文章编号:1672 - 3317(2018)08 - 0046 - 05

风沙土玉米地下滴灌技术田间应用试验研究

窦超银[1,2], 孟维忠[2], 佟 威[2], 陈 伟[2], 延玮辰[2]

(1. 扬州大学 水利与能源动力工程学院, 江苏 扬州 225009;
2. 辽宁省水利水电科学研究院, 沈阳 110003)

摘 要:【目的】探索地下滴灌技术在风沙土地区应用的适宜性。【方法】将地下滴灌与膜下滴灌、雨养无灌溉进行田间对比试验研究,分析了不同灌溉方式对玉米生长和产量的影响。【结果】采用地下滴灌,灌溉水主要分布在20 cm以下土层,土壤含水率长期保持在6%以上;玉米生长前期株高、茎粗和*LAI*等长势慢于膜下滴灌,但随着玉米生长,株高和*LAI*最终与膜下滴灌处理持平,且玉米生长后期,地下滴灌有利于延缓叶片衰老;地下滴灌玉米产量为7.5 t/hm^2,*WUE*为1.9 kg/m^3,与膜下滴灌相比,产量和*WUE*分别减少了0.8 t/hm^{2}和0.3 kg/m^3,但差异不显著,与雨养种植相比,地下滴灌显著提高了产量和*WUE*,分别提高了126.4%和73.6%。【结论】从长久的生态效益和经济效益来看,地下滴灌技术可作为风沙土地区农业灌溉的选择。

关 键 词:滴灌; 水分利用效率; 玉米; 产量; 叶面积指数

中图分类号:S275.6 **文献标志码:**A doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2016.0120

窦超银,孟维忠,佟威,等. 风沙土玉米地下滴灌技术田间应用试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(8):46-50.

0 引 言

东北地区春季低温多风,滴灌技术常与地膜覆盖技术相结合,一方面起到固定滴灌带的作用,另一方面可以增加积温。因此,在国家东北四省区“节水增粮”行动中,膜下滴灌是主要推广应用的技术形式。但在长期使用过程中发现,地膜在作物、老化和人为生产活动等作用下易碎片化、难以回收,经过2～3 a后,耕地即遭到严重的残膜污染[1],连续覆膜3 a,地膜残留量可达到110 kg/hm^2。大量的地膜残留将直接对农田生态环境造成破坏,如阻碍水分养分在土壤中的运移,不利于种子发芽出苗,降低农机具作业质量等[2],严重影响了农民应用节水灌溉技术的积极性。在辽宁,一些项目区乡镇通过引进新型残膜回收机、可降解地膜或加厚地膜来降低地膜的不利影响,但成本高效果低使得上述方法未能普及。因此,在项目区亟须寻求合理的技术措施以减少地膜覆盖的负面影响。地下滴灌是将滴灌毛管地埋,借助毛细管作用或重力作用将水分扩散到根系层供作物吸收利用的一种灌水方法[3]。与普通滴灌相比,地下滴灌具有更好的节水和增产效果[4-6],并能够改善农产品质量和土壤环境[7-8]。显然,滴灌带地埋后不再需要覆膜固定,利用这一特点可减少地膜使用,有效避免地膜残留问题。但目前地下滴灌技术相关的试验和应用研究在辽宁地区的报道还相对较少。因此,通过田间试验,研究地下滴灌在辽宁地区的应用效果,为地下滴灌技术的应用提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验在辽宁省水科院阿尔乡沙漠生态园内进行,试验园位于辽宁省彰武县北甸子村(122°23′E,42°50′N),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24 m/s,沙尘暴天气10～15 d;植物生长期145～150 d,无霜期

收稿日期:2016-10-24

基金项目:国家科技支撑计划课题(2014BAD12B04);中央财政农业科技技术推广项目(GCNT-LN-04)

作者简介:窦超银(1982-),男。高级工程师,博士,主要从事节水灌溉原理与技术研究。E-mail: chydou@163.com

154 d。试验区土壤主要为流动风沙土，干体积质量为1.69 g/cm³，田间持水率为6.3%，凋萎含水率为1.7%。土壤机械组成以细沙为主，占70%，物理性黏粒和粗沙很少；有机质质量分数为0.66 g/kg。

2015年玉米生育期内蒸发降雨量如图1所示，降雨21次，累积降雨量295.7 mm。玉米播种后，即开始降雨，苗期和拔节期累积降雨191.1 mm，约占全生育期降雨量的2/3；抽雄期少降雨，仅在抽雄后期出现1次集中降雨，此阶段玉米需水增加，降雨分布不利于玉米生长；灌浆期历时短，降雨4次，累积降雨量31.6 mm，基本满足玉米需水要求；乳熟期后，降雨3次，降雨量31.7 mm。玉米生育期内累积蒸发量898.8 mm，苗期—拔节期多风，蒸发较强，平均日蒸发量6.9 mm；7—8月，受高温影响，日蒸发量约6.5 mm，成熟期蒸发减弱，日均蒸发量3.9 mm。

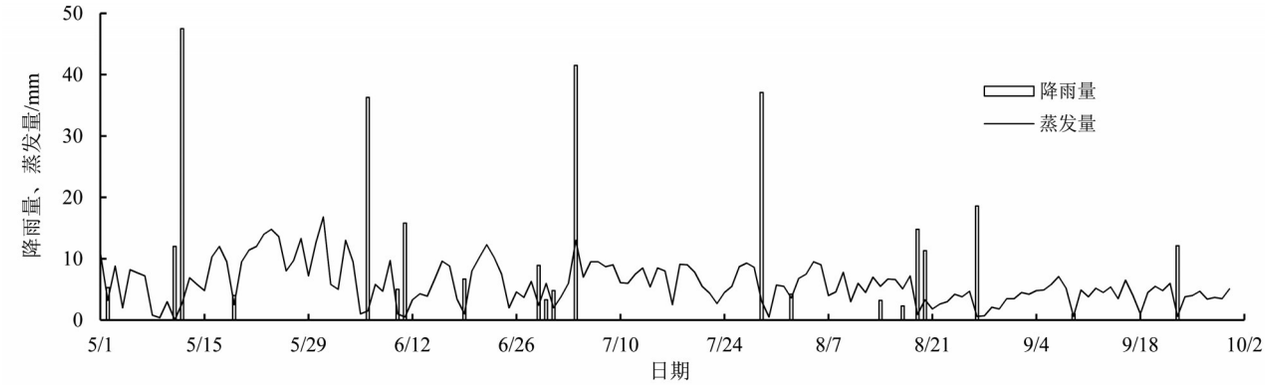


图1 玉米生育期内蒸发量和降雨量

1.2 供试材料与试验设计

试验于2015年5—9月进行，设膜下滴灌（MD）和地下滴灌（SD）2个灌溉处理，同时以当地传统种植灌溉方式即雨养不灌溉为对照（CK），每个处理设3个重复，共9个小区，采用随机布置方式。小区南北朝向，长40 m；东西方向以林带为隔断，宽8.4 m。玉米品种选用“辽单1211”，MD处理大垄双行种植，垄距1.2 m，玉米宽行距0.8 m，窄行距0.4 m，株距0.3 m，滴灌带位于垄中央，单条滴灌带灌溉2行玉米，滴头间距0.3 m，滴灌带滴头流量为1.38 L/h，采用起垄—施肥—注药—播种—铺带—覆膜一体机完成作业；SD处理先犁出20 cm深浅沟，然后人工将沟底整修，铺设滴灌带，回填，滴灌带间距1.2 m。SD处理和CK玉米均为宽窄行种植，宽行距0.8 m，窄行距0.4 m，株距0.3 m，SD处理中，玉米种植在滴灌带二侧。

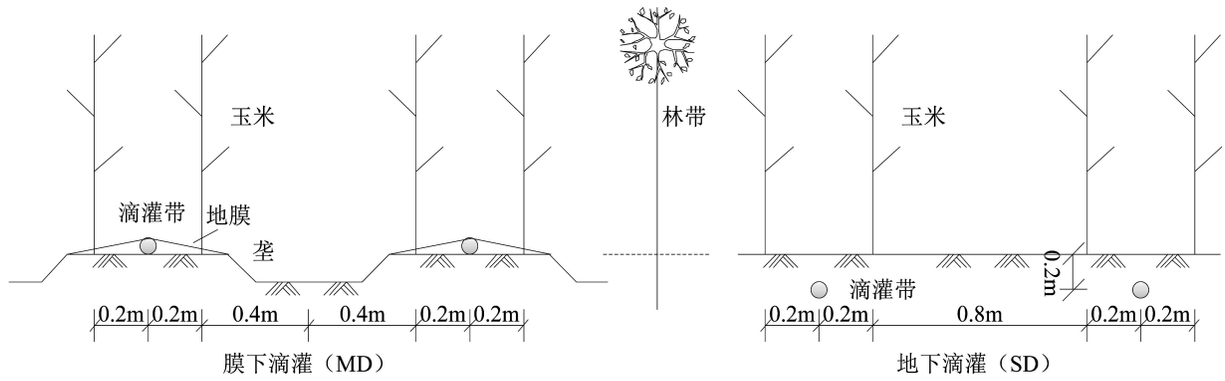


图2 膜下滴灌和地下滴灌布置示意图

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/hm²，底肥磷酸二铵225 kg/hm²，玉米复合肥225 kg/hm²。5～6叶期定苗，拔节期中耕除草，喷施农药甲胺磷1次，防治虫害。灌溉管理结合气象条件确定[9]，根据2015年降雨分布特点，玉米主要受伏旱影响。因此，在玉米抽雄期MD和SD处理进行了补充灌溉，灌溉3次，分别在7月17日（种植后78 d），7月24日（种植后85 d）和8月11日（种植后103 d），单次灌水30 mm，累计灌水90 mm。

1.4 测定指标

每天08：00，利用试验站内的小型气象站测定降雨和蒸发数据；通过水表计量灌溉水量；采用管式TDR

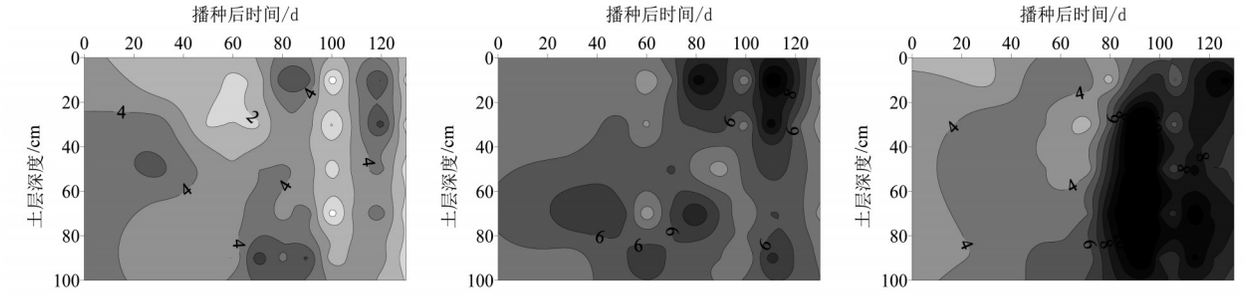
测量土壤含水率，TDR测管埋设在小区中部同行相邻2株玉米中间位置，埋深1 m，每7 d测1次，测深1 m（每0.2 m测1次）；玉米株高、茎粗和单株全部展开叶的叶面积等每2周测1次；按长×宽×系数法调查叶面积，并通过叶面积与单位土地面积折算求得叶面积指数（*LAI*）[10]；收获时在各小区随机取样10株，收获后室内考种，成熟时各小区单独收获考种、脱粒、晒干并计产，每个处理玉米产量为处理各小区的实际产量；采用土壤水量平衡法[11]计算生育期耗水量，并据此计算水分生产效率（*WUE*），*WUE*为玉米产量与耗水量的比值。

采用由Excel 2010整理数据，采用SPSS 20.0进行单因素方差分析，并通过Surfer 8.0绘制等值线图。

2 结果与分析

2.1 土壤含水率

不同处理土壤含水率随玉米播种后时间的变化如图3所示。从图3可看出，SD处理在灌溉之前，土壤含水率在3%~5%之间，不同土层土壤含水率差异较小；随播种后时间的延长，0~100 cm土层土壤含水率先增大后减小；玉米生长后期，降雨使土壤含水率整体增大。MD处理在第1次灌溉前，土壤含水率在4%～6%之间，随时间变化较小，随土层深度的增加而增大；玉米生长后期，0~40 cm土层含水率在6%~8%之间，高于40 cm以下土层。CK无灌溉，玉米生长期内土壤含水率一直低于5%，其中抽雄期土壤含水率甚至低于2%。



（a）SD处理　（b）MD处理　（c）CK

图3 玉米生长期内土壤含水率等值线图（单位：%）

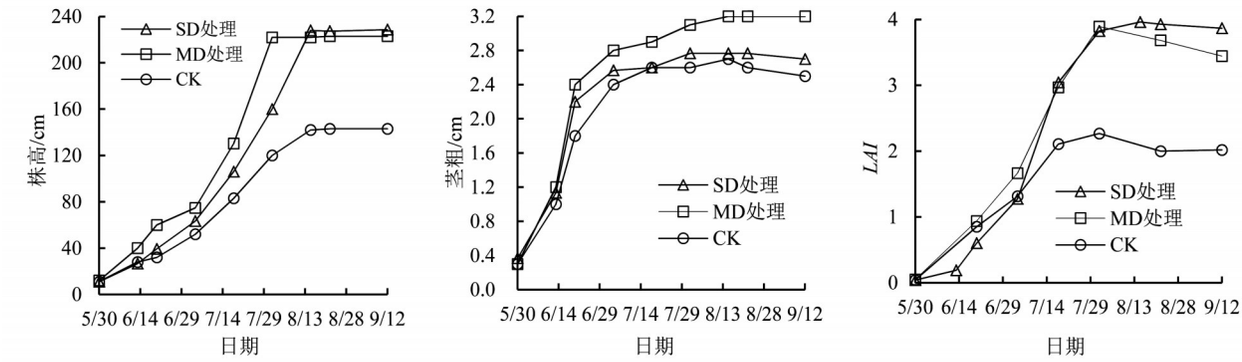
灌溉和降雨是影响各处理土壤含水率变化的主要原因，如SD处理灌水期间（播种后78~103 d），土壤含水率迅速增大，20 cm土层以下长期保持在6%以上；MD处理灌溉后表层土壤含水率增加明显，土壤含水率达到6%～9%。在玉米生长后期，3个处理土壤含水率在降雨作用下均得到提高。

不同处理之间，灌溉前，MD处理土壤含水率高于SD处理和CK，说明覆膜有效地阻碍了土壤水分散失，并有利于土壤水分在40 cm以下土层存蓄；灌水期间，SD处理土壤含水率高于MD处理且分布于深层土壤中，说明滴灌带地埋有利于减少土壤水分蒸散。已有研究表明，地下滴灌灌溉水在滴头部位聚集，在水势差作用下向四周运移，在空间上形成以滴头为中心，外围含水率逐级下降的同心圆形含水率等值线[12]。灌溉水主要补充10～50 cm土层土壤含水率，有利于植被的吸收，地表及地下60～70 cm以下变化较小，减少了土壤蒸发和水分向地下渗漏[13]。本研究与前人研究结论基本一致，但由于滴灌带埋深为20 cm，水分主要分布在20 cm以下。

2.2 株高、茎粗和*LAI*

如图4所示，1）不同处理玉米株高在生育期内总体变化趋势相同，即随着生育期的进行，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。MD处理苗期和拔节期长势较快，抽雄期分别较SD处理和CK高出60 cm和102 cm；SD处理抽穗前株高和CK相近，抽雄后期株高接近MD处理；CK在7月受到长时间干旱胁迫，植株矮小，后期降雨未能发挥补偿效应，株高稳定在140 cm。说明灌溉是影响玉米株高的主要因素，滴灌灌溉方式影响了株高生长进程。MD处理覆膜改善了土壤环境，有利于玉米生长前期株高生长；SD处理在灌溉后根层土壤长期保持良好的水分条件，为玉米株高的持续生长创造了有利条件。

2）随着玉米生长的进行，玉米茎粗逐渐增大；抽雄-灌浆期茎粗相对稳定，变化较小。不同处理之间，SD处理和CK茎粗在整个玉米生育期内均相近；MD处理在拔节期前与其他处理茎粗相近，拔节后茎粗大于SD处理和CK；玉米生长期结束时，MD处理茎粗分别较SD处理和CK高出0.5 cm和0.7 cm。由此可见，玉米茎粗的生长主要在抽雄期前，覆膜是影响茎粗生长的主要因素，其增温保墒作用有利于玉米茎秆粗壮。



（a）株高　　（b）茎粗　　（c）*LAI*

图4 不同处理下玉米生长特征值的历时变化曲线

3）玉米生育期内各处理*LAI*随着玉米生长均先增加后减小，在灌浆期*LAI*达到峰值。不同处理之间，灌溉前各处理*LAI*相近；7月中旬后，CK无补充灌溉，在长期受旱后产生不可逆破坏，*LAI*在7月18日达到2.3后稳定，MD和SD处理灌溉后*LAI*持续增大，处理间差异较小；进入生长后期，MD和SD处理*LAI*逐渐减小，SD处理减小幅度相对缓慢，成熟期SD处理*LAI*分别较MD处理和CK高出2.5%和59.9%。说明灌溉是影响玉米*LAI*的主要因素，滴灌方式对*LAI*影响较小，但地下滴灌可延缓叶片衰老。

2.3 玉米产量构成、产量和*WUE*

各处理考种结果如表1所示。由表1可知，不同处理穗长和穗粗分别在18.5～20.8 cm和4.6～5.4 cm之间，灌溉处理穗长和穗粗大于CK，且差异达到显著水平；不同滴灌方式之间，穗长和穗粗差异较小，未达到显著性水平。灌溉处理秃尖长大于CK，但不同处理之间差异均不显著。穗行数和行粒数从大到小顺序为SD处理>MD处理>CK，其中SD处理与MD处理之间差异不显著，但均显著大于CK，MD处理穗行数与CK差异不显著，行粒数显著多于CK。各处理之间百粒质量差异较为明显，表现为MD处理>SD处理>CK，其中MD处理分别较SD处理和CK高出18.1%和51.9%。可见，灌溉是影响玉米产量构成的主要因素，灌溉处理各指标均明显优于不灌溉处理；滴灌对产量构成影响因灌溉方式而异，地下滴灌有利于增加行粒数和穗行数，即获取更多粒数，而膜下滴灌有利于提高粒质量。

表1 不同灌溉方式下玉米产量及其构成和*WUE*

处理	穗长/cm	秃尖长/cm	穗粗/cm	穗行数	行粒数	百粒质量/g	产量/(t·hm^{-2})	*WUE*/(kg·m^{-3})
SD	20.3±2.0ab	2.7±0.3a	5.4±0.3a	16.0±0.0a	38.0±3.0a	38.1±6.9ab	7.5±1.2a	1.9±0.3a
MD	20.8±0.8a	2.8±0.8a	5.4±0.2a	15.3±1.2ab	33.0±3.5a	45.0±2.9a	8.3±0.9a	2.2±0.2a
CK	18.5±0.8b	1.7±1.0a	4.6±0.5b	14.3±0.6b	23.3±5.9b	29.6±4.6b	3.3±1.4b	1.1±0.5b

注　同列不同字母表示处理间差异显著（$P<0.05$）。

产量受穗粒数和百粒质量交互影响，由于受伏旱影响，CK产量最低，仅为3.3 t/hm^2；MD处理产量最高，为8.3 t/hm^2；SD处理产量为7.5 t/hm^2，较MD处理低10.7%。方差分析表明，SD和MD处理间产量差异不显著，但与CK差异均达到显著水平。即滴灌可显著提高产量，但滴灌方式对产量的影响不显著。CK的*WUE*最低，仅为1.1 kg/m^3；MD处理最高，达到2.2 kg/m^3，SD处理介于二者之间，为1.9 kg/m^3。SD和MD处理间*WUE*差异不显著，但均显著高于CK。即滴灌可显著提高*WUE*，滴灌方式对*WUE*的影响不显著。这与已有研究结果[14]一致，但试验中产量和*WUE*相对较低，这主要是由于风沙土地力瘠薄导致的。

3 结 论

1）采用地下滴灌技术灌溉，灌溉水主要分布在20 cm以下土层。灌溉期间，20 cm土层以下土壤含水率长期保持在6%以上，20 cm到地表，土壤含水率迅速下降。与膜下滴灌相比，苗期和拔节期地下滴灌土壤水分易散失，但抽雄期后，地下滴灌提高了灌溉水在土壤中的存蓄，土壤含水率接近于田间持水率，有利于提高土壤水分的有效性。

2）地下滴灌为玉米植株生长提供了保障。玉米生长前期株高、茎粗和*LAI*等长势慢于膜下滴灌，但随着玉米生长，株高和*LAI*最终与膜下滴灌处理持平，且玉米生长后期，地下滴灌有利于延缓叶片衰老，为获取更多的光合产物提供条件。

3）地下滴灌玉米产量7.5 t/hm^2，*WUE*为1.9 kg/m^3，与膜下滴灌相比，产量和*WUE*分别减少0.8 t/hm^{2}和0.3 kg/m^3；但与当地传统雨养无灌溉种植相比，地下滴灌显著提高了产量和*WUE*，分别提高了126.4%和73.6%。

可见，灌溉是风沙土作物种植的基础；尽管从均值比较分析，膜下滴灌更有利于获得较高的产量和*WUE*，但地下滴灌和膜下滴灌玉米产量和*WUE*差异均未达到显著水平，且地下滴灌无地膜对土壤的污染，有利于土地生产力的持续；滴灌带可多年使用，生产物资和用工投入低于膜下滴灌；另外，随着地下滴灌技术应用的研究深入，通过合理制定适宜灌溉施肥制度，发挥地下滴灌对水肥气热的调控作用，可进一步提高玉米产量和*WUE*。因此，从长久的生态效益和经济效益来看，地下滴灌技术可作为风沙土地区农业灌溉的选择。

参考文献：

[1] 黄血训，蒙峰丽．对当前地膜栽培防治残膜污染的意见[J]．新疆农垦科技，1990(4)：4-5.

[2] 王频．残膜污染治理的对策和措施[J]．农业工程学报，1998，14(3): 185-188.

[3] 李蓓，李久生．滴灌带埋深对田间土壤水氮分布及春玉米产量的影响[J]．中国水利水电科学研究院学报，2009，7(3)：222-226.

[4] 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.

[5] 谢海霞，何帅，周建伟，等．灌溉量及滴灌管埋深对无膜地下滴灌棉花产量的影响[J]．灌溉排水学报，2012，31(2)：134-136.

[6] 何华，康绍忠，曹红霞．地下滴灌埋管深度对冬小麦根冠生长及水分利用效率的影响[J]．农业工程学报，2001，17(6)：31-33.

[7] 黄兴法，李光永．地下滴灌技术的研究现状与发展[J]．农业工程学报，2002，18(2)：176-181.

[8] 胡笑涛，康绍忠，马孝义．地下滴灌灌水均匀度研究现状及展望[J]．干旱地区农业研究，2000，18(2)：113-117.

[9] 窦超银，孟维忠，佟威，等．风沙土玉米膜下滴灌适宜灌溉频率试验研究[J]．灌溉排水学报，2016，35(2)：13-17.

[10] 水利电力部农田水利司．灌溉试验方法[M]．武汉: 农田水利与小水电编辑部，1982.

[11] 肖俊夫，刘战东，南纪琴，等．不同水分处理对春玉米生态指标、耗水量及产量的影响[J]．玉米科学，2010，18(6)：94-97.

[12] 王滨，张发旺，程彦培，等．沙土区地埋滴灌与漫灌土壤水分散失对比试验研究[J]．南水北调与水利科技，2010，8(6)：121-124.

[13] 郝彦珍，张发旺，程彦培，等．地埋滴灌在沙土地的水分运移试验研究[J]．南水北调与水利科技，2011，9(4)：117-119.

[14] 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.

Application of Subsurface Drip Irrigation to Maize Field in Aeolian Sandy Soil

DOU Chaoyin[1,2], MENG Weizhong[2], TONG Wei[2], CHEN Wei[2], YAN Weichen[2]

(1. School of Hydraulic Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;

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

Abstract:【Objective】Subsurface drip irrigation has been developed into an efficient technique for water-saving irrigation in arid and semiarid regions, and the purpose of this work is to examine its feasibility for aeolian sandy soil.【Method】We took maize as the model plant and conducted a field experiments with three irrigation methods: subsurface drip irrigation (SD), mulched-drip irrigation (MD) and rain-fed without irrigation (CK). The growth and yield of the maize in each treatment were measured.【Result】Under SD, the irrigated water was mainly reserved in the soil below 20 cm, soil water content in which remained 6% or above for a significant period. In the early growth stage, plant height, stem diameter and *LAI* were slower under SP than under MD. With the plant growing, however, the difference in plant height and *LAI* between the two treatments disappeared. In the late growth stage, the withering of leaf was delayed in SD treatment. The yield and water use efficiency of SD were 7.5 t/hm^2 and 1.9 kg/m^3 respectively, 0.8 t/hm^2 and 0.3 kg/m^3 less than those of MD, but 126.4% and 73.6% higher than those of CK. The differences between SD and MD were insignificant, but SD and MD differed significantly from CK.【Conclusion】Considering its ecological and economic benefits, SD is suitable for use in such soils.

Key words: irrigation; water use efficiency; maize; yield; leaf area index

责任编辑：刘春成