

玉米地理式滴灌土壤水分迁移规律研究

田建斌¹, 齐广平²

(1. 甘肃省景泰川电力提灌管理局, 甘肃 景泰 730400; 2. 甘肃农业大学工学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 在地理式滴灌条件下, 对不同毛管埋深及间距对大田玉米土壤水分迁移规律进行了研究。结果表明, 毛管在同一埋设深度时, 随着铺设间距的增大, 肉眼观察到的横向湿润锋交汇深度也加深。毛管埋设深度为 30 cm、间距为 60、70、80 cm 时, 其湿润锋交汇的土层深度分别为 0~10、10~20、15~20 cm; 毛管埋设深度为 35 cm、间距为 60、70、80 cm 时, 其湿润锋交汇的深度土层分别为 0~10、30~35、30~35 cm; 毛管埋设深度为 40 cm、间距为 60、70、80 cm 时, 其湿润锋交汇的土层深度分别为 10~20、20~30、25~30 cm。

关键词: 地理式滴灌; 玉米; 毛管埋深; 毛管间距; 水分迁移

中图分类号: S277 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2017)11-0007-05

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2017.11.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2017.11.004)

Study on Soil Moisture Distribution of Buried Drip Irrigation of Corn

TIAN Jianbin¹, QI Guangping²

(1. Jingtai Irrigation Management Bureau, Jintai Gansu 730400, China; 2. College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: This paper discussed the different capillary depth and space between of the buried drip irrigation what the soil moisture is migration regular. The result shows that when the capillary in the same buried depth, with the increase of laying spacing, the macroscopic observation to the lateral also deepen the depth of wetting front intersection. Such as the capillary embedding depth is 30 cm, spacing is 60, 70, 80 cm, the depth of wetting front intersection soil respectively 0 ~ 10, 10 ~ 20, 15 ~ 20 cm; The capillary embedding depth is 35 cm, the spacing is 60, 70, 80 cm, the depth of wetting front intersection soil respectively 0 ~ 10, 30 to 35, 30 ~ 35 cm; The capillary embedding depth is 40 cm, the spacing is 60, 70, 80 cm, the depth of wetting front intersection soil respectively 10 ~ 20, 20 ~ 30, 25 ~ 30 cm.

Key words: Buried drip irrigation; Corn; Embedded depth of capillary; Capillary spacing; Moisture migration

甘肃河西地区属于典型干旱荒漠区, 位于青藏高原边缘, 土地面积达 27.11 万 km²。近 30 年来, 由于该地区社会经济快速发展, 对水资源的需求量越来越大。走高效节水的道路, 发展节水农业, 对河西内陆区流域水资源可持续利用具有重要的现实意义。滴灌灌溉是目前在多种灌溉模式中具有显著节水增产和环境友好等特点的现代灌溉方式。田间试验表明, 地理式滴灌与其他灌

溉方式相比具有节水增产效益^[1-5]。Phene 等人^[6]的研究显示, 地理式滴灌条件下甜玉米产量比喷灌和沟灌高 12%~14%, 与沟灌相比, 番茄产量高 20%。范永申等^[7-8]通过对棉花常规地面沟灌、膜下滴灌以及地下滴灌土壤水分变化的研究表明, 棉花地下滴灌节水增产效果显著。我们对河西地区不同毛管埋深及间距对大田玉米土壤水分迁移规律进行了研究, 现将结果报道如下。

收稿日期: 2017-07-03

基金项目: 甘肃省青年基金项目“麦秸-塑膜复合覆盖对土壤水热及环境的影响机制”(145RJYA281)部分内容。

作者简介: 田建斌(1986—), 男, 甘肃古浪人, 助理工程师, 主要从事农业节水灌溉技术与理论的研究工作。E-mail: 709970807@qq.com。

通信作者: 齐广平(1936—), 男, 甘肃庆阳人, 博士后, 教授, 主要从事节水灌溉与生态农业研究工作。E-mail: 709970807@qq.com。

[4] 史志锋. 陇东麦收后复种紫苏栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2011(2): 54-55.

复种高产栽培技术[J]. 中国农业信息, 2017(3): 70-72.

[5] 欧巧明, 陈军, 王炜, 等. 紫苏育苗及茬后移栽

(本文责编: 郑立龙)

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验设在甘肃省水利科学研究院民勤试验基地位于民勤县城以北的大滩乡东大村，地理位置东经 130° 05′，北纬 38° 37′。该地区是典型的大陆性荒漠气候，风沙多，蒸发量大，降水少，气候干燥。无霜期 150 d，最大冻土深 115 cm。试验区土质 0~60 cm 为粘壤土，土壤平均容重为 1.54 g/cm³。试验地土壤理化性质及灌溉水质情况见表 1。

表 1 试验田土壤容重和田间持水量

土层 /cm	播前容重 / (g/cm ³)	收获后容重 / (g/cm ³)	田间持水量 /%	
			质量	体积
0~20	1.475	1.527	19.65	29.06
20~40	1.665	1.558	16.45	27.31
40~60	1.475	1.666	12.15	17.80

1.2 试验材料

毛管采用国产和以色列两种类型的产品，其中国产类型采用管径为 Φ12 的滴灌带，壁厚 0.4 mm，滴头流量 1.2 L/h，滴头间距 0.4 m；以色列产品采用管径为 Φ12 的滴灌带，壁厚 0.38 mm，滴头流量 1.6 L/h，滴头间距 0.4 m。指示玉米品种为郑单 958。

1.3 试验设计

试验为双因素设计。根据毛管埋设深度及间距的不同，毛管埋深(h)、毛管铺设间距(a)各设 3 个水平，毛管埋深分别为 30、35、40 cm，毛管铺设间距深分别为 60、70、80 cm。毛管条数国产的为 8 条、以色列产的为 3 条。具体试验设计方案见表 2。

试验于 2013 年冬灌，2014 年 5 月 10 日播种，5 月 18 日灌出苗水，10 月 2 日收获，全生育期 157 d。玉米全生育阶段灌水次数、灌水时间、灌水定额见表 3。按尿素 300 kg/hm²、磷酸二铵 225 kg/hm² 的标准施基肥。

1.4 主要测试项目及方法

1.4.1 土壤含水率测定 土壤含水率采用 TDR(时域反射仪)及土钻取土烘干法 2 种方法测定。灌水第 2 天观测田间土壤含水量，取土深度为 0~100 cm，每 20 cm 为 1 个土层，利用土钻取土。用烘干法测得土壤含水率，计算公式如下。

土壤含水率 = (湿土重 - 烘干土重) / 烘干土重 × 100%

表 2 试验设计方案

处理编号	毛管埋深 /cm	毛管间距 /m	毛管条数 /条	产品类型
1	30	60	8	国产
2	30	70	8	国产
3	30	80	8	国产
4	35	60	8	国产
5	35	70	8	国产
6	35	80	8	国产
7	40	60	8	国产
8	40	70	8	国产
9	40	80	8	国产
10	30	60	3	以色列
11	30	70	3	以色列
12	30	80	3	以色列
13	35	60	3	以色列
14	35	70	3	以色列
15	35	80	3	以色列
16	40	60	3	以色列
17	40	70	3	以色列
18	40	80	3	以色列

表 3 玉米全生育期的灌水情况

生育期	灌水次数	灌水时间 / (日/月)	灌水定额 / (m ³ /hm ²)
播种至出苗	1	18/5	525
大喇叭口至抽雄	2	20/6	300
抽雄至灌浆	3	10/7	300
灌浆至乳熟	4	2/8	300
乳熟至成熟	5	26/8	300

1.4.2 土壤物理性质测定 播种前、抽穗期及收获后分 3 次在各小区 0~10、10~20、20~30、30~40 cm 土层取土，用环刀法测定土壤干容重，绘制土壤容重沿深度方向的分布特征曲线；播种前用围框淹灌法测定土壤田间最大持水量。

1.4.3 气象观测 试验气象资料由试验站内自动气象观测站测得，观测项目包括降水量、水面蒸发、气温、空气、湿度、日照时数、风向风速、太阳辐射强度等。

1.4.4 土壤水分纵向、横向迁移规律观察 在灌完出苗水第 2 天，于每处理两个毛管间挖出大小 50 cm × 50 cm、深度 20~40 cm 的测坑，对地下滴灌进行土壤水分纵向横向迁移规律观察。

2 结果与分析

2.1 玉米生育期内降水量分析

玉米全生育期降水量如图 1 所示。玉米生育

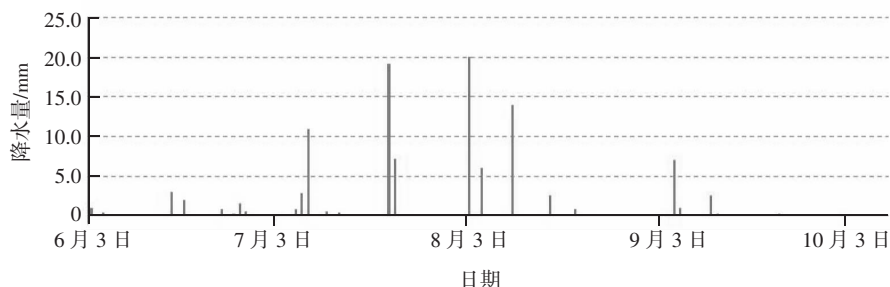


图 1 玉米全生育期降水量

期间共降水 117.2 mm, 其中有效降水(单次降水超过 5 mm)为 90.8 mm。5 月 10 日至 5 月底无降水, 6 月份有 8 次降水; 7、8 月份为玉米生育期内降水较多的时段, 累积降水量分别为 42.0、43.4 mm, 分别占全生育期降水量的 35.8%、37.0%。9、10 月份的累积降水量分别占全生育期的 9.4% 和 9.6%。

2.2 发芽期土壤含水率

影响玉米出苗的因子有很多, 比如土壤水分过少或过多, 土壤温度过高或过低, 都有可能使玉米种子发芽受限, 或者出苗率降低, 甚至不出苗的现象发生, 最终导致玉米产量降低。由表 4 可知, 当滴头流量为 1.2 L/h、毛管埋深深度在 30 cm 和 35 cm 时, 40~60 cm 土层的含水率普遍高于表层(0~20 cm)和中下层(60~80、80~100 cm)。在毛管深度为 40 cm 的情况下, 20~40、40~60 cm 土层的含水率普遍高于表层(0~20 cm)和 60~80 cm, 80~100 cm 土层的含水率高于 60~80 cm 土层。

表 4 滴头流量为 1.2 L/h 时玉米发芽期土壤含水率 %

处理	土层深度/cm				
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
1	12.71	20.06	23.73	15.42	17.27
2	13.20	15.19	23.87	15.91	18.13
3	14.05	16.56	19.84	10.52	12.63
4	14.33	16.63	16.73	19.38	17.99
5	12.44	17.03	18.30	17.28	16.08
6	13.57	17.16	15.02	9.06	16.57
7	13.83	19.72	18.73	15.07	17.10
8	12.54	16.26	22.00	12.72	17.35
9	13.33	18.21	23.09	15.77	18.41

由表 5 可知, 当滴头流量为 1.6 L/h 时, 土壤水分主要集中在 20~80 cm。随着毛管埋设深度的加深, 表层土壤水分(0~20 cm)呈现出减少的现象, 即毛管埋深为 30、35、40 cm 时, 其表层平

表 5 滴头流量为 1.6 L/h 时玉米发芽期土壤含水率 %

处理	土层深度/cm				
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
10	15.34	14.89	20.61	15.93	18.65
11	15.09	16.48	21.12	15.21	16.78
12	16.79	19.38	21.06	17.37	16.20
13	14.57	21.75	14.13	13.26	18.76
14	15.51	17.59	21.35	23.00	17.99
15	14.87	22.27	19.16	17.26	18.42
16	12.46	19.58	17.63	18.21	19.77
17	13.42	20.70	18.43	19.15	21.92
18	14.12	18.96	16.73	18.72	20.28

均含水率分别为 15.74%、14.98%、13.33%; 80~100 cm 土层土壤水分随着毛管埋深的增大呈现增大的趋势, 即毛管埋深为 30、35、40 cm 时, 80~100 cm 土层平均含水率分别为 17.21%、18.39%、20.66%。但在毛管埋深深度不变、间距不相同的情况下, 表层(0~20 cm)和 80~100 cm 土层的水分均无减少趋势, 说明表层土壤及 80~100 cm 土层水分受毛管埋深的影响高于毛管间距的影响。除此之外, 由表 5 还可知, 埋深为 40 cm 时, 土壤水分 80~100 cm 土层高于 60~80 cm 土层, 但埋深 30、35 cm 时差别并不明显。由此可见, 毛管埋深深度为 40 cm、灌水定额达到 525 m³/hm² 时, 灌溉水下渗到 100 cm 时还有下渗的可能, 这也意味着有深层渗漏现象发生的可能性。

2.3 出苗期土壤水分交汇状况

由观察结果(表 6)可知, 毛管滴头流量为 1.2 L/h、毛管铺设间距为 60 cm 时, 地表均出现湿润现象, 但由于毛管埋设深度不同, 其湿润状况也有所不同, 毛管埋深深度越浅, 地表湿润面积越大。同时还观测到, 毛管埋深深度和间距分别为 30、70 cm 时, 地表出现零星湿润现象。毛管在同一埋设深度时, 随着铺设间距的增大, 肉眼观察

表6 大田玉米出苗期土壤水分的纵向、横向迁移^①

滴头流量 L/h	毛管埋深×毛管 铺设间距 /cm	纵向 迁移 /cm	横向迁移	
1.2	30×60	0~10	地表0 cm有湿润现象(间距28 cm) 0~10 cm有交汇现象	
	30×70	0~10	地表0 cm有零星湿润现象 0~10 cm有湿润现象(间距30 cm) 10~20 cm有交汇现象	
	30×80	0~25	地表0 cm无湿润现象 0~15 cm有湿润现象(间距33~35 cm) 15~20 cm有交汇现象	
	35×60	0~10	地表0 cm有零星湿润现象 0~10 cm有交汇现象	
	35×70	10左右	地表0 cm无湿润现象 0~10 cm有湿润现象(间距30 cm) 20~30 cm有湿润现象(间距20 cm) 30~35 cm有交汇现象	
	35×80	15~20	地表0 cm无湿润现象 0~15 cm有湿润现象(间距35 cm) 20~30 cm有湿润现象(间距20 cm) 30~35 cm有交汇现象	
	40×60	10~25	地表0 cm有零星湿润现象 0~10 cm有湿润现象(间距15 cm) 10~20 cm有交汇现象	
	40×70	5~25	地表0 cm无湿润现象 0~10 cm有湿润现象(间距20 cm) 10~20 cm有湿润现象(间距10 cm) 20~30 cm有交汇现象	
	40×80	15~25	地表0 cm无湿润现象 0~10 cm有湿润现象(间距30 cm) 10~20 cm有湿润现象(间距12 cm) 25~30 cm有交汇现象	
	1.6	30×60	0~10	地表0 cm有湿润现象(间距16 cm) 0~7 cm有交汇现象
		30×70	10左右	地表0 cm有湿润现象(间距23 cm) 0~13 cm有交汇现象
		30×80	10左右	地表0 cm有零星湿润现象 0~3 cm有湿润现象(间距14 cm) 10~15 cm有交汇现象
35×60		0~10	地表0 cm有湿润现象(间距30 cm) 0~10 cm有交汇现象	
35×70		0~10	地表0 cm有零星湿润现象 0~15 cm有交汇现象	
35×80		0~15	地表0 cm有零星湿润现象 0~5 cm有湿润现象(间距19 cm) 10~15 cm有交汇现象	
40×60		0~10	地表0 cm有零星湿润现象 0~15 cm有交汇现象	
40×70		0~15	地表0 cm有零星湿润现象 0~20 cm有交汇现象	
40×80	0~15	地表0 cm有零星湿润现象 0~20 cm有交汇现象		

^①表中所记录的纵向迁移是指水分上升高度距地面的距离,横向迁移是指各层深度土壤是否有湿润现象、湿润锋距离或有无交汇现象。

到的横向湿润锋交汇深度也加深,如毛管埋设深度为30 cm,间距为60、70、80 cm时,其湿润锋交汇的土层深度分别为0~10、10~20、15~20 cm;毛管埋设深度为35 cm,间距为60、70、80 cm时,其湿润锋交汇的土层深度分别为0~10、30~35、30~35 cm;毛管埋设深度为40 cm,间距为60、70、80 cm时,其湿润锋交汇的土层深度分别为10~20、20~30、25~30 cm。

由表6还可知,当毛管滴头流量为1.6 L/h时,从灌水结束第2天的剖面观测可得,无论毛管埋深深度、间距为多少,地表均有湿润现象发生。也就是说滴头流量越大,水分向上迁移的越快,地表湿润面积也越大。

2.4 不同处理对玉米产量的影响

从滴头流量为1.2 L/h时各处理的玉米产量结果(图2)可以看出,毛管埋设为30 cm、间距为60 cm的处理1产量最高,可达11 670 kg/hm²,比埋深为30 cm、间距分别为70 cm和80 cm的处理2和处理3的产量高出32.4%、31.2%,比间距为60 cm、埋深分别为35 cm和40 cm的处理4和处理7的产量高出27.0%、36.8%。毛管埋设为35 cm、间距为60 cm的处理4产量位居第2,为8 520 kg/hm²,比埋深为35 cm、间距分别为70 cm和80 cm的处理5和处理6高出24.1%、11.1%,比埋深为40 cm、间距为60 cm的处理7高出13.4%。处理7产量为7 380 kg/hm²,分别比处理8和处理9高出25.4%、10.2%。由此可以看出,毛管埋深为30 cm、间距为60 cm时获得的产量最高,其次为处理4,也就是说,在毛管埋设间距一定的情况下,埋深深度越浅,地下灌水器周围土壤水分借助毛管力上升的效果更佳,更有利于玉米发芽、出苗,产量也高于埋深深度较深的(40 cm)。

除此以外,由图2可以看出,在毛管埋深深度一定的情况下,毛管间距为80 cm时产量高于70 cm,但低于60 cm的处理。如处理3产量高于处理2,处理6高于处理5,处理9高于处理8。结合各处理出苗率情况考虑,尽管埋设深度不变,毛管间距为80 cm时的出苗率低于70 cm的,但最终产量表现恰恰相反。

滴头流量为1.6 L/h时各处理的产量结果见图3。由图3可知,与滴头流量为1.2 L/h时的处理相似,毛管埋设为30 cm、间距为60 cm的处理10

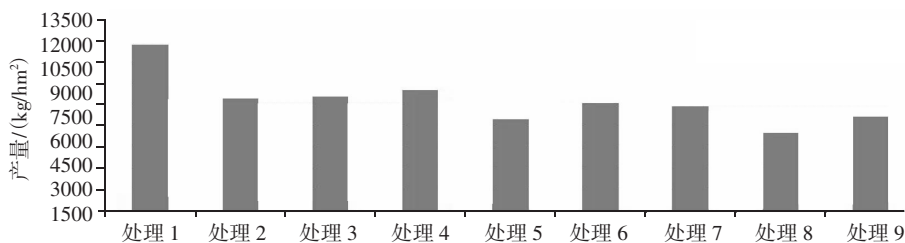


图2 滴头流量为 1.2 L/h 时不同处理玉米的产量

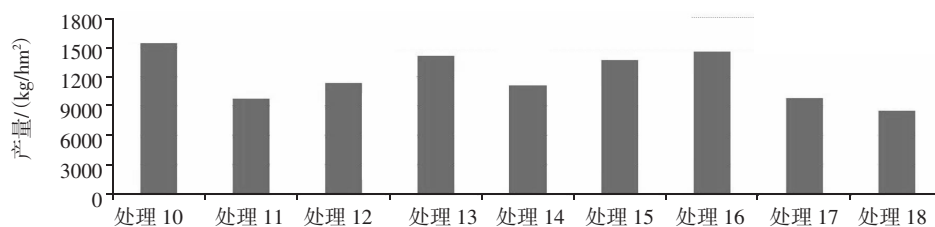


图3 滴头流量为 1.6 L/h 时不同处理玉米的产量

产量最高, 可达 15 375 kg/hm², 比埋深为 30 cm、间距分别为 70 cm 和 80 cm 的处理 11 和处理 12 高出 57.9%、35.8%, 比间距为 60 cm、埋深分别为 35 cm 和 40 cm 的处理 13 和处理 16 高出 8.8%、5.6%。毛管埋设为 35 cm、间距为 60 cm 的处理 16 产量位居第 2, 为 145 651 kg/hm², 比埋深为 40 cm、间距分别为 70 cm 和 80 cm 的处理 17 和处理 14 高出 9.2%、71.9%, 比埋深为 35 cm、间距为 60 cm 的处理 13 高出 3.1%。说明毛管铺设、灌水定额和灌水时间一致的情况下, 滴头流量为 1.6 L/h 时产量显著高于滴头流量为 1.2 L/h 的处理, 说明滴头流量越大增产效果越显著。

3 结论与讨论

在灌水定额相同的情况下, 处理间土壤含水率差异大的原因与各处理的出苗率相关。毛管埋深较深、间距较大时玉米出苗率偏低, 玉米需水高峰期由于小区植株数量差异较大, 进而引起土壤含水率较大。毛管滴头流量为 1.2 L/h、毛管铺设间距为 60 cm 时, 地表均出现湿润现象, 但由于毛管埋设深度程度的不同, 其湿润状况也有所不同, 即毛管埋深越浅, 地表湿润面积越大。毛管埋设深度相同时, 随着铺设间距的增大, 其肉眼观察到的横向湿润锋交汇深度也加深, 如毛管埋设深度为 30 cm、间距为 60、70、80 cm 时, 其湿润锋交汇的深度土层分别为 0~10、10~20、15~20 cm; 毛管埋设深度为 35 cm、间距为 60、70、80 cm 时, 其湿润锋交汇的深度土层分别为 0~10、30~35、30~35 cm; 毛管埋设深度为 40 cm、间距为 60、70、80 cm 时, 其湿润锋交汇的

深度土层分别为 10~20 cm、20~30 cm、25~30 cm。可见滴头流量的大小直接影响到埋式滴灌湿润体的形状。在毛管铺设、灌水定额和灌水时间一致的情况下, 滴头流量为 1.6 L/h 时产量显著高于滴头流量为 1.2 L/h 的处理, 说明滴头流量越大增产效果越显著。综合分析, 在本试验条件下, 毛管埋深为 30 cm、间距为 60 cm 为大田玉米的最优埋式滴灌组合模式。

参考文献:

- [1] 黄兴法, 李光永. 地下滴灌技术的研究现状与发展. 农业工程学报[J]. 2002, 18(2): 176-181.
- [2] 程先军, 许迪, 张昊. 地下滴灌技术发展及应用现状综述节水灌溉[J]. 1999, 4(8): 13-15.
- [3] 康绍忠, 李永杰. 21 世纪我国节水农业发展趋势及其对策[J]. 农业工程学报, 1997, 13(4): 1-7.
- [4] 张爱莉. 最经济的灌水法—地下滴灌[J]. 灌溉排水, 1995, 14(1): 50-52.
- [5] SAEIJS H L F, BERKEL M J. Global water crisis: the major issue of the 21st century, a growing and explosive problem[J]. European Water Pollution Control, 1995, 5(4): 26-40.
- [6] PHENE C J, BEALE O W. High-frequency irrigation for water nutrient management in humid region[J]. Soil. Sci. Soc. Am. J., 1976, 40(3): 430-436.
- [7] 范永申, 仵峰张. 地下滴灌条件下棉花土壤水分运移田间试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(4): 1-4.
- [8] 杨君林, 崔云玲, 张立勤, 等. 优斯美液体氮肥在制种玉米上的膜下滴灌量研究[J]. 甘肃农业科技, 2015(8): 23-25.