

# 不同生育期灌水和施氮对夏玉米生长、产量和水分利用效率的影响

陈静静,张富仓,周罕觅,赵永刚,魏新光

(西北农林科技大学 旱区农业水土工程教育部重点实验室,陕西 杨凌 712100)

**【摘要】** 【目的】研究不同生育期灌水和施氮对玉米各生育期生长、产量和水分利用效率的影响。【方法】以夏玉米蠡玉 16 号为试验材料,设置了 7 个水分处理(全生育期灌水、苗期+拔节期灌水、苗期+抽穗期灌水、苗期+灌浆期灌水、拔节期+抽穗期灌水、拔节期+灌浆期灌水、抽穗期+灌浆期灌水)和 3 个氮素水平(不施氮肥、低氮(60 kg/hm<sup>2</sup>)、高氮(180 kg/hm<sup>2</sup>)),研究不同生育期灌水和施氮对夏玉米生长、产量及水分利用效率的影响。【结果】不同生育期灌水和施氮对夏玉米的株高、叶面积、地上部干物质、产量及水分利用效率均有一定的影响。与全生育期灌水相比,在平均氮肥(各指标 3 个氮素处理的平均值)水平下,苗期+灌浆期灌水处理及抽穗期+灌浆期灌水处理的株高、叶面积、地上部干物质累积量和籽粒产量显著降低,且后者的水分利用效率最低。相比较而言,苗期+拔节期灌水、苗期+抽穗期灌水及拔节期+抽穗期灌水处理玉米产量的下降幅度不大,而灌溉水利用效率却有较大提高。【结论】在试验地区,与全生育期灌水相比,苗期+拔节期灌水、苗期+抽穗期灌水以及拔节期+抽穗期灌水处理有利于维持玉米产量并提高水分利用效率,而施氮也可以显著增加玉米的产量和水分利用效率。在本试验条件下,以高氮全生育期灌水处理的产量最高。

**【关键词】** 生育时期;夏玉米;干物质累积量;灌溉水分利用效率

**【中图分类号】** S513.071;S513.062

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1671-9387(2011)01-0089-07

## Effect of irrigation at different growth stages and nitrogen fertilizer on maize growth, yield and water use efficiency

CHEN Jing-jing, ZHANG Fu-cang, ZHOU Han-mi,

ZHAO Yong-gang, WEI Xin-guang

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semi-arid Areas, Ministry of Education, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** 【Objective】 The field experiment was conducted to study the effect of irrigation at different growth stages and nitrogen fertilizer on maize growth, yield and water use efficiency. 【Method】 With Liyu 16 as test material, the field experiments included seven irrigation treatments (irrigation at the whole growth period, irrigation at seedling and jointing stage, irrigation at seedling and heading stage, irrigation at seedling and filling stage, irrigation at jointing and heading stage, irrigation at jointing and filling stage, irrigation at heading and filling stage) and three nitrogen levels (non-nitrogen, 0 kg/hm<sup>2</sup>; low nitrogen, 60 kg/hm<sup>2</sup>; high nitrogen, 180 kg/hm<sup>2</sup>) to study the effect of irrigation at different growth stages and nitrogen fertilizer on maize growth, yield and water use efficiency. 【Result】 There were some effects of irrigation at different growth stages and nitrogen fertilizer levels on plant height, leaf area, dry matter accumulation,

\* [收稿日期] 2010-05-13

[基金项目] 国家自然科学基金项目(50879073);国家科技支撑计划项目(2007BAD88B10)

[作者简介] 陈静静(1985—),女,陕西咸阳人,硕士,主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail:kuailichenjing@126.com

[通信作者] 张富仓(1962—),男,陕西武功人,教授,博士生导师,主要从事节水灌溉理论与技术研究。

E-mail:zhangfc@nwsuaf.edu.cn

yield and water use efficiency of maize. Compared with irrigation at the whole growth period (CK), there was significant reduction on the plant height, leaf area, dry matter accumulation, yield for irrigation at seedling + filling stage and irrigation at heading + filling stage, and the lowest water use efficiency. There was no significant decline in maize yield with irrigation treatment at seedling + jointing stage, seedling + heading stage, jointing + heading stage, but irrigation water use efficiency was greatly improved. 【Conclusion】 In the test field, compared with irrigation at the whole growth period, there was no significant decrease of maize yield with irrigation treatment at seedling + jointing stage, seedling + heading stage, jointing + heading stage, but water use efficiency had been greatly improved. Nitrogen fertilizer had significant increase in maize yield and water use efficiency.

**Key words:** growth stages; maize; dry matter accumulation; water use efficiency

水分是影响旱地农业生产的最主要因素,而水分和养分是一对相互影响的因子,水分不足会影响营养物质的合成和转运,降低作物产量和品质,肥力不足则会影响水分的吸收和利用<sup>[1]</sup>。因此水分和养分的高效结合是发展旱地农业、节水农业的核心和关键。有关水分和养分之间关系的研究表明,不同时间灌水、追肥和不同灌水方式均能改善作物的生长指标、根系分布、产量及其构成因素<sup>[2-8]</sup>。邢维芹等<sup>[9]</sup>对陕西杨凌地区大田夏玉米在拔节期和抽穗期进行灌溉时水和氮肥的不同用量和空间耦合处理的研究发现,夏玉米全生育期灌水量从 2 250 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 下降到 600 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 时,玉米产量仅下降 15.26%,这表明在杨凌地区的夏玉米生产中,节约灌溉水用量的潜力很大。宋海星等<sup>[10]</sup>的研究表明,在不同水氮供应条件下,灌水可以明显提高氮肥的累积利用效率,说明灌水可以促进作物对氮肥的吸收利用,从而提高作物的经济产量。但目前相关研究主要集中在水分和肥料用量上的单一配合方面,而有关不同生育期灌水和施氮水平对玉米生长、产量和水分利用效率影响的研究尚未见报道。为此,本研究通过大田玉米试验,研究了不同生育期灌水和氮肥对夏玉米生长指标、产量和水分利用效率的影响,以期更加清楚地了解玉米在各个生育阶段的需水需肥规律,探明玉米最佳灌水时期和水氮互作模式,为夏玉米肥料和灌溉水的有效利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验于 2009-06-10 在西北农林科技大学节水灌溉试验站进行。试验站位于北纬 34°20′,东经 108°24′,海拔 521 m,属于暖温带季风半湿润气候区,年平均气温为 12.9 ℃,多年平均降水量 635.1 mm,年均蒸发量 1 440 mm。试验区土壤为塬土,

0~100 cm 土层的田间持水量为 23%~25%,凋萎含水量为 8.5% (以上均为质量含水量);0~20 cm 土层土壤的 pH 为 8.14,有机质含量 12.02 g/kg,全氮含量 0.89 g/kg,速效磷含量 8.18 mg/kg,碱解氮含量 55.3 mg/kg。

### 1.2 试验设计

试验设水分和氮素 2 个因素,其中水分处理设 7 个水平,分别为全生育期灌水(CK)(苗期、拔节期、抽穗期和灌浆期各灌 50 mm)、苗期+拔节期灌水(T1,苗期和拔节期各灌 50 mm)、苗期+抽穗期灌水(T2,苗期和抽穗期各灌 50 mm)、苗期+灌浆期灌水(T3,苗期和灌浆期各灌 50 mm)、拔节期+抽穗期灌水(T4,拔节期和抽穗期各灌 50 mm)、拔节期+灌浆期灌水(T5,拔节期和灌浆期各灌 50 mm)、抽穗期+灌浆期灌水(T6,抽穗期和灌浆期各灌 50 mm)。氮素设 3 个水平,分别为不施氮肥(ZN, 0 kg/hm<sup>2</sup>)、低氮(LN, 60 kg/hm<sup>2</sup>)和高氮(HN, 180 kg/hm<sup>2</sup>)。氮肥施用尿素(含 N 46%),磷肥施用过磷酸钙(含 P 16%),施入量为 180 kg/hm<sup>2</sup>。氮肥和磷肥均在播前一次性施入。试验按随机区组设计,小区面积 10 m<sup>2</sup>,水氮组合共 21 个处理,每处理重复 2 次,共 42 个小区。供试玉米品种为“蠡玉 16”号,06-18 播种,播前对种子进行精选,以保证纯度和出苗整齐,06-24 出苗,10-13 收获。玉米生育期内的降雨量和灌水时间见表 1。

### 1.3 测定项目及方法

分别在玉米的苗期、拔节期、抽穗期、灌浆期各取 5 株,测定株高、叶长和叶宽,计算叶面积(叶面积=叶长×叶宽×0.75)。将样品 105 ℃ 杀青 30 min,然后于 80 ℃ 烘至恒质量,用 1/100 天平称质量测定干物质。成熟期时,每小区随机选取 10 株玉米,全部收获地上部分,然后将秸秆和籽粒分开,风干后称质量,计算籽粒产量,灌溉水利用效率=籽粒

产量/灌溉水量。

表 1 玉米不同生育期的降雨量和灌水日期

Table 1 Rainfall and irrigation treatment in maize growth period

项目 Item	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	抽穗期 Heading stage	灌浆成熟期 Filling stage	全生育期 Whole stages
有效降雨量/mm Rainfall	46.0	87	84.2	82.9	300.1
灌水日期 Irrigation date	07-16	08-06	08-25	09-21	

#### 1.4 数据处理

采用 DPS 软件进行方差分析,选用 Duncan 新复极差法进行多重比较( $P < 0.05$  表示差异显著, $P < 0.01$  表示差异极显著)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生育期灌水和施氮对夏玉米株高和叶面积的影响

株高和叶面积是反映作物生长的重要指标,叶是物质转化的基础,叶面积直接反映了作物光合作用的能力。表 2 结果表明,不同生育期灌水和施氮

对夏玉米株高和叶面积的影响程度并不相同。

不同生育期灌水处理对拔节期株高和叶面积及抽穗期和灌浆期叶面积的影响达显著或极显著水平;氮素对苗期和拔节期的株高和叶面积及抽穗期和灌浆期的株高有显著或极显著影响;水氮互作对苗期的株高、拔节期的叶面积及抽穗期、灌浆期的株高和叶面积的影响均达显著或极显著水平。由于苗期植株比较小,土壤墒情能基本满足玉米生长的需求,因此各水分处理之间差异不显著。但随着生育期的推进,玉米对水分和氮素的需求增大,所以各水分和氮肥处理之间表现出显著差异。

表 2 不同生育期灌水和施氮对夏玉米株高和叶面积的影响

Table 2 Effect of irrigation at different growth stages and nitrogen fertilizer on plant height and leaf area of maize

水分处理 Water treatment	施氮水平 Nitrogen level	苗期 Seedling stage		拔节期 Jointing stage		抽穗期 Heading stage		灌浆期 Filling stage	
		株高/cm Plant height	叶面积/cm <sup>2</sup> Leaf areas						
CK	HN	67.0 ab	862.0 a	174.7 a	5 035.6 a	228.3 cd	6 387.3 a	226.4 bcde	5 763.3 abc
	LN	66.6 ab	786.4 abcd	173.9 ab	4 929.1 b	235.7 ab	6 405.9 a	235.8 ab	5 763.3 abc
	ZN	58.7 cd	576.0 ef	162.9 efgh	4 255.7 gh	240.5 a	6 446.0 a	231.8 abc	5 384.1 cdefgh
T1	HN	68.7 ab	789.1 abcd	169.4 abcdef	4 830.1 c	238.6 a	5 909.9 bcd	235.7 ab	4 601.3 i
	LN	67.9 ab	749.5 abcd	165.1 cdefg	4 657.9 d	224.3 de	5 807.1 bedef	228.9 bcd	5 492.3 bedefg
	ZN	63.1 bcd	574.6 ef	161.2 fghi	3 944.1 i	215.7 gh	5 429.6 fg	207.3 h	5 252.3 efgh
T2	HN	66.9 ab	714.0 bcd	157.1 ghi	4 564.5 d	224.1 de	5 595.1 cdefg	226.5 bcde	5 579.6 bcdef
	LN	68.4 ab	730.3 bcd	159.4 ghi	4 326.5 fg	227.4 cde	5 494.7 efg	219.1 defg	5 313.8 defgh
	ZN	64.5 bcd	553.0 efg	147.3 jk	3 811.1 j	215.8 gh	5 924.5 bcd	211.6 gh	5 122.6 gh
T3	HN	69.8 ab	826.3 ab	156.0 hi	4 382.5 ef	230.6 bcd	5 970.2 bc	233.0 abc	5 043.4 h
	LN	66.1 abc	718.4 bcd	156.4 hi	4 240.9 gh	216.8 fgh	5 898.9 bcd	215.7 fgh	5 030.9 h
	ZN	50.3 e	453.0 g	143.7 k	3 790.0 j	204.0 j	5 567.3 defg	195.5 i	4 394.2 i
T4	HN	67.7 ab	797.3 abc	173.3 abc	4 983.1 ab	234.3 abc	6 171.4 ab	236.3 ab	5 911.8 ab
	LN	63.8 bcd	662.8 de	165.4 cdefg	4 818.9 c	220.5 efg	5 730.1 cdef	213.0 fgh	5 862.9 ab
	ZN	62.4 bcd	505.2 fg	154.3 ij	3 981.5 i	225.2 de	5 743.1 cdef	233.8 ab	5 165.7 fgh
T5	HN	66.6 ab	742.4 abcd	171.0 abcde	4 454.8 e	225.3 de	5 427.6 fg	242.0 a	5 384.7 cdefgh
	LN	66.9 ab	697.6 cd	165.6 bcdefg	4 412.0 ef	223.5 def	5 936.5 bcd	230.3 bc	5 651.0 bcde
	ZN	65.8 bc	525.3 fg	157.7 ghi	3 932.7 i	212.0 hi	5 827.5 bcde	218.0 efg	5 727.4 bcd
T6	HN	66.8 ab	715.3 bcd	171.8 abcd	4 654.5 d	223.5 def	5 823.1 bedef	226.5 bcde	5 395.3 cdefgh
	LN	73.8 a	753.2 abcd	169.7 abcdef	4 765.6 c	214.0 gh	5 682.2 cdefg	230.3 bc	6 169.8 a
	ZN	58.0 d	525.4 fg	164.4 defgh	4 212.2 h	205.5 ij	5 319.3 g	222.8 cdef	5 769.4 abc
显著性检验(P值) Significant level (P value)									
水分 Water		0.734 6	0.353 3	<0.000 1	0.000 2	0.062 6	0.018 6	0.398 9	0.026 7
氮素 Nitrogen		0.005 6	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.023 4	0.503 8	0.041 7	0.142 2
水分×氮素 Water×Nitrogen		0.014 2	0.278 6	0.462 7	<0.000 1	<0.000 1	0.002 7	<0.000 1	0.000 2

注:表中数据为 2 个重复的平均值,同列数据后标不同小写字母者表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。

Note: The data in table were the averages of 2 repeated experiments. Different small letters in the same column meant significant difference among treatments at 0.05 level. The same with the below.

在平均氮肥(各指标 3 个氮素处理的平均值)水平下,苗期+拔节期灌水、苗期+抽穗期灌水、苗期+灌浆期灌水、拔节期+抽穗期灌水、拔节期+灌浆期灌水和抽穗期+灌浆期灌水处理时,其拔节期的株高分别较全生育期灌水的对照降低了 3.09%, 9.35%, 10.85%, 3.63%, 3.38%, 1.70%, 其中苗期+灌浆期灌水处理的降幅最大,且除苗期+灌浆期灌水处理外,其他各水分处理之间差异不显著,随着施氮量的增加各灌水处理的株高呈增大趋势。

与株高相似,平均氮肥水平下,在苗期+拔节期灌水、苗期+抽穗期灌水、苗期+灌浆期灌水、拔节期+抽穗期灌水、拔节期+灌浆期灌水、抽穗期+灌浆期灌水处理时,其拔节期玉米的叶面积较全生育期灌水分别降低了 5.54%, 10.68%, 12.71%, 3.07%, 9.99%, 4.14%;抽穗期叶面积较全生育期灌水降低了 10.88%, 11.56%, 9.37%, 8.29%, 10.64%, 12.55%;灌浆期叶面积较全生育期灌水降低了 9.79%, 5.85%, 14.94%, 3.35%, 4.39%, 8.09%。对该结果进一步分析可知,施氮对拔节期、抽穗期和灌浆期叶面积的影响与株高相同,即除苗期+抽穗期灌水、拔节期+灌浆期灌水和抽穗期+灌浆期灌水处理外,其他各水分处理的株高和叶面积基本均随着施氮量的增加而增加,说明施氮对玉米的株高和叶面积有一定的促进作用。上述结果表明,在平均氮肥条件下,各灌水处理的株高和叶面积在拔节期、抽穗期和灌浆成熟期均低于对照,拔节期+抽穗期灌水处理的降幅最小,且除抽穗期外,其他各生育期株高和叶面积均以苗期+灌浆期灌水处理的降幅最大,抽穗期的叶面积以抽穗期+灌浆期灌水处理的降幅最大。

总体来看,在 3 种施氮条件下,整个生育期内各水分处理玉米株高和叶面积的变化趋势表现一致,除拔节期+灌浆期灌水和抽穗期+灌浆期灌水处理外,其余处理的株高及叶面积均随施氮量的增加而增大,且任何一个生育期不灌水均会对株高和叶面积产生一定程度的抑制作用,其中以苗期+灌浆期

灌水处理的影响最大。这是因为在玉米的拔节期和抽穗期,其营养生长和生殖生长并进,对水分和养分的需求较大,因此在这 2 个生育阶段水分或氮素缺乏都会对玉米的生长产生明显的抑制作用,且后期灌水的改善效果并不明显。

## 2.2 不同生育期灌水和施氮对夏玉米地上部干物质累积量的影响

从表 3 可以看出,在整个生育期内,水分和氮素对玉米地上部干物质累积量的影响在拔节期、抽穗期和灌浆期均达到极显著水平;水分和氮素互作对拔节期影响极显著。在相同施氮条件下,各水分处理之间地上部干物质累积量的差异程度不同;苗期各灌水处理间在相同施氮条件下差异不显著,说明苗期灌水对地上部干物质累积影响不大。

从表 3 还可以看出,在平均氮肥条件下,苗期+拔节期灌水、苗期+抽穗期灌水、苗期+灌浆期灌水、拔节期+抽穗期灌水、拔节期+灌浆期灌水、抽穗期+灌浆期灌水处理时,其拔节期地上部干物质累积量较全生育期灌水处理分别降低 14.55%, 28.90%, 40.57%, 27.06%, 30.63%, 29.09%;抽穗期地上部干物质累积量较全生育期灌水处理分别降低 23.30%, 13.30%, 38.64%, 12.22%, 20.84%, 25.08%;灌浆期地上部干物质累积量较全生育期灌水处理分别降低 18.14%, 23.88%, 30.68%, 25.41%, 17.51%, 31.93%;除灌浆期外,其他各生育期玉米地上部干物质累积量均以苗期+灌浆期灌水处理的降幅最大,灌浆期地上部干物质累积量以抽穗期+灌浆期灌水处理的降幅最大,这可能是由于玉米生长前期水分不足使玉米的营养生长受到抑制,抽穗期与灌浆期灌水对地上部干物质累积量的补偿作用不大所致。在各生育期,施氮对玉米地上部干物质累积量的影响均随着施氮量的增加而增大,且在 3 种施氮水平下,不施氮处理明显抑制了作物的生长,干物质累积较其他 2 种施氮处理明显降低。

表 3 不同生育期灌水和施氮对夏玉米地上部干物质累积量的影响

Table 3 Effect of irrigation at different growth stages and nitrogen fertilizer on dry matter accumulation of maize

水分处理 Water treatment	施氮水平 Nitrogen level	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	抽穗期 Heading stage	灌浆期 Filling stage
CK	HN	8.84 a	74.15 a	175.10 a	301.46 a
	LN	9.65 a	72.35 a	159.78 ab	288.37 ab
	ZN	7.16 a	60.71 de	131.55 bcdef	217.19 cd
T1	HN	7.17 a	65.38 bc	140.26 abcde	236.77 bc
	LN	8.97 a	58.29 ef	110.93 efg	228.14 bcd
	ZN	6.15 a	53.40 gh	106.59 efg	193.51 cd

续表 3 Continued table 3

水分处理 Water treatment	施氮水平 Nitrogen level	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	抽穗期 Heading stage	灌浆期 Filling stage
T2	HN	8.31 a	52.29 hi	157.42 abc	222.38 cd
	LN	9.65 a	46.62 jk	132.83 bcdef	210.85 cd
	ZN	6.38 a	45.40 kl	114.01 defg	181.10 cd
T3	HN	8.20 a	67.80 b	105.14 efg	210.20 cd
	LN	9.20 a	55.34 fgh	96.56 fg	181.83 cd
	ZN	5.37 a	53.50 gh	84.50 g	167.41 d
T4	HN	7.02 a	63.13 cd	150.22 abcd	206.52 cd
	LN	8.31 a	47.19 jk	137.69 abcde	200.56 cd
	ZN	6.77 a	40.81 m	121.55 cdefg	194.91 cd
T5	HN	7.88 a	54.13 gh	140.70 abcde	236.19 bc
	LN	7.69 a	46.72 jk	118.41 defg	228.52 bcd
	ZN	6.80 a	42.90 lm	110.11 efg	200.97 cd
T6	HN	8.33 a	57.14 efg	149.59 abcd	192.30 cd
	LN	8.86 a	47.13 jk	109.83 efg	175.05 cd
	ZN	5.02 a	42.66 lm	90.06 g	181.99 cd
显著性检验( <i>P</i> 值) Significant level ( <i>P</i> value)					
水分 Water		0.319	<0.000 1	<0.000 1	0.000 2
氮素 Nitrogen		<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.001 9
水分×氮素 Water×Nitrogen		0.995	0.000 1	0.919 6	0.821 9

## 2.3 不同生育期灌水和施氮对夏玉米产量的影响

水分和氮素供应不足均会导致玉米减产,不同生育期灌水和施氮对玉米产量的影响程度不同。从表 4 可以看出,灌水和施氮对玉米穗粒质量、籽粒产

量的影响均达到极显著水平,氮素对穗长的影响达到极显著水平,且随着施氮量的增加,产量的各构成因素均呈增加趋势。

表 4 不同生育期灌水和施氮对夏玉米产量及其构成因素和水分利用效率的影响

Table 4 Effect of irrigation at different growth stages and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency of maize

水分处理 Water treatment	施氮水平 Nitrogen level	穗长/cm Spike length	穗粒质量/ (g·株 <sup>-1</sup> ) Grain weight per spike	籽粒产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> ) Grain yield	灌溉水利用效率/ (kg·m <sup>-3</sup> ) Water use efficiency
CK	HN	17.2 a	197.62 a	8 206.30 a	4.10 d
	LN	16.6 abc	181.88 abcd	7 221.68 ab	3.61 d
	ZN	16.1 abc	164.70 bcde	6 838.12 bc	3.42 d
T1	HN	16.8 abc	180.32 abcd	7 212.83 ab	7.51 ab
	LN	16.3 abc	161.83 bcde	6 823.30 bc	6.82 abc
	ZN	16.0 abc	154.08 cde	6 363.38 bc	6.36 abc
T2	HN	17.1 ab	181.24 abcd	7 449.45 ab	7.65 a
	LN	16.4 abc	170.12 abcde	6 954.94 bc	6.95 abc
	ZN	15.6 c	153.47 de	6 338.79 bc	6.74 abc
T3	HN	16.6 abc	178.01 abcd	7 030.45 bc	7.43 ab
	LN	16.4 abc	168.73 abcde	6 549.29 bc	6.55 abc
	ZN	15.9 bc	143.74 e	6 449.54 bc	6.55 abc
T4	HN	16.6 abc	183.45 ab	7 338.14 ab	7.33 ab
	LN	16.2 abc	167.54 bcde	6 701.70 bc	6.70 abc
	ZN	16.1 abc	158.94 bcde	6 757.64 bc	6.75 abc
T5	HN	16.4 abc	172.20 abcde	7 087.89 ab	6.97 abc
	LN	16.3 abc	167.50 bcde	6 700.01 bc	6.58 abc
	ZN	15.8 c	153.14 de	6 325.87 bc	6.25 bc
T6	HN	16.6 abc	184.33 ab	7 223.36 ab	7.37 ab
	LN	16.3 abc	157.42 bcde	6 296.82 bc	6.29 bc
	ZN	15.5 c	148.40 e	5 935.96 c	5.93 c
显著性检验( <i>P</i> 值) Significant level ( <i>P</i> value)					
水分 Water		0.075 4	0.004 7	0.001 9	<0.000 1
氮素 Nitrogen		<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
水分×氮素 Water×Nitrogen		0.990 8	0.985 2	0.981 0	0.995 7

由表 4 可知,在平均氮肥条件下,苗期+拔节期灌水、苗期+抽穗期灌水、苗期+灌浆期灌水、拔节期+抽穗期灌水、拔节期+灌浆期灌水、抽穗期+灌浆期灌水处理的穗长较全生育期灌水分别降低 1.60%,1.60%,2.00%,2.00%,2.81%,3.01%,其中以抽穗期+灌浆期灌水处理的降低幅度最大;上述各灌水处理的穗粒质量较全生育期灌水分别降低 8.81%,7.23%,9.87%,6.30%,9.44%,9.93%,其中以抽穗期+灌浆期灌水处理的降低幅度最大,其次为苗期+灌浆期灌水处理。

从表 4 还可以看出,全生育期灌水(CK)及高氮处理的籽粒产量最高,达 8 206.30 kg/hm<sup>2</sup>。与全生育期灌水(CK)相比,在平均氮肥条件下,苗期+拔节期灌水、苗期+抽穗期灌水、苗期+灌浆期灌水、拔节期+抽穗期灌水、拔节期+灌浆期灌水、抽穗期+灌浆期灌水处理的籽粒产量分别降低 8.83%,6.84%,10.05%,6.60%,9.67%和 12.62%,其中减产幅度最大的是抽穗期+灌浆期灌水处理,其次是苗期+灌浆期灌水处理,说明玉米生长前期相邻 2 个生育期不灌水,会使玉米的营养生长受到抑制,生长后期灌水对籽粒产量的改善作用不大。值得注意的是,拔节期+抽穗期灌水处理的减产幅度最小,说明拔节期和抽穗期是玉米产量形成的关键时期。

#### 2.4 不同生育期灌水和施氮对夏玉米水分利用效率的影响

从表 4 可以看出,灌水和施氮对夏玉米灌溉水利用效率有极显著影响,但其交互作用的影响并不显著,随着施氮量的增加,灌溉水利用效率呈增加趋势。与全生育期灌水(CK)相比,在平均氮肥条件下,苗期+拔节期灌水、苗期+抽穗期灌水、苗期+灌浆期灌水、拔节期+抽穗期灌水、拔节期+灌浆期灌水、抽穗期+灌浆期灌水处理的灌溉水利用效率分别增加了 85.89%,91.75%,84.46%,86.70%,77.90%,76.01%,全生育期灌水处理的灌溉水利用效率均低于其他各灌水处理,各生育期灌水处理中,以抽穗期+灌浆期灌水处理的灌溉水利用效率最低。

进一步分析表明,在平均氮肥条件下,结合产量和灌溉水利用效率可以看出,抽穗期+灌浆期灌水处理的产量降低幅度最大,且灌溉水利用效率最低。相比较而言,苗期+拔节期灌水、苗期+抽穗期灌水以及拔节期+抽穗期灌水处理的产量下降幅度不大,而灌溉水利用效率却有较大提高。

### 3 讨论

灌水、降雨和施氮是影响作物生长和产量的主要

因素。在相同氮肥水平下,对作物不同生育期进行灌水可以改善作物的生长,促进作物对氮素的吸收,达到以水促肥,以肥调水的目的。研究表明,水肥对产量的影响在一定范围内表现出明显的正效应,二者之间还存在着显著的耦合效应,即高水配合高肥时的增产效应加大,肥力增产效应随水分的提高而提高。同样水分的增产效应也随肥力的提高而增大<sup>[11]</sup>,因此应根据不同的灌水量合理配施肥料。詹其厚等<sup>[12]</sup>研究表明,水、氮配合可以提高玉米的产量和经济效益,灌溉较不灌溉增产 10.9%,经济效益提高 11.7%,施氮增产 77%~90%,经济效益提高 82.8%~84.1%,水、肥利用效率可以提高 70%左右,因此,水肥配合是玉米高产、稳产的重要措施。

本试验结果表明,在作物关键生育期灌水和施氮对玉米的生长和产量可以起到积极的促进作用。在本试验中,玉米整个生育期的降雨量主要集中在拔节前期(07-26 和 07-30)、抽穗后期(08-28)以及灌浆前期(09-11—09-13),但拔节期和抽穗期是玉米营养生长和生殖生长的并进阶段,由于雨量分布的不均匀,所以拔节期和抽穗期灌水对玉米的株高、叶面积和地上部干物质累积量、产量及灌溉水利用效率有显著影响。在平均氮肥条件下,苗期+拔节期灌水、苗期+抽穗期灌水以及拔节期+抽穗期灌水对作物生长和产量及水分利用效率均有很大的改善作用,玉米生长前期相邻 2 个生育期不灌水会导致显著减产,从而引起灌溉水利用效率显著降低。随着施氮量的增加,各生长指标和产量及水分利用效率均有所增加,说明施氮可在一定范围内增加产量,提高水分利用效率。

本研究还发现,从试验各指标及产量的双因素方差分析结果来看,施氮作用大于灌水效应,这可能是由于玉米生长后期降雨量较多,从而掩盖了灌水效应。另外,由于大田试验时降雨等气候条件的影响较大,因而应该进行连续多年试验才能取得具有代表性的结果。

### 4 结论

1)不同生育期灌水和施氮对玉米株高和叶面积的影响程度不同。不同生育期灌水处理对拔节期株高和叶面积、抽穗期和灌浆期叶面积的影响达显著或极显著水平。氮素对苗期、拔节期的株高和叶面积及抽穗期灌浆期的株高有显著或极显著影响。水氮互作对苗期的株高、拔节期的叶面积及抽穗期、灌浆期的株高和叶面积影响显著或极显著。在平均氮

肥条件下,各灌水处理的株高和叶面积在拔节期、抽穗期和灌浆成熟期均低于对照,拔节期+抽穗期灌水处理的降幅最小;且除抽穗期外,其他各生育期的株高和叶面积均以苗期+灌浆期灌水处理的降幅最大,抽穗期的叶面积以抽穗期+灌浆期灌水处理的降幅最大。

2) 水分和氮素对玉米地上部干物质累积量的影响在拔节期、抽穗期和灌浆期均达到极显著水平;水分和氮素互作对拔节期有极显著影响。在平均氮肥条件下,除灌浆期外,玉米其他各生育期地上部干物质累积量均以苗期+灌浆期灌水处理的降幅最大,玉米灌浆期地上部干物质累积量以抽穗期+灌浆期灌水处理的降幅最大。施氮对玉米地上部干物质累积量的影响随着施氮量的增加而增大。

3) 不同生育期灌水和施氮对玉米产量及其构成因素和水分利用效率的影响不同。本试验条件下,以高氮全生育期灌水处理的产量最高,施氮可以显著提高玉米的产量和灌溉水利用效率。总的来说,在试验地区,与全生育期灌水(CK)相比,抽穗期+灌浆期灌水处理的产量降幅最大,且灌溉水利用效率最低。苗期+拔节期灌水、苗期+抽穗期灌水以及拔节期+抽穗期灌水处理时玉米产量降低不显著,但灌溉水利用效率有较大提高,施氮显著提高了玉米的产量和水分利用效率。

## [参考文献]

- [1] 田霄鸿,聂刚,李生秀.不同土壤层次供应水分和养分对玉米幼苗生长和吸收养分的影响[J].土壤通报,2002,33(4):263-267.  
Tian X H, Nie G, Li S X. Effect of water and nutrients supplying in different soil layers on growth and nutrition absorption of corn seedlings [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33 (4): 263-267. (in Chinese)
- [2] 蔡焕杰,康绍忠,张振华,等.作物调亏灌溉的适宜时间与调亏程度的研究[J].农业工程学报,2000,16(3):24-27.  
Cai H J, Kang S Z, Zhang Z H, et al. Proper growth stages and deficit degree of crop regulated deficit irrigation [J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(3): 24-27. (in Chinese)
- [3] 宋海星,李生秀.不同水、氮供应条件下夏玉米养分累积动态研究[J].植物营养与肥料学报,2002,8(4):399-403.  
Song H X, Li S X. Dynamics of nutrient accumulation in maize plants under different water and nitrogen supply conditions [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002, 8(4): 399-403. (in Chinese)
- [4] 高亚军,李生秀,田霄鸿,等.不同供肥条件下水肥分配对旱地玉米产量的影响[J].作物学报,2006,32(3):415-422.  
Gao Y J, Li S X, Tian X H, et al. Effects of water supply levels in different growth stages on maize yield under different fertilizer levels [J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(3): 415-422. (in Chinese)
- [5] 宋耀选,肖洪浪,冯金朝.土壤水肥交互作用与玉米的响应[J].中国生态农业学报,2001,9(1):23-24.  
Song Y X, Xiao H L, Feng J C. Corn responds to interaction between soil moisture and fertilizer [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2001, 9(1): 23-24. (in Chinese)
- [6] 王密侠,康绍忠,蔡焕杰,等.玉米调亏灌溉节水调控机理研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2004,32(12):87-89.  
Wang M X, Kang S Z, Cai H J, et al. Study on the mechanism of saving water of regulated deficit irrigation in maize [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2004, 32(12): 87-89. (in Chinese)
- [7] 陈竹君,刘春光,周建斌,等.不同水肥条件对小麦生长及养分吸收的影响[J].干旱地区农业研究,2001,19(3):30-35.  
Chen Z J, Liu C G, Zhou J B, et al. Effects of different combinations of water and fertilizers on the growth and nutrients uptake of winter wheat [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2001, 19(3): 30-35. (in Chinese)
- [8] 王俊儒,李生秀.不同生育时期水分有限亏缺对冬小麦产量及其构成因素的影响[J].西北植物学报,2000,20(2):193-200.  
Wang J R, Li S X. Effect of water-limited deficit stress in different growth stages on winter wheat grain yields and their yield constituents [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2000, 20 (2): 193-200. (in Chinese)
- [9] 邢维芹,王林权,李生秀.半干旱地区玉米的水肥空间耦合效应[J].农业工程学报,2002,18(6):46-49.  
Xing W Q, Wang L Q, Li S X. Effect of spacial coupling between irrigation water and fertilizer on corn in semi-arid area [J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(6): 46-49. (in Chinese)
- [10] 宋海星,李生秀.玉米生长量、养分吸收量及氮肥利用率的动态变化[J].中国农业科学,2003,36(1):71-76.  
Song H X, Li S X. Dynamics of nutrient accumulation in maize plants under different water and N supply conditions [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(1): 71-76. (in Chinese)
- [11] 徐学选,陈国良,穆兴民.水肥对春小麦产量的效应研究[J].干旱地区农业研究,1995,13(2):35-38.  
Xu X X, Chen G L, Mu X M. The coordinative effect of moisture and fertilizer upon spring wheat yields [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1995, 13(2): 35-38. (in Chinese)
- [12] 詹其厚,陈杰.水肥配合对玉米产量及其利用效率的影响[J].土壤肥料,2005(4):14-18.  
Zhan Q H, Chen J. Effect of coordination of water and fertilizer on maize yield and their utilization efficiency [J]. Soils and Fertilizers, 2005(4): 14-18. (in Chinese)