

玉米拔节期水肥耦合效应研究^{*}

贺冬梅¹, 张崇玉², 王丹妮², 李盛勇², 胡先伟²

(1. 贵州大学 农学院, 贵阳 550025; 2. 贵州大学 生命科学院, 贵阳 550025)

摘 要:采用正交设计玉米拔节期水肥耦合试验表明,不同水肥条件下水分是玉米生长发育的决定性因素。对玉米拔节期株高的影响,水分和钾均达到了极显著水平,且水分的影响大于钾,氮和磷影响不显著。土壤持水量对玉米拔节期单株叶面积的影响达到极显著的水平,氮和钾均达到显著水平,磷的影响不显著。磷对根长有显著的影响,对根重的影响不显著。水分、氮、钾对玉米拔节期生物量的影响为正效应,磷为负效应。玉米拔节期的灌水利用率表现为,低水高肥达到最大,高水控制条件下玉米拔节期的灌水利用率均低于低水和中水。其中处理 3 ($W_1N_3P_3K_3$) 的灌水利用率达到最大,处理 7 ($W_3W_1P_3K_2$) 的灌水利用率最低。

关键词:玉米;拔节期;水肥耦合

中图分类号:S513.01

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)03-0164-03

Couple Effect of Water and Fertilizer in Maize Jointing Stage

HE Dong-mei¹, ZHANG Chong-yu², WANG Dan-ni², LI Sheng-yong², HU Xian-yong²

(1. College of Agronomy, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. College of Life Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: The coupling of water and fertilizer test adopted the design of perpendicularity in jointing stage of the maize indicated that the water was a decisive factor of the maize growth under the conditions of different water and fertilizer. To the influence of the height of maize in jointing stage, water and potassium reached the extremely prominent level, and water > potassium, nitrogen and phosphorus were not prominent. The influence on a leaf area of form in jointing stage of maize of the water-holding capacity of soil reached the extremely prominent level, nitrogen and potassium had reached the prominent level, the influence of the phosphorus is not prominent. Phosphorus had the prominent influence on the root, but to the weight of root is not prominent. The influence of water, nitrogen, potassium on biological quantity of jointing stage of the maize was the positive effect, phosphorus was negative. The irrigation rate of water during the maize jointing stage showed that the rate under controlled low water with high fertilizer was the highest, the rate under controlled high water in the maize jointing stage was lower than low water and media water. Deal with to irrigate water conservancy with to reach most heavy rate, The irrigation rate of treatment 3 was the highest, but the treatment 7 was the lowest.

Key words: maize; jointing stage; coupling of water and fertilizer

水肥耦合效应(Couple Effect of Water and Fertility)指农业生态系统中,土壤矿物元素与水分两个体系融为一体,相互作用,相互影响,对植物的生长发育产生的结果或现象^[1]。不同的土壤水分条件,作物对 N、P、K 的吸收和利用存在明显差异,不同施肥条件对作物的生长发育同样具有影响^[2-3]。土壤水分是作物吸收各种矿物营养元素的载体,它的多少决定了土壤中养分的运移速度和转化率;养分是维持作物正常生长的关键。只有合理的水肥配合,才能以水促肥,以肥调水,达到水分和养分的高效利用^[4]。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究试验地点位于贵州大学南区教学盆栽场,供试土

壤为黄色壤土,有机质含量为 3.77 g/kg,全氮 0.190%,全磷 1.498 g/kg,全钾 9.495 g/kg,碱解氮 181.02 mg/kg,速效磷 35.66 mg/kg,速效钾 354.71 mg/kg, pH 值 7.03,最大土壤田间持水量为 38.52%。

1.2 试验设计

水肥耦合试验在贵州大学南区教学盆栽场的防雨棚内进行。供试玉米品种为安单 136 号,2006 年 4 月 30 日播种,2006 年 5 月 9 日出苗,玉米整个生长期严格控制土壤含水量,并于拔节期测定玉米的株高、单株叶面积、根长、根重、生物学产量、植株养分含量和土壤的养分含量。

盆栽试验方案采用四因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交设计,总处理数为 9 个(表 1),各处理重复 5 次。除灌水量和施肥量

^{*} 收稿日期:2007-08-16

基金项目:贵州省科学技术基金项目(黔科合 20052026)

作者简介:贺冬梅(1981-),女,山西朔州人,硕士研究生,主要从事植物营养研究。E-mail: hdm416@126.com

通信作者:张崇玉(1960-),男,陕西杨陵人,教授,主要从事植物营养和环境方面的研究。E-mail: zhcy600116@sina.com

按照上述处理实施以外,其余管理措施相对一致,试盆置于防雨棚内。

1.3 测定方法

全氮采用凯氏定氮法,碱解氮采用碱解扩散法,全磷采用硫酸-高氯酸消化-钼锑抗比色法,速效磷采用碳酸氢钠浸提法,全钾采用酸溶火焰光度法,速效钾采用乙酸铵浸提火焰光度法,有机质采用重铬酸钾氧化外加热法^[5],土壤田间持水量采用威尔科克斯环刀法。

表 1 盆栽试验方案

处理号		占土壤田间 持水量/ %	肥料用量/ (g · 株 ⁻¹)		
			N	P	K
1	W ₁ N ₁ P ₁ K ₁	60	0.795	0.8	0.63
2	W ₁ N ₂ P ₂ K ₂	60	1.19	1.2	0.96
3	W ₁ N ₃ P ₃ K ₃	60	1.59	1.6	1.26
4	W ₂ N ₁ P ₂ K ₃	80	0.795	1.2	1.26
5	W ₂ N ₂ P ₃ K ₁	80	1.19	1.6	0.63
6	W ₂ N ₃ N ₁ K ₂	80	1.59	0.8	0.96
7	W ₃ W ₁ P ₃ K ₂	100	0.795	1.6	0.96
8	W ₃ N ₂ P ₁ K ₃	100	1.19	0.8	1.26
9	W ₃ N ₃ P ₂ K ₁	100	1.59	1.2	0.63

2 结果与分析

2.1 不同水肥耦合对玉米拔节期株高的影响

不同水肥条件下玉米平均株高的比较结果表明(表 2),不同土壤持水量条件下拔节期玉米的株高随土壤持水量的增加而增加,说明株高与土壤持水量之间存在正相关关系($R^2=0.999\ 5$),土壤持水量对株高的影响极显著(表 3),一般来说,玉米拔节期所需的水量约占整个生育期需水量的 70 % 左右^[6],该阶段土壤水分对株高的影响最为显著,可见在玉米的生长发育过程中要保证拔节期的充分供水。

表 2 不同水肥耦合对玉米拔节期生长的影响

处理号	株高 / cm	叶面积 / cm ²	根长 / cm	根重 / g	生物量 / g
W ₁ N ₁ P ₁ K ₁	70.3f	360.3d	71.5c	1.80	9.07
W ₁ N ₂ P ₂ K ₂	75.7ef	369.2d	90.0b	1.70	11.36
W ₁ N ₃ P ₃ K ₃	85.0e	517.0c	93.0b	1.56	14.16
W ₂ N ₁ P ₂ K ₃	107.0cd	597.4abc	111.0a	4.03	24.19
W ₂ N ₂ P ₃ K ₁	100.7d	546.0bc	121.5a	2.71	23.66
W ₂ N ₃ P ₁ K ₂	106.0cd	613.4abc	118.5a	2.38	24.33
W ₃ N ₁ P ₃ K ₂	125.7a	696.1a	122.5a	2.81	26.16
W ₃ N ₂ P ₁ K ₃	120.7ab	640.0ab	110.0a	4.29	33.99
W ₃ N ₃ P ₂ K ₁	114.0bc	637.4ab	115.5a	3.39	28.75

注:各列数字后面不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

方差分析结果表明,土壤持水量和钾肥对拔节期玉米的株高影响都达到极显著水平,其影响顺序为水分>钾>磷>氮,磷效应和氮效应均不显著。玉米进入拔节期后对土壤的水分消耗进入高峰期,植株开始旺盛生长,适宜的土壤持水量使得土壤中的养分向根系的移动速率和扩散速率加快,保证了作物对养分的吸收和利用,同时,钾在植物体内呈离子状态,主要以可溶性无机盐形式存在于细胞中,易流动,再分配的速度很快,再利用的能力也很强,增强了细胞膜的持水能力,使细胞膜保持稳定的透性。渗透势和透性的增强有利

于细胞从外界吸收水分。供钾充足时,气孔的开闭可随植物生理的需要而调节自如,使作物减少水分蒸腾,从而增强作物吸收水分的能力,而充足的水分保证植株对钾离子的吸收,达到以水促肥,以肥调水的目的,二者为正的交互效应。

2.2 不同水肥耦合对玉米拔节期单株叶面积的影响

叶面积是描述植物生长发育的一个重要参数,不同水肥条件下玉米平均最大叶面积的比较结果表明(表 2,4),玉米拔节期土壤水分是单株叶面积的决定性因素,达到极显著水平,其次为氮效应和钾效应达到显著水平,磷对玉米拔节期单株叶面积无显著影响。玉米进行光合作用的主要器官是叶片,可以认为玉米的干物质积累绝大部分来自叶片^[8-9]。玉米拔节期是营养生长进入生殖生长的阶段,是干物质积累的阶段,此时需要大量的水分和养分,氮素营养的丰缺直接影响到玉米营养体的生长发育。氮素营养充足,可保证有较大的叶面积进行光合作用,从而提高光合效率,增加干物质积累。同时如果供应过多的氮素,使作物的叶片肥大,碳水化合物过多,生物量降低。

表 3 不同水肥耦合对玉米拔节期株高的方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著水平
W	2826.056	2	1413.0280	125.4015	0.0000
N	135.7222	2	67.8611	0.5067	0.6118
P	246.0556	2	123.0278	2.0495	0.1612
K	166.7222	2	83.3611	6.2980	0.0096

表 4 不同水肥耦合对玉米拔节期单株叶面积方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著水平
W	825573.1	2	412786.5	42.38151	** 0.00000
N	67103.29	2	33551.64	3.44481	* 0.04416
P	44655.55	2	22327.78	2.29243	0.11738
K	67517.78	2	33758.89	3.46608	* 0.04340

注: * 为 $P<0.05$ 显著; ** 为 $P<0.01$ 极显著。

2.3 不同水肥耦合对玉米拔节期根系和生物量的影响

根系在土壤中能固定植物,保证植物的正常生长,并能作为养分的储藏库。对不同水肥条件下玉米拔节期根长、根重和生物量数据分析表明(表 2),根长、根重和生物量均随土壤持水量的增加而增加,这说明充足的水分供应可以显著促进玉米植株的生长。在相同水分供应的情况下,根长随施磷量的增加而增加,而对根重则无显著影响,这是因为磷对根生长的影响,主要不是表现在根重的变化上,而是表现在单位根重有效面积的差异上^[10]。在相同水分条件下,氮对根重的影响比较明显,在 W₁、W₂ 条件下,根重随施氮量的增加而降低;在 W₃ 的条件下,中氮根重均高于高氮和低氮根重,而中水低氮(处理 4 W₂N₁P₂K₃)的根重又高于高水低氮(处理 7 W₃N₁P₃K₂)和高水高氮(处理 9 W₃N₃P₂K₁),这说明合理的水氮配合施用是影响根重的重要因素,而并不仅仅是水分或者氮的单因素影响。钾对玉米根系的影响不显著,这可能是因为钾在植株体内是以离子状态存在的,移动性比较强,拔节期又是玉米需水的关键期,钾随水分的运移到植株体生长旺盛的器官中,对根系的影响不显著。

根据不同的土壤持水量和施肥量与玉米的生物量作回归分析,建立了玉米拔节期生物量的水肥效应方程:

$$Y = -22.0298 + 45.25833W + 3.2688N - 1.42083P + 5.65676K$$

式中: Y ——玉米的生物量(g/株); W ——土壤持水量(%); N ——氮肥的施用量(g/株); P ——磷肥的施用量(g/株); K ——钾肥的施用量(g/株)。回归方程方差分析(表5)表明,不同土壤持水量和施肥量与玉米生物量的回归方程达到了显著水平($F=13.7061^*$, $R^2=0.932004$),说明回归拟合较好。从该回归方程可以看出各因素效应系数对生物量的影响程度, W 、 N 、 K 对玉米拔节期生物量的影响为正效应,而 P 则为负效应,各因素效应系数大小依次为水分 $>K>N$, P 为负效应。土壤持水量对拔节期玉米生物量的影响最为敏感,土壤持水量的多少对玉米的生物量起主导作用,这是因为土壤持水量的增加使土壤水势升高,对养分向根系表面的流动有明显的促进作用。拔节期是玉米由营养生长向生殖生长的过渡阶段,需要大量的水分和养分,氮主要用于蛋白质的合成和干物质的积累,钾在植物体内流动性很强,易于转移到地上部,并且随植物生长中心转移而转移,在拔节期,对玉米生物量的影响表现为钾效应大于氮效应。在 W_1 的条件下,水和磷对玉米生物量的影响表现为正的耦合效应,在 W_2 、 W_3 的条件下,水和磷表现为负的耦合效应。所以,适宜的水磷配比,对玉米生物量有重要的影响。

表 5 不同水肥耦合生物量回归方程方差分析

方差来源	平方和	df	均方	F 值	显著水平
回归	522.7290	4	130.6822	13.70671	0.01324
剩余	38.1367	4	9.5342		
总的	560.8657	8	70.1082		

相关系数 $R=0.965403$ 决定系数 $R^2=0.932004$

2.4 不同水肥耦合对玉米拔节期灌水利用率的影响

灌水利用率 = 生物学产量 / 总灌水量。

表 6 不同水肥耦合对玉米拔节期灌水利用率的影响

编号	处 理	灌水量/ L	生物量/ (g·株 ⁻¹)	灌水利用率/ (g·株 ⁻¹ ·L ⁻¹)
1	$W_1N_1P_1K_1$	2.3	9.07	3.94
2	$W_1N_2P_2K_2$	2.3	11.36	4.93
3	$W_1N_3P_3K_3$	2.3	14.16	6.16
4	$W_2N_1P_2K_3$	5.8	24.19	4.17
5	$W_2N_2P_3K_1$	5.8	23.66	4.08
6	$W_2N_3P_1K_2$	5.8	24.33	4.19
7	$W_3N_1P_3K_2$	9.3	26.16	2.81
8	$W_3N_2P_1K_3$	9.3	33.99	3.65
9	$W_3N_3P_2K_1$	9.3	28.75	3.09

玉米拔节期灌水利用率的研究表明(表6),在 W_1 水分条件下,灌水利用率随施肥量的增加而显著增加,在 W_2 水分控制下,处理4、5、6之间的灌水利用率无显著差异, W_3 控制条件下玉米拔节期的灌水利用率均低于 W_1 、 W_2 。其中处理3的灌水利用率达到最大,处理7的灌水利用率最低,这可能是因为土壤持水量低的情况下,降低了养分的流失和水分的损失,提高了根对养分和水分的吸收利用。反之,土壤持水量高的条件下,灌水利用率降低,可能是因为漏水漏肥严重,不能被土壤持留,养分随水分渗入土壤深层,同时造成养分的淋失,这与王平等的研究结果一致^[11]。

3 结 论

(1)水肥耦合试验的研究表明,玉米拔节期株高与土壤持水量呈正相关关系,水分是株高的主要影响因素,其次为钾、磷、氮。

(2)叶片是植株进行光合作用的主要器官,在缺水条件下,生长受抑制。叶面积扩展受到限制,土壤持水量对叶面积的影响达到了极显著水平,氮和钾均达到了显著水平,而磷的影响不显著。

(3)拔节期玉米的根长、根重、生物量均随土壤持水量的增加而增加,磷对根长有显著影响,而对根重则无显著影响。不同水肥条件下对玉米的生物量作回归分析得出,不同土壤持水量和施肥量与玉米生物量的回归方程达到显著水平,其中 W 、 N 、 K 对玉米拔节期生物量的影响为正效应,而 P 则为负效应,各因素对玉米拔节期生物量的影响顺序依次为 $W>K>N$, P 为负效应。

(4)玉米拔节期的灌水利用率并不是随土壤持水量的增加而增加,相反,土壤持水量低的处理的利用率高于土壤持水量高的处理。同时灌水利用率高并不意味着在实际生产中有利,水分利用率的增加是以牺牲产量为代价的^[12]。

参考文献:

[1] 梁运红,依艳丽,尹英敏,等.水肥耦合效应对辣椒产量影响初探[J].土壤通报,2003,34(4):262-266.

[2] 王彩绒,田霄鸿,李生秀.沟垄覆膜集雨栽培对冬小麦水分利用效率及产量的影响[J].中国农业科学,2004,37(2):208-214.

[3] 谷茂.中国半干旱区降水的农业高效利用[M].北京:中国农业出版社,2001:1-10.

[4] 翟丙年,李生秀.冬小麦产量的水肥耦合模型[J].中国工程科学,2002,4(9):69-73.

[5] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:高等教育出版社,2001.

[6] 吕刚,史东梅.三峡库区春玉米水肥耦合效应研究[J].水土保持学报,2005,19(3):192-195.

[7] 盖均镒.试验统计方法[M].北京:中国农业出版社,2000.

[8] 黄智鸿,申林,孙刚,等.超高产玉米叶面积及地上部干物质积累与分配[J].安徽农业科学,2007,35(8):2227-2228.

[9] 郑丕尧.作物生理学导论[M].北京:北京农业大学,1992.

[10] 胡蔼堂.植物营养学[M].北京:中国农业大学出版社,1995.

[11] 王平,陈新平,田长炎,等.不同水氮管理对棉花产量、品质及养分平衡的影响[J].中国农业科学,2005,38(4):761-769.

[12] 刘晓宏,肖洪浪,赵菊良.不同水肥条件下春小麦耗水量和水分利用率[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):56-59.