



## 玉米地下滴灌适宜出苗灌水定额试验研究

王荣莲<sup>1,2</sup>, 莫彦<sup>3</sup>, 王建东<sup>4\*</sup>, 任志宏<sup>2</sup>, 于健<sup>2</sup>, 史吉刚<sup>2</sup>

(1. 内蒙古农业大学职业技术学院, 内蒙古 包头 014109; 2. 内蒙古自治区水利科学研究院灌溉技术研究所, 内蒙古 呼和浩特 010051; 3. 中国水利水电科学研究院水利研究所, 北京 100048; 4. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)



王荣莲

**摘要:** 为探索解决地下滴灌玉米出苗难的问题,通过土箱试验,对内蒙古自治区具有典型代表性的3种土壤,开展了毛管铺设参数(滴头流量、埋深)和灌水定额对地下滴灌湿润半径的影响规律试验,结合玉米播种深度、水分向上及向下运移的距离及种子周围土壤含水量,研究了玉米适宜出苗灌水定额,以提高出苗率,指导实际生产.结果表明:按显著性水平0.05检验,土壤类型和灌水定额均对土壤湿润半径影响具有统计学意义,而滴头流量和埋深对湿润半径影响不具有统计学意义.在黏壤土中,玉米出苗灌水定额37.5~52.5 mm基本可满足毛管埋深25~35 cm的出苗要求;在壤土中,玉米出苗灌水定额37.5 mm左右基本可满足毛管埋深25~30 cm的出苗要求,灌水定额52.5 mm左右基本可满足埋深30~35 cm的出苗要求;在砂壤土中,灌水定额22.5~37.5 mm基本可满足毛管埋深约25 cm的玉米出苗要求,灌水定额52.5 mm基本可满足毛管埋深25~35 cm的玉米出苗要求.

**关键词:** 玉米;出苗;地下滴灌;灌水定额

**中图分类号:** S275.4;S275.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2020)07-0708-05

**Doi:** 10.3969/j.issn.1674-8530.18.0253

王荣莲,莫彦,王建东,等.玉米地下滴灌适宜出苗灌水定额试验研究[J].排灌机械工程学报,2020,38(7):708-712,756.

WANG Ronglian, MO Yan, WANG Jiandong, et al. Experimental study on suitable irrigation quota for emergence of maize under subsurface drip irrigation[J].Journal of drainage and irrigation machinery engineering(JDIME), 2020,38(7):708-712,756. (in Chinese)

## Experimental study on suitable irrigation quota for emergence of maize under subsurface drip irrigation

WANG Ronglian<sup>1,2</sup>, MO Yan<sup>3</sup>, WANG Jiandong<sup>4\*</sup>, REN Zhihong<sup>2</sup>, YU Jian<sup>2</sup>, SHI Jigang<sup>2</sup>

(1. Vocational and Technical College of Inner Mongolia Agricultural University, Baotou, Inner Mongolia 014109, China; 2. Institute of Irrigation Technology, Inner Mongolia Institute of Water Resources Research, Huhhot, Inner Mongolia 010051, China; 3. Department of Irrigation and Drainage, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China; 4. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The effects of capillary operational parameters (drinker flow, buried depth) and irrigation quota on the wetting radius of subsurface drip irrigation for three typical soils in the Inner Mongolia autonomous region were experimented by using soil box to explore solutions to the problem of difficult emergence of maize under subsurface drip irrigation. Combined with the sowing depth of maize seeds and the distances of water moving upward and downward as well as the soil water content around the seeds, a proper irrigation quota for the maize was studied to improve the emergence rate and guide actual production. The results show that the irrigation quota and soil type have statistics significance on

收稿日期: 2018-11-29; 修回日期: 2019-01-18; 网络出版时间: 2020-03-03

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.th.20200303.1031.002.html>

基金项目: 内蒙古自治区科技创新引导项目(KCBJ2018052); 内蒙古自治区水利科研专项经费项目

第一作者简介: 王荣莲(1974—),女,内蒙古鄂尔多斯人,高级工程师(wrl19@126.com),主要从事节水灌溉理论与新技术研究.

通信作者简介: 王建东(1978—),男,湖南茶陵人,研究员(wangjiandong@caas.cn),主要从事节水灌溉原理与技术研究.

the wetting radius ( $P<0.05$ ), but the dripper flow and buried depth have not. In the clay soil, the irrigation quota of 37.5–52.5 mm can basically meet the requirement of maize emergence when the capillary is buried at a depth in 25–35 cm. In the loam soil, the irrigation quota of about 37.5 mm can basically meet the requirement of 25–30 cm capillary depth, while the irrigation quota of about 52.5 mm can essentially meet the requirement of 30–35 cm capillary depth. In the sandy loam soil, the irrigation quota of about 22.5–37.5 mm can basically meet the requirement of 25 cm capillary depth, and the irrigation quota of about 52.5 mm can basically meet the requirement of 25–35 cm depth.

**Key words:** maize; emergence; subsurface drip irrigation; irrigation quota

目前制约地下滴灌系统纵深发展的一个重要原因是作物苗期需水保障程度较低,难以保证出苗。主要是由于地下滴灌毛管一般埋在耕作层以下,以便将水和养分直接输送到作物根区,减少蒸发和地表径流损失<sup>[1]</sup>,同时不影响田间耕作,而作物播种深度一般都较浅,毛管到种子所在位置垂直距离相对较远,在作物出苗期若按正常生育期灌水定额进行灌溉,水分很难运移到种子所在位置,研究认为春玉米出苗率与土壤湿度呈正相关,故在春旱严重地区易导致出苗率降低<sup>[2]</sup>。通常采用的措施是在苗期利用另一套灌溉系统进行灌溉以确保出苗<sup>[3-4]</sup>,导致浪费材料设备又增加投资,对于经济效益一般的大田作物回报率较低,有时也会由于条件不具备而放弃使用地下滴灌。因此如何在不增加其他灌溉系统条件下,保障作物出苗成为制约地下滴灌系统发展的一个技术瓶颈,亟待解决。

地下滴灌条件下作物出苗通常受播种深度、毛管埋深、播种技术、土壤类型、土壤温度及土壤初始含水率等多种因素影响<sup>[5-6]</sup>。在播种深度方面,关小康等<sup>[3]</sup>研究通过深播使种床适当下移,以增加与地下滴灌供水接触的机会来促进作物出苗。毛管埋深方面,多数学者研究作物出苗后埋深对作物生长的影响,而埋深对出苗的影响鲜有报道<sup>[7]</sup>。文献<sup>[8]</sup>研究了不同类型毛管在不同土壤、不同埋深的水分运移规律,从而通过分析不同毛管埋深水份向上运移的规律间接推断作物出苗情况。在播种技术方面,文献<sup>[9]</sup>提出了一种地下滴灌开沟播种技术,与传统平地播种相比,显著改善了种子周围土壤水分环境,且通过缩短种子与毛管间的距离,使出苗水更易于运移到种子处,提高了作物出苗率。

文中基于不同土壤质地下,研究地下滴灌滴头流量、毛管埋深和灌水定额对湿润半径(指滴头到最远的湿润边缘距离)的影响规律,结合内蒙古地区玉米的播种深度、水分向上运移距离及种子周围土壤含水量,分析可促进玉米出苗的适宜出苗灌水

定额,以便通过优化灌水定额来解决地下滴灌作物出苗难的问题,相关结论可为同类型地区地下滴灌技术的应用推广提供参考与借鉴。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于内蒙古呼和浩特市东郊园艺科技试验中心的日光温室内进行,试验毛管选用目前国内常用的3种类型滴灌带(管):单翼迷宫式、内镶贴片式以及内镶圆柱式,在额定工作压力0.1 MPa条件下,3种毛管额定流量分别为2.57,1.53及3.62 L/h,毛管壁厚分别为0.2,0.3及0.6 mm,滴头间距均为30 cm。试验土样采自内蒙古自治区具有代表性的东部赤峰市松山区、中部呼和浩特市后桃花村以及西部巴彦淖尔市磴口县,试验前,先对土壤容重、颗粒组成、田持进行取样测试,用环刀取(0,20],[20,40],[40,60],[60,80] cm内原状土,用烘干法测试各层容重;取0~40 cm内土壤用筛分法测试土壤颗粒组成,确定土壤质地。土壤颗粒组成见表1, $\theta$ 为各粒径百分含量。

表1 0~40 cm 土壤颗粒组成表  
Tab.1 Composition of soil particles in 0–40 cm layer

土壤	$\theta/\%$		
	黏粒 ( $<0.002$ mm)	粉粒 ( $0.020\sim 0.002$ mm)	砂粒 ( $2.000\sim 0.020$ mm)
赤峰市土壤	18.6	27.2	54.2
呼和浩特市土壤	12.4	34.2	53.4
巴彦淖尔市土壤	9.6	18.2	72.2

根据国际制土壤质地分级标准,赤峰市土壤为黏壤土,呼和浩特市土壤为壤土,巴彦淖尔市土壤为砂壤土。

### 1.2 试验装置及试验设计

#### 1.2.1 试验装置

试验装置由供水水箱、水泵、输水管、土箱、毛管、压力表、浮子流量计、阀门、回水管、回水水箱及

TDR 土壤水分测试仪等构成,如图 1 所示.试验土箱长、宽、高分别为 110, 100 及 90 cm, 每个土箱内沿长边方向按设计埋深铺设毛管 1 条, 共 3 个滴头, 毛管与一侧箱壁距离 25 cm, 与另一侧距离 75 cm, 首末两个滴头与箱壁的间距也为 25 cm, 如图 2 所示. 在供水和回水水箱的箱体上有水位刻度标记, 用于监测和校核灌水流量. 此外, 水泵配置的电位调速器可快速、精准地调节灌水压力.

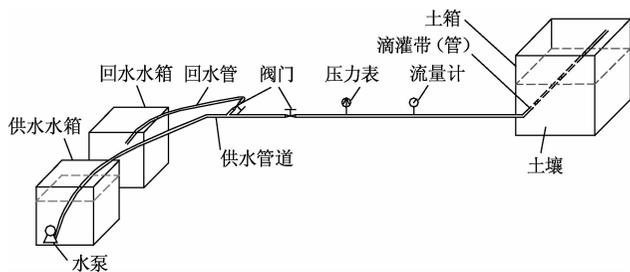


图 1 试验装置结构示意图

Fig.1 Schematic of testing device structure

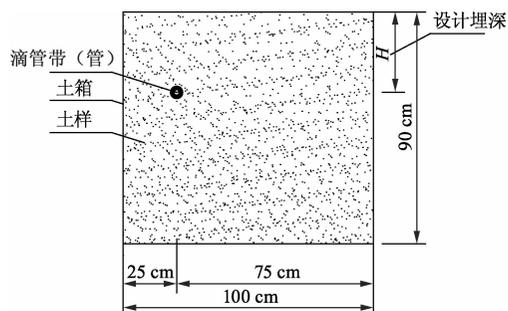


图 2 土箱试验布置纵剖面图

Fig.2 Longitudinal cross-section of soil testing box arrangement

### 1.2.2 试验设计

试验采用 4 因素 3 水平 3 次重复正交试验  $L_9(3^4)$ , 试验处理设计详见表 2, 表中  $d$  为毛管埋深,  $Q$  为滴头流量,  $I$  为灌水定额.

表 2 试验处理  
Tab.2 Experimental cases

试验编号	试验因素			
	$d/cm$	土壤类型	$Q/(L \cdot h^{-1})$	$I/mm$
1	(A1)15	(B1)黏壤土	(C1)1.53	(D1)22.5
2	(A1)15	(B2)砂壤土	(C2)2.57	(D2)37.5
3	(A1)15	(B3)壤土	(C3)3.62	(D3)52.5
4	(A2)25	(B1)黏壤土	(C2)2.57	(D3)52.5
5	(A2)25	(B2)砂壤土	(C3)3.62	(D1)22.5
6	(A2)25	(B3)壤土	(C1)1.53	(D2)37.5
7	(A3)40	(B1)黏壤土	(C3)3.62	(D2)37.5
8	(A3)40	(B2)砂壤土	(C1)1.53	(D3)52.5
9	(A3)40	(B3)壤土	(C2)2.57	(D1)22.5

试验设置毛管埋深、土壤类型、滴头额定流量

和灌水定额 4 个因素, 其中毛管埋深设 3 个水平 15, 25 和 40 cm; 土壤类型为黏壤土、砂壤土以及壤土; 灌水定额设 3 个水平 22.5, 37.5, 52.5 mm.

### 1.2.3 试验方法及观测指标

每个处理的每次重复都单独设置土箱. 将土壤过 1 mm 筛后, 按照田间实测值, 每隔 5 cm 分层制作土箱, 到毛管设计埋深处, 穿孔安装毛管, 为了防止滴头堵塞, 除单翼迷宫式滴灌带外, 其他滴灌带(管)滴头出水口都向上放置, 在毛管尾部设置有小球阀用于排气.

试验开始打开水泵时, 需打开毛管尾部的小球阀, 排除管道内空气后将小球阀关闭, 通过调节水泵电位调速器及回水管阀门, 使压力表读数稳定在设计压力值 0.10 MPa.

在灌水过程中, 通过供水水箱的水位变化以及校核标定后的浮子流量计读数来同时监测灌水流量的变化, 每隔 15 min 记录 1 次数据, 在玻璃箱壁上绘制土壤湿润锋曲线, 并测量滴头周围各方向湿润半径, 未湿润到玻璃箱壁时将标定后的 TDR 土壤水分测试仪的探头插入滴头周围不同位置, 通过测试仪读数的变化来监测土壤湿润锋运移的位置变化, 为监测种子所在深度的土壤水分, 记录距地表 8 cm 处的土壤含水量(玉米播种深度一般为 7~9 cm, 取平均值 8 cm). 灌水结束后, 记录入渗稳定时每滴头周围各方向湿润半径.

### 1.3 数据分析

使用 Office 2010 进行试验数据处理与分析, 并用 SPSS 24 软件进行方差分析.

## 2 结果分析与讨论

### 2.1 正交试验结果分析

以入渗稳定后每滴头周围各方向湿润半径平均值作为正交试验结果进行分析方差, 分析结果详见表 3.

表 3 方差分析表  
Tab.3 Analysis of variance

因素	自由度	偏差平方和	$F$ 比	$F$ 临界值	显著性
埋深	2	2.667	1.000	19	
土壤	2	112.667	42.245	19*	具有统计学意义
滴头流量	2	8.667	3.250	19	
灌水定额	2	494.000	185.227	19**	极具有统计学意义
误差	2	2.670			

注: 表中\*, \*\* 分别表示在 5%, 1% 水平差异具有统计学意义

图 3 为不同处理对各向平均湿润半径  $R_a$  的影

响,不同字母表示 0.05 水平下差异具有统计学意义.从表 3 和图 3 可知,按显著性水平  $\alpha=0.05$  检验,灌水定额及土壤类型均对湿润半径影响具有统计学意义,其不同水平下各向平均湿润半径差异具有统计学意义,其中灌水定额对湿润半径的影响为极具有统计学意义,埋深及滴头流量对湿润半径影响不具有统计学意义.分析认为灌水定额直接决定每次灌水量和持续灌水时间,对湿润半径影响很大;土壤类型决定水分扩散的难易,对湿润半径影响也较大;而埋深在一定范围内,对滴灌带的出流情况影响不是很大,故对水分扩散和湿润半径影响也不太明显;在灌水总量一定情况下,滴头流量对湿润半径的影响也不具有统计学意义.

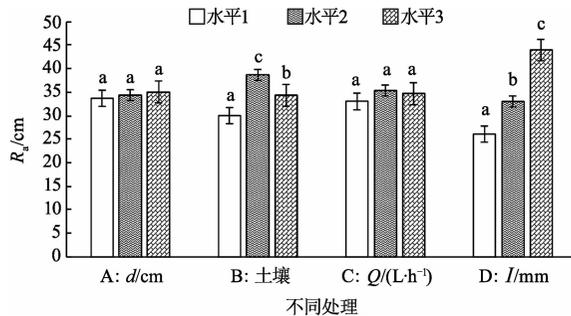


图 3 不同处理对各向平均湿润半径的影响  
Fig.3 Effects of experimental factors on average wetting radii in three directions

表 4 为直观分析表,表中  $R_u$  为向上最大湿润半径,  $R_d$  为向下最大湿润半径,  $\theta_8$  为距地表 8 cm 处平均土壤含水量(田持).由表可知,按照极差由大到小的顺序分析,4 个因素对湿润半径影响的程度由主到次依次为灌水定额、土壤质地、滴头流量及埋深.

表 4 直观分析表  
Tab.4 Visual analysis table

试验编号	d/cm	土壤	Q/(L·h <sup>-1</sup> )	I/mm	R <sub>u</sub> /cm	R <sub>d</sub> /cm	R <sub>d</sub> /R <sub>u</sub>	$\theta_8$ /%
1	(A1)15	(B1)黏壤土	(C1)1.53	(D1)22.5	20	15	25	50
2	(A1)15	(B2)砂壤土	(C2)2.57	(D2)37.5	38	15	46	84
3	(A1)15	(B3)壤土	(C3)3.62	(D3)52.5	44	15	50	89
4	(A2)25	(B1)黏壤土	(C2)2.57	(D3)52.5	41	24	45	90
5	(A2)25	(B2)砂壤土	(C3)3.62	(D1)22.5	31	22	35	81
6	(A2)25	(B3)壤土	(C1)1.53	(D2)37.5	32	22	43	86
7	(A3)40	(B1)黏壤土	(C3)3.62	(D2)37.5	30	27	45	84
8	(A3)40	(B2)砂壤土	(C1)1.53	(D3)52.5	48	28	50	91
9	(A3)40	(B3)壤土	(C2)2.57	(D1)22.5	28	21	30	48
均值 1	34.000	30.333	33.333	26.333				
均值 2	34.667	39.000	35.667	33.333				
均值 3	35.333	34.667	35.000	44.333				
极差	1.333	8.667	2.334	18.000				

## 2.2 玉米适宜出苗灌水定额分析与讨论

由方差分析结果可知,埋深和滴灌带类型对湿润半径影响不具有统计学意义,故在分析湿润半径时可忽略这 2 个次要因素,只考虑主要因素,但在分析作物出苗时,需结合埋深.地下滴灌毛管埋深需与土壤条件、作物根系深度、田间耕作深度等相适应.玉米常规耕地深度为 20 cm 左右,播种深度一般为 7~9 cm,主根系在 5~60 cm 内,为避免耕地时破坏毛管,需将毛管埋到耕层以下,且尽量能灌溉到主根区.试验埋深先选择 25~40 cm,通过分析不同处理对应的湿润半径,验证此埋深是否合适.由表 4 可知,在 3 种土壤中,各向平均湿润半径为 28~48 cm,向上最大湿润半径为 21~28 cm,向下最大湿润半径为 30~50 cm,分析得出埋深 25 cm 左右时水分分布基本在玉米的主要根系区,而埋深达到 40 cm 时,水分向下分布较多,超出了主根系所在范围,一定程度上易产生深层渗漏.同时综合考虑在保证毛管不被耕作机械破坏情况下,玉米地下滴灌毛管的适宜埋深取 25~35 cm.

根据表 4 通过向上最大湿润半径结合毛管埋深、播种深度及距地表 8 cm 处平均土壤含水量,分析玉米是否可以出苗;通过向下最大湿润半径结合毛管埋深及作物主要根系范围分析水分发生深层渗漏情况,进而分析灌水定额是否适宜.由表 4 可知,在黏壤土中,灌水定额为 22.5 mm 时,最大湿润半径向上 15 cm、向下 25 cm,对毛管埋深 25 cm 左右的情况,水分湿润不到种子所在深度,此灌水定额不适宜;灌水定额为 37.5 mm 时,最大湿润半径向上 27 cm、向下 45 cm,对毛管埋深 25~35 cm 的情况,水分可湿润到种子所在深度,距地表 8 cm 处平均土壤含水量为 84% 田持.根据莫彦<sup>[9]</sup>的研究结果,玉米出苗率和种子周围土壤相对湿度(土壤含水量和田持的比值)呈二次函数关系,种子处的土壤含水量为 81%~88% 田持,玉米出苗率为 90%~95%.马树庆等<sup>[10]</sup>的类似研究结果表明,种子处的土壤含水量为 80%~84% 田持,玉米出苗率为 90%~95%.由此可知本处理满足作物出苗要求,玉米主要根系多分布在地面以下 5~60 cm 内,毛管埋深与向下最大湿润半径之和为 70~80 cm,超出玉米主要根系 10~20 cm,为保障出苗,只能以损失一部分水量为代价,故灌水定额 37.5 mm 适宜.灌水定额为 52.5 mm 时,最大湿润半径向上 24 cm、向下 45 cm,水分可湿润到种子所在深度,距地表 8 cm 处平均土壤含水量为 90% 田持,基本可满足玉米出苗要求,毛管

埋深与向下最大湿润半径之和为 70~80 cm, 同上分析认为灌水定额 52.5 mm 适宜. 故在黏壤土中, 玉米出苗灌水定额 37.5~52.5 mm 基本可满足毛管埋深 25~35 cm 时的出苗要求.

在壤土中, 灌水定额为 22.5 mm 时, 最大湿润半径向上 21 cm、向下 30 cm, 距地表 8 cm 处平均土壤含水量为 48% 田持, 对毛管埋深 25~35 cm 情况, 此灌水定额不适宜; 灌水定额为 37.5 mm 时, 最大湿润半径向上 22 cm、向下 43 cm, 距地表 8 cm 处平均土壤含水量为 86% 田持, 当毛管埋深 25~30 cm 时, 基本可满足出苗要求, 毛管埋深与向下最大湿润半径之和为 68~73 cm, 超出玉米主要根系 8~13 cm, 同上分析认为灌水定额 37.5 mm 适宜; 灌水定额为 52.5 mm 时, 最大湿润半径向上 15 cm、向下 50 cm, 对毛管埋深 30~35 cm 情况, 毛管埋深与向下最大湿润半径之和为 80~85 cm, 超出玉米主要根系 20~25 cm, 为保障出苗, 只能以损失一部分水量为代价, 故灌水定额 52.5 mm 适宜. 综上, 在壤土中, 玉米出苗灌水定额 37.5 mm 左右基本可满足毛管埋深 25~30 cm 的出苗要求, 灌水定额 52.5 mm 左右基本可满足埋深 30~35 cm 的出苗要求.

在砂壤土中, 灌水定额为 22.5 mm 时, 最大湿润半径向上 22 cm、向下 35 cm, 距地表 8 cm 处平均土壤含水量为 81% 田持, 当毛管埋深 25 cm 时, 基本满足出苗要求, 毛管埋深与向下湿润半径之和为 60 cm, 水分分布在玉米主要根系范围内, 认为此灌水定额适宜; 灌水定额为 37.5 mm 时, 最大湿润半径向上 15 cm、向下 46 cm, 距地表 8 cm 处平均土壤含水量为 84% 田持, 对毛管埋深 25 cm 情况, 可满足出苗要求, 毛管埋深与向下湿润半径之和为 71 cm, 水分基本处在玉米主要根系范围内, 认为此灌水定额适宜; 灌水定额为 52.5 mm 时, 最大湿润半径向上 28 cm、向下 50 cm, 对毛管埋深 25~35 cm 的情况, 毛管埋深与向下湿润半径之和为 75~85 cm, 超出玉米主要根系 15~25 cm, 认为此灌水定额适宜. 综上, 在砂壤土(含砂量小于 85%)中, 灌水定额 22.5~37.5 mm 基本可满足毛管埋深约 25 cm 的玉米出苗要求, 灌水定额 52.5 mm 基本可满足毛管埋深 25~35 cm 的玉米出苗要求. 结合目前国内外已有相关研究成果, 分析认为土壤含砂量越大, 越具有渗水速度快、保水性能差的特点, 故砂壤土(含砂量小于 85%)中建议毛管埋深尽量小, 且尽量采用少量多次的灌水方式来保障作物出苗. 但是当土壤中含砂量大于 85% 时候, 不建议采用地下滴灌技术.

### 3 结 论

基于室内土箱试验, 研究不同土壤条件下毛管铺设参数和灌水定额对地下滴灌湿润半径的影响规律, 结合玉米播种深度、水分向上和向下运移距离及种子周围土壤含水量, 分析玉米适宜出苗灌水定额, 以提高出苗率, 得到以下主要结论:

1) 按显著性水平  $\alpha=0.05$  检验, 灌水定额对湿润半径影响极具有统计学意义, 土壤类型对湿润半径影响具有统计学意义, 埋深及滴灌带类型对湿润半径影响不具有统计学意义. 4 个因素对湿润半径影响程度由主到次依次为灌水定额、土壤质地、滴头流量及埋深.

2) 在黏壤土中, 灌水定额 37.5~52.5 mm 基本可满足毛管埋深 25~35 cm 的玉米出苗要求; 在壤土中, 灌水定额 37.5 mm 左右基本可满足毛管埋深 25~30 cm 的玉米出苗要求, 灌水定额 52.5 mm 左右基本可满足埋深 30~35 cm 的出苗要求; 在砂壤土中(含砂量小于 85%), 灌水定额 22.5~37.5 mm 基本可满足毛管埋深约 25 cm 的玉米出苗要求, 灌水定额 52.5 mm 基本可满足毛管埋深 25~35 cm 的玉米出苗要求.

3) 土壤含砂量越大, 越具有渗水速度快、保水性能差的特点, 故砂壤土(含砂量小于 85%)中建议毛管埋深尽量小, 且尽可能采用少量多次的灌水方式来保障作物出苗.

#### 参考文献 (References)

- [ 1 ] 仵峰, 宰松梅, 徐建新, 等. 地下滴灌的应用模式与启示[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2016, 37(3): 19-22.  
WU Feng, ZAI Songmei, XU Jianxin, et al. Application modes and inspiration of subsurface drip irrigation[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (natural science edition), 2016, 37(3): 19-22. (in Chinese)
- [ 2 ] 莫彦, 李光永, 蔡明坤, 等. 基于 HYDRUS-2D 模型的玉米高出苗率地下滴灌开沟播种参数优选[J]. 农业工程学报, 2017, 33(17): 105-112.  
MO Yan, LI Guangyong, CAI Mingkun, et al. Selection of suitable technical parameters for alternate row/bed planting with high maize emergence under subsurface

(下转第 756 页)