

## 不同灌溉水源及方式对玉米生长特性及水肥利用效率的影响

丁艳宏<sup>1</sup>, 屈忠义<sup>1\*</sup>, 李昌见<sup>2</sup>, 孙贯芳<sup>3</sup>, 张栋良<sup>1</sup>, 冯志弘<sup>4</sup>

(1. 内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018; 2. 中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083; 3. 武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072; 4. 内蒙古乌拉特前旗水务局, 内蒙古 巴彦淖尔 015000)

**摘要:**【目的】探求河套灌区不同灌溉水源及方式对玉米生长特性及水肥利用效率的定量影响。【方法】试验设置地下水畦灌(J)、黄河水畦灌(H)和地下水滴灌(D)2种灌溉水源及3种灌溉方式,对比分析了不同灌溉水源及方式对玉米生长特性及水肥利用效率的影响。【结果】滴灌能显著促进玉米对氮肥的利用效率以及玉米生长,增加玉米籽粒产量。滴灌处理玉米产量较黄河水畦灌、地下水畦灌分别提高8%~15%和10%~15% ( $P<0.05$ );滴灌处理作物水分利用效率较黄河水畦灌、地下水畦灌分别提高36.7%~57.6%和44.4%~66.7%,黄河水畦灌较地下水畦灌分别提高5.6%、17.3% ( $P<0.05$ );滴灌处理氮肥偏生产力较黄河水畦灌和地下水畦灌提高117%~131%、120%~131% ( $P<0.05$ )。【结论】膜下滴灌可以明显提高玉米水分利用效率,促进植株生长和产量增加,是目前适宜于河套灌区玉米灌溉的节水方式之一。

**关键词:**灌区;灌溉方式;玉米;水肥利用效率

中图分类号:S278

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0727

丁艳宏, 屈忠义, 李昌见, 等. 不同灌溉水源及方式对玉米生长特性及水肥利用效率的影响 [J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(8):1-7.

### 0 引言

内蒙古河套灌区是国家重要的商品粮、油生产基地。该地区属于干旱半干旱地区,气候干燥、降水稀少,盐碱程度较大,属于没有引水灌溉就没有农业的地区。以前河套灌区灌溉主要引用黄河水,随着社会经济的发展,工业需水量的增加,农业用水由 $5.2\times10^9\text{m}^3$ 减为 $4.0\times10^9\text{m}^3$ ,导致水资源短缺的矛盾更加突出。传统的灌溉方式(漫灌)用水量较大,易造成深层渗漏,不仅会造成肥料的流失,而且容易引起地下水污染<sup>[1]</sup>。目前,滴灌和喷灌作为先进的节水灌溉方式受到较多的关注和研究。研究表明,滴灌可以使表层土壤较快湿润,并达到作物生长所需要的水分,同时显著减少灌溉水的深层渗漏,可明显提高水分利用效率和作物产量<sup>[2-4]</sup>。贾殿勇<sup>[5]</sup>研究指出交替隔畦灌溉的灌水方式的水分利用效率与作物产量均高于常规二水和常规三水灌溉;潘圣刚等<sup>[6]</sup>研究表明干湿交替灌溉和沟灌均可提高作物产量和水分利用效率。在河套灌区,苗庆丰等<sup>[7]</sup>研究指出畦-沟灌较畦灌更能提高作物水分利用效率。姜良超等<sup>[8]</sup>研究了河套灌区不同覆膜方式中,全膜覆盖条件下的高水和中水灌溉水平更易于玉米增产。在河套灌区有很多人做了微咸水对番茄、葵花、枸杞的影响以及灌溉水临界矿化度的研究<sup>[9-12]</sup>。

目前,关于不同水源及灌溉方式对玉米生长性状及产量影响的研究较少,已有研究主要集中在通过改变灌水模式来提高作物水分利用效率及产量以及微咸水对作物生长特性的影响。虽然随着科技的进步与发展,节水灌溉技术在农业节水方面取得了较大突破,但仍然存在一些不足。不同灌溉模式下定量研究还

收稿日期:2017-11-26

基金项目:国家自然科学基金项目(51469020);“十三五”国家重点研发计划项目(2016YFC0501301)

作者简介:丁艳宏(1988-),女。硕士研究生,主要从事农业水资源高效利用与水土环境调控研究。E-mail: dyhxfid@126.com

通信作者:屈忠义(1969-),男。博士生导师,主要从事农业水资源高效利用与水土环境调控研究。E-mail: quzhongyi@imau.edu.cn

较少,特别是河套灌区,不同水源及灌溉模式对玉米生长特性和水肥利用效率的影响等方面鲜见报道。为此,兹通过对河套灌区不同灌溉水源及灌水方式对玉米生长特性及水肥利用效率的影响对比分析,提出合理的灌水水源和灌溉方式,为该区节水灌溉的优化和改进提供一定科学理论,以期促进当地生态环境的改善和区域农业的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2015、2016年5—10月在内蒙古临河区双河镇进步村(107°18'E,40°41'N,海拔1 041~1 043 m)进行。该地属中温带半干旱大陆性气候,多年年均降水量140 mm左右,年平均风速2.5~3.4 m/s,年最大风速18~40 m/s,年均蒸发量2 032~3 179 mm,年均气温6.8 ℃,昼夜温差大,无霜期为130 d左右,年均日照时间为3 229.9 h。土壤理化性质如表1所示,2015年、2016年玉米生育期降雨量及气温如图1所示。

表1 供试土壤理化性质

| 土壤体积质量/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 全氮量/% | 全磷量/% | 全钾量/% | 有机质量/% | pH值 |
|------------------------------|-------|-------|-------|--------|-----|
| 1.39                         | 0.09  | 0.07  | 1.60  | 1.20   | 7.6 |

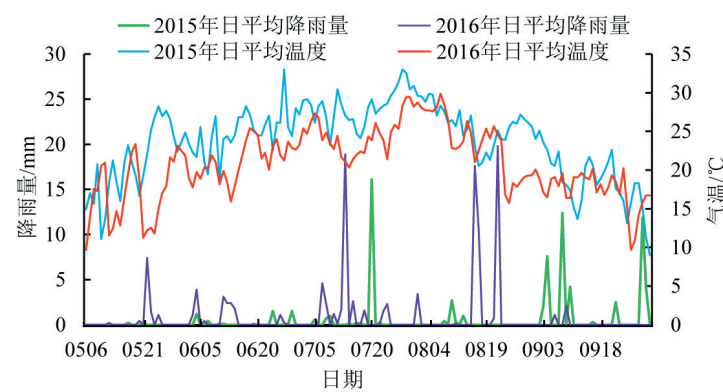


图1 2015年、2016年玉米生育期降雨量及气温

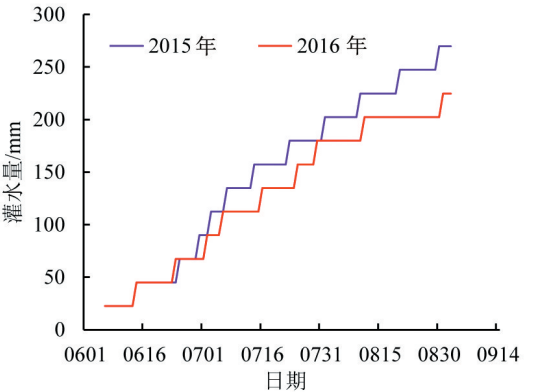


图2 2015年、2016年玉米生育期累积灌溉水量

1.2 试验设计

试验设置3种灌溉方式,即:地下水畦灌(J)、黄河水畦灌(H)、地下水滴灌(D),每个处理3个重复。畦田与滴灌小区面积均为180 m<sup>2</sup>(长25 m,宽7.2 m)。此外,地下水与黄河水畦灌参照当地灌水量进行灌溉,每次灌水用水表进行控制,每次定额为150 mm。2 a试验的灌溉定额均为450 mm;2015年于6月23日、7月14日、8月5日进行灌溉,2016年于6月27日、7月16日、8月3日进行灌溉。地下水滴灌根据张力计控制,设置灌水下限为-30 kPa,达到灌水下限就进行灌溉,每次灌水定额为22.5 mm。受降雨影响,2 a的滴灌的灌溉定额不同(图2)。灌溉水水质见表2。

表2 灌溉水水质

| 水源  | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | pH值  |
|-----|------------------|------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|
| 地下水 | 70.1             | 72.9             | 150.0                           | 159.5           | 216.1                         | 0                             | 396.6                         | 8.00 |
| 黄河水 | 70.1             | 79.0             | 37.5                            | 106.4           | 264.2                         | 0                             | 183.1                         | 8.76 |

供试作物为“西蒙6号”,其中每个小区6膜,采用1膜2行种植方式,膜宽1.2 m,株距为25 cm,行距为60 cm,种植密度为66 000株/hm<sup>2</sup>。作物生育期为2015年、2016年的5月7日—10月8日,每年132 d。

所有处理在播种时均施基肥,基施磷酸二胺450 kg/hm<sup>2</sup>,基施复合肥337.545 kg/hm<sup>2</sup>,追肥均施用尿素(含氮量46.4%)。畦灌处理在拔节期追肥1次,在灌水前撒施于地表,灌水后使其溶于水,施用量为750 kg/hm<sup>2</sup>;滴灌追肥时间为拔节期前、中、后,抽穗期,灌浆期各1次,通过文丘里随水施肥,施用总量为375 kg/hm<sup>2</sup>。

1.3 取样及计算方法

1.3.1 测试指标及方法

根据玉米不同生长时期,分别于播前、收后及生育期时段,每隔15 d分膜内膜外取土,共取10次土。土壤含水率用烘干法(105 ℃)测定,测定深度为100 cm。用土钻自地表向下取土,0~40 cm土层内,每10 cm取样,40~100 cm土层内每20 cm取样,相同深度取3个样,每层土壤含水率取算术平均值。

玉米生育指标的测定:玉米苗期在每个小区选3株长势相当的植株,并作标记,在每个生育期进行株高、茎粗的测量;叶面积在每个生育期用冠层分析仪(AccuPARLP-80)进行测试;由于每个小区设置6膜,成熟期在每个小区的第3膜连续取具有代表性植株15株,进行取样,分别测定穗长及行粒数,风干后脱粒测定穗粒质量、百粒质量和含水率,产量折算为质量含水率14%的标准产量;玉米出苗率观测为从播种7 d后,每2 d观测1次,直至七叶期。

### 1.3.2 氮肥偏生产力及水分利用效率

水分利用效率( $WUE$ )<sup>[13]</sup>的计算公式为:

$$WUE=Y/ET, \quad (1)$$

式中: $Y$ 为玉米籽粒产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ); $ET$ 为玉米生育期总耗水量( $\text{mm}$ )。其中,作物耗水量( $ET$ )计算公式为:

$$ET=\Delta S+M+P+K-C-D, \quad (2)$$

式中: $\Delta S$ 为不同阶段土壤储水变化量( $\text{mm}$ ); $M$ 、 $P$ 、 $K$ 、 $C$ 、 $D$ 分别为时段内的灌水量( $\text{mm}$ )、有效降雨量( $\text{mm}$ )、地下水补给量( $\text{mm}$ )、地表径流量( $\text{mm}$ )和深层渗漏量。畦灌地表径流量忽略,地下水补给量74.37 mm和34.56 mm<sup>[14]</sup>,滴灌单次灌水定额较小,不会产生地表径流和深层渗漏,即 $C$ 、 $D$ 为0。

氮肥偏生产力( $NPFP$ )<sup>[15]</sup>计算公式为:

$$\text{氮肥偏生产力}(NPFP)=\text{施氮处理产量}/\text{施氮量}, \quad (3)$$

式中:施氮处理产量指玉米籽粒产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );施氮量指玉米生育期施氮肥总量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )。

### 1.3.3 数据处理

采用Excel 2013软件进行数据处理,spss22.0对试验数据进行分析,采用LSD函数与Duncan新复极差法进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌溉水源及方式对作物生长性状的影响

#### 2.1.1 不同灌溉水源及方式对玉米生育指标的影响

图3为2015年、2016年不同处理下玉米全生育期株高对比,如图3(图中不同字母表示在 $P<0.05$ 上差异显著)所示,通过2 a试验数据分析,2015年不同灌溉方式中地下水畦灌(J)与滴灌(D)对比,差异显著,而不同水源畦灌(H、J)处理玉米全生育期株高均不显著;在苗期,畦灌和滴灌处理株高相差最小,H处理株高为29.00 cm,J处理为32.03 cm,较D处理分别小13.59%,可能因为玉米在播种前进行过一次大水漫灌,导致土壤含水率较高。抽穗期畦灌和滴灌株高相差最大,D处理高361.2 cm、H处理高351.8 cm、J处理高为336.4 cm,D处理较J处理高7.4%,J处理较H处理高4.6%。2016年不同灌溉方式D处理与J处理玉米全生育期株高差异显著,不同水源畦灌条件下H处理与J处理玉米株高差异不显著。从苗期到成熟期,D处理株高均显著高于H和J处理,整个生育期株高D处理平均较J处理高17.7%;H处理较J处理高3%无显著性差异。这主要是由于D处理及时补充玉米生长水分,而H处理和J处理同时灌水,不同水源并未给玉米株高带来影响。

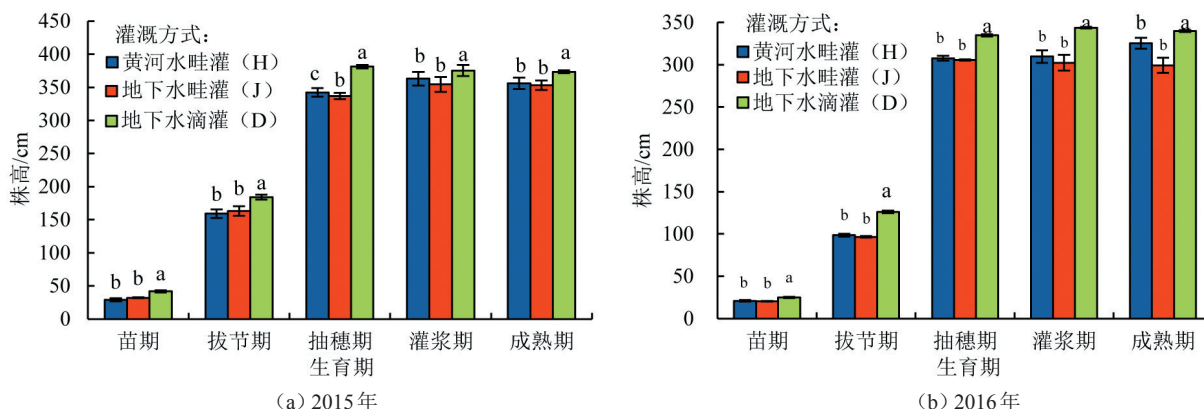


图3 2015年、2016年不同处理下玉米全生育期株高的变化

图4为2015、2016年玉米全生育期不同处理茎粗对比。如图4所示,2 a试验结果表明,不同灌溉方式下(畦灌与滴灌),玉米茎粗差异显著( $P<0.05$ );不同灌溉水源处理(H、J)差异不显著。2015年苗期J处理和D

处理均大于H处理,J处理和D处理无显著差异;拔节期和抽穗期D处理>J处理>H处理,且抽穗期D处理较J处理高5.2%,较H处理高9.3%;乳熟期和成熟期均表现为D处理>H处理>J处理,D处理和H、J处理之间表现出差异性,J处理和H处理无显著差异;2016年苗期D处理>J处理>H处理,依次为7.28、6.84、6.49 mm,从拔节期到成熟期D处理与H处理和J处理间差异显著,H处理和J处理间无显著差异。

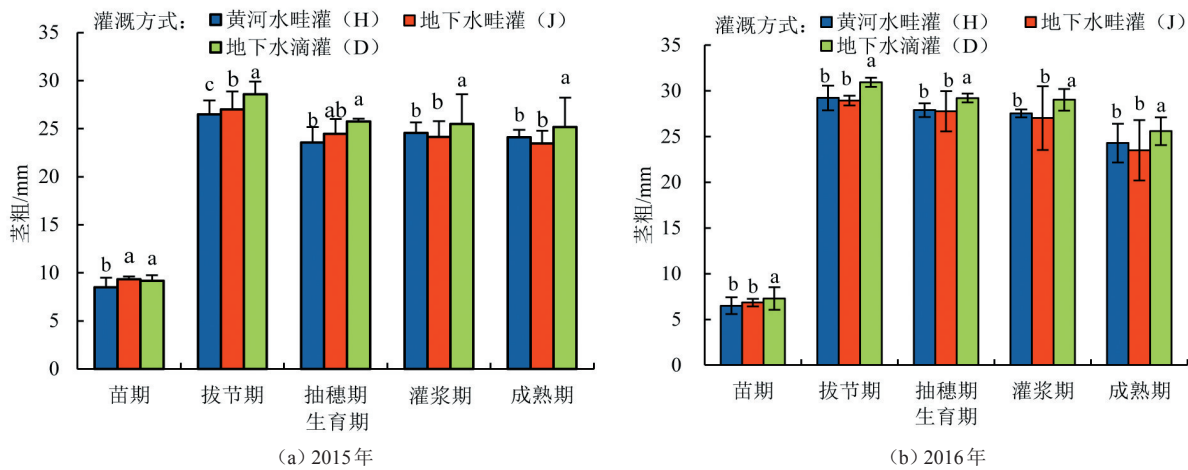


图4 2015、2016年玉米全生育期不同处理茎粗的变化

图5为玉米全生育期不同处理叶面积指数对比。如图5所示,2015和2016年玉米全生育期叶面积指数(LAI)受灌溉方式影响显著。不同灌溉方式(畦灌、滴灌)下玉米全生育期LAI存在显著性差异( $P<0.05$ );不同水源畦灌(黄河水畦灌、地下水畦灌)玉米LAI差异性不显著。2015年与2016年,玉米全生育期LAI地下水滴灌处理(D处理)均大于黄河水畦灌(H处理)和地下水畦灌处理(J处理),且均在拔节期达到最大差异。2015年拔节期D处理较H、J处理分别高61.98%、41.24%,H处理较J处理高14.69%;2016年拔节期D处理较H、J处理分别高40.96%、37.85%,H处理较J处理高6.84%。

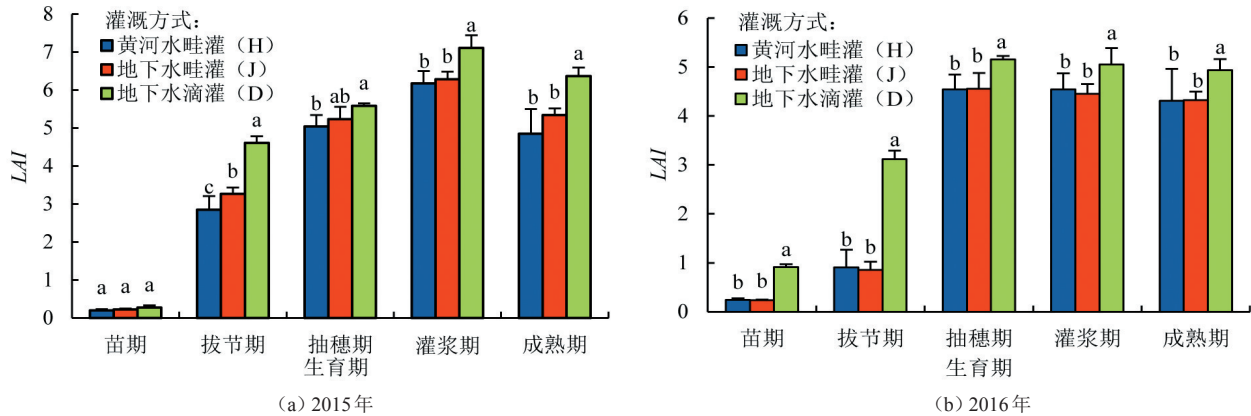


图5 玉米全生育期不同处理叶面积指数的变化

### 2.1.2 对玉米干物质积累量的影响

图6为2015年、2016年不同处理下干物质积累对比。由图6可知,2015年和2016年玉米全生育干物质积累量亦受灌溉方式影响显著。不同灌溉方式(畦灌、滴灌)下玉米全生育期干物质积累量存在显著性差异( $P<0.05$ ),尤其在2015年灌浆期和成熟期由于产量的增加,导致地下水滴灌处理(D处理)较黄河水畦灌处理(H处理)和地下水畦灌处理(J处理)处理高13%、11%、18%、16%。2016年灌浆期和成熟期,D处理较H和J处理分别高出39%、56%、55%、48%。通过2a的数据分析发现,相同灌溉方式、不同灌溉水源条件下的玉米干物质积累量没有显著差异。干物质的积累是物质同化的主要结果,与作物光合作物和呼吸作用密切相关,而水热环境是限制作物光合和呼吸作用的主要因子,滴灌少量多次的灌水方式为玉米生长提供了良好的水热环境,这也是滴灌处理条件下干物质积累量显著大于畦灌处理的原因。H和J处理灌溉水源不同,但灌溉水质基本一致,这也可能是造成H和J处理无显著差异的主要原因。



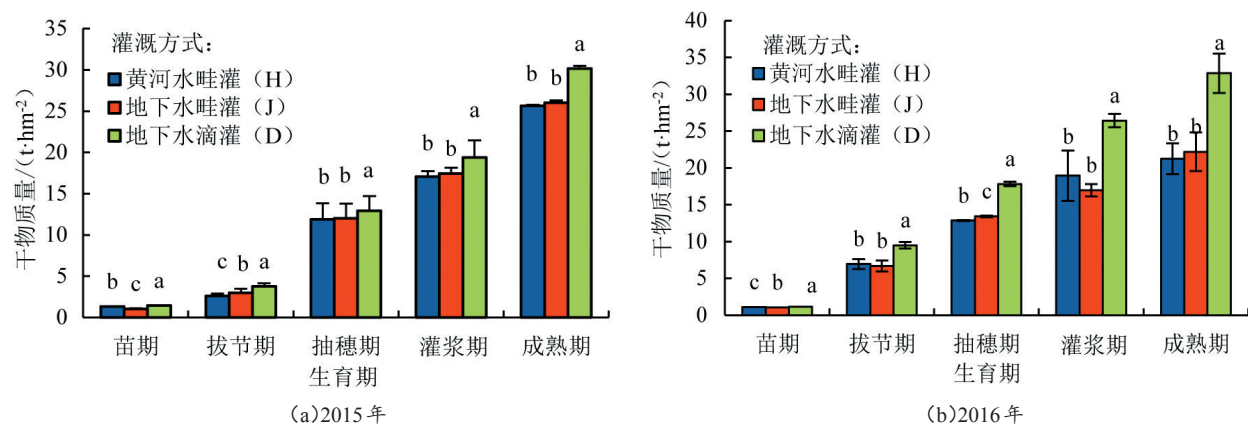


图6 2015年、2016年不同处理下干物质积累的变化

## 2.2 不同灌溉水源及方式对作物水肥利用效率的影响

### 2.2.1 不同灌溉水源及方式对作物产量及水分利用效率的影响

表3为2015、2016年不同灌溉方式下玉米产量及水分利用效率。由表3可知,不同灌溉方式(畦灌、滴灌)下玉米产量及水分利用效率差异显著( $P<0.05$ );不同水源畦灌(黄河水畦灌、地下水畦灌)差异性不显著。2015年、2016年地下水滴灌处理(D处理)出苗率和穗行数均显著高于黄河水畦灌处理(H处理)和地下水畦灌处理(J处理)。2015年百粒质量无显著差异,2016年D处理百粒质量大于H处理和J处理。由于D处理干物质积累量较大,导致其2个生长季的收获指数均小于H和J处理。比较分析2个生长季的产量,2015年、2016年D处理较H和J处理依次增加8%、10%、15%、15%。另外,2个生长季J处理耗水量均为最高,分别为604和626 mm。D处理玉米水分利用效率显著高于J和H处理,较H和J处理提高36.7%、44.4%和57.6%、66.7%( $P<0.05$ )。玉米经济产量是体现玉米长势的重要指标,产量的形成与器官分化、发育及光合产物的分配和累积密切相关,而温度、土壤水分及养分是影响其过程的主要因素。畦灌短时间内过大的灌水量导致土壤水分过高,且灌水时间间隔较长,不利用作物对水分的吸收和利用。故灌溉方式的改变将会直接影响玉米产量和水分利用效率,这也是滴灌处理条件下高产的主要原因。虽然黄河水畦灌的水温高于地下水畦灌的水温,但是短时间内并未给玉米生长带来影响,这也是黄河水畦灌和地下水畦灌产量无显著性差异的主要原因。

表3 2015、2016年不同灌溉方式下玉米产量及水分利用效率

| 处理       | 年份   | 出苗率/% | 穗行/行         | 行粒/粒         | 百粒质量/g      | 籽粒产量/(kg·hm <sup>2</sup> ) | 收获指数       | 耗水量/mm  | WUE/(kg·m <sup>-3</sup> ) |
|----------|------|-------|--------------|--------------|-------------|----------------------------|------------|---------|---------------------------|
| 黄河水畦灌(H) | 2015 | 0.87b | 15.67±0.82b  | 44.00±0.89a  | 37.94±2.75a | 15087.65±630.29b           | 0.60±0.04a | 562.24b | 2.64±0.11b                |
|          | 2016 | 0.85b | 16.13±1.00ab | 43.47±1.03ab | 34.03±5.17b | 14150.29±1408.64b          | 0.55±0.10a | 591.15b | 2.38±0.24b                |
| 地下水畦灌(J) | 2015 | 0.86c | 16.00±0.36b  | 46.67±1.37a  | 37.67±0.94a | 14866.47±620.85b           | 0.56±0.07a | 603.76a | 2.50±0.10b                |
|          | 2016 | 0.84b | 15.33±0.46b  | 44.13±2.57a  | 34.99±3.02b | 14158.35±1991.72b          | 0.46±0.07a | 626.25a | 2.25±0.32b                |
| 地下水滴灌(D) | 2015 | 1.00a | 18.00±0.58a  | 43.33±1.97b  | 38.10±2.39a | 16359.65±700.33a           | 0.42±0.02b | 453.15c | 3.61±0.15a                |
|          | 2016 | 1.00a | 17.11±0.63a  | 40.22±1.58b  | 35.78±4.16a | 16321.75±1914.36a          | 0.39±0.07b | 433.18c | 3.75±0.44a                |

注 同列数后相同字母表示差异不显著( $P>0.05$ );不同字母(a、b、c)表示差异显著( $P<0.05$ )。下同。

### 2.2.2 不同灌溉水源及方式对氮肥偏生产力的影响

氮素是影响作物产量形成最重要的元素,在日常生产实践中通常通过增施氮肥来提高作物产量。由表4可看出,2015年、2016年H和J处理氮肥偏生产力没有明显差异,但D处理明显提高了氮肥偏生产力,2015年较H和J处理提高117%、120%,2016年较H和J处理提高131%、131%。

表4 2015、2016年不同灌溉方式下氮肥偏生产力

| 处理       | 年份   | 经济产量/(kg·hm <sup>2</sup> ) | 氮肥施用量/(kg·hm <sup>2</sup> ) | 氮肥偏生产力 |
|----------|------|----------------------------|-----------------------------|--------|
| 黄河水畦灌(H) | 2015 | 15 087.65                  | 750                         | 20.12b |
|          | 2016 | 14 150.29                  | 750                         | 18.87b |
| 地下水畦灌(J) | 2015 | 14 866.47                  | 750                         | 18.82b |
|          | 2016 | 14 158.35                  | 750                         | 18.88b |
| 地下水滴灌(D) | 2015 | 16 359.65                  | 375                         | 43.63a |
|          | 2016 | 16 321.75                  | 375                         | 43.52a |

### 3 讨论

玉米在生长过程受中水分、光照、温度、土壤环境等多种因素的影响,其中水分是影响玉米生长的重要因素之一。定量畦灌相对于漫灌本已是一种节水灌溉措施,但相对于滴灌,畦灌的水分利用效率较低,而作物水分利用效率的提高与作物生长发育过程密切相关<sup>[16]</sup>。膜下滴灌少量高频的灌溉方式可有效促进植物生长、提高水肥利用效率。已有研究结果表明滴灌春小麦增产14.4%,水分利用效率提高35.4%<sup>[17]</sup>;李英等<sup>[18]</sup>研究表明,滴灌玉米增产6.53%,节水1.1%,水分利用效率提高26.9%。通过调整灌溉方式实现作物生长过程中最经济和最优化的干物质形成和分配是提高作物水分利用效率的一个重要途径。膜下滴灌少量高频的灌溉方式,可以及时将作物所需水分送到根部,减少地面蒸发,起到很好的保墒作用,从而有助于提高玉米产量和水分利用效率。同时,膜下滴灌相对畦灌既不会因供水太多造成深层渗漏,也在提高农田收益的同时减少灌溉用水量,并且为玉米生长提供了良好的水热环境。本研究中,通过对比不同灌溉方式对玉米生长特性及产量的影响发现,灌溉方式对玉米株高、叶面积及干物质积累的影响占主导地位。不同灌溉方式下玉米株高、茎粗、叶面积指数及干物质质量积累均存在显著性差异。玉米的叶子是其主要的光合场所,为玉米的物质同化提供重要的基础作用,干物质质量的积累是物质同化作用的重要体现。膜下滴灌较黄河水畦灌增产8%~15%,较地下水畦灌增产10%~15%;膜下滴灌水分利用效率分别较黄河水畦灌和地下水畦灌水分利用效率提高36.7%~57.6%和44.4%~66.7%( $P<0.05$ ),黄河水畦灌水分利用效率较地下水畦灌分别提高5.6%~17.3%。孙贯芳<sup>[19]</sup>研究指出膜下滴灌较黄河水畦灌和地下水畦灌提高作物产量和水分利用效率,本文研究与该结果具有一致性。

土壤水分变化的同时对土壤中氮素营养的有效性也会产生影响。朱兆良、王艳杰等<sup>[20-21]</sup>研究表明,土壤中的有机氮必须在适宜的土壤水分条件下,通过土壤微生物的矿化作用转化为植物能吸收的有效氮才能被利用。膜下滴灌采用分次施氮、随水施肥,使土壤供氮和作物需氮在时间和空间上同步,显著地减少了氮肥在土壤中转化的时间和深层渗漏。张学军<sup>[22]</sup>等研究表明,在北方旱作灌溉体系中,淋失可能是氮肥损失的主要途径之一,滴灌可有效提高氮肥利用率<sup>[23]</sup>。故灌溉方式的改变直接影响土壤含水率,从而影响土壤中氮素存在的形态及氮素的含量。本研究中,膜下滴灌处理下的氮肥偏生产力显著大于畦灌处理,膜下滴灌处理较黄河水畦灌和地下水畦灌氮肥偏生产力分别提高117%~131%、120%~131%( $P<0.05$ )。不同水源条件下的畦灌,虽然地下水中 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 量(150 mg/L)远高于黄河水中 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 量(37.5 mg/L),研究表明利用矿化度在2 g/L以下的水灌溉,对作物全年产量基本无影响<sup>[24]</sup>。本文地下水畦灌与黄河水畦灌在水分利用效率和玉米产量方面无显著性差异。任中生<sup>[25]</sup>等研究表明河套灌区膜下滴灌促进玉米对氮素的吸收,本研究与该研究结果具有一致性。综上所述,膜下滴灌是目前适宜于河套灌区玉米节水灌溉方式之一。

### 4 结论

1)在干旱半干旱区,滴灌能够及时补充作物所需水分,明显促进玉米株高、茎粗、叶子的生长及干物质质量的积累。产量较黄河水畦灌和地下水畦灌提高8%~15%、10%~15%( $P<0.05$ )。

2)滴灌可减少水资源浪费,提高作物水分利用效率,较黄河水畦灌和地下水畦灌提高了54.3%、49.4%( $P<0.05$ ),且灵活的灌溉方式能在玉米生长缺水时期及时补充水分。

3)在干旱与半干旱区滴灌能显著促进玉米对氮肥的吸收以及玉米生长,提高产量。滴灌处理下氮肥偏生产力较黄河水畦灌和地下水畦灌提高117%~131%、120%~131%( $P<0.05$ )。因此,滴灌灌溉方式更适用于河套灌区玉米生长。同时缓解黄河水水资源不足问题,为河套灌区农业可持续发展奠定基础。

#### 参考文献:

- [1] 任玉忠,王水献,谢蕾,等. 干旱区不同灌溉方式对枣树水分利用效率和果实品质的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(22):95-102.
- [2] 马文军,程琴娟,李良涛,等. 微咸水灌溉下土壤盐动态及对作物产量的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(1):73-80.
- [3] 赵志成,杨显贺,李清明,等. 不同膜下滴灌方式对设施黄瓜生理特性及水分利用效率的影响[J]. 生态学报,2014,34(22):6 597-6 605.
- [4] 王建东,龚时宏,许迪,等. 灌水模式对冬小麦根系空间分布及多年产量的影响[J]. 水利学报,2011,42(10):1 239-1 246.
- [5] 贾殿勇. 不同灌溉模式对冬小麦籽粒产量、水分利用效率和氮素利用效率的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2013.
- [6] 潘圣刚,黄胜奇,汪金平,等. 不同灌溉模式下氮肥水平对水稻生物学特性及水分利用效率的影响[J]. 干旱区研究,2012,29(1):161-166.
- [7] 苗庆丰,史海滨,李瑞平,等. 河套灌区畦-沟分灌水分利用效率及节水效果试验研究[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(10):135-139.

- [8] 姜良超,李守中,宁秋蕊,等.河套灌区不同膜下滴灌方式对玉米拔节期光合日变化的影响[J].亚热带资源与环境学报,2016,11(2):22-31.
- [9] 李金刚,屈忠义,孙贯芳,等.微咸水膜下滴灌对土壤盐分离子分布和番茄产量的影响[J].节水灌溉,2017(3):31-35,39.
- [10] 郑凤杰,杨培岭,任树梅,等.微咸水滴灌对食用葵花的生长影响及其临界矿化度的研究[J].灌溉排水学报,2015,34(12):19-23.
- [11] 苏瑞东,杨树青,唐秀楠,等.盐渍化土壤条件下枸杞咸淡水轮灌模式试验研究[J].灌溉排水学报,2015,34(6):77-82.
- [12] 杨树青,叶志刚,史海滨,等.内蒙河套灌区咸淡水交替灌溉模拟及预测[J].农业工程学报,2010,26(8):8-17.
- [13] 侯连涛,江晓东,韩宾,等.不同覆盖处理对冬小麦气体交换参数及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2006,22(9):58-63.
- [14] 任中生.河套灌区玉米滴灌水肥一体化水氮互作效应与生长模拟研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2017.
- [15] 邢英英,张富仓,吴立峰,等.基于番茄产量品质水肥利用效率确定适宜滴灌灌水施肥量[J].农业工程学报,2015,31(S1):110-121.
- [16] CATTIVELLI L, RIZZA F, BADECK F, et al. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics[J]. Field Crops Research, 2008, 105(1/2): 1-14.
- [17] 蒋桂英,魏建军,刘萍,等.滴灌春小麦生长发育与水分利用效率的研究[J].干旱地区农业研究,2012,30(6):50-54,73.
- [18] 李英,赵福年,丁文魁,等.灌溉方式和播期对玉米水分动态与水分利用效率的影响[J].中国农学通报,2015,31(6):62-67.
- [19] 孙贯芳.河套灌区不同灌溉模式水盐盐效应及井渠结合区水盐变化规律研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.
- [20] 朱兆良.中国土壤氮素研究[J].土壤学报,2008(5):778-783.
- [21] 王艳杰,邹国元,付桦,等.土壤氮素矿化研究进展[J].中国农学通报,2005(10):203-208.
- [22] 张学军,赵营,陈晓群,等.滴灌施肥中施氮量对两年蔬菜产量、氮素平衡及土壤硝态氮累积的影响[J].中国农业科学,2007(11):2 535-2 545.
- [23] SINGH Y, RAO S S, REGAR P L. Deficit irrigation and ni-trogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in shallow soils of semi-arid environment[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97: 965-970.
- [24] 陈素英,张喜英,邵立威,等.微咸水非充分灌溉对冬小麦生长发育及夏玉米产量的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(3):579-585.
- [25] 任中生,屈忠义,李哲,等.水氮互作对河套灌区膜下滴灌玉米产量与水氮利用的影响[J].水土保持学报,2016,30(5):149-155.

## Effects of Different Water Sources and Irrigation Methods on Growth and Water-fertilizer Use Efficiency of Maize

DING Yanhong<sup>1</sup>, QU Zhongyi<sup>1\*</sup>, LI Changjian<sup>2</sup>, SUN Guanfang<sup>3</sup>, ZHANG Dongliang<sup>1</sup>, FEN Zhihong<sup>4</sup>

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2. College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

3. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

4. Institute of Water in Wulateqianqi Inner Mongolia, Bayannur 015000, China)

**Abstract:**【Objective】Water quality and irrigation methods affect plant growth, and the purpose of this paper is, by taking Hetao Irrigation District as an example, to examine water-fertilizer use efficiency as well as the growth of maize irrigated with different methods and waters.【Method】We investigated two waters: groundwater and surface water ditched from the Yellow River. The experiments included groundwater furrow irrigation (J), surface water furrow irrigation (H), and groundwater drip irrigation (D). During the experiments, we measured water and fertilizer use efficiency and the growth of the maize.【Result】Drip irrigation significantly improved fertilizer use efficiency and the yield of the maize. Compared with J and H, drip irrigation increased the corn yield by 8%~15% and 10%~15% ( $P<0.05$ ), and the water use efficiency by 36.7%~57.6% and 44.4%~66.7% ( $P<0.05$ ) respectively. The water use efficiency of J and H was essentially the same. The partial productivity of the nitrogen fertilizer under drip irrigation increased by 117%~131% and 120%~131% ( $P<0.05$ ) respectively compared to that under J and H.【Conclusion】Drip irrigation can improve water use efficiency, thereby the growth and yield of maize, and is thus the most efficient method for maize irrigation in this region.

**Key words:** irrigation area; irrigation methods; maize; water and fertilizer use efficiency

责任编辑:赵宇龙