

文章编号 :1003-8701(2014)02-0013-05

# 风沙土膜下微润灌溉制度的研究

窦超银, 孟维忠, 佟威

(辽宁省水利水电科学研究院, 沈阳 110003)

**摘要:**为了更为合理的利用风沙土壤资源, 本文将新型微润灌溉技术应用于风沙土玉米灌溉, 通过田间试验研究了不同微润灌溉水量对玉米生长和产量的影响, 从而为风沙土膜下微润灌溉制度的制定提供理论依据。试验结果表明: 灌水量对微润灌溉玉米株高、茎粗、LAI 和单株地上干物质质量等营养生长影响较小; 穗长、穗粗、行粒数、百粒重、穗粒重、穗重等产量构成性状和产量均随着灌水量的增加先增大后减小, 穗行数随灌水量变化不大, 秃尖长随灌水量的增加先减小后增大, 灌水量 75%ET 时, 玉米微润灌溉产量最高, 达到 7.8 t/hm<sup>2</sup>; WUE 随着灌水量的增加而下降, 25%ET 时 WUE 最大, 为 1.35 kg/m<sup>3</sup>。因此, 在风沙土地区, 灌水量宜控制在 25%~75%之间。

**关键词:**产量; 灌水量; 风沙土; 水分利用效率; 微润灌溉

中图分类号: S275.6

文献标识码: A

## Studies on Self-Suction Micro Irrigation Regime for Maize on Aeolian Sandy Soil

DOU Chao-yin, MENG Wei-zhong, TONG Wei

(Water Conservancy and Hydropower Science Research Institute of Liaoning, Shenyang 110003, China)

**Abstract:** In order to provide the theory for the reasonable exploitation and sustainable utilization of Aeolian sandy soil, maize was planted under plastic film and irrigated by self-suction micro-irrigation emitter. Effects of irrigation water on the growth and yield of maize in Aeolian sandy soil were studied by field experiment. The results showed that irrigation water had little effect on stem length, stem diameter, LAI, and dry matter accumulation above ground per plant. Ear length, ear thickness, grains per row, 100 grain weight, grain weight per ear, ear weight and yield all increased first and then decreased as irrigation water increased, while length of barren ear had the opposite trend, besides that, rows per ear changed little as irrigation water increased. The highest yield, which reached 7.8 t/hm<sup>2</sup>, was got for 75% ET treatment. However, WUE decreased with increasing of irrigation water, and its maximum was 1.35 kg/m<sup>3</sup> for 25% ET treatment. Therefore, in the Aeolian sandy soil area, irrigation water about 25%~75% ET was recommended.

**Keywords:** Yield; Irrigation water; Aeolian sandy soil; Water use efficiency; Self-suction micro irrigation

辽宁省土地沙漠化问题十分严重, 其中分布在与内蒙古科尔沁沙地接壤的辽西北地区最为突出。降雨稀少、蒸发量大, 尤其春季干旱多风是这

一地区的主要气候特征, 而以粉细沙为主的风沙土壤含水率低, 保水保肥性差, 进一步制约了地区农业生产。目前, 在辽西北风沙土区, 土地利用以玉米种植为主, 作物需水完全依靠降雨补充, 靠天吃饭, 玉米产量仅维持在 4.5~6.0 t/hm<sup>2</sup>, 遇到大旱时减产严重, 甚至绝收。近年来, 相关学者针对辽西北风沙土利用做了大量研究, 吸力式微润灌溉水器正是针对这一地区土壤保水能力差等特点研

收稿日期: 2013-09-19

基金项目: 水利部科技推广项目(TG1203); 水利部公益性行业科研专项资助项目(201101061)

作者简介: 窦超银(1982-), 男, 博士, 工程师, 主要从事节水灌溉原理与技术研究。

发的一种新型微灌设备。主要利用灌水器内外能量差,通过导水芯毛管水吸力作用向土壤供水。应用结果表明,与目前普遍推广应用的喷微灌技术相比,微润灌水器流量小、能耗低,可有效减少灌溉水在沙土中向深层渗漏,使风沙区有限水资源得到充分利用,农业生产模式由雨养农业转变为灌溉农业,粮食产量得到明显提高<sup>[1]</sup>。但目前推广应用微润灌溉时,灌溉制度以参考滴灌灌溉制度为主,缺乏适宜新技术的灌溉制度,因此,本文以玉米辽单 31 为材料,对风沙区玉米微润灌溉制度进行试验研究,从而为微润灌溉制度的制定提供理论依据,为风沙区土地利用提供技术基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

试验区位于辽宁省彰武县北甸子村(E122°23',N42°50')地处科尔沁沙地南缘,属于温带半干旱季风气候区,其主要特征是干燥,风沙大。多年平均降雨量 412 mm,降水量年内分布不均,夏季降水量占全年降水量的 60%~70%;多年平均蒸发量 1 781 mm,年平均气温 6.1℃,平均风速 3.7~4.2 m/s,最大瞬时风速达 24m/s,沙尘暴天气 10~15 d;植物生长期 145~150 d,无霜期 154 d。试验区土壤主要为流动风沙土,干容重 1.69 g/cm<sup>3</sup>,田间持水率为 6.3%,凋萎含水率为 1.7%,饱和持水率为 16.9%。土壤机械组成以细沙为主,占 70%,物理性黏粒和粗沙很少;有机质含量为 0.66g/kg。

### 1.2 供试材料与试验设计

试验于 2012 年 5~9 月在辽宁省阿尔乡沙地灌溉试验站进行,共设 15 个试验对比小区,小区长 2.8 m,宽 2.4 m,面积 6.67 m<sup>2</sup>。种植作物为玉米辽单 31,采用微润灌水器进行灌溉,灌水量根据布置在冠层顶部 20 cm 蒸发皿 7 d 累积水面蒸发量(ET)为参考,分别设定 0.25ET(WR1)、0.5ET(WR2)、0.75ET(WR3)、1.0ET(WR4)和 1.25ET(WR5)5 个处理,当灌水周期内发生降雨时,从灌水量中减去降雨量。玉米垄距 1.2 m,玉米宽行距 0.8 m,窄行距 0.4 m,株距 0.27 m,每个处理设 3 个重复。

### 1.3 田间管理

播种前种子进行晾晒处理,各处理均在春播前翻地,平整土地,施农家肥(鸡粪)1.5 t/hm<sup>2</sup>,5 月 11 日起垄铺设滴灌带,覆膜播种,底肥磷酸二铵 225 kg/hm<sup>2</sup>,玉米复合肥 225 kg/hm<sup>2</sup>。5~6 叶期定苗,拔节期中耕除草,喷施农药甲胺磷一次,防治虫害。9 月 10 日后不再灌溉,10 月 3 日收获。

### 1.4 测定指标

降雨利用试验区附近的小型气象站监测,在试验区从南到北在冠层上方 20 cm 分别放置 3 套 20 cm 蒸发皿测量冠层水面蒸发,每天 8:00 测量一次。灌水量通过水表观测。在玉米生长成熟期前,每 7 d 测量一次玉米株高、茎粗和单株全部展开叶的叶面积,按长×宽×系数法调查叶面积,叶面积指数(LAI)通过叶面积与单位土地面积折算求得<sup>[2]</sup>;在乳熟期随机取 3 株玉米截取地上部分物质,称鲜重后杀青,在 105℃下杀青 30 min,再于 80℃烘干至恒重,称干重;收获时在各小区随机取样 10 株,收获后室内考种,考查项目:穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数、穗粒数和百粒重等农艺性状,并计算产量。水分利用效率(WUE)根据文献[3]的算法计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 降水和灌溉

玉米生育期内共降雨 39 次,降雨量达到 394.2 mm,其中有效降雨 11 次,累积 273.9 mm,最大降雨发生在 8 月 8 日,降雨量达到 38.3 mm,其次发生在 7 月 22 日,降雨 30.8 mm。5 月 11 日~9 月 9 日冠层蒸发皿水面累积蒸发量 731.9 mm,全生育期共灌水 8 次,WR1、WR2、WR3、WR4 和 WR5 分别灌水 91.2 mm、168.5 mm、252.8 mm、337.0 mm 和 421.3 mm。

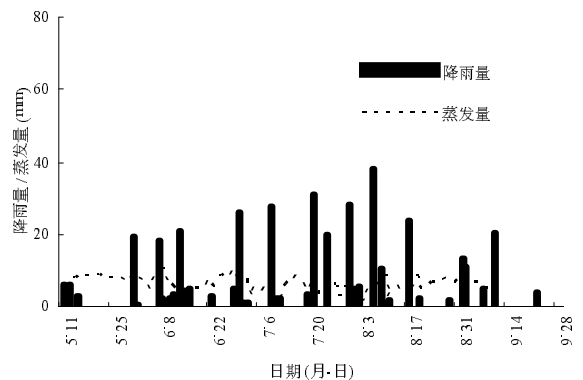


图 1 玉米生育期内降雨量和冠层水面蒸发量

### 2.2 不同处理对玉米生长的影响

#### 2.2.1 株高

不同处理玉米株高在生育期内总体变化趋势相同,随着生育期的进行,株高持续增大,拔节期和抽雄期株高增加最为迅速,灌浆期后,株高相对稳定(图 2)。不同处理之间,苗期和拔节期 WR1 和 WR2 处理株高高于其他处理,其中苗期各处理株

高变幅较大,一般在 20%~30%之间,拔节期差异达到近 30cm,但由于株高较高,变幅减小,在 10%~20%之间;灌浆期后各处理株高相近,变幅在 5%内。

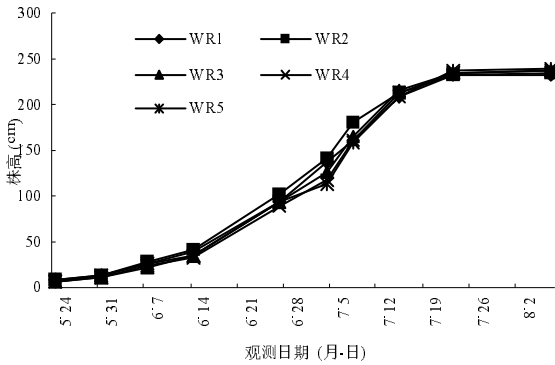


图 2 灌溉处理对玉米株高的影响

2.2.2 茎粗

玉米生育期内茎粗的变化如图 3 所示,拔节期~抽雄期,随着玉米生长的进行,玉米茎粗逐渐增大,抽雄期后,茎粗相对稳定。WR1 和 WR2 处理有利于玉米早期茎粗生长,苗期~拔节期,各处理茎粗差异较大,其中拔节期 WR2 处理较 WR5 处理高出 30%~40%;抽雄期后,各处理差异减小,茎粗相近,变幅仅在 3%~8%之间。

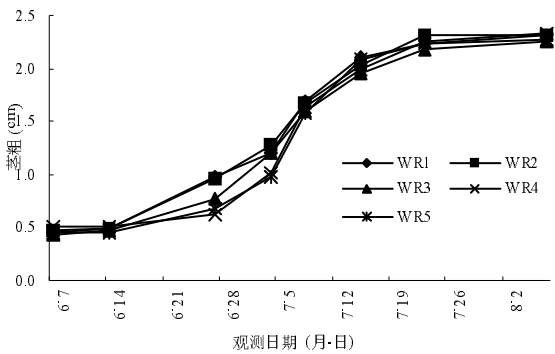


图 3 灌溉处理对玉米茎粗的影响

2.2.3 叶面积指数(LAI)

从图 4 可以看出,各处理 LAI 随着生育期的进行而增大,拔节期~灌浆期,LAI 增长明显,灌浆期后,LAI 趋于稳定,其中 WR1 处理 LAI 开始下降。在玉米抽雄期,不同灌溉处理 LAI 值都较小,但随着微润灌溉灌水量的增加,LAI 有减小的趋势,WR1 和 WR2 处理高出 WR4 和 WR5 处理 20%~50%,随着玉米的生长,WR3,WR4 和 WR5 处理 LAI 与 WR1 和 WR2 处理之间差异逐渐减小,其中 WR3 和 WR4 处理高于其他处理,到灌浆期时,各处理 LAI 均达到 4 左右,变幅在 5%~

15%之间。

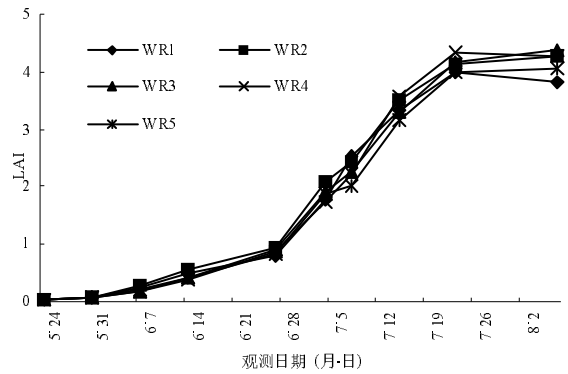


图 4 灌溉处理对玉米叶面积指数的影响

2.2.4 地上物质累积

玉米成熟期地上部分物质重如表 1 所示,各处理鲜重和干重变化规律相同,随着灌水量的增加,鲜重和干重均先增大后减小,WR3 处理鲜重和干重最大,分别达到 1.24kg 和 1.04kg;干鲜比变化较小,但随着灌水量的增加有先减小后增大的变化趋势,WR4 干鲜比最小,约 83.8%。地上物质在不同器官中的分配从重到轻依次为:穗部>叶>茎秆,穗部物质累积明显高于其他器官,不同处理穗部、叶片和茎秆鲜重占地上部分物质鲜重分别为 60%~65%、20%~22%和 13%~17%,干重分别占 57%~62%、22%~24%和 15%~19%;WR3 处理穗部物质占地上物质比例最高,而叶重和茎秆重占地上物质比例低于其他处理,WR1 和 WR5 处理物质分配则表现出相反的规律。这说明适量灌水有利于物质累积,同时提高地上物质向穗部转移,灌水量过低和灌水量过多均不利于作物干物质的形成,但玉米在生长过程中可能会通过调节干鲜比提高干物质重。

一般研究均表明作物生长对水分条件敏感,如对作物叶片的生长有着明显的调控作用,影响光合产物总量的积累及在不同器官中的分配等<sup>[4]</sup>。张芮等研究表明灌水不充分时易导致叶龄推迟,植株矮小,LAI 一直较小,最终影响生物产量和经济产量<sup>[5]</sup>。姚启伦等研究表明水分缺乏时,玉米叶片数、总叶面积、株高、生物产量、地上部干物质质量等均不同程度地下降<sup>[6]</sup>。也有研究认为玉米形态和生理特征变化和水分胁迫程度相关,只有重度水分亏缺才对玉米苗株高、茎粗、叶片数和叶面积等产生一定的抑制作用<sup>[7]</sup>。本试验条件下,试验结果与前人结论不一致,这一方面可能是在生育期内降雨量条件下,灌水量最小的 WR1 处理玉米亦未受到重度水分

胁迫,而另一方面,灌水量的增加相应延长了灌水时间,风沙土持水保肥性能差,长时间灌溉并没有显著增加土壤根系分布层蓄水量,但加剧了对土

壤养分的淋洗,同时降低了土壤温度,从而不利于玉米营养生长。

表 1 不同灌溉处理对玉米地上物质累积的影响

处理	鲜重 (kg)				干重 (kg)				干鲜比
	穗	叶	茎秆	总计	穗	叶	茎秆	总计	
WR1	0.62	0.22	0.17	1.01	0.50	0.21	0.16	0.86	84.8%
WR2	0.65	0.22	0.16	1.03	0.53	0.21	0.14	0.87	84.8%
WR3	0.80	0.27	0.16	1.24	0.65	0.24	0.16	1.04	84.2%
WR4	0.74	0.24	0.21	1.18	0.59	0.22	0.19	0.99	83.8%
WR5	0.61	0.25	0.20	1.07	0.52	0.21	0.17	0.90	84.2%

## 2.3 不同处理对玉米产量及产量构成的影响

### 2.3.1 产量构成性状

各处理考种结果如表 2 所示。穗长和穗粗分别在 182.3~191.6 mm 和 47.5~50.7 mm 之间变化,随着灌水量的增加先增大后减小,WR3 处理达到最大;秃尖长随着灌水量的增加先减小后增大,WR4 处理秃尖长最短,较 WR1 处理减少 40%;行粒数和秃尖长的变化趋势相反,与穗长变化一致,WR3 处理行粒数最多,高出 WR1 处理

12.9%;各处理行数接近,一般均为 14 行或 16 行;百粒重、穗粒重和穗重分别在 30.7~34.8 g、168.2~200.0 g 和 212.8~257.0 g 之间变化,随着灌水量的增加先增大后减小,WR1 处理最小,WR3 处理最大。方差分析表明不同处理之间各产量构成指标差异均未达到显著水平,即在试验设计的灌水量范围内,灌水量过多或过少时对玉米生长发育有一定的抑制作用,但产量构成性状的显著变化可能还决定于作物品种和遗传特性等因素。

表 2 不同灌溉处理对玉米产量性状的影响

处理	穗长(mm)	穗粗(mm)	秃尖长(mm)	行数	行粒数	百粒重(g)	穗粒重(g)	穗重(g)
WR1	182.3a	47.5a	7.0a	14.8a	37.2a	30.7a	168.2a	212.8a
WR2	189.8a	48.6a	6.3a	14.2a	41.4a	33.1a	190.6a	235.1a
WR3	191.6a	49.0a	4.9a	14.4a	42.0a	34.8a	200.0a	257.0a
WR4	187.7a	48.9a	4.2a	14.9a	40.1a	31.8a	193.7a	244.5a
WR5	191.4a	50.7a	5.8a	15.0a	39.9a	32.8a	192.6a	247.9a

注:表中同列不同字母表示差异显著  $p < 0.05$ ,下同。

### 2.3.2 产量和 WUE

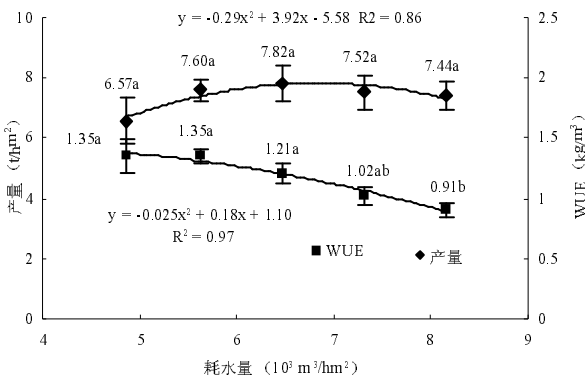


图 5 耗水量对玉米产量和 WUE 的影响

在试验设置的 5 个处理中,产量从大到小依次为 WR3>WR2>WR4>WR5>WR1;产量与耗水量之间具有非线性关系,随灌水量的增加先增大

后减小,WR3 处理产量最高,为 7.8 t/hm<sup>2</sup>,分别高出 WR2、WR4、WR5 和 WR1 处理 2.9%、3.9%、5.0%和 18.9%(图 5)。不同处理之间产量的变化规律与地上物质累积的变化相近,表明玉米产量与地上物质积累量密切相关,在一定范围内地上物质累积越多,子粒产量也就越高,这与前人研究结果一致<sup>[8]</sup>。

回归分析表明 WUE 与耗水量之间也具有良好的非线性关系,WUE 从大到小顺序为 WR1>WR2>WR3>WR4>WR5,即 WUE 随着灌水量的增加而减小,WR2、WR4、WR5 和 WR1 处理与 WR1 处理相比,WUE 分别下降 0.3%、10.8%、24.6%和 33.0%,其中 WR5 处理 WUE 显著低于 WR1、WR2 和 WR3 处理(图 5)。WR1 处理耗水量最小,产量最低,WUE 最大,为 1.35

kg/m<sup>3</sup>;WR3 处理虽然 WUE 不高,但经济性较高;因此,在风沙区土壤保水性能较差的条件下,以追求粮食产量为目标时,微润灌溉灌水量以接近 75%ET 为宜;但产量提高的同时也增加了灌溉水的无效消耗,在以提高水分利用效率为目标时,该地区微润灌溉灌水量以接近 25%ET 为宜。

### 3 结 论

本文将微润灌溉技术在风沙区玉米种植中进行应用,对风沙区微润灌溉制度进行初步试验研究,可以得到以下结论。

3.1 微润灌溉灌水量对玉米营养生长的影响较小,当灌水量在 0.25ET ~ 1.25ET 之间变化时,株高、茎粗、LAI 和单株地上干物质重变幅均在 5% ~ 15% 之间。

3.2 穗长、穗粗、行粒数、百粒重、穗粒重和穗重均随着微润灌溉灌水量的增加先增大后减小,75%ET 时达到最高;行数受灌溉影响较小;秃尖长随着灌水量的增加先减小后增大的趋势。

3.3 玉米产量随着灌水量的增加呈“抛物线”型变化,灌水量近 75%ET 时可以获得最高产量;WUE 随着灌水量的增加也呈“抛物线”型变化,但

在试验设置的灌水量范围内,随灌溉的增加持续下降。

因此,综合考虑节水和增产效益,在风沙土壤使用微润灌溉技术种植玉米时,灌水量以接近 25% ~ 75% 玉米冠层蒸发量为宜。

参考文献:

- [1] 窦超银,李春龙,李光永,等.吸力式微润灌水器水力特性试验研究[J].灌溉排水学报,2012,31(4):83-86.
- [2] 胡小平,薛永祥.玉米单株叶面积的快速测定[J].玉米科学,1993,1(3):77-78.
- [3] Zhang Yongqiang, Eloise Kendy, Yu Qiang, et al. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain[J]. Agricultural Water Management, 2004(64): 107-122.
- [4] 蔡焕杰,邵光成,张振华.不同水分处理对膜下滴灌棉花生理指标及产量的影响[J].西北农林科技大学学报,2002,30(4):29-32.
- [5] 张 芮,成自勇,李有先.水分亏缺对膜下滴灌制种玉米生长及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(2):125-128.
- [6] 姚启伦,陈 秘.干旱胁迫对玉米地方品种苗期植株形态的影响[J].河南农业科学,2010(2):20-23,27.
- [7] 郑盛华,严昌荣.水分胁迫对玉米苗期生理和形态特性的影响[J].生态学报,2006(4):1138-1143.
- [8] 刘 伟,吕 鹏,苏 凯,等.种植密度对夏玉米产量和源库特性的影响[J].应用生态学报,2010,21(7):1737-1743.

(上接第 4 页)显著下降,叶片蒸腾速率下降,使 CO<sub>2</sub> 气孔导度下降,包间 CO<sub>2</sub> 浓度有所升高,叶片光合速率下降。植株下部叶片衰老较快,冠层底部空气流通缓慢,底部冠层光强较弱,所以 N5 光合速率最低,各光合因素变化更加显著。

种植密度对各产量要素有显著影响。在一定密度范围内,随着种植密度的增加,群体株数显著增多,植株个体茎粗减小,群体叶面积越大,叶面积系数升高,冠层底部光合有效辐射减少,光热资源被叶片大量吸收利用,增加了群体的光合产物,群体穗数显著增多,收获的群体产量显著增加。

参考文献:

- [1] 左振朋,孙庆泉,董鲁浩,等.爆、甜、糯玉米生育后期叶片光合特性的比较[J].作物学报,2009,35(10):1930-1935.
- [2] 左振朋,翟合生,王 婧,等.甜玉米和糯玉米生育后期光合

生理特性[J].山东农业科学,2008(3):51-53.

- [3] 孙加伟,赵天宏,付 宇,等.CO<sub>2</sub> 浓度升高对玉米叶片光合生理特性的影响[J].玉米科学,2009,17(2):81-85.
- [4] 陈得义,葛 超,赵成昊,等.不同品种春玉米光合生理特性密度效应研究[J].农业科技通讯,2012(1):35-38.
- [5] 姜琳琳,韩晓日,杨劲峰,等.施肥对不同密度型高产玉米品种光合生理特性的影响[J].沈阳农业大学学报,2010,41(3):265~269.
- [6] 孔 宇,王 霞,杨 亮,等.密度对饲用玉米光合特性和产量的影响[J].东北农业大学学报,40(3):16-20.
- [7] 姜 英,林叶春,许和水,等.两种 C<sub>4</sub> 作物不同叶位光合及叶绿素荧光特性比较[J].中国农业大学学报,2012,17(3):34-42.
- [8] 吕丽华,王 璞,易镇邪,等.密度对夏玉米品种光合特性和产量性状的影响[J].玉米科学,2007,15(2):79-81.
- [9] 段巍巍,李慧玲,肖 凯,等.密度对玉米光合生理特性和产量的影响[J].玉米科学,2007,15(2):98-101.