

# 根系分区交替灌水对玉米吸收养分影响的初步研究

韩艳丽<sup>1</sup>, 康绍忠<sup>2</sup>

(1. 黄河流域水资源研究所; 2. 西北农林科技大学教育部旱区农业水土工程重点实验室)

**摘 要:** 通过盆栽试验研究了交替灌水方式、固定灌水方式和常规灌水方式对玉米吸收养分的影响。结果表明, 拔节前期交替方式 N 吸收总量比固定方式高, 和常规灌水方式相差不大, 而后期则比固定、常规方式高; 交替方式磷吸收总量均比其它两种方式高。交替方式氮、磷利用效率比常规方式分别提高 25.1%、25.3%。交替方式比常规方式节约灌水量 10.3%, 其水分利用效率最高, 比常规方式增加 20.1%。

**关键词:** 交替灌水; 玉米; 养分

**中图分类号:** S275

**文献标识码:** A

**文章编号:** 100226819(2002)0120057203

分根交替灌水(或称根系分区交替灌水)技术是一种新的农田节水调控思路<sup>[1]</sup>。分根交替灌水方式与传统灌水方式的重要区别在于, 传统灌水方式追求田间作物根系层充分和均匀湿润, 整个作物根系处在相同的水分、养分环境中; 而分根交替灌水方式则强调作物根区土壤垂直或水平面的某个区域保持干燥, 另一部分根系区域灌水湿润, 交替控制部分根系干燥、部分根系湿润, 即作物根系始终有一部分处在干燥的土壤中, 同时感受着水分胁迫和养分不足。目前此技术对作物水分利用效率和节水效应的研究较多, 而对作物养分吸收的影响探讨很少。本试验目的在于探讨根系分区交替灌水对养分吸收利用的影响, 以进一步丰富根系分区交替灌水技术的内容。

## 1 材料与方法

供试土壤采自西北农林科技大学节水灌溉试验站的塿土, 有机质含量 13.8 g/kg, 全氮 1.08 g/kg, 全磷 1.64 g/kg, 碱解氮(N) 24.5 mg/kg, 速效磷(P) 11.3 mg/kg (Olsen 法), 土壤田间持水量为 23.95%。

试验在米氏盆(盆高 35 cm, 直径 22 cm)中进行。为防止土壤表面水分的过量蒸发以及土壤板结, 盆两侧各置放直径 4 cm 的细管用于供水(细管周围有小孔, 以保持土壤均匀湿润)。设 3 种灌水方式处理, (1) CK, 即常规灌水方式(常规), 每次对全部土壤均匀灌水; (2) 固定灌水方式(固定), 每次固定对一个 102 区域土壤灌水; (3) 交替灌水方式(交替), 每次交替对 102 区域土壤灌水。装盆前按 N

0.101 g/kg (尿素, 分析纯) 和 P 0.037 g/kg (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 分析纯) 的施肥水平混施土中, 每盆均以 1.25 g/cm<sup>3</sup> 容重装土 13.0 kg, 控制固定 102 区域和交替 102 区域灌水处理, 中间用塑料薄膜隔开, 两边各装土 6.50 kg, 并在播种前将其浇至田间持水量的 90%。灌水控制在田间持水量的 60%~90% 范围内, 用称重法测定其土壤含水率, 通过水量平衡方程确定蒸发蒸腾量和灌水量, 称重间隔时间为 5 d, 3 种灌水方式每次灌水均灌至田间持水量的 90%。

供试玉米品种为陕单 9 号, 2000 年 4 月 25 日播种, 每盆 3 粒, 待长至五叶一心期, 留长势均匀的植株各一株。分别在 6 月 10 日(播后 46 d, 拔节前期)、6 月 20 日(播后 56 d, 拔节后期)、6 月 30 日(播后 66 d, 抽雄期)、7 月 11 日(播后 77 d, 孕穗期)采集各处理根系及地上部分, 经烘干磨碎后分析。植株经 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 湿灰化法消煮后, 用凯氏定氮法测定全氮, 钒钼黄比色法测定全磷。

根系活力测定, 每隔 10 d 取样测定根系活力, 各处理取 3 株玉米测定, 交替和固定方式根系分区取出, 常规方式取全部根系, 根系取出后, 以蒸馏水迅速冲净, 然后用滤纸吸干根系表面水分, 剪取根尖或侧根部分约 0.5 g 左右, 用 TTC(氯化苯基四氮唑)法测定<sup>[2]</sup>。以 TTC 微克数表示根系脱氢酶活性, 即为根系活力。

硝酸还原酶活性测定, 在上午 8~9 时取叶片, 冲洗剪碎, 磷酸缓冲液和硝酸钾混和溶液提取后用磺胺比色法测定<sup>[2]</sup>。以每小时每克鲜重产生的 NO<sub>2</sub> 微克数表示。

## 2 结果

### 2.1 干物质积累

从拔节前期到孕穗期, 交替方式根质量、冠质量

收稿日期: 2001201210 修订日期: 2001212203

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39870478)和 G1999011708 的部分内容

作者简介: 韩艳丽(1974-)女, 硕士, 郑州市城北路东 12 号 黄河流域水资源保护研究所, 450003

和干物质总量分别增加 2.0 倍, 4.3 倍和 3.8 倍; 固定方式分别增加 1.4 倍, 2.9 倍和 2.6 倍; 常规方式分别增加 0.9 倍, 4.2 倍和 3.2 倍(表 1), 这表明交替方式有利于玉米干物质积累。拔节前期 3 种灌水方式处理冠干质量和干物质总量没有明显差异; 拔节期以后交替方式冠质量、根干质量和干物质总量明显大于其它两种灌水方式, 但固定方式冠重和干物质总量最低。上述结果表明, 交替方式有利于光合产物向地上部分运输和干物质积累, 而固定方式遭受水分胁迫, 对根系生长造成伤害, 导致根生长一直较弱, 由此抑制了冠部生长。常规方式导致土壤板结, 对根系生长产生机械阻力, 从而影响冠部生长。

表 1 玉米地上部和根系干质量

Table 1 Shoot and root dry mass of maize

生育时期	处理	冠干质量/g	根干质量/g	总干质量/g
拔节前期	°	3.86	1.17	5.03
	É	3.82	1.13	4.95
	CK	3.57	1.42	4.99
拔节后期	°	9.45	2.42	11.87
	É	6.58	1.89	8.47
	CK	7.89	2.07	9.96
抽雄期	°	11.83	2.76	14.59
	É	7.86	2.30	10.16
	CK	9.47	2.371	11.78
孕穗期	°	20.53	3.55	24.08
	É	15.03	2.69	17.72
	CK	18.45	2.70	21.15

## 2.2 氮、磷养分吸收

由表 2 得到, 随着玉米生育时期推进, 3 种灌水

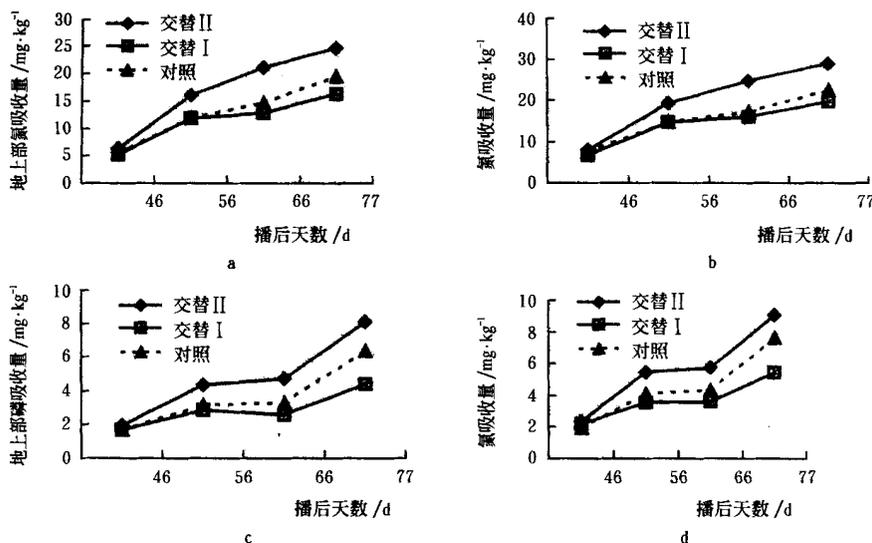


图 1 玉米地上部氮、磷吸收量(a, b)及氮、磷吸收总量(c, d)的季节性变化

Fig 1 The seasonal changes of shoot (a, b) and total N, P uptake (c, d) by maize

3 种灌水方式地上部分 N、P 吸收量前期较低, 到后期大幅度增加, 从拔节前期- 孕穗期地上部分 N 吸收量, 交替、固定、常规方式分别增加 2.8 倍, 2.1 倍和 2.5 倍(图 1a); 地上部分 P 吸收量分别增

方式根系 N、P 吸收量随之增加, 但磷吸收量增加幅度较少。从拔节前期到孕穗期, 交替方式根系 N 吸收量增加 5.11 mg/kg, 固定方式增加 3.57 mg/kg, 而常规方式仅增加 0.82 mg/kg; 根系 P 吸收量交替、固定和常规方式分别增加 1.94、1.08、0.69 mg/kg。与固定方式相比, 各生育时期交替方式根系 N、P 吸收量与湿润根区相差不大, 而比干燥根区明显增加; 与常规方式相比, 各生育时期交替方式根系 N、P 吸收量明显增加, 因而交替方式根系 N、P 吸收量均比其它两种灌水方式高。

表 2 不同灌水方式下根系养分吸收量

Table 2 Root nutrient uptake under different irrigation methods

生育时期	处理	根区	mg · kg <sup>-1</sup>		
			N	P	
拔节前期	°	1	2.01	0.42	
		2	1.34	0.37	
	É	1	2.18	0.72	
		2	0.87	0.27	
	CK	全部	2.14	0.26	
		°	1	3.18	1.17
拔节后期	°	2	3.29	1.04	
		É	1	4.00	1.02
	É	2	1.60	0.32	
		CK	全部	2.84	0.92
	抽雄期	°	1	3.60	1.13
			2	3.51	0.91
É		1	4.03	1.34	
		2	2.22	0.65	
CK		全部	2.52	1.02	
		孕穗期	°	1	3.92
2	1.54			0.71	
É	1		4.65	1.29	
	2		1.97	0.78	
CK	全部		2.96	1.25	

3 种灌水方式 N、P 吸收总量前期较低, 到后期明显增加。从拔节前期- 孕穗期交替方式 N 吸收总量增加了 2.6 倍, 固定和常规方式均增加 1.9 倍(图 1c); P 吸收总量交替、常规方式均增加 2.8 倍, 固定方式增加 1.5 倍(图 1d)。拔节前期交替方式 N 吸收总量比固定方式高, 和常规方式相差不大, 而后期则比固定、常规方式高; P 吸收总量在各生育期交替方式均比其它两种方式高。

对根系和地上部氮、磷吸收量占总量的比例分析可知, 交替方式在后期更有利于氮、磷向地上部分转移; 固定方式氮素向地上部分转移相对减少, 而常规方式磷素向地上部分转移减少, 这表明不同灌水方式会影响 N、P 在植株体内的分配。

### 2.3 水分、养分利用效率

表 3 水分与养分利用效率

Table 3 Water and nutrient use efficiency of maize

处理	耗水量 $\bar{\alpha}$	水分利用效率 $\bar{\alpha} \cdot \text{m}^{-3}$	单位耗水量的 氮利用效率 $\bar{\alpha} \cdot (\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$	单位耗水量的 磷利用效率 $\bar{\alpha} \cdot (\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$
。	4.97	4.84	3.69	10.19
É	4.48	3.55	3.01	8.30
CK	5.48	3.87	2.95	8.13

表 3 结果表明, 交替方式比常规方式节约灌水量 10.3%, 其水分利用效率最高, 分别比常规、固定方式增加 20.1%, 26.6%, 固定方式水分利用率最低。由于交替方式可减少全部湿润时土壤无效蒸发损失和总灌水量, 从而有利于提高水分利用效率。通过计算单位耗水量单位肥料生产的生物量得知, 交替方式氮利用效率比常规、固定方式分别提高 25.1%, 18.4%, 磷利用效率提高 25.3%, 22.8%, 因而交替方式有利于作物对氮、磷养分吸收。

### 3 讨论

本试验结果表明, 交替方式对 N、P 吸收比固定、常规方式高。史文娟(1999)进行玉米根区垂直面上的表土灌水、底层灌水和表底交替灌水的试验研究也发现, 不论何种灌水间隔, 均是表底交替灌水玉米植株所吸收 N、K 最多。因而交替灌水方式能增加作物对养分的吸收, 其原因可能有以下几方面。

1) 从根系活力结果可知(表 4), 交替方式与固定方式湿润根区相比, 根系活力稍高一些, 两者相差不大, 只增加 4.5%~7.2%; 而与固定方式干燥区域相比, 由于干燥区域水分含量较低, 交替方式根系活力则明显高于固定方式干燥区域, 大约提高 30%~98%。各生育时期交替方式根系活力也比常规方式高, 这表明交替灌水方式能增加根系活力, 有助于根

系吸收水分和养分。

表 4 不同生育时期根系活力

Table 4 Root TTC activities in different stages

处理	根区	TTC $\text{Lg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$		
		拔节后期	抽雄期	孕穗期
。	1	3.08	3.63	1.26
	2	2.73	3.58	1.23
É	1	2.82	3.37	1.17
	2	1.38	2.72	0.72
CK	全部	2.69	3.43	1.08

表 5 不同生育时期硝酸还原酶活性

Table 5 NR activities in different stages

处理	拔节前期	拔节后期	$\text{NO}_2^- \text{Lg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	
			抽雄期	孕穗期
。	0.73	1.15	1.69	1.26
É	0.72	—	0.78	0.57
CK	0.76	0.75	1.39	1.02

2) 硝酸还原酶活性测定结果表明(表 5), 拔节期以后各时期, 交替方式玉米叶片硝酸还原酶活性比常规、固定方式均高, 尤其在抽雄期更显著高于其它两种灌水方式, 分别比常规、固定方式增加 21.6% 和 116.7%。硝酸还原酶是作物氮素代谢中的关键酶<sup>[4]</sup>, 其活性高低与  $\text{NO}_3^-$  的同化速率密切相关, 保持较高的硝酸还原酶活性, 有助于硝态氮转化和吸收。由于交替方式硝酸还原酶活性较高, 因而玉米对氮的吸收比其它两种灌水方式在高。此外, 本研究还发现, 交替方式促进作物根系生长和根系分布均匀, 同时根长密度增加使得根吸收表面积增加, 从而提高了根系吸收养分的能力。交替灌水方式根系水分传导度较高<sup>[5]</sup>, 由于根系水分传导度影响水分向地上部的传输, 水分是养分的载体, 从而将影响植物对养分的吸收与利用。

#### [参 考 文 献]

- [1] 康绍忠, 张建华, 梁宗锁等. 控制性交替灌溉——一种新的农田节水调控思路[J]. 干旱地区农业研究, 1997, (15): 1~6
- [2] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版社, 2000. 92~95
- [3] 史文娟. 分根区垂直交替供水与调亏灌溉的节水机理及效应[D]. 西北农业大学硕士学位论文, 1999
- [4] 张福锁, 江荣风. 植物氮素和水分相互作用机理[M]. 土壤水分和养分的有效利用(李韵珠等主编). 北京: 北京农业大学出版社, 1994. 149~155
- [5] 韩艳丽. 根系分区交替灌水对玉米养分吸收影响的机理与效应[D]. 西北农林科技大学硕士学位论文, 2001.

## Coordinating of Root-Water-Fertilizer Relation of Spring Wheat-Spring Corn Intercropping System Under Regulated Deficit Irrigation ..... (53)

Huang Gaobao, Zhang Enhe (Agricultural Engineering Institute, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Determining coordinating of Root-Water-Fertilizer relation was studied. Two crops of spring wheat and spring corn intercropped were grown in cement pool with length of 1 m, width of 1 m and depth of 1.5 m. The regulated deficit irrigations (RDI) of 30%, 50% and 70% of soil relative water content (SRW) were performed at later jointing stages for spring wheat (seedling stages for corn). Total seed yield of intercropping system was increased with 50% of SRW under 50% RDI at seedling stages for corn intercropped. The vertical distribution of soil Olsen-P and root weight decreased significantly from surface soil layers to deep layers, above 30% of Olsen-P and 40% of root dry mass in 0~100 cm soil depths were distributed in 0~10 cm soil layer, but where the water content is always below 10%, so uncoordination of soil water with root and soil Olsen-P in soil layers reduced nutrition use efficiency (NUE). RDI and deep P supply increased amount of roots of below 40 cm soil depths, which was favorable to absorb nutrient for roots in deeper soil profile at the middle and later growth stage. Spatial distribution of  $\text{NO}_3^- \text{N}$  and  $\text{NH}_4^+ \text{N}$  were influenced by irrigation, at the first period of growth,  $\text{NO}_3^- \text{N}$  and  $\text{NH}_4^+ \text{N}$  mainly distributed on the 0~10 cm soil layer, but which gradually moved to deep soil along with crop growth, therefore, nitrogen fertilizer should not be applied at deep soil layer, and should be supplied with several times.

**Key words:** regulated deficit irrigation (RDI); spring wheat-spring corn intercropping system; root-water-fertilizer relation

## Preliminary Study on Effects of Roots-Divided Alternate Irrigation on Nutrient Uptake by Maize ..... (57)

Han Yanli<sup>1</sup>, Kang Shaozhong<sup>2</sup> (1. Water Resource Research Institute in Yellow River Valley; 2. Key Laboratory of Agricultural Soil & Water Engineering in the Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest Sci-Tech University of Agricultural and Forestry, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Effects of roots-divided alternate irrigation on nutrient uptake were studied with controlled alternate irrigation (CAI) for half part of root zone, controlled fixed irrigation (CFI) for half part of root zone and conventional irrigation (CI) for whole root zone. The results showed total N uptake of CAI was higher than that of CFI, but there is no difference compared with CI at early jointing stage. But at the end of maize development, the total N uptake of CAI treatment was higher than that of CFI and CI. And total P uptake in CAI treatment was higher than that of the other two irrigation methods. Compared with CI treatment, plant N and P use efficiency in CAI treatment was enhanced by 25.1% and 25.3%, respectively. In CAI treatment, irrigation water was saved by 10.3% compared with CI, water use efficiency was the highest among the three irrigation treatments, and increased by 20.1% compared with CI.

**Key words:** alternate irrigation; maize; nutrition

## Experimental Study on Energy Gradient of Sediment Transportation in Spiral Pipe Flow ..... (60)

Wu Penglin (Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** Forced spiral flow can be produced in a circular pipe flow by erecting blades in the pipe. The velocity of spiral pipe flow with sediment can be decomposed into the circumferential vortex flow velocity and the axial flow velocity as normal pipe flow. The former acts as uplifting the sediment and the latter transports it. Therefore the transported sediment with the form of bed load can be changed as suspended load easily. In this paper, with the momentum law and the momentum moment law, the forced spiral flow was analysed and studied in theory and by experiment, which was in two states of clean water and sediment-laden water separately. The obtained results are: the energy gradient of spiral pipe flow can be expressed with Darcy's equation; it has more ability of sediment transportation than normal pipe flow at the same energy gradient; the additional energy gradient of uplifting sediment is proportional to the sediment concentration in water. It lays a reliable basis for studying sediment transportation in spiral flow.