

滴灌铺管间距对冬小麦水分动态及耗水特性的影响

商 健, 张玉梅, 林 琪, 刘义国

(青岛农业大学农学与植物保护学院, 山东省旱作农业技术重点实验室, 山东 青岛 266109)

摘 要: 为明确胶东地区适宜小麦滴灌铺管间距, 在大田试验设置了 4 种滴灌处理: 一管三行(T3, 间距 54 cm)、一管四行(T4, 间距 72 cm)、一管五行(T5, 间距 90 cm)、一管六行(T6, 间距 108 cm), 以无灌水处理(CK)为对照, 研究了不同滴灌铺管间距对冬小麦耗水及水分利用效率的影响。结果表明, 滴灌对 0~60 cm 土层土壤含水量影响显著, 可显著降低土壤水的消耗。不同滴灌处理冬小麦总耗水量和土壤水消耗量表现为 T6>T3>T5>T4, 两年 T6 处理总耗水分别为 407.5 mm 和 451.2 mm, 显著高于 T4 处理。在枯水年, 各处理 WUE 表现为 T5>T4>T6>T3>CK; 平水年, 各处理 WUE 为 T5>T4>CK>T6>T3, 两年度 T5 和 T4 处理的 WUE 均显著高于其它处理, 其中 T5 的 WUE 分别为 24.3 kg·hm⁻²·mm⁻¹ 和 19.4 kg·hm⁻²·mm⁻¹。适宜的滴灌管配置方式能显著提高冬小麦有效穗数和子粒千粒重, T5 处理两年产量最高, 综合考虑 T5 经济效益最大, 两年的经济效益分别达到 10 976.35 元·hm⁻² 和 9 802.56 元·hm⁻²。一管五行间距 90 cm 是胶东地区最佳滴灌铺管间距配置。

关键词: 滴灌; 铺管间距; 冬小麦; 耗水特性; 产量

中图分类号: S275.6; S512.1⁺1 **文献标志码:** A

Effects of the distance to drip pipe on moisture dynamics and water consumption characteristics of winter wheat

SHANG Jian, ZHANG Yu-mei, LIN Qi, LIU Yi-guo

(Shandong Key Laboratory of Dry Farming Technology, College of Agronomy and Plant Protection, Qindao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China)

Abstract: In order to clear the suitable distance of drip pipe for wheat in the Jiaodong Area, set up 4 drip irrigation treatments in the field experiment, such as 1 pipe with 3 rows (T3, the distance of 54 cm), 1 pipe with 4 rows (T4, the distance of 72 cm), 1 pipe with 5 rows (T5, the distance of 90 cm), 1 pipe with 6 rows (T6, the distance of 108 cm), and using no irrigation as control (CK), researched the effects of different distance of drip pipe on water consumption and water use efficiency(WUE) of winter wheat. The results indicated that: The drip irrigation was notable influences on soil moisture in 0~60 cm depth, can be notably reduced the consumption of soil water. For different drip treatments, the whole water consumption of winter wheat and soil water consumption expressed as T6>T3>T5>T4, the whole water consumption of T6 in two years were 407.5 mm and 451.2 mm, respectively, notable high than T4 treatment. In the dry year, the WUE of each treatment can be expressed as T5>T4>T6>T3>CK. In the normal year, the WUE of each treatment can be expressed as T5>T4>CK>T6>T3. The WUEs of T5 and T4 were total notable high than other treatments in two years, among them the WUE of T5 were 24.3 kg·hm⁻²·mm⁻¹ and 19.2 kg·hm⁻²·mm⁻¹, respectively. The suitable layout mode of the drip pipes can notably increase the effective spike numbers and 1000-grain weight of winter wheat. For the T5 treatment, the yield and economic benefit total were maximum in two years, the economic benefits in two years was reached 10976.35 yuan·hm⁻² and 9802.56 yuan·hm⁻², respectively. So the 1 pipe with 5 rows, the distance of 90 cm was the optimal layout distance of the drip pipes in Jiaodong Areas.

Keywords: drip irrigation; distance of drip irrigation pipe; winter wheat; water consumption characteristics; yield

收稿日期: 2015-06-15

基金项目: 山东省旱地作物水分高效利用高校优秀科研创新团队资金; 山东省小麦/玉米周年高产高效协同创新中心资金; 国家粮食丰产科技工程项目“鲁东丘陵区小麦/玉米稳产增效技术集成研究与示范”(2011BAD16B09-03)、“鲁东丘陵区小麦/玉米水肥自然资源高效利用综合技术集成与示范研究”(2013BAD07B06-3); 山东省农业重大应用技术创新课题“小麦滴灌水肥一体化栽培技术研究与示范”

作者简介: 商 健(1987—), 男, 山东临沂人, 硕士研究生, 研究方向为小麦旱作高产生理。E-mail: 903368638@qq.com。

通信作者: 刘义国(1979—), 男, 山东临朐人, 博士, 讲师, 主要从事小麦栽培理论与技术研究。E-mail: yiguoliu@163.com。

作为我国粮食主产区之一的华北平原,是我国北方水资源严重匮乏的地区。冬小麦是华北平原主要的粮食作物之一,其播种面积约占耕地面积的40%,小麦用水约占北方农业用水的70%^[1-2]。受季风气候的影响,生育期内降雨仅能满足冬小麦总耗水的25%~30%^[3],干旱已成为冬小麦生产的主要限制因素。冬小麦要获得高产就必须依靠灌溉水的补充,灌溉是冬小麦高产稳产的重要保证。但是华北地区冬小麦生产中灌溉用水存在着用水量过大、地下水超采严重、农业用水效率低下等问题^[4]。滴灌是当今世界上最先进的节水灌溉技术之一,它是利用滴灌系统设备,按照作物需水要求,通过低压管道系统和滴头,以较小的流量均匀、准确地将作物生长所需的水分和养分直接输送到作物根部附近的土壤中,使作物主要根系活动区的土壤始终保持在最优含水状态,达到节约灌溉用水量、促进作物生长、提高产量和改善品质的一种局部灌水技术^[5-7]。目前滴灌主要应用在大田棉花、温室大棚、果园及绿化带等方面^[5]。前人对滴灌技术的研究也主要集中在棉花、果树、蔬菜等宽幅种植的作物,而麦田滴灌技术是对密植作物灌溉的一次改革^[8]。当前滴灌技术在小麦上的应用也主要集中在新疆地区,成为新疆春小麦大面积高产的典型。滴灌技术在冬小麦上的研究和应用相对较少,而且滴灌铺管参数的设置受当地气候、土壤质地、容重等因素的影响很大。鉴于此,本试验在前人研究的基础上,进一步探讨了滴灌铺管间距对胶东地区冬小麦水分分布及水分利用的影响,以为滴灌冬小麦高产高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种与试验地概况

试验于2011—2012年度和2012—2013年度在山东省胶州市青岛农业科技示范园(36°03'N, 120°07'E)进行。试验地年平均气温11℃~14℃,土壤为砂姜黑土,属于温带大陆季风气候。耕作层含

全氮0.11%,有效氮87.9 mg·kg⁻¹,速效磷17.28 mg·kg⁻¹,速效钾109.46 mg·kg⁻¹,有机质1.45%,pH为6.78。2011—2012年度小麦生育期降雨量为164.7 mm(图1),为枯水年,降雨严重不足。2012—2013年度,小麦生育期总降雨量为277.6 mm(图1),为平水年。供试品种为“青麦7号”,2011年播种日期为10月17日,2012年为10月15日,基本苗180万·hm⁻²。

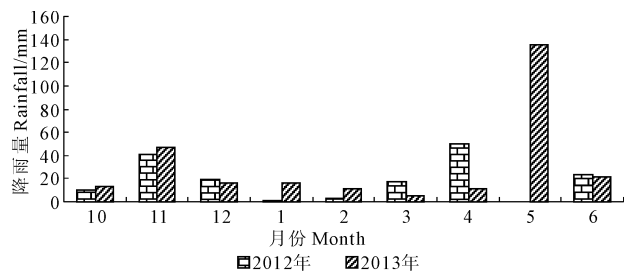


图1 2011—2013年试验地小麦生长季各月份降雨情况

Fig. 1 The rainfall situation in each month of the wheat growing period in 2011 to 2013

1.2 试验设计

试验为滴灌管铺管方式单因素试验,小麦行距18 cm。根据铺管间距的不同,试验设4个滴灌处理:一管三行(T3,两带间3行小麦)、一管四行(T4)、一管五行(T5)、一管六行(T6)(图2),同时以无灌溉作对照(CK)。各小区面积为180 m²(6 m×30 m),采用随机区组设计,重复三次。各处理间留1.5 m的隔离带,防止小区间水分侧渗。滴灌处理采用北京水润佳灌溉技术有限公司生产的内嵌式滴灌管(Φ=16 mm)进行灌溉,滴头间距为30 cm,滴头流量为2.7 L·h⁻¹。滴灌处理分别于起身期、拔节期、开花期、灌浆期灌水,每次灌水30 mm,T3、T4、T5、T6各小区每次滴灌时间为1.8、2.5、2.86 h和3.3 h,在每个小区滴灌管进水口处设水表计量灌水量。两个生长季试验处理一致,播种前灌溉底墒水,使土壤墒情一致。试验小区均施N:225 kg·hm⁻²,其中底肥为复合肥375 kg·hm⁻²(N:P:K为18:18:8),追肥尿素(含氮量46.2%)341 kg·hm⁻²,基施有机肥。

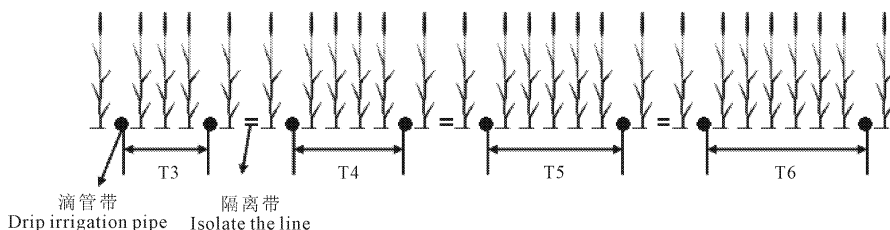


图2 不同滴灌模式示意图

Fig. 2 The sketch map for different drip irrigation model

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤含水量的测定 利用 TDR 土壤水分测定系统,每 20 cm 一层进行土壤水分测定。测定深度为 1 m。每隔 6 d 测定一次,在每次灌水前一天傍晚及灌水后 12 h 加测,降雨后加测。在各小区铺管行、相邻行及次邻行中间位置埋下深 1.4 m 的 PVC 水分测定管(如 1 管 6 行处理铺管行、相邻行、次邻行位置所测定水分表示为 T61、T62、T63)。同时利用烘干法测定土壤含水率,利用土钻在冬小麦各生育时期每 20 cm 取土一次,取土深度 1 m。放于铝盒中,在 105℃ 利用烘干法测定土壤含水量。

1.3.2 作物耗水量 根据土壤含水量计算农田耗水量:

$$ET_{1-2} = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (\theta_{i1} - \theta_{i2}) + M + P + K$$

式中, ET_{1-2} 为阶段耗水量(mm); i 为土层编号; n 为总土层数; γ_i 为第 i 层土壤干容重($g \cdot cm^{-3}$); H_i 为第 i 层土壤厚度(cm); θ_{i1} 和 θ_{i2} 分别为第 i 层土壤时段初和时段末的含水率,以占干土质量的百分数计; M 为时段内的灌水量(mm); P 为有效降水量(mm); K 为时段内的地下水补给量(mm),当地下水埋深大于 2.5 m 时, K 值可以忽略不计。

1.4 测产

成熟期各小区选取完整的 3 个 1 m 行,检查成穗数,折算有效穗数。各小区选取 10 株完整代表植株,收获后室内考种获得株高、穗粒数、有效分蘖数,脱粒风干后测定千粒重。收获时每小区取 2.0 m² 的完整植株测定产量,最后折算公顷产量。

1.5 统计分析方法

试验数据采用统计分析软件 DPS 7.05 分析处理,采用 LSD 法对处理间差异显著性进行分析比较。

2 结果与分析

2.1 不同滴灌处理对土壤水分动态分布的影响

不同滴管布置模式下小麦不同时期土壤水分分布见图 3。由图 3(图中水分为相同深度不同行小麦水分的平均值)可知,灌水前不同土层土壤水分含量基本接近,灌起身水后滴灌处理各时期土壤含水量均高于 CK,拔节后各处理土壤含水量差异开始变大。滴灌对 0~60 cm 土壤水分含量影响比较明显,0~40 cm 土层土壤水分含量整个生育时期变化最为剧烈,80~100 cm 各滴灌处理土壤水分含量差异较小。不同土层滴灌处理间土壤水分含量变化趋势不一致,0~40 cm 土层基本表现为 T3 > T4 > T5 > T6; 40~60 cm 土层为 T5 > T4 > T3 > T6; 60~100 cm

土层开花前为 T5 > T4 > T3 > T6,花后为 T5 > T4 > T6 > T3。T3 处理对 0~40 cm 土壤水分含量影响显著,而不利深层土壤的供水。T5 处理 40~100 cm 水分均匀度高于其它处理,T5 处理能保证较深层土壤的供水。

2.2 滴灌铺管间距对冬小麦产量的影响

由表 1 分析可知,不同处理间滴灌处理的冬小麦千粒重、穗粒数、穗数及产量均显著高于 CK,表明滴灌能显著改善冬小麦的产量构成,提高产量。不同滴灌处理间,滴灌铺管间距对冬小麦千粒重、穗数的影响差异显著,对穗粒数的影响差异不显著,表明滴灌铺管间距适宜能显著提高冬小麦子粒千粒重和有效穗数。不同处理间两年的大田试验产量均表现为 T5 > T4 > T6 > T3 > CK,2011—2012 年产量差异显著,2012—2013 年度 T3 与 T6 差异不显著,T5 产量显著高于 T3、T6。2011—2012 年度,T5 处理的产量为 8 878.3 kg·hm⁻²,分别比 CK、T3、T4、T6 高出 61.1%、17.8%、2.4% 和 10.2%;2012—2013 年度 T5 处理的产量为 8 344.80 kg·hm⁻²,分别比 CK、T3、T4、T6 高出 42.74%、21.12%、8.91% 和 20.28%,表明不同滴灌铺管间距对冬小麦产量影响不同,适宜的滴灌铺管间距条件下,可以显著提高冬小麦的千粒重和有效穗数,从而实现高产。由两个生长季的产量对比发现,2011—2012 年度各滴灌处理的产量均高于 2012—2013 年度,主要是因为第二年度 5 月降雨过于密集,影响了小麦的开花和灌浆,导致千粒重和有效穗数群体的降低,从而减产。而 CK 产量第二年度却高于第一年,第二年度的降雨有效缓解了干旱胁迫,提高群体穗数,提高产量。

表 1 不同滴灌处理下冬小麦产量构成

Table 1 Constitution of winter wheat yield under different drip irrigation treatments

年份 Year	处理 Treatment	千粒重 1000- grain weight/g	穗粒数/粒 Grain numbers per spike	穗数 Spike number /(10 ⁴ ·hm ⁻²)	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)
2011— 2012	CK	38.16e	28.12d	604.52e	5509.73e
	T3	39.58d	32.24c	696.05d	7539.84d
	T4	40.31b	31.90c	793.57a	8673.02b
	T5	41.04a	33.41a	762.04b	8878.34a
	T6	39.87c	32.82b	724.56c	8053.42c
2012— 2013	CK	32.41d	29.07b	620.55d	5846.10d
	T3	33.11cd	31.12a	668.70bc	6889.80c
	T4	35.27b	31.21a	696.15ab	7662.30b
	T5	37.12a	31.18a	720.90a	8344.80a
	T6	34.54bc	30.84a	651.30c	6937.65c

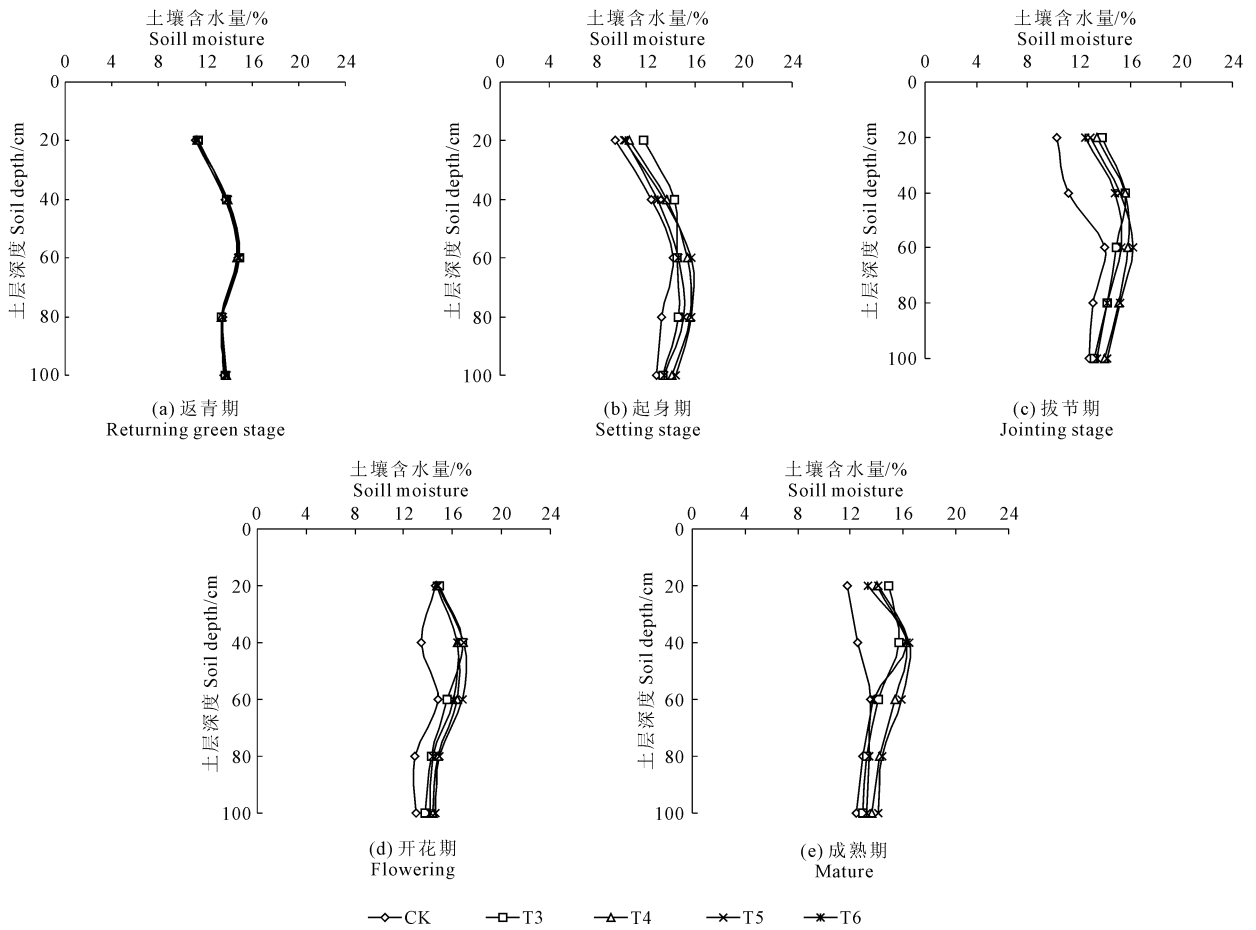


图 3 不同滴灌处理下各土层土壤含水量的变化(2012—2013)

Fig. 3 Changes of soil water content in each layer under different drip irrigation treatments(2012—2013)

2.3 不同滴灌处理对水分利用效率的影响

由表 2 可知,2011—2012 年和 2012—2013 年度生长季子粒产量均为 $T5 > T4 > T6 > T3 > CK$ 。两年滴灌处理总耗水量均显著高于 CK,滴灌处理间耗水量表现为 $T6 > T3 > T5 > T4$,2011—2012 年度 T6 与 T4、T5 差异显著,2012—2013 年度 T6 与 T4 差异显著,相同处理第二年耗水量均高于第一年。CK 土壤水消耗量显著高于滴灌处理,但 2011—2012 年 CK 与 T6 差异不显著,相同处理第二年土壤水耗水量均低于第一年。表明灌水后显著降低了土壤水消耗,滴灌处理 T6、T3 耗水量高于 T4、T5,不同铺管间距下灌水后水分分布均匀度不同,T4 和 T5 处理的水分分布均匀,导致耗水降低。2011—2012 年度水分利用效率为 $T5 > T4 > T6 > T3 > CK$,T5 与 T4 处理 WUE 差异不显著,但显著高于其它处理;2012—2013 年度水分利用效率为 $T5 > T4 > CK > T6 > T3$,T5 与 T4 处理 WUE 差异不显著,CK、T6、T3 处理间差异不显著。相同处理第二年水分利用效率均低于第一年。

2.4 滴灌铺管间距对冬小麦经济效益的影响

通过对滴灌冬小麦成本和效益分析(表 3)可以看出,滴灌耗材成本依次为 $T3 > T4 > T5 > T6$,不同处理因铺管间距不同滴灌耗材也不同,铺管间距越窄使用毛管越多。灌溉相同面积所需时间不同消耗水电费用也不同,T3 处理所用时间最短,使用水电费最少,T6 最多,但总成本的差异主要是滴灌耗材造成的。相同处理 CK 总效益第二年高于第一年,是因为第二年产量升高,而滴灌处理由于第二年产量降低效益也小于第一年。由 2012—2013 年效益可以看出,CK 的效益高于 T3 和 T6 处理,滴灌铺管间距过大或过小均不能获得高的效益,T5 模式下经济效益最高。

3 讨论

已有的研究表明,滴灌条件下水分主要分布在 0~60 cm 土层,土壤水分含量变化在此土层也较为剧烈^[3,9]。在本研究条件下,滴灌对 0~60 cm 土层土壤含水量影响显著,整个生育期 0~40 cm 土层土

表 2 不同滴灌处理对耗水量和水分利用效率的影响

Table 2 Effects of different drip treatments on water consumption and WUE of winter wheat

年份 Year	处理 Treatment	子粒产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	耗水量 Water consumption amount/mm				水分利用效率 WUE /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
			总计 Total	I	P	SWCA	
2011—2012	CK	5509.7e	305.1c	0.0	164.7	140.4a	18.1c
	T3	7539.8d	390.6ab	120.0	164.7	105.9bc	19.3b
	T4	8673.0b	359.4b	120.0	164.7	74.7c	24.1a
	T5	8878.3a	365.3b	120.0	164.7	80.6c	24.3a
	T6	8053.4c	407.5a	120.0	164.7	122.8ab	19.8b
2012—2013	CK	5846.1d	374.8c	0.0	277.6	97.2a	15.6b
	T3	6889.8c	440.7ab	120.0	277.6	43.1bc	15.6b
	T4	7662.3b	421.4b	120.0	277.6	23.8c	18.2a
	T5	8344.8a	429.5ab	120.0	277.6	31.9bc	19.4a
	T6	6937.6c	451.2a	120.0	277.6	53.6b	15.4b

注:I: 灌水量;P: 降水量;SWCA: 土壤水消耗量;WUE: 水分利用效率。

Note:I: Irrigation amount; P: Precipitation; SWCA: Soil water consumption amount; WUE: Water use efficiency.

表 3 不同滴灌处理成本和效益分析/(元·hm⁻²)Table 3 Analysis of costs and benefits under different drip irrigation treatments/(yuan·hm⁻²)

处理 Treatment	机械 Mechanical	水电 Water electric	滴灌 材料 Drip material	种子,农药,化肥 Seeds, pesticides, fertilizers	人工 Labors	成本 合计 Total cost	总收入 Total revenue		总效益 Total benefit	
							2011—2012	2012—2013	2011—2012	2012—2013
CK	2150	270	0	3055	280	5755	12121.41	12861.42	6366.41	7106.42
T3	2150	472	3195	3055	574	9446	16587.65	15157.56	7141.65	5711.56
T4	2150	546	2445	3055	508	8704	19080.64	16857.06	10376.64	8153.06
T5	2150	604	2205	3055	542	8556	19532.35	18358.56	10976.35	9802.56
T6	2150	662	1890	3055	604	8361	17717.52	15262.83	9356.52	6901.83

注:价格计算参照当地市场价,滴灌材料价格按照使用 5 a 折算,小麦价格按照市场价 2.2 元·kg⁻¹计算。

Note: The price references the local market price, drip material price converted by five years use, wheat price is according to the market price as 2.2 yuan·kg⁻¹.

壤水分变化最为剧烈,主要是因为该层土壤受灌溉和降雨的影响比较大,同时土壤蒸发强度较大,根系分布密度大,耗水量也大。不同滴灌铺管间距处理对水分分布的影响存在差异,T3 处理对 0~40 cm 土层水分动态影响显著,60~100 cm 土壤含水量低于其它滴灌处理,这主要是相同的滴头流量和灌溉量条件下水分在水平方向和垂直方向入渗距离不同造成的。对同一滴头流量而言,入渗距离受滴灌时间的影响。王全九等^[10]认为滴灌水分进入土壤后,水分运移分三个阶段,第一阶段为等速移动阶段,水平和垂直两个方向水分运移速度基本相同;第二阶段为不等速阶段,水分垂直方向扩散速度大于水平方向;第三阶段为水分的垂直扩散阶段,此阶段水平方向的水分移动远低于垂直方向。本研究中由于滴灌带数的差异,灌溉量相同所需灌溉时间不同,T3 灌溉时间最短,T6 灌溉时间最长,灌溉时间越长越利于垂直方向的水分移动,而滴灌间距过大则不能保

证水平方向的水分供应。

张德奇等^[11]研究表明,约 50% 的冬小麦根系主要分布在 0~40 cm 土层范围内。滴灌对 0~60 cm 土壤含水量影响显著,T4、T5 处理 40~60 cm 土壤含水量高于 T3,有利于根系的下扎,促进深层吸水。T6 处理间距过大,远边行供水不足,出现不同行间的生长差异,远边行的产量显著降低。适宜的滴灌铺管方式能显著提高冬小麦子粒千粒重和有效穗数。两年的大田试验产量均表现为 T5 > T4 > T6 > T3 > CK。提高自然降水和灌溉水的利用效率是节水农业需要解决的关键问题^[12-13]。本研究中不同滴灌处理对冬小麦总耗水量影响存在差异,表现为 T6 > T3 > T5 > T4,由于 T6 处理毛管间距过大,对距离毛管最远行的小麦供水不足,造成表层土壤的水分消耗加剧,而 T3 处理则加剧了深层土壤的水分消耗。冬小麦的水分利用受降雨的影响显著,王淑芬等^[14]认为,华北地区冬小麦最佳的灌水方式是丰水

年不灌水、平水年灌一次拔节水、枯水年灌拔节水和抽穗水。仵峰^[15]研究表明地下滴灌的毛管铺设间距为 90 cm 时,灌水后相邻两条滴灌带之间的水分能够充分搭接,可在地下形成一个完整的湿润层,可满足作物需水均匀供水的要求。本研究中,2011—2012 年度为枯水年,各滴灌处理 WUE 表现为 T5 > T4 > CK > T6 > T3; 2012—2013 年度为平水年,但降雨主要集中在冬小麦开花期后,严重影响了子粒灌浆,千粒重和有效穗数显著降低,造成滴灌处理第二年度的产量均低于第一年度,使得水分利用效率均低于第一年度。

4 结 论

科学合理的配置滴灌铺管间距是滴灌冬小麦获得高产和灌溉效益的重要前提条件。本试验条件下,1 管 5 行处理(滴管间距 90 cm)作物需水层水分分布均一性最高,有效减少土壤水消耗,提高了水分利用效率,显著提高了子粒产量(两年度分别为 8 878.3 kg·hm⁻²和 8 344.80 kg·hm⁻²),提高了滴灌经济效益,是胶东地区适宜的滴灌铺管间距配置。

致谢:感谢山东省早作农业技术重点实验室和青岛农业大学现代农业科技示范园对本研究的支持;感谢林琪教授为试验设计和实施进行的指导和监督。

参 考 文 献:

[1] Pandey Harish C, Baig M J, Chandra A, et al. Drought stress induced changes in lipid peroxidation and antioxidant system in genus avena

[J]. The Journal of Environmental Biology, 2010, 31(4): 435-440.

- [2] 刘丰明,陈明灿,郭香凤,等.高产小麦粒重形成的灌浆特性分析[J].麦类作物学报,1997,17(6):38-41.
- [3] Lu Guohua, Kang Yaohu, Li Lan, et al. Effect of irrigation methods on root development and profile soil water uptake in winter wheat[J]. Irrigation Science, 2010, 28(5): 387-398.
- [4] Battikhi A M, Abu - Hammad A H. Comparison between the efficiencies of surface and pressurized irrigation systems in Jordan[J]. Irrigation and Drainage Systems, 1994, 8(2): 109-121.
- [5] 马学良,吴晓光,苏 音,等.我国滴灌技术应用发展若干问题分析[J].节水灌溉,2004,(5):23-26.
- [6] 夏新华,侯淑敏,袁 伟.农业节水灌溉之滴灌技术研究[J].农机化研究,2008,(10):237-240.
- [7] 王芬霞,程建梅,李九勤,等.鹤壁农科院冬小麦超高产滴灌技术与探讨[J].农业科技通讯,2011,(8):35-36.
- [8] 王冀川,高山,徐雅丽,等.新疆小麦滴灌技术的应用与存在问题[J].节水灌溉,2011,(9):29-33.
- [9] 吴 巍,陈雨海,李全起,等.垄沟耕作条件下滴灌冬小麦田间土壤水分的动态变化[J].土壤学报,2006,43(6):129-135.
- [10] 王全九,王文焰,白锦麟.土壤水分运移热力学特征的研究[J].水土保持学报,1994,8(1):63-68.
- [11] 张德奇,季书勤,李向东.水分调控对冬小麦根系与叶片生理特征及产量和品质的影响[J].华北农学报,2012,27(1):124-127.
- [12] 韩占江,于振文,王 东,等.测墒补灌对冬小麦干物质积累与分配及水分利用效率的影响[J].作物学报,2010,36(3):97-105.
- [13] 黄占斌,山 仑.水分利用效率及其生理生态机理研究进展[J].生态农业研究,1998,6(4):21-25.
- [14] 王淑芬,张喜英,裴 冬.不同供水条件对冬小麦根系分布、产量及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2006,22(2):35-40.
- [15] 仵 峰.地下滴灌土壤水分运动特性与系统设计参数研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2010.