

# 灌溉定额对浅埋滴灌春玉米生长与产量的影响

李媛媛<sup>1,2</sup>, 杨恒山<sup>1</sup>, 张瑞富<sup>1</sup>, 范秀艳<sup>1</sup>, 李金琴<sup>3</sup>, 罗方<sup>1</sup>

(1. 内蒙古民族大学农学院, 内蒙古通辽 028000; 2. 内蒙古自治区饲用作物工程技术研究中心, 内蒙古通辽 028000; 3. 通辽市农业技术推广站, 内蒙古通辽 028000)

**摘要:** [目的] 通过不同灌溉定额对浅埋滴灌春玉米生长与产量的影响研究, 筛选出适合内蒙古东部地区的最佳灌水定额, 为应用和推广浅埋滴灌提供理论和实证依据。[方法] 采用大田试验方法, 设置 400.20 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (CK), 1 050.53 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (DG<sub>1</sub>), 1 700.85 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (DG<sub>2</sub>), 2 351.18 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (DG<sub>3</sub>), 3 001.50 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (DG<sub>4</sub>) 浅埋滴灌和常规地面漫灌 3 201.60 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (GG) 共 6 个灌溉定额处理, 运用统计分析方法开展研究。[结果] (1) 随灌溉定额的增加, 浅埋滴灌春玉米的株高、叶面积指数和叶绿素相对含量呈增加趋势; (2) 净光合速率和蒸腾速率表现为 DG<sub>4</sub> 最大, DG<sub>3</sub> 次之, 叶片水平水分利用效率 DG<sub>3</sub> > DG<sub>4</sub> 且 GG 处理最低; (3) DG<sub>3</sub> 较 GG 处理的产量提高 6.03%, 灌溉水利用效率提高 44.50%。[结论] 浅埋滴灌条件下, 全生育期灌溉定额为 2 351.18 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 的灌溉制度节水、节膜、增产效益最优。

**关键词:** 灌溉定额; 浅埋滴灌; 春玉米; 生长; 产量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)02-0345-04

中图分类号: S274.1

**文献参数:** 李媛媛, 杨恒山, 张瑞富, 等. 灌溉定额对浅埋滴灌春玉米生长与产量的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2): 345-348. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.052; Li Yuanyuan, Yang Hengshan, Zhang Ruifu, et al. Effects of Irrigation Quota on Growth and Yield of Spring Maize Under Shallow Subsurface Drip Irrigation[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(2): 345-348. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.052

## Effects of Irrigation Quota on Growth and Yield of Spring Maize Under Shallow Subsurface Drip Irrigation

LI Yuanyuan<sup>1,2</sup>, YANG Hengshan<sup>1</sup>, ZHANG Ruifu<sup>1</sup>, FAN Xiuyan<sup>1</sup>, LI Jinqin<sup>3</sup>, LUO Fang<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Inner Mongolia University for the Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028000, China; 2. Engineering Research Center of Forage Crops of Inner Mongolia Autonomous, Tongliao, Inner Mongolia 028000, China; 3. Agricultural Technology Extension Station of Tongliao City, Tongliao, Inner Mongolia 028000, China)

**Abstract:** [Objective] A study on the growth and yield of spring maize by different irrigation quota under shallow subsurface drip irrigation was conducted. We aimed to find out the most effective irrigation quota that was suitable for Eastern Inner Mongolia region, which was expected to provide theoretical support for application and popularization of shallow subsurface drip irrigation. [Methods] A field experiment with 6 irrigation quotas as 400.20 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (CK), 1 050.53 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (DG<sub>1</sub>), 1 700.85 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (DG<sub>2</sub>), 2 351.18 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (DG<sub>3</sub>), 3 001.50 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (DG<sub>4</sub>), and routing irrigation 3 201.60 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (GG) was conducted. [Results] (1) Height, leaf area index and relative chlorophyll content of spring maize under shallow subsurface drip irrigation increased with the increase of irrigation quota. (2) The net photosynthetic rate and the transpiration rate were both the largest in DG<sub>4</sub>, and followed in DG<sub>3</sub>. Leaf water use efficiency of DG<sub>3</sub> were higher than those in DG<sub>4</sub> and GG treatments. (3) Yield and water use efficiency of DG<sub>3</sub> treatment increased by 6.03% and 44.50% as compared with those of GG treatment. [Conclusion] Irrigation schedule with quota of 2 351.18 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> was considered as the most optimal one with respect to saving water and mulch, and

收稿日期: 2017-01-31

修回日期: 2017-02-16

资助项目: 国家科技支撑计划项目“东北平原西部(内蒙古)玉米丰产节水节肥技术集成与示范”(2013BAD07B04); 内蒙古民族大学科学研究项目(NMDYB15014); 内蒙古民族大学博士启动项目(BS328)

第一作者: 李媛媛(1982—), 女(蒙古族), 河北省唐山市人, 硕士, 讲师, 主要从事作物栽培与节水技术研究。E-mail: liyuanyuan20131128@126.com。

通讯作者: 杨恒山(1967—), 男(汉族), 内蒙古自治区兴和县人, 博士, 教授, 主要从事作物高产栽培与节水理论技术研究。E-mail: yanghengshan2003@aliyun.com。

increasing yield of spring maize under shallow subsurface drip irrigation.

**Keywords:** irrigation quota; shallow subsurface drip irrigation; spring maize; growth; yield

西辽河平原地处世界玉米生产黄金带,玉米种植面积约稳定在  $6.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,平均单产较全国高出 40%以上,总产约占内蒙古玉米总产的 30%<sup>[1]</sup>。随着全球水资源的日趋严峻,地处西辽河平原的作为内蒙古东部地区玉米主产区的通辽市同样面临着地下水超采带来的一系列生态问题,其中农业用水是该地区水资源短缺的主要原因。目前,在生产实践中传统的大水漫灌方式仍然沿用,不仅造成水资源浪费、同时也加速肥料的淋溶、环境安全风险加大。因此,推行节水农业对于保证区域地下水的可持续利用和粮食安全具有重要的现实意义。滴灌具有明显地节水增产特点,近年来膜下滴灌已在新疆<sup>[2]</sup>、西北<sup>[3]</sup>、陕北<sup>[4]</sup>和内蒙古西部<sup>[5]</sup>等山沙两区大面积推广应用。张胜军<sup>[6]</sup>等研究指出,膜下地表滴灌存在滴灌带易被灼伤导致漏水等问题,王建东<sup>[3]</sup>等研究发现,覆膜浅埋滴灌能避免膜下地表滴灌存在的问题。覆膜能增温、提墒,对农民提高收益具有重要意义,但因其难以降解、大量不合理利用,造成土地恶化、环境污染等问题<sup>[7-8]</sup>。目前我国关于无膜浅埋滴灌的研究报道鲜见,本试验在无膜浅埋滴灌条件下,研究灌溉定额对春玉米生长与产量的影响,旨在实现节水、节膜、稳产或高产,为研究地区浅埋滴灌应用提供理论和实证依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验在地处西辽河平原的内蒙古通辽市厚德种业科技园区(43°43'N,122°19'E)进行,海拔 178 m,无霜期 150 d 左右,年平均气温 6.4 °C,属中温带大陆性季风气候。2016 年春玉米生育期间(5—9 月)降水

量为 259.1 mm,其中有效降水量为 235.3 mm。试验田地势平坦,土壤肥力中上等,土壤质地为壤土。播前 0—20 cm 表层土壤养分含量:有机质含量为 17.82 g/kg,碱解氮含量为 54.08 mg/kg,速效磷含量为 28.20 mg/kg,速效钾含量为 173.31 mg/kg,pH 值为 8.3。

### 1.2 试验设计

以郑单 958 为供试品种。浅埋滴灌种植模式采用大小垄种植,大垄宽 80 cm、小垄宽 40 cm,种植密度 7.5 万株/hm<sup>2</sup>。4 月 27 日播种,一次性施底肥〔嘉化复合肥(N:P:K=13:25:10)450 kg/hm<sup>2</sup>和尿素 352.5 kg/hm<sup>2</sup>〕后起垄,之后铺设滴灌管,再在滴灌管上覆土 5 cm 左右;5 月 16 日出苗,10 月 3 日收获,全生育期 162 d。试验采用滴灌系统,滴头间距为 33 cm,滴头流量为 2.4 L/h。试验采用随机区组设计,共 6 个处理,3 次重复。灌水方案见表 1,其中 CK 为只浇出苗水,其余时期不浇水处理;而 GG 为常规漫灌处理,共计 18 个小区,每小区面积为 72 m<sup>2</sup>(7.2 m×10 m)。为了避免灌水后处理间相互影响,小区之间间隔 1 m。每小区由独立水表控制,处理间实施相同的施肥、除草、喷药等管理措施。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 生长指标的测定 每小区选取生长一致有代表性植株连续 3 株,重复 3 次,挂牌标记。分别在大喇叭口期、吐丝期、乳熟期和完熟期,对小区挂牌标记的玉米用卷尺进行株高测定,同时测定叶片最长、最宽处,利用公式计算单叶叶面积、群体叶面积指数;在大喇叭口期、吐丝期和乳熟期采用 SPAD-502 叶绿素仪测定穗位叶叶片 SPAD 值。

表 1 浅埋滴灌春玉米灌水方案设计

处理	各灌水日期的灌水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )						灌溉定额/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )
	0505	0628	0710	0717	0727	0802	
CK	400.20	—	—	—	—	—	400.20
DG <sub>1</sub>	400.20	130.07	130.07	130.07	130.07	130.07	1 050.53
DG <sub>2</sub>	400.20	260.13	260.13	260.13	260.13	260.13	1 700.85
DG <sub>3</sub>	400.20	390.20	390.20	390.20	390.20	390.20	2 351.18
DG <sub>4</sub>	400.20	520.26	520.26	520.26	520.26	520.26	3 001.50
GG	800.40	800.40	—	800.40	—	800.40	3 201.60

1.3.2 光合指标的测定 叶片光合速率、蒸腾速率分别在吐丝期和乳熟期采用美国生产的 LI-6 400 型便携式光合测定仪测定,在晴天 9:30—11:30 测定穗位叶的净光合速率、蒸腾速率,利用公式计算叶片水平水分利用效率,每次测 5 株。

1.3.3 产量指标的测定 完熟期,各处理春玉米连续取 15 株,进行室内考种,测定指标主要有穗长、穗粗、穗粒数、千粒重等。待玉米成熟后,按小区单独收获,脱粒并测产,将小区籽粒产量折合成单产(kg/hm<sup>2</sup>)换算,同时利用公式计算灌溉水利用效率,各处

理产量为 3 次重复的平均值。

#### 1.4 相关计算和数据处理

单叶叶面积 = 长 × 宽 × 系数 (未完全展开叶片系数为 0.5, 完全展开叶片系数为 0.75) [11];

叶面积指数 (LAI) = 该土地面积的总叶面积 / 土地面积 [9];

叶片水平水分利用效率 (LWUE) = 叶片净光合速率 / 蒸腾速率 × 100% [10-12];

灌溉水利用效率 (WUE) = 玉米籽粒产量 / 实际灌溉水量 × 100% [13]。

采用 Excel 进行数据处理与作图, 运用 SPSS 19.0 软件进行数据处理, LSD 法进行差异显著性分析 ( $p < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 灌溉量对浅埋滴灌春玉米生长发育的影响

株高、叶面积指数和叶片 SPAD 值是衡量春玉米生长发育的重要指标 [4]。由图 1 可见, 株高随灌溉水量的增加而增大, 其中 GG 显著高于 CK 处理, 而 GG 与 DG<sub>3</sub>, DG<sub>4</sub> 处理的差异各生育期均不显著。在吐丝期, GG 较 CK 处理增幅最大, 达 35.26%。由图 2 可知, 叶面积指数总体趋势为增大, 在大喇叭口期、吐丝期和乳熟期表现为 DG<sub>3</sub> 处理最大, 而在完熟期则表现为 DG<sub>4</sub> 处理最大, DG<sub>3</sub> 处理次之。综合各生育期发现, DG<sub>3</sub> 显著大于 GG 处理, 分别增加了 3.52%, 6.84%, 6.59% 和 14.74%, 说明过量的灌溉定额不利于玉米叶面积指数的增加。由图 3 可知, 叶片 SPAD 值 DG<sub>4</sub> 处理最大, 在大喇叭口期和吐丝期, DG<sub>4</sub>, DG<sub>3</sub> 均较 GG 处理差异显著, 分别提高了 4.44%, 2.32% 和 8.22%, 4.89%。

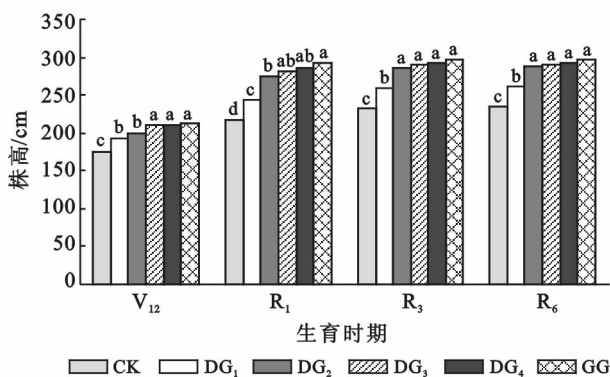


图 1 灌溉量对浅埋滴灌春玉米株高的影响

注: V<sub>12</sub> 为大喇叭口期, R<sub>1</sub> 为吐丝期, R<sub>3</sub> 为乳熟期, R<sub>6</sub> 为完熟期; 图上不同小写字母代表处理间差异在 0.05 水平上达到显著。下同。

### 2.2 灌溉量对浅埋滴灌春玉米光合特性的影响

净光合速率 ( $P_n$ ) 和蒸腾速率 ( $T_r$ ) 是衡量玉米光

合性能的重要指标 [4]。在吐丝期和乳熟期,  $P_n$  和  $T_r$  均表现为 DG<sub>4</sub> 处理最大, DG<sub>3</sub> 处理次之, 且 DG<sub>4</sub>, DG<sub>3</sub>, DG<sub>2</sub> 显著高于 CK 处理。叶片水平水分利用效率 (LWUE) 是评价玉米生长适宜度的重要指标 [4], DG<sub>2</sub>, DG<sub>3</sub>, DG<sub>4</sub> 处理的 LWUE 均略高于 GG 处理。在吐丝期和乳熟期, DG<sub>2</sub>, DG<sub>3</sub>, DG<sub>4</sub> 处理的 LWUE 较 GG 处理分别增加了 6.82% 和 11.88%, 6.25% 和 4.48%, 3.41% 和 0.78%。综上所述, 过量的灌溉定额不利于春玉米增强光合性能, 不利于光合同化产物向生殖器官的转运, 从而使得 LWUE 明显降低。

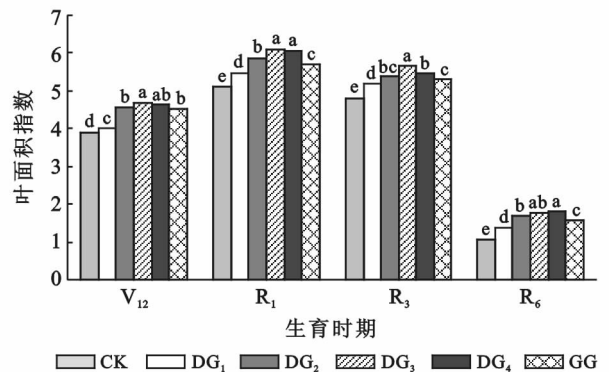


图 2 灌溉量对浅埋滴灌春玉米叶面积指数的影响

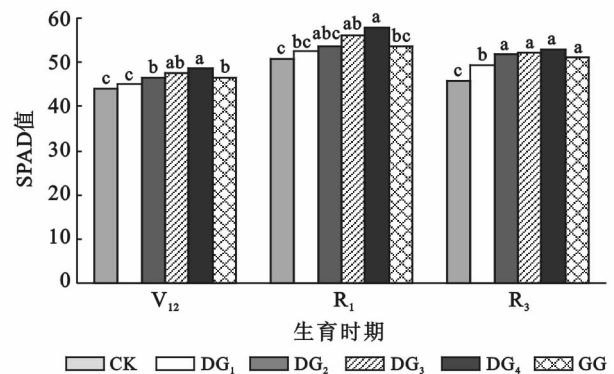


图 3 灌溉量对浅埋滴灌春玉米叶片 SPAD 值的影响

### 2.3 灌溉量对浅埋滴灌春玉米产量及灌溉水利用效率的影响

由表 2 可知, 产量表现为 DG<sub>3</sub> 处理最大, DG<sub>4</sub> 处理次之, 其中 DG<sub>2</sub>, DG<sub>3</sub>, DG<sub>4</sub> 分别较 GG 处理的产量分别增加 1.43%, 6.03% 和 2.98%, 增产效果明显。在产量构成因素中, DG<sub>3</sub> 处理的穗粒数和千粒重略高于 DG<sub>4</sub> 处理, 表明穗粒数和千粒重的增加是 DG<sub>3</sub> 处理增产的主要原因。

各处理的灌溉水利用效率 (WUE) 表现为 CK 处理最大, GG 处理最小, 其中 DG<sub>2</sub>, DG<sub>3</sub>, DG<sub>4</sub> 分别较 GG 处理的 WUE 分别提高 90.91%, 44.50%,

9.81%。表明过量的灌溉定额不仅不能使春玉米获得高产而且不利于灌溉水利用效率的提高。综合考

虑,适宜的灌溉定额 DG<sub>3</sub> 处理较好,在保证产量的同时达到了较优的 WUE。

表 2 灌溉量对浅埋滴灌春玉米产量及灌溉水利用效率的影响

处理	穗长/cm	穗粗/cm	穗粒数/粒	千粒重/g	产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	灌溉水利用效率/ (kg·m <sup>-3</sup> )
CK	14.53 <sup>b</sup>	4.83 <sup>c</sup>	402.42 <sup>c</sup>	366.71 <sup>b</sup>	8 961.37 <sup>d</sup>	22.39 <sup>a</sup>
DG <sub>1</sub>	16.27 <sup>a</sup>	5.13 <sup>b</sup>	496.31 <sup>b</sup>	370.03 <sup>b</sup>	11 279.21 <sup>c</sup>	10.74 <sup>b</sup>
DG <sub>2</sub>	16.90 <sup>a</sup>	5.37 <sup>ab</sup>	547.87 <sup>a</sup>	387.42 <sup>ab</sup>	13 578.11 <sup>ab</sup>	7.98 <sup>c</sup>
DG <sub>3</sub>	16.67 <sup>a</sup>	5.40 <sup>a</sup>	557.78 <sup>a</sup>	403.95 <sup>a</sup>	14 194.18 <sup>a</sup>	6.04 <sup>d</sup>
DG <sub>4</sub>	16.87 <sup>a</sup>	5.50 <sup>a</sup>	539.27 <sup>ab</sup>	394.21 <sup>ab</sup>	13 784.73 <sup>ab</sup>	4.59 <sup>e</sup>
GG	17.03 <sup>a</sup>	5.37 <sup>ab</sup>	545.82 <sup>a</sup>	394.35 <sup>ab</sup>	13 386.42 <sup>b</sup>	4.18 <sup>e</sup>

### 3 讨论与结论

合理灌溉是发展可持续农业的前提<sup>[14]</sup>,灌溉定额直接影响春玉米的生长发育和产量构成。刘战东等<sup>[15]</sup>研究表明,株高与灌溉定额成正比例。唐光木等<sup>[2]</sup>研究表明,株高、叶面积、SPAD 值随灌溉定额的增加而增大。本试验研究浅埋滴灌春玉米的株高、LAI,SPAD 值也得出相同的结论,但不同的是 LAI,SPAD 值在一定范围(CK—DG<sub>4</sub> 处理)内,随灌溉定额的增加而增大,而超出范围(GG 处理)则表现为下降趋势。

灌水定额最大的 GG 处理虽然 LWUE 最低,但不同的是 GG 处理的  $P_n$  和  $T_r$  并不是最高,而低于 DG<sub>4</sub>,DG<sub>3</sub> 和 DG<sub>2</sub> 处理,这可能是由于 GG 处理灌水量过多、增加棵间蒸发、蒸腾强度显著加强而光合速率增加并不明显所致。

本研究中灌溉定额最小的 CK 处理 WUE 最高,灌溉定额最大的 GG 处理 WUE 最低,这与冯鹏等<sup>[13]</sup>的研究结论一致。灌溉定额适宜的 DG<sub>3</sub> 较 GG 处理产量提高 6.03%,WUE 提高 44.50%。通过对产量及 WUE 的综合评价,DG<sub>3</sub> 处理的灌溉定额较好,在保证产量的同时达到了较优的 WUE。

从高效利用水资源方面考虑,浅埋滴灌条件下,春玉米全生育期除灌出苗水外共灌水 5 次,每次灌水定额为 390.20 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,灌溉定额为 2 351.18 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 的灌溉制度节水、节膜、增产效益最优。本试验结果仅为初步的探讨论证,今后应进一步在不同年型不同品种间进行试验,完善浅埋滴灌配套技术在内蒙古东部地区的应用和推广。

#### [参 考 文 献]

[1] 张玉芹,杨恒山,高聚林,等.超高产春玉米冠层结构及其生理特性[J].中国农业科学,2011,44(21):4367-4376.

[2] 唐光木,何红,杨金钰,等.灌溉定额对膜下滴灌玉米生理性状及产量的影响[J].水土保持研究,2014,21(3):293-297.

[3] 王建东,张彦群,龚时宏,等.覆膜浅埋滴灌技术模式田间应用试验研究[J].灌溉排水学报,2015,34(11):1-5.

[4] 王雯,张雄.榆林沙区不同灌溉方式对春玉米生长及产量的影响[J].水土保持通报,2015,35(4):213-216,222.

[5] 范雅君,吕志远,田德龙,等.河套灌区玉米膜下滴灌灌溉制度研究[J].干旱地区农业研究,2015,33(1):123-129.

[6] 张胜军,张庆飞,李学颖,等.膜下凝结水珠对滴灌带灼伤的研究[J].节水灌溉,2014(6):29-31.

[7] 严昌荣,刘恩科,舒帆,等.我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J].农业资源与环境学报,2014,31(2):95-102.

[8] 张丹,刘宏斌,马忠明,等.残膜对农田土壤养分含量及微生物特征的影响[J].中国农业科学,2017,50(2):310-319.

[9] 王策,王志强,张志伟,等.补灌量对夏玉米光合和叶绿素荧光特性的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(6):99-106.

[10] 乔冬梅,史海滨,霍再林.浅地下水埋深条件下土壤水盐动态 BP 网络模型研究[J].农业工程学报,2005,21(9):42-46.

[11] 吕佳雯,武向良,高聚林,等.行间覆膜对内蒙古河套灌区春玉米水分利用效率及土壤排盐量的影响[J].玉米科学,2013,21(3):103-109.

[12] 陈其鲜,杨琴,任书生.拔节期水分亏缺对沙地农田玉米光合特性及物质积累的影响[J].水土保持通报,2015,35(4):91-96.

[13] 冯鹏,王晓娜,王清邴,等.水肥耦合效应对玉米产量及青贮品质的影响[J].中国农业科学,2012,45(2):376-384.

[14] 王增丽,董平国,樊晓康,等.膜下滴灌不同灌溉定额对土壤水盐分布和春玉米产量的影响[J].中国农业科学,2016,49(12):2343-2352.

[15] 刘战东,肖俊夫,刘祖贵,等.膜下滴灌不同灌水处理对玉米形态、耗水量及产量的影响[J].灌溉排水学报,2011,30(3):60-64.