

畦灌液施方式对夏玉米灌溉质量和水分利用率的影响

高剑民^{1,2}, 邓忠¹, 吕谋超¹, 宗洁¹, 王军可², 谷少委²

(1. 中国农业科学院农田灌溉研究所, 农业部节水灌溉工程重点实验室,
河南 新乡 453002; 2. 中国农业科学院研究生院, 北京 100081)

摘要: 通过田间夏玉米畦灌试验, 分析畦灌液施方式对作物生长和土壤水氮的影响, 评价不同处理下的灌溉施肥质量和水分利用效率, 探究适宜的畦灌液施方式。在畦田试验中选择不同畦宽、施肥时机和改水成数, 采用正交设计选取最优的液施组合。结果表明, 不同畦灌处理对土壤水氮存储效率影响不显著, 但对水氮均匀度产生显著影响, 土壤水分存储效率(59%~63%)略低于氮素存储效率(61%~64%), 而均匀度(95%~99%)略高于氮素均匀度(85%~94%)。畦宽、施肥时机和改水成数显著影响夏玉米产量和水分利用效率。综合各项指标考虑, 畦宽为1.5 m、改水成数为95%和灌溉到畦长1/2时施肥的畦灌灌水施肥方式下具有较高的土壤水氮存储效率(63.36%和64.01%)和均匀度(98.71%和94.42%), 为作物高效吸收利用提供较为均匀的土壤状态, 从而获得较高产量(9 886.1 kg/hm²)和水分利用效率(2.62 kg/(hm²·mm))。

关键词: 畦灌; 灌水质量; 施肥方式; 硝态氮; 水分利用效率

中图分类号: S275.3; S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2018)06-0079-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.06.013

Effect of Border Fertigation Model on Irrigation Quality and Water Using Efficiency of Summer Maize

GAO Jianmin^{1,2}, DENG Zhong¹, LÜ Mouchao¹, ZONG Jie¹, WANG Junke², GU Shaowei²

(1. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences,
Key Laboratory of Water-Saving Agriculture of Ministry of Agriculture, Xinxiang,

Henan 453002; 2. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: Field experiment of border irrigation of summer maize was conducted to analyze the effect of border fertigation model on crop growth as well as soil water and nitrogen, evaluate the irrigation fertilization quality and water using efficiency under different treatment, and investigate suitable model of border fertigation. Different border width, fertilization timing, and inflow cutoff were selected in the field experiment, and the optimum level combination of fertigation was selected by orthogonal design. The results showed that the influence of different treatment on storage efficiency of soil water and nitrogen are not significant, but the effect on soil nitrate uniformity is obvious and it is same to soil water. The storage efficiency of soil water (59%~63%) were lower than that of soil nitrogen (61%~64%) while the uniformity of soil water (95%~99%) were higher than that of soil nitrogen (85%~94%). The yield and water using efficiency were significant affected by border width, timing of fertilization and inflow cutoff. Considering all the indexes, the border fertigation model with the border width of 1.5 m, the inflow cutoff of 95%, and applying fertilizer as water advanced at 1/2 of the border length showed higher storage efficiency(63.36% and 64.01%) and uniformity (98.71% and 94.42%) of soil water and nitrogen, was benefit to form a uniform soil condition for crops absorption and uptake, and could achieve a higher yield (9 886.1 kg/hm²) and water using efficiency(2.62 kg/(hm²·mm)).

Keywords: border irrigation; irrigation quality; fertilization modes; nitrate nitrogen; water using efficiency

收稿日期: 2018-06-13

资助项目: 中国农业科学院基本科研业务费专项院级统筹项目(Y2017XM08); 中央级科研院所基本科研业务费专项(中国农业科学院农田灌溉研究所)资助项目(FIRI2016-23)

第一作者: 高剑民(1993—), 男, 甘肃庆阳人, 硕士研究生, 主要从事农业水土工程研究。E-mail: 463491478@qq.com

通信作者: 吕谋超(1968—), 男, 河南柘城人, 研究员, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: 13937381585@163.com

畦灌是我国主要的地面灌溉方式之一,95%以上的灌溉面积采用畦灌灌水技术,畦灌技术具有设施简便、投资低、便于管理和灌水方便等优势,将在未来一段时间内继续作为主要地面灌水方式而存在^[1-3]。水资源短缺是限制作物产量的重要因素。因此,对传统畦灌方式的改进和完善,是提高灌溉质量、达成节水灌溉目标的关键。相对于将肥料撒入田间进行灌溉的方式,把肥料充分溶解并与灌溉水进行混合灌溉的畦灌液施方式,不仅能有效提高化肥利用率、控制施肥量和施肥时机,还能有效避免因肥料流失而造成农田环境污染和肥料的不必要损失^[4]。有研究^[5]表明,在一定的单宽流量下,畦长在 50~70 m 时可形成较为均匀的水分分布,且灌水效率随着畦长的增加而减小。阳晓原等^[6]研究表明,在一定的畦长下,灌水效率随着畦宽的增加呈现出先增大后减小的趋势。郑和祥等^[7]研究表明,在畦长为 45 m、畦宽为 5 m 和 7.5 m 的畦田规格下的冬小麦获得较高的产量,同时提高了水分利用效率。国外学者^[8-11]通过施用硝酸盐和 Br⁻ 模拟硝态氮的运移,研究了入畦流量、施肥方式和土壤入渗等因素影响沿畦长方向的水氮空间分布。以往对于畦灌撒施方式下的水分利用效率研究较多^[12-14]。为此,本文基于不同畦灌液施条件,探究液施方式对水分利用效率和灌水质量的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

该试验于 2017 年 6—10 月在中国农业科学院新乡综合试验基地(35°18'N,113°54'E)进行。基地处于黄淮海地区的引黄补源灌区,气候类型属于温带大陆性季风气候,年平均气温为 14 ℃,年平均降水量 580 mm,全年降水量的 70%~80%集中在 6—10 月,年均蒸发量为 2 000 mm,年日照时间约 2 399 h,无霜期 210 d。作物种植模式为冬小麦—夏玉米轮作,供试作物为玉米(登海 605),种肥一起机播,株距 25 cm,行距 60 cm,种植密度为 6.7 万株/hm²。夏玉米自 2017 年 6 月 20 日播种,于 2017 年 10 月 10 日收获。试验区内土壤以砂土、壤土为主,土壤干容重在 1 m 土体内变化较小,平均值为 1.51 g/cm³,土壤田间质量持水率为 21.5%。灌溉方式为畦灌,水源为地下水,地下水埋深超过 5 m。

1.2 试验设计

试验采用正交设计,选取畦宽、施肥时间、改水成数作为试验因素,畦长设置为 60 m。根据当地农机规格设置畦宽为 1.5,2.3,3.2 m。撒施导致畦灌水流将部分氮肥冲携累积至畦尾,从而引起畦首溶质浓度减小和畦尾水流溶质浓度增大的“后翘”现象^[15],且改水成数是灌水施肥系统性能的影响因素,故设置不同改水成数,分别

为 85%,90%和 95%,即灌水水流前锋面推进到畦长的 85%,90%和 95%时畦首停止供水。施肥方式为液施,施肥时间分为全程液施,水流锋面推进到畦长的 1/3 时施肥和推进到畦长的 1/2 施肥。正交设计采用 L₉(3⁴)表,设置畦宽分别为 1.5,2.3,3.2 m、畦长为 60 m 的撒施对照试验小区,共计 12 个处理,每个处理重复 3 次,共 36 个小区(表 1)。

表 1 试验设计

处理	因素		
	畦宽/m	施肥时机	改水成数/%
T1	1.5	全程液施	85
T2	1.5	灌水到畦长 1/3 时液施	90
T3	1.5	灌水到畦长 1/2 时液施	95
T4	2.3	全程液施	90
T5	2.3	灌水到畦长 1/3 时液施	95
T6	2.3	灌水到畦长 1/2 时液施	85
T7	3.2	全程液施	95
T8	3.2	灌水到畦长 1/3 时液施	85
T9	3.2	灌水到畦长 1/2 时液施	90
CK1	1.5		
CK2	2.3	传统撒施	
CK3	3.2		

畦灌液施试验在夏玉米大喇叭口期进行,化肥施用为速溶尿素(含氮量≥46%),施氮量为 225 kg/hm²。畦灌系统管道为 90 mm PVC 管道,在灌溉系统首部安装球阀,通过调节阀门的开度来控制进入畦田的入畦流量,利用安装在管道上的超声波流量计调整流量。试验开始前先选择对照小区进行预试验,记录各小区灌溉水流从畦首推进到畦长 1/3 处和畦长 1/2 处以及水流前锋推进到畦长的 85%,90%和 95%的时间及灌水量,根据所需在液施试验前将肥料配好置入储肥罐,施肥过程中利用水泵将尿素肥液匀速抽出,随灌溉水流均匀进入田间。

1.3 观测项目与方法

1.3.1 土样测量 在每个试验小区沿畦长方向在畦田中间隔 10 m 设置 1 个观测点,用以监测畦田 1 m 深度内的土壤水分和氮素含量。在灌水试验的前后 2 天采用土钻取土,对每个测点的 0—100 cm 剖面采集土壤样本,观测深度分别为 20,40,60,80,100 cm。土壤含水率采用烘干法进行,并在测点附近埋设 TRIME 管进行比较,土壤硝态氮含量采用紫外光分度计测定。

土壤储水量计算公式为:

$$W = \sum h_i \times \theta_i \times \gamma_i$$

式中:W 为土壤中储水量(mm);h_i 为第 i 层土层深度(mm);θ_i 为第 i 层土壤质量含水率(%);γ_i 为第 i 层土壤容重(g/cm³)。

1.3.2 形态指标测定 定期观测植株的形态指标,选取每个小区长势一致、能代表小区整体水平的区

域,从中随机选 3 株测定。因灌水前不做处理,故在灌水前 1 天开始,每隔 10 天测定 1 次,采用精度 1 mm 的钢尺量取玉米的株高(最顶端完全展开叶到茎基部的距离)、茎粗(游标卡尺横向纵向垂直各取 1 次)、叶面积(完全展开叶的最大叶长和叶宽)。叶面积指数(LAI)计算公式为:

$$LAI=0.75\rho\frac{\sum_{i=1}^m\sum_{j=1}^nL_{ij}\times W_{ij}}{10000\times m}$$

式中: m 为测定总株数; ρ 为种植密度(株/hm²); L_{ij} 和 W_{ij} 分别为第*i*株玉米的第*j*片叶的最大长度和宽度(cm)。

1.3.3 产量 收获前,每小区选取 1 m 行玉米穗数进行考种,分别测量穗长、秃尖长、穗粗、籽粒行数、穗粒重和百粒重,计算理论产量。

1.3.4 作物耗水量和水分利用系数 作物耗水量通过土壤水量平衡方程计算:

$$ET=I+P_0+(W_0-W_t)$$

式中: I 为作物生育期内灌溉总量(mm); P_0 为生育期内有效降雨量(mm); W_0 和 W_t 分别为生育阶段初期和末期的土壤储水量(mm)。

采用作物产量与全生育期耗水量的比值来计算水分利用效率(WUE):

$$WUE=\frac{Y}{ET}$$

式中: Y 为作物产量(kg/hm²); ET 为全生育期田间耗水量(mm)。

1.4 灌水施肥系统质量评价

本试验采用尿素溶于水后施用,尿素施用进入土壤后经过水解作用转化成为铵态氮,铵态氮通过硝化作用大部分转化为硝态氮^[16],此时土壤中的氮素含量多以硝态氮的形式存在,铵态氮含量处于较低水平,因此本试验仅对土壤中的硝态氮变化情况进行分析,采用灌溉施肥效率和灌水施肥均匀度进行定量评价^[17]。

灌溉施肥存储效率(E_w 和 E_N):灌后作物根系层土壤内的含水量和含氮量占 0—100 cm 土层的土壤平均累积量的比例,计算公式为:

$$E_w=\frac{\overline{X_{RW}}}{\overline{X_w}}\times 100\%$$

$$E_N=\frac{\overline{X_{RN}}}{\overline{X_N}}\times 100\%$$

式中: $\overline{X_N}$ 和 $\overline{X_w}$ 分别为整个畦长 0—100 cm 内土层的平均累积硝态氮浓度(mg/kg)和体积含水量(%); $\overline{X_{RN}}$ 和 $\overline{X_{RW}}$ 分别为整个畦长作物有效根系层的平均土壤硝态氮浓度(mg/kg)和体积含水量(%)。

灌水施肥均匀度(DU_w 和 DU_N)反映灌溉施肥后水分在畦田沿畦长方向分布的均匀程度,计算公式为:

$$DU_w=\frac{\overline{X_{WH}}}{\overline{X_w}}\times 100\%$$

$$DU_N=\frac{\overline{X_{WN}}}{\overline{X_N}}\times 100\%$$

式中: $\overline{X_{WH}}$ 为整个畦长具有最低值的 1/2 畦段在 0—100 cm 内土层内的土壤平均体积含水率(%); $\overline{X_{NH}}$ 为整个畦长具有最低值的 1/2 畦段在 0—100 cm 内土层内的土壤累积平均硝态氮浓度(mg/kg)。

1.5 统计分析

数据绘图处理采用 Excel 和 Surfer 11.0 软件,数据统计分析采用 SAS 9.2 软件,差异显著性检验采用在 0.05 水平下的新复极差法,方差分析贡献率=因素平方和/总平方和,某一因素的平方和对总平方和的贡献率越大,表示该项因素对该评价指标的影响能力越强。

2 结果与分析

2.1 灌水施肥系统的灌水质量评价

夏玉米大喇叭口期的有效根系层为 0—60 cm,其土层的含水量直接影响夏玉米的生长发育,通过灌水施肥后土壤内的含水率和硝态氮含量的变化来进行灌水施肥质量的评价。

2.1.1 灌水质量评价 由图 1 可知,灌溉后 2 天 0—100 cm 土层内土壤含水量均有所增加,其中 0—60 cm 土层内的土壤含水量增加尤为显著。各处理之间的 0—40 cm 土层内的水分分布差异较大,而 60—100 cm 土层内的水分分布较为均匀。由于受到改水成数的影响,畦尾部分受水较少,各处理的畦尾部分相同土层土壤的体积含水率较低。

一次灌水后进入计划灌水层的水量为净灌溉水量,可由畦灌根系层灌水前后的储水量之差计算。由表 2 可知,不同处理下灌水 2 天后的灌水效率 E_w 值为 59.4%~63.4%,各处理之间无显著差异;灌水均匀度 DU_w 值为 94.8%~99.2%,各处理之间差异性显著,灌水效率和灌水均匀度的最大值出现在 T3 和 T9,分别为 63.36%和 99.14%。总体来说,液施处理下的灌水效率和灌水均匀度略高于对照撒施处理。

由表 3 可知,畦宽、施肥时机和改水成数对 E_w 影响显著,畦宽可视为 E_w 的重要影响因素,贡献率为 52.79%,但未达到显著水平($P>0.05$),各畦宽处理之间无显著差异。施肥时机和改水成数对 DU_w 产生显著影响,达到显著水平($P<0.05$),贡献率分别为 56.09%和 23.9%,施肥时机为灌水到 1/2 时液施和改水成数为 85%和 90%的处理显著高于其他处理;畦宽的贡献率为 18.90%,远大于误差的 1.12%,也可视为 DU_w 的重要因素。

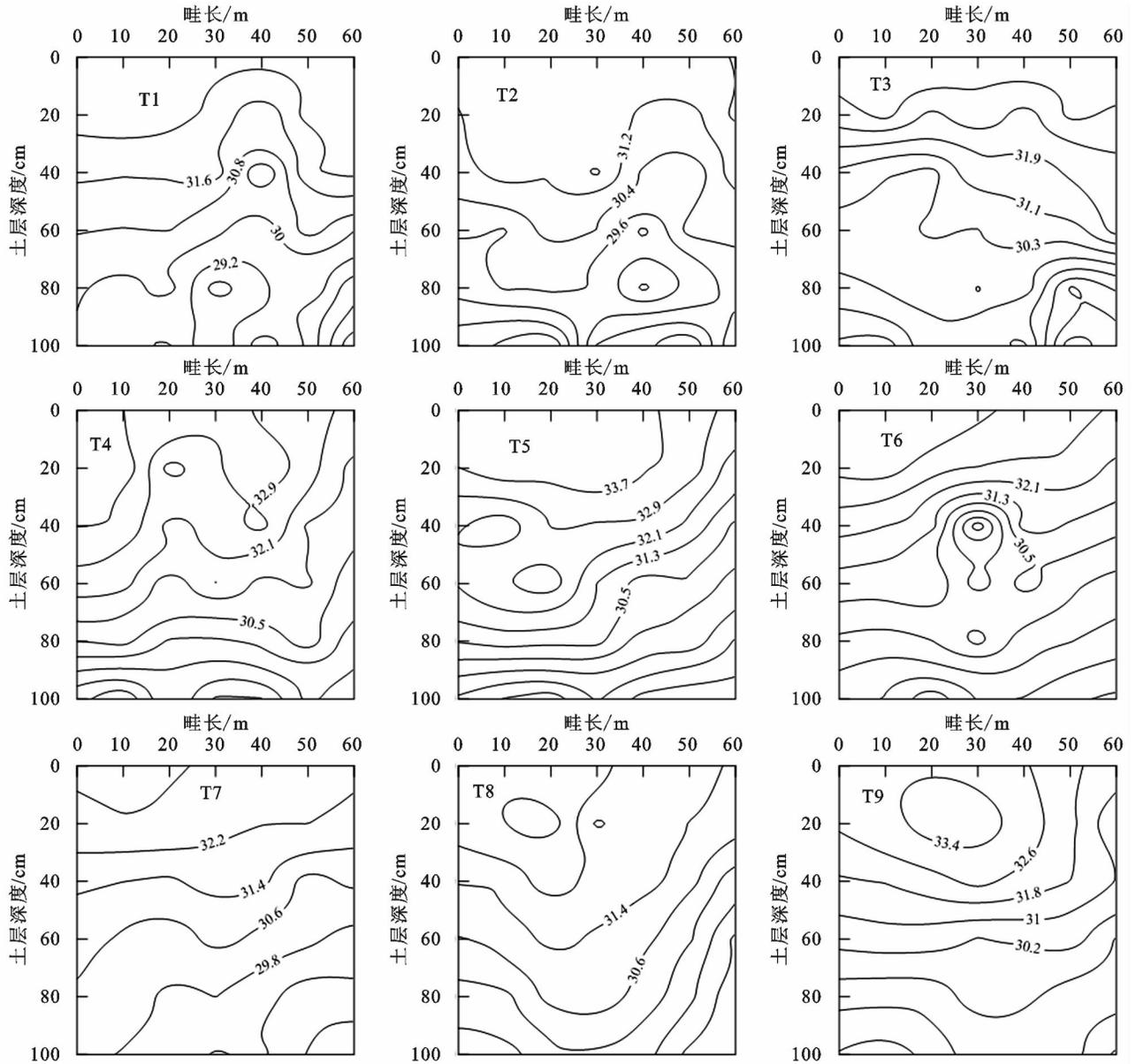


图 1 夏玉米灌后 2 天沿畦长土壤平均体积含水率空间分布状况

表 2 灌水质量指标

处理	$E_w/\%$	$DU_w/\%$	净灌水量/mm						平均值
			1	2	3	4	5	6	
T1	61.97a	98.49abc	86.09	76.45	87.98	77.59	91.21	85.73	84.17
T2	59.40a	97.85abcd	63.56	78.42	60.15	73.87	75.26	90.09	73.56
T3	63.36a	98.71abc	89.00	77.77	89.86	68.39	92.17	94.04	85.21
T4	62.40a	97.20bcd	85.54	66.91	82.48	105.89	78.37	93.26	85.41
T5	62.65a	94.84e	78.85	71.86	71.66	85.32	72.03	66.07	74.30
T6	62.50a	98.89ab	76.79	79.47	59.63	64.55	75.66	68.69	70.80
T7	61.43a	96.73d	72.07	71.81	72.88	79.39	70.50	89.03	75.95
T8	61.09a	97.01cd	42.34	88.56	80.51	87.88	78.12	65.00	73.73
T9	61.47a	99.14a	94.73	79.87	76.80	69.77	43.42	69.35	72.32
CK1	60.96a	96.62a	89.32	77.78	84.91	90.66	67.13	71.38	80.20
CK2	61.93a	96.68a	65.41	86.25	76.17	58.44	85.90	79.11	75.21
CK3	60.60a	95.91a	76.11	74.34	84.91	68.41	52.23	78.56	72.43

注:表 1,2,3,4,5,6 为灌水时的标杆号;同列数据后不同字母表示差异显著性水平,小写字母为 $P < 0.05$ 水平上差异显著。下同表 4。

由表 3 可知,畦宽、施肥时机和改水成数视为 E_N 的重要影响因素,贡献率分别为 32.19%、25.65%和 35.16%,未达到显著水平,因素各水平之间没有显著差异。改水成

数对 DU_N 产生显著影响,贡献率为 91.74%,改水成数为 95%的处理显著高于其他处理;畦宽和施肥时机的贡献率略高于误差,对 DU_N 的影响较小。

表 3 方差分析

指标 因素	E_w		E_N		DU_w		DU_N		产量		WUE	
	F 值	贡献率/%	F 值	贡献率/%	F 值	贡献率/%	F 值	贡献率/%	F 值	贡献率/%	F 值	贡献率/%
畦宽	3.27	52.79	4.60	32.19	16.93	18.90	1.10	1.98	411.57**	30.87	14.71*	40.92
施肥时机	1.05	17.03	3.67	25.65	50.25*	56.09	2.49	4.47	861.47**	64.61	16.69*	46.43
改水成数	0.87	14.03	5.02	35.16	21.41*	23.90	51.00*	91.74	59.21*	4.44	3.55	9.87
误差		16.14		7.00		1.12		1.80		0.08		2.78

注: * 和 ** 分别代表 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平上差异显著。

2.1.2 施肥质量评价 由图 2 可知,灌水 2 天后土壤硝态氮含量在 1 m 土层内明显增加,主要在 0—40 cm 沉积和分布。土壤硝态氮含量的分布状况与含水率分布相似,60—100 cm 的硝态氮含量分布状况差

异不大。液施条件下肥随着灌溉水进入田间,随着畦宽的增大,畦首部分受水时间越长,畦田的硝态氮含量在上游聚集较多,且受到改水成数的影响,畦尾部分硝态氮含量相较于其他田块的相同土层含量较低。

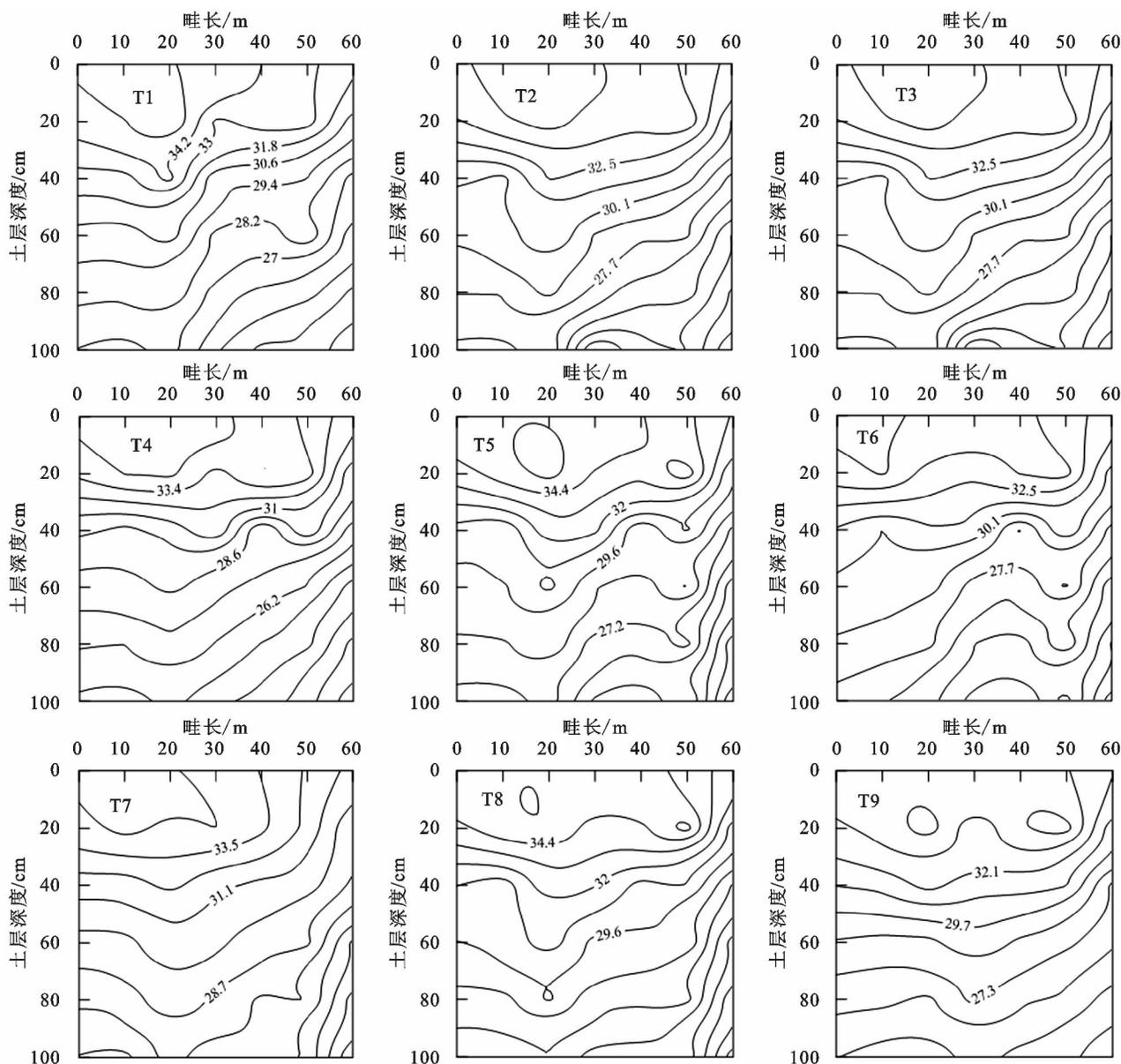


图 2 夏玉米灌后 2 天沿畦长土壤平均硝态氮含量 (mg/kg) 空间分布状况

由表 4 可知,储氮率 E_N 值为 61.14%~64.01%,各处理之间差异较小,硝态氮均匀度 DU_N 值为 90.09%~

94.42%,各处理之间差异显著,储氮率和施肥均匀度最大值在 T3 处理,分别为 61.01%和 94.42%。液施处理下的

土壤氮肥储存效率和均匀度略高于对照撒施处理。这可能是因为少部分尿素在田间撒施挥发而导致的。

表 4 施肥质量指标

处理	$E_N/\%$	$DU_N/\%$	净施肥量/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)						平均值
			1	2	3	4	5	6	
T1	63.24ab	90.10c	33.34	29.74	19.05	16.93	34.32	17.66	23.89
T2	63.23ab	91.13bc	23.07	23.66	27.58	18.35	42.67	20.46	25.96
T3	64.01a	94.42a	35.82	32.25	19.95	34.71	33.07	25.55	30.22
T4	63.39ab	90.28c	22.42	34.54	19.65	15.30	23.44	11.26	21.10
T5	63.26ab	93.35ab	27.12	29.50	32.58	18.54	27.71	12.95	24.73
T6	63.18ab	91.03bc	25.12	32.62	32.73	12.42	42.48	11.04	26.07
T7	63.61ab	93.92a	38.56	27.22	42.22	33.88	26.20	17.39	30.91
T8	61.14b	91.09bc	21.98	25.45	35.49	13.88	35.07	8.37	23.37
T9	62.71ab	91.21bc	32.16	25.70	22.77	25.79	35.31	12.82	25.76
CK1	62.61a	90.82a	27.35	26.09	24.86	22.10	24.92	34.35	26.61
CK2	63.38a	90.10a	25.12	32.62	32.73	12.42	30.88	34.24	28.00
CK3	62.65a	90.78a	32.16	25.70	22.77	14.19	23.71	36.02	25.76

2.2 畦灌液施对夏玉米株高、叶面积的影响

由图 3 可知,灌水 10 天后夏玉米株高的增长尤为显著,而后增长幅度较小。叶面积指数(LAI)是反映植物群体生长状况的指标,其大小直接反映作物群体的光合作用能力,与作物产量的高低相关^[18]。灌

水后 40 天内的叶面积指数持续增长,各处理之间的差异较小,其后保持稳定。这是因为在夏玉米关键生育期进行灌水施肥,水分和氮素大多积累沉积在作物根系层,作物能够迅速将养分吸收利用。总体上液施处理下的株高和叶面积指数略高于对照撒施处理。

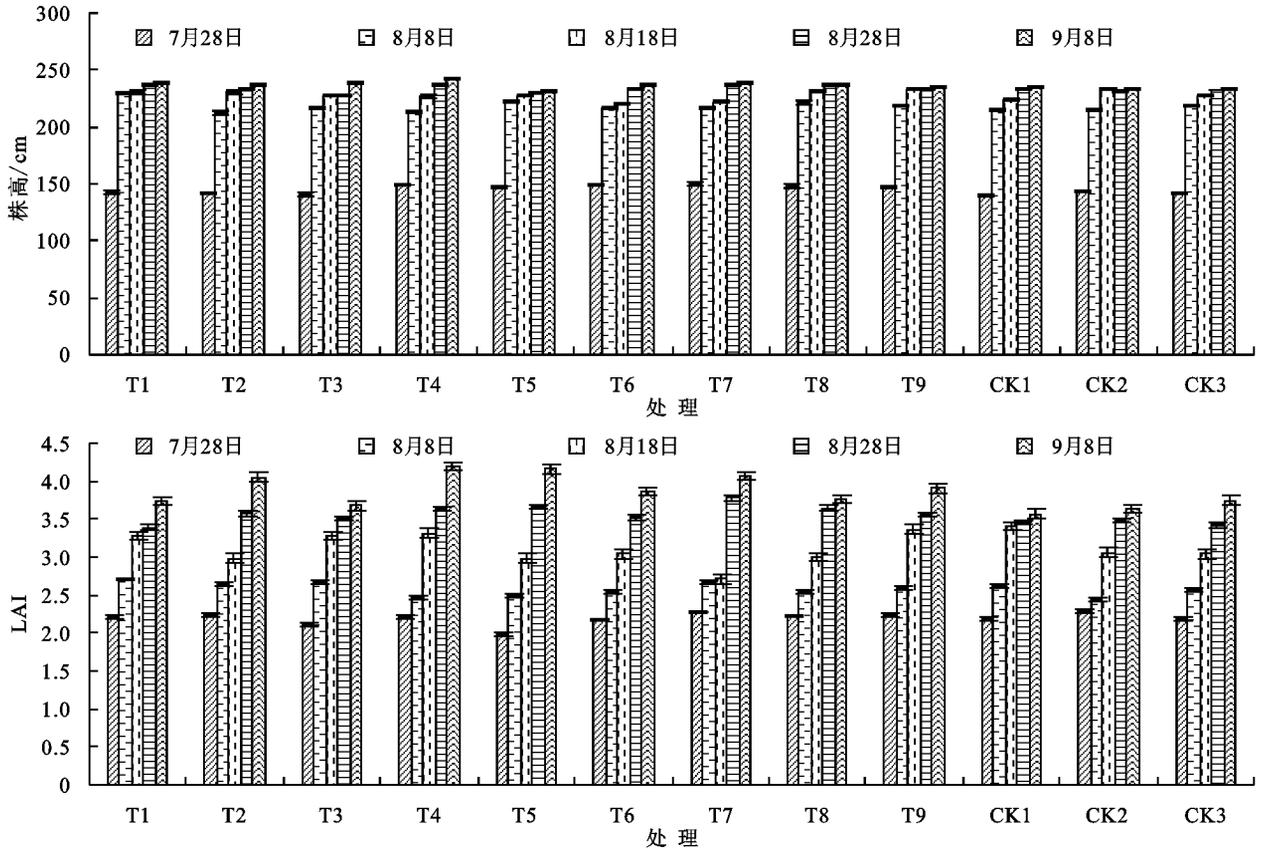


图 3 不同畦灌处理对夏玉米株高和叶面积指数的影响

2.3 畦灌液施对夏玉米产量及水分利用效率的影响

由表 5 可知,各处理之间的产量有显著差异,T9 处理下的产量最高,为 $9\ 886.1\ \text{kg}/\text{hm}^2$,不同处理产量 $T9, T6 > T8, T5, T3 > T7 > T2, T4 > T1$; T3 处理

水分利用率最高,为 $2.62\ \text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 。相同畦宽处理下的小区平均产量略高于对照撒施处理,分别增产 4.5%, 3.8% 和 3.2%,这说明液施可以改善水氮分布,形成有助于作物吸收利用的均匀的水氮分

布,从而提高作物产量。

由表3可知,畦宽、施肥时机和改水成数对产量的影响都有显著影响,畦宽和施肥时机达到极显著水平($P < 0.01$),贡献率分别为30.87%和64.94%,畦宽为1.5 m、施

肥时机为灌水到1/2时液施和改水成数为95%的处理显著高于其他处理。畦宽和施肥时机显著影响水分利用率,贡献率为40.92%和46.43%;畦宽为1.5 m、施肥时机为灌水到1/2时液施的处理显著高于其他处理。

表5 不同畦灌处理对夏玉米产量构成、产量和水分利用效率的影响

处理	穗长/ cm	秃尖长/ cm	穗粗/ cm	籽粒 行数	每穗 粒重/g	百粒重/ g	耗水量/ mm	产量/ (kg·hm ⁻²)	水分利用效率/ (kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
T1	17.8	0.2	46.0	14.5	177.88	41.46	360.03d	9032.31e	2.50abcd
T2	17.0	1.6	46.7	15.5	152.00	36.66	364.73cd	9297.11d	2.55abc
T3	18.3	1.2	50.4	16.5	215.38	44.45	369.83bcd	9680.30b	2.62a
T4	17.5	2.2	48.1	15.5	171.31	39.20	389.33ab	9276.44d	2.38d
T5	14.5	3.7	48.6	15.5	146.32	38.36	384.53abc	9685.59b	2.52abcd
T6	18.4	0.2	47.9	14.5	188.61	45.30	382.24abcd	9855.76a	2.58cd
T7	16.5	1.8	47.6	15.0	159.47	36.71	393.63ab	9503.51c	2.41cd
T8	17.6	1.8	47.1	15.5	168.58	38.57	394.93a	9687.70b	2.45bcd
T9	16.6	3.3	48.5	16.5	172.09	40.71	400.33a	9886.10a	2.47abcd
CK1	17.8	2.6	49.0	14.5	171.36	40.27	378.33b	8935.11c	2.36a
CK2	17.9	2.6	47.8	15.5	168.12	40.20	391.83ab	9251.74b	2.36a
CK3	17.0	1.6	48.0	15.5	181.36	41.60	399.42a	9393.95a	2.35a

3 讨论

土壤水分和溶质在灌溉后的分布变化是评价灌水施肥的重要指标,畦宽、入畦流量^[15]、施肥时机^[19]、土壤入渗性能^[20]、坡度、微地形^[21]和改水成数都是影响灌水施肥指标的因素。Abbasi等^[22]和Shouse等^[23]用Br⁻来模拟硝态氮在土壤中的分布,试验结果表明,灌溉前半程施用溴化物相对于灌溉后半程和灌溉全程施用溴化物的溶质分布均匀性较高;任开兴^[24]研究表明,改水成数是影响灌水均匀度、灌水效率和储水效率的因素。灌水均匀度、灌水效率和储水效率随着改水距离的增加分别呈现降低、增大和降低的趋势。Mohan等^[25]研究表明,改水成数过高会使畦田尾部受水不足,过低则会引起畦田尾部的积水,合理的改水成数可以提高灌水质量。本试验结果表明,灌后2天0—100 cm土层内的含水量和氮素含量均显著增加,主要沉积和分布在0—40 cm土层内,土壤氮素存储效率(61%~64%)略高于水分存储效率(59%~63%),各处理之间无显著差异,但土壤氮素沿畦长分布均匀性(85%~94%)略低于土壤水分沿畦长分布均匀性(95%~99%),各处理之间差异显著。这可能由于灌后的水氮存储率和均匀度受灌前土壤水氮的空间分布,且部分铵态氮通过硝化作用转化为硝态氮,也可能因为灌溉水在畦田中进行水平和垂直运动,灌水过程中受微地形和杂草的滞留和阻碍导致,也不排除受不均匀撒施引起氮肥的

溶质浓度非均匀分布的影响。陈新国等^[26]也有类似的研究结果。

影响作物产量的因素有很多,如降雨和灌溉、灌溉方式^[27]和肥料的施用^[28-29]等。翟丙年等^[30]研究表明,夏玉米水分利用效率受施氮的效应明显大于水分效应,且与施氮时期有关系;王瑜等^[31]研究表明,作物产量随着灌水量的增大而增大,但水分利用效率呈降低趋势。本试验中,畦灌液施处理与撒施对照处理相比水氮空间分布较为均匀,T9处理下灌水量最大从而获得的产量最高,然而T3处理下的水氮空间分布和水分利用效率显著高于其他处理。

4 结论

(1) 畦灌液施条件下的土壤中含水率和硝态氮的储存效率及均匀性高于撒施处理,分别高出0.63, 0.81和0.21, 1.27个百分点,因此液施施肥可以提高灌溉的灌水性能,提高灌水质量。

(2) 畦宽、施肥时机和改水成数均显著影响作物产量和水分利用效率。本试验条件下,综合各方面指标条件,在豫北地面灌中,畦宽为1.5 m、改水成数为95%和灌溉到畦长1/2时施肥的畦灌灌水施肥方式下,土壤的水氮储存效率和均匀度较高,能形成较均匀的利于作物吸收利用的水氮空间分布,从而提高产量和水分利用效率。

参考文献:

[1] 李久生,李蓓,饶敏杰.地面灌溉技术参数对氮素运移分

- 布影响的研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 51-55.
- [2] 阚常庆, 廖梓龙, 龙胤慧. 畦灌技术研究进展[J]. 水科学与工程技术, 2012(3): 1-4.
- [3] 石玉林, 卢良恕. 中国农业需水与节水高效农业建设[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [4] 梁艳萍, 许迪, 李益农, 等. 冬小麦不同畦灌施肥模式水氮分布田间试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 22-27.
- [5] 任建民, 李明顺, 董玉云, 等. 水平畦灌技术参数对灌水质量及春小麦产量影响的试验研究[J]. 水利水电技术, 2010, 41(4): 75-77.
- [6] 阳晓原, 范兴科, 冯浩, 等. 低定额畦灌技术参数研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(2): 227-230.
- [7] 郑和祥, 史海滨, 程满金, 等. 畦田灌水质量评价及水分利用效率分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 1-6.
- [8] Ebrahimian H, Liaghat A, Parsinejad M, et al. Distribution and loss of water and nitrate under alternate and conventional furrow fertigation[J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2012, 10(3): 849-864.
- [9] Sabillón G N, Merkle G P. Fertigation guidelines for furrow irrigation[J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2004, 2(4): 576-587.
- [10] Strelkoff T S, Clemmens A J, Perea-Estrada H. Calculation of non-reactive chemical distribution in surface fertigation [J]. Agricultural Water Management, 2006, 86(1): 93-101.
- [11] Šim ůnek J, Bristow K L, Helalia S A, et al. The effect of different fertigation strategies and furrow surface treatments on plant water and nitrogen use[J]. Irrigation Science, 2016, 34(1): 53-69.
- [12] 齐林, 陈雨海, 周勋波, 等. 冬小麦种植模式对水分利用效率的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1888-1895.
- [13] 李儒, 崔荣美, 贾志宽, 等. 不同沟垄覆盖方式对冬小麦土壤水分及水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(16): 3312-3322.
- [14] 张朝晖, 樊惠芳, 靳世昌, 等. 冬小麦膜缝畦灌综合技术参数的确定[J]. 水土保持学报, 2002, 16(6): 154-156.
- [15] 白美健, 许迪, 李益农, 等. 畦灌撒施与液施硫酸铵地表水流和土壤中氮素时空分布特征[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 19-24.
- [16] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 778-783.
- [17] 许迪, 蔡林根, 王少丽, 等. 农业可持续发展的农田水土管理研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.
- [18] 任伟, 赵鑫, 黄收兵, 等. 不同密度下增施有机肥对夏玉米物质生产及产量构成的影响[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(10): 1146-1155.
- [19] Adamsen F J, Hunsaker D J, Perea H. Border strip fertigation: Effect of injection strategies on the distribution of bromide[J]. 2005, 48(2): 529-540.
- [20] 聂卫波, 费良军, 马孝义. 基于土壤入渗参数空间变异性的畦灌灌水质量评价[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 100-105.
- [21] 白美健, 许迪, 李益农. 不同微地形条件下入渗空间变异对畦灌性能影响分析[J]. 水利学报, 2010, 41(6): 732-738.
- [22] Abbasi F, Adamsen F J, Hunsaker D J, et al. Effects of flow depth on water flow and solute transport in furrow irrigation: Field data analysis[J]. Journal of Irrigation & Drainage Engineering, 2003, 129(4): 237-246.
- [23] Shouse P, Feyen J, Genuchten M T V, et al. Overland water flow and solute transport: Model development and field-data analysis[J]. Journal of Irrigation & Drainage Engineering, 2003, 129(2): 71-81.
- [24] 任开兴. 丘陵山区波涌沟灌试验及其技术要素优化[D]. 山西 晋中: 山西农业大学, 2003.
- [25] Mohan S, Vijayalakshmi D P. Prediction of irrigation return flows through a hierarchical modeling approach [J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(2): 233-246.
- [26] 陈新国, 张寄阳, 申孝军, 等. 畦灌不同施肥模式对夏玉米田间水氮分布的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(5): 140-148.
- [27] 李昊儒, 梅旭荣, 郝卫平, 等. 不同灌溉施肥制度对土壤水分变化及夏玉米产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(4): 72-74.
- [28] 张学林, 王群, 赵亚丽, 等. 施氮水平和收获时期对夏玉米产量和籽粒品质的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2565-2572.
- [29] 王宜伦, 刘天学, 赵鹏, 等. 施氮量对超高产夏玉米产量与氮素吸收及土壤硝态氮的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(12): 2483-2491.
- [30] 翟丙年, 李生秀. 不同水分状况下施氮对夏玉米水分利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 473-480.
- [31] 王瑜, 宁堂原, 迟淑筠, 等. 不同施磷水平下灌水量对小麦水分利用特征及产量的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 232-237.