壤含水量分布有关,相同灌水量条件下交替灌比表面灌的土壤含水量变化幅度小。

不同灌水方式的根系活力。根系的吸收功能除受根量、根长的影响外,还与根本身活力有关。总根量中活性根数量多,则吸水能力强<sup>[5]</sup>。试验结果表明,随生育期的发展根系活力呈总体增强趋势,这与作物生理活动的增强是一致的。不同灌水方式作物根系活力表现不同,交替灌的根系活力在拔节前期有所降低,而在拔节后期和开花期根系活力的大小顺序依次为交替灌>表面灌>下部灌。且 3 d 的交替灌根系活力比相同灌

水量下的表面灌和下部灌分别高 6.0% 和 27.3%；5 d 的交替灌分别高 35.1% 和 17.4%；7d 的交替灌分别高 29.2% 和 21.6%。开花期 3 d 的交替灌比组内的表面灌和下部灌分别高 22.6% 和 16.1%；5 d 的分别高 35.2% 和 25.8%；7d 的分别高 73.0% 和 21.6%。此外，5 d 的交替灌比 3 d 的表面灌和下部灌的根系活力明显增大，且差异显著。7d 的交替灌与 5 d 的表面灌相比，根系活力无显著性差异。显然交替灌不仅有助于根系形态指标的补偿且有助于根系功能的补偿。

## 2.2 控制性分根交替灌溉对玉米地上部、地下部干物质及根冠比的影响

表 2 表明，不同灌水方式显著改变干物质在根冠间分配比例。灌水间隔时间愈长，分配到根系的干物质比例和根冠比愈大。相同灌水量下拔节前期 3 种灌水方式根冠比为下部灌 > 交替灌 > 表面灌；拔节后期根冠比为表面灌 > 下部灌 > 交替灌。相同灌水量下交替灌的绝对根量在拔节后期与开花期均明显大于表面灌和下部灌。交替供水处理更有利于碳水化合物向生殖器官运转和分配，使植株长势呈现出苗壮根旺的特点。

表 2 不同灌水方式的根冠比

Tab. 2 The ratio of root to shoot under different irrigation treatments

生育阶段 Growth stage	灌水方法 Irrigation treatments	根干物质质量/g Root dry mass			冠干物质质量/g Shoot dry mass			根冠比 Root/Shoot ratio			
		灌水周期/d Irrigation period	3	5	7	灌水周期/d Irrigation period	3	5	7	灌水周期/d Irrigation period	3
拔节前期 Before shooting	下部灌 Low irrigation	1.28	1.59	1.10	5.64	6.16	4.78	0.227	0.258	0.230	
	表面灌 Surface irrigation	1.52	1.67	1.29	8.62	9.64	5.15	0.176	0.173	0.250	
	交替灌 Alternative irrigation	1.28	1.47	1.39	7.01	7.36	5.98	0.183	0.200	0.232	
拔节后期 After shooting	下部灌 Low irrigation	1.46	2.16	1.52	7.65	8.62	7.70	0.191	0.260	0.197	
	表面灌 Surface irrigation	2.20	1.75	1.70	10.30	8.62	7.80	0.214	0.203	0.218	
	交替灌 Alternative irrigation	2.75	2.93	2.32	12.75	14.80	11.30	0.190	0.197	0.205	
开花期 Flowering stage	下部灌 Low irrigation	2.08	2.55	1.81	10.22	10.98	9.78	0.204	0.234	0.185	
	表面灌 Surface irrigation	2.97	2.13	2.35	10.67	10.60	8.82	0.194	0.201	0.232	
	交替灌 Alternative irrigation	2.93	3.01	2.50	13.11	15.10	10.97	0.223	0.201	0.228	

## 2.3 控制性分根交替灌溉对玉米产量及水分利用效率的影响

表 3 结果表明，相同灌水量下交替灌玉米干物质和水分利用效率均比其他 2 种处理高。随灌水周期延长，表面灌和下部灌干物质呈下降趋势，交替灌呈先增后降趋势，土壤含水量较低时交替灌作物仍良好生长。7d 的交替灌与 5 d 的表面灌相比

其作物生产量无明显差别，但节水 20%；5 d 的交替灌又比 3 d 的表面灌和下部灌作物生产量分别提高 32.7% 和 47.2%，节水 26% 和 26.2% 以上，5 d 交替灌作物产量和水分利用效率最高。从土壤含水量剖面分布看，当以含水量控制灌水量时，上层土壤应保持在 40% 田间持水量以上，下层土壤应保持 54% 田间持水量以上。

表 3 不同灌水方式玉米产量与水分利用效率

Tab. 3 The yield and the water use efficiency of corn under different irrigation treatments

项目 Items	表面灌 Surface irrigation			下部灌 Low irrigation			交替灌 Alternative irrigation				
	灌水周期/d Irrigation period	3	5	7	灌水周期/d Irrigation period	3	5	7	灌水周期/d Irrigation period	3	5
总灌水量/dm <sup>2</sup> Total irrigation water	10.529	7.800	6.253	10.529	7.800	6.253	10.529	7.800	6.253		
耗水量/dm <sup>3</sup> Water consumption	10.532	7.788	6.240	10.526	7.796	6.230	10.523	7.787	6.235		
干物质/g Dry mass	13.640	12.730	10.870	12.300	13.530	11.590	16.040	18.110	13.470		
水分利用效率/kg·m <sup>-1</sup> Water use efficiency	1.295	1.635	1.742	1.170	1.736	1.860	1.524	2.326	2.160		

## 参 考 文 献

- 康绍忠, 张建华等. 控制性交替灌溉——1 种新的农田节水调控思路. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 1~5
- 梁宗锁, 康绍忠, 张建华. 控制性分根交替灌溉的节水效应. 农业工程学报, 1997 (4): 58~63
- 胡荣海, 王 斌, 朱志华. 作物根系特征及其抗旱性研究的进展. 作物高产高效生理学研究进展. 北京: 科学出版社, 1994
- Passioura J. B. Roots and drought resistance. Agricultural water management, 1983 (7): 265~280
- Meyer W. S., Barrs H. D. Roots in irrigated clay soil: measurement techniques and responses to root zone conditions. Irrig. Sci., 1991, 12: 125~134
- Shu J. Z., Wang T. D. Simulation of shoot/root ratio changes during vegetative phase and affected by environmental factors. Acta Phytobiologica Sinica, 1995, 21(4): 13~323