

小麦 - 玉米滴灌水肥一体化的节水增产效应

武继承^{1,2},杨永辉^{1,2},潘晓莹^{1,2},丁晋利^{1,2,3},韩伟峰^{1,2},何方^{1,2}

(1. 河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所,河南 郑州 450002;

2. 农业部作物高效用水原阳科学观测实验站,河南 原阳 453514; 3. 郑州师范学院,河南 郑州 450044)

摘要:在河南省通许县节水农业试验示范基地开展了滴灌和小白龙水肥一体化的对比研究,氮肥施用设置一次性底施、底施70%+拔节期追施30%、底施50%+拔节期追施50%、底施70%+灌浆期追施30%、底施50%+灌浆期追施50%和底施50%+拔节期追施30%+灌浆期追施20%,以期找出小麦-玉米周年节水增效措施。结果表明,滴灌水肥一体化更有利于改善水肥的协调供应,促进小麦-玉米的生长发育。与小白龙处理相比,滴灌处理小麦株高增加0.9~7.6 cm,穗长增加0.4~1.6 cm,小穗数增加1.1~2.8个,穗粒数增加0.6~5.2粒,不孕穗数减少1.1~3.3个,千粒质量增加0.1~1.4 g;玉米株高增加2.4~8.2 cm,叶片数增加0.2~0.8片,茎粗增加0.44~0.68 cm,穗行数增加0.2~1.2行,双行粒数增加0.8~7.3粒,有效穗长增加0.04~1.67 cm,穗周长增加0.39~1.40 cm,百粒质量增加0.2~2.1 g,总体上,小麦和玉米均以底施50%+灌浆期追施50%处理效果较好。与小白龙处理相比,滴灌水肥一体化处理小麦显著增产14.29%~18.96%,灌溉水利用效率显著提高1.93~2.79 kg/m³;玉米显著增产21.79%~47.19%,灌溉水利用效率显著提高3.97~6.07 kg/m³;小麦-玉米周年显著增产19.98%~33.37%,灌溉水利用效率显著提高3.26~4.43 kg/m³,均以底施70%+灌浆期追施30%效果最佳。与一次性底施处理相比,滴灌水肥一体化处理小麦、玉米及小麦-玉米周年产量及灌溉水利用效率均以底施50%+拔节期追施30%+灌浆期追施20%处理最高。由此可见,滴灌水肥一体化有利于实现节水增效,氮肥适当后移效果明显。

关键词:滴灌;小白龙;水肥一体化;小麦;玉米;产量;灌溉水利用效率

中图分类号:S512;S513;S143.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2017)02-0016-06

Effect of Drop Irrigation Fertigation on Water-saving and Yield-increasing of Wheat-corn System

WU Jicheng^{1,2}, YANG Yonghui^{1,2}, PAN Xiaoying^{1,2}, DING Jinli^{1,2,3}, HAN Weifeng^{1,2}, HE Fang^{1,2}

(1. Institute of Plant Nutrition & Resource Environment, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China;

2. Yuanyang Experimental Station of Crop Water Use, Ministry of Agriculture, Yuanyang 453514, China;

3. Zhengzhou Normal University, Zhengzhou 450044, China)

Abstract: In order to reveal the effect of drop irrigation fertigation on water-saving and yield-increasing of wheat and corn, the comparative field experiments of drip irrigation and small white dragon with the integrated management of water and fertilizer was carried out in Tongxu water-saving agriculture demonstration base of Henan province. The application of N fertilizer was set as single basal application (210 kg/ha), basal application 70% and topdressing 30% at jointing stage, basal application 50% and topdressing 50% at jointing stage, basal application 70% and topdressing 30% at the filling stage, basal application

收稿日期:2016-07-11

基金项目:公益性行业农业科研专项(201203077);河南省农业科学院科研专项(201513105);国家科技支撑计划项目(2013BAD07B07-6)

作者简介:武继承(1965-),男,河南通许人,研究员,博士,主要从事节水农业、土壤肥料和农业生态等方面的研究。

E-mail:wujc2065@126.com

50% and topdressing 50% at the filling stage, basal application 50% and topdressing 30% at jointing stage and 20% at the filling stage. The results showed that the fertigation was more conducive to the improvement of the water supply, and promoted the coordinated growth of wheat and corn. Compared to the corresponding treatments of small white dragon, the wheat plant height of drop irrigation treatment increased by 0.9—7.6 cm, the ear length increased by 0.4—1.6 cm, the number of spikelet increased by 1.1—2.8, the number of grains per spike increased by 0.6—5.2 grains, the sterility spike number reduced by 1.1—3.3, the thousand-grain-weight increased by 0.1—1.4 g; the corn plant height of drop irrigation treatment increased by 2.4—8.2 cm, the number of visible leaves increased by 0.2—0.8, the diameter of stem increased by 0.44—0.68 cm, the number of the rows increased by 0.2—1.2, the number of double rows grains increased by 0.8—7.3 grains, the effective ear length increased by 0.04—1.67 cm, the ear perimeter increased by 0.39—1.40 cm and the 100-grain-weight increased by 0.2—2.1 g. The better treatment of wheat and corn was the treatment with the basal application 50% and topdressing 50% at the filling stage. Compared to the corresponding small white dragon treatments, the yield of wheat increased by 14.29%—18.96% under drop irrigation, the water utilization efficiency of irrigation improved 1.93—2.79 kg/m³; the yield of corn increased by 21.79%—47.19% under drop irrigation, the water use efficiency of irrigation increased by 3.97—6.07 kg/m³; the anniversary yield of wheat and corn increased by 19.98%—33.37% under drop irrigation, the water utilization efficiency of irrigation increased by 3.26—4.43 kg/m³, the best treatment was basal application 70% and topdressing 30% at the filling stage with the integrated management of water and fertilizer. Compared to the treatment of single basal application, the wheat, corn and wheat-corn yield and water utilization efficiency were the highest in the treatment of basal application 50% and topdressing 30% at jointing stage and 20% at the filling stage. Therefore, the fertigation was conducive to yield-increasing and water-saving, and topdressing at latter stage was helpful to production.

Key words: drop irrigation; small white dragon; fertigation; wheat; corn; yield; irrigation water use efficiency

小麦-玉米两熟制是河南省的主要种植模式,其播种面积在300万hm²以上,探讨其周年水肥一体化对实现河南省粮食核心区“一控两减”和节水节肥增效目标具有重要意义。滴灌是最佳的节水增效灌溉方式,其具有节水、提肥、增效等多种功效,对于解决水资源缺乏地区的农业高产、高效、提质持续发展具有重要的作用。目前,关于滴灌对单季作物小麦、玉米的研究主要集中于增产、节水、生理生态等方面^[1-14]。其中,充分滴灌对小麦生长的促进作用明显优于适量滴灌和漫灌^[1],滴灌较喷灌和漫灌能够明显提高玉米产量,且耗水量减少^[6],而渗灌对玉米生长发育的影响明显优于滴灌和喷灌^[7]。关于滴灌对小麦-玉米周年产量、水分利用的影响研究较少^[15-16],主要集中于小麦-玉米周年滴灌的耗水特征^[15]、氮肥滴灌施肥方式对小麦、玉米双季生物量累积和产量的影响^[16]。另外,关于水肥一体化的研究主要集中于分期灌溉与分期施肥相结合、灌水次数与灌水量及水肥互作对小麦-玉米周年产量和水分利用的影响等方面^[17-19]。目前,尚未见关于滴灌水肥一体化对小麦-玉米产量、水分利用影响的研究报道。为此,以小白龙灌溉为对照,探讨黄淮海平

原粮食核心区小麦-玉米滴灌水肥一体化的节水增产效应,以期找出小麦-玉米周年节水增效措施,进而促进区域水土资源高效利用和农业可持续发展。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验在河南省通许县节水农业试验示范基地进行,该地区属典型的季风气候,多年平均降水量658 mm,其中7—9月降雨量占全年降水量的60%以上。试验地土壤为壤质潮土,土壤耕层含有机质15.6 g/kg、水解氮75.8 mg/kg、速效磷18.5 mg/kg、速效钾89.4 mg/kg。

1.2 试验材料

小麦品种为矮抗58,播种量为180 kg/hm²;玉米品种为郑单958,60 cm等行距播种,播种密度为5 200株/hm²。试验用肥料分别为尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含P₂O₅ 12%)、氯化钾(含K₂O 50%)。

1.3 试验设计

灌溉方式设置滴灌(DG,总灌水量750 m³/hm²)和小白龙(XBL,总灌水量1 200 m³/hm²)2种方式,

分别于拔节期、灌浆期灌水,各占总灌水量的 50%。滴灌带间隔宽度为 40~50 cm,滴头间距为 30 cm,滴头流量为 2~3 L/h,每次灌水量为 375 m³/hm²;小白龙采用地面小畦灌溉,每次灌水量为 600 m³/hm²。氮肥设置:一次性底施(1)、底施 70% + 拔节期追施 30%(2)、底施 50% + 拔节期追施 50%(3)、底施 70% + 灌浆期追施 30%(4)、底施 50% + 灌浆期追施 50%(5)、底施 50% + 拔节期追施 30% + 灌浆期追施 20%(6)。另设一次性底施不灌水处理(CK)用于计算灌溉水利用效率。试验总 N 用量为 210 kg/hm²,根据各处理要求施用,磷、钾肥一次性底施,P₂O₅ 和 K₂O 的用量均为 90 kg/hm²。其他管理措施各处理一致。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 灌溉水利用效率 灌溉水利用效率 = (灌水处理产量 - 不灌水处理产量)/灌水量。

1.4.2 生长发育及产量 成熟期,测定小麦株高、穗长、不孕穗数、小穗数、穗粒数、千粒质量、产量等;测定玉米可见叶片数、茎粗、株高、穗行数、有效穗长、双行粒数、穗周长、百粒质量、产量等。

2 结果与分析

2.1 滴灌水肥一体化对作物生长发育的影响

2.1.1 小麦 从表 1 可以看出,灌溉水肥一体化对

改善小麦生长发育具有积极作用,尤其是滴灌水肥一体化。其中,与一次性底施处理相比,小白龙水肥一体化处理株高增加 2.3~8.2 cm,穗长增加 0.3~1.3 cm,小穗数增加 0.4~1.8 个,穗粒数增加 4.4~9.4 粒,不孕穗数减少 0.4~2.8 个,千粒质量增加 1.2~2.8 g;滴灌水肥一体化处理株高增加 1.4~5.0 cm,穗长增加 0.1~0.3 cm,小穗数增加 0.7~1.6 个,穗粒数增加 3.2~5.8 粒,不孕穗数减少 0.3~1.4 个,千粒质量增加 0.6~2.0 g。与小白龙处理相比,滴灌处理株高增加 0.9~7.6 cm,以底施 50% + 灌浆期追施 50% 处理增加最多;穗长增加 0.4~1.6 cm,以底施 50% + 灌浆期追施 50% 和一次性底施处理增加最多;小穗数增加 1.1~2.8 个,穗粒数增加 0.6~5.2 粒,均以底施 70% + 灌浆期追施 30% 处理增加最多;不孕穗数减少 1.1~3.3 个,以底施 50% + 拔节期追施 50% 处理减少最多,其次为底施 50% + 灌浆期追施 50% 处理;千粒质量增加 0.1~1.4 g,以一次性底施处理增加最多,其次为底施 50% + 灌浆期追施 50% 处理。由此可见,采用滴灌水肥一体化更有利于改善水肥的协调供应,促进小麦生长发育,尤其是底施 50% + 灌浆期追施 50% 处理。

2.1.2 玉米 从表 2 可以看出,灌溉水肥一体化对改善玉米生长发育具有积极效果,尤其是滴灌水肥

表 1 滴灌水肥一体化对小麦生长发育的影响

处理	株高/ cm	穗长/ cm	小穗数/ 个	穗粒数	不孕穗数/ 个	千粒质量/ g
XBL1	55.6	5.0	16.4	26.8	6.2	47.4
XBL2	62.0	5.8	17.0	32.0	3.6	48.6
XBL3	57.9	6.3	18.2	34.4	5.8	50.2
XBL4	61.9	5.5	16.8	31.2	4.2	49.4
XBL5	58.2	5.3	17.0	35.2	5.2	48.6
XBL6	63.8	5.9	16.8	36.2	3.4	49.6
DG1	61.4	6.6	18.0	31.0	3.4	48.8
DG2	65.7	6.7	19.0	34.2	2.5	49.4
DG3	63.2	6.7	19.3	35.5	2.5	50.8
DG4	62.8	6.8	19.6	36.4	3.1	49.5
DG5	65.8	6.9	18.7	36.8	2.3	49.5
DG6	66.4	6.8	18.7	36.8	2.0	49.7

一体化。其中,与一次性底施处理相比,小白龙水肥一体化处理株高增加 4.4~20.6 cm,叶片数增加 0.2~1.0 片,茎粗增加 0.10~0.44 cm,穗行数增加 1.6~2.8 行,双行粒数增加 11.8~18.4 粒,有效穗长增加 1.92~4.48 cm,穗周长增加 1.08~1.90 cm,百粒质量增加 2.5~5.3 g;滴灌水肥一体化处理株高增加 7.8~19.8 cm,叶片数增加 0.4~1.4 片,茎粗增加 0.18~0.40 cm,穗行数增加 1.7~3.4 行,双行

粒数增加 10.1~22.4 粒,有效穗长增加 1.39~5.24 cm,穗周长增加 0.23~1.54 cm,百粒质量增加 1.7~3.4 g。与小白龙处理相比,滴灌处理株高增加 2.4~8.2 cm,叶片数增加 0.2~0.8 片,茎粗增加 0.44~0.68 cm,穗行数增加 0.2~1.2 行,双行粒数增加 0.8~7.3 粒,有效穗长增加 0.04~1.67 cm,穗周长增加 0.39~1.40 cm,百粒质量增加 0.2~2.1 g。叶片数、双行粒数和有效穗长均以底施 50% +

灌浆期追施 50% 处理增加最多, 茎粗和双行粒数均以底施 70% + 拔节期追施 30% 处理增加最多, 穗周长和百粒质量均以一次性底施处理增加最多, 株高以底施 70% + 灌浆期追施 30% 处理增加最多。综

上,采用滴灌水肥一体化更有利于改善水肥的协调供应,促进玉米生长发育,尤其是底施 50% + 灌浆期追施 50% 处理。

表 2 滴灌水肥一体化对玉米生长发育的影响

处理	叶片数	茎粗/cm	株高/cm	穗行数	双行粒数	有效穗长/cm	穗周长/cm	百粒质量/g
XBL1	12.6	1.96	223.6	12.8	54.0	13.32	14.54	28.1
XBL2	12.8	2.06	228.0	14.4	66.4	16.16	15.62	31.2
XBL3	12.8	2.10	238.6	15.2	66.2	15.24	16.16	30.6
XBL4	13.0	2.40	236.4	14.8	72.0	16.90	16.38	31.5
XBL5	13.0	2.30	240.6	15.6	72.4	17.46	16.38	32.4
XBL6	13.6	2.40	243.8	15.6	72.4	17.80	16.44	33.4
DG1	12.6	2.52	228.2	13.3	57.3	13.89	15.94	30.2
DG2	13.2	2.74	236.0	15.6	69.0	16.42	16.17	32.6
DG3	13.0	2.70	242.6	16.3	67.4	15.28	17.08	31.9
DG4	13.8	2.92	244.6	15.0	72.8	17.60	16.77	32.1
DG5	13.8	2.86	248.0	16.7	79.7	19.13	17.48	32.8
DG6	14.0	2.84	246.2	16.3	73.5	18.97	16.90	33.6

2.2 滴灌水肥一体化对作物产量和灌溉水利用效率的影响

2.2.1 小麦产量和灌溉水利用效率 从表 3 可以看出,灌溉水肥一体化对提高小麦产量和灌溉水利用效率具有积极影响,尤其是滴灌水肥一体化。其中,小白龙水肥一体化处理较一次性底施处理增产 4.63% ~ 8.71%,以底施 50% + 拔节期追施 30% + 灌浆期追施 20% 处理最好,显著增产 8.71%;其次为底施 70% + 拔节期追施 30% 处理,显著增产 8.33%。小白龙水肥一体化处理灌溉水利用效率变化趋势与产量一致,也以底施 50% + 拔节期追施 30% + 灌浆期追施 20% 处理最高,灌溉水利用效率为 1.38 kg/m³;其次为底施 70% + 拔节期追施 30% 处理,灌溉水利用效率为 1.36 kg/m³。滴灌水肥一

体化处理较一次性底施处理增产 7.87% ~ 11.74%,也以底施 50% + 拔节期追施 30% + 灌浆期追施 20% 处理最好,显著增产 11.74%;其次为底施 70% + 灌浆期追施 30% 处理,显著增产 11.30%。滴灌水肥一体化处理灌溉水利用效率变化趋势与产量一致,也以底施 50% + 拔节期追施 30% + 灌浆期追施 20% 处理最高,灌溉水利用效率为 4.11 kg/m³;其次为底施 70% + 灌浆期追施 30% 处理,灌溉水利用效率为 4.06 kg/m³。与小白龙处理相比,滴灌处理显著增产 14.29% ~ 18.96%,灌溉水利用效率显著提高 1.93 ~ 2.79 kg/m³,均以底施 70% + 灌浆期追施 30% 处理最好。说明小麦拔节期和拔节期 + 灌浆期的水肥一体化增产及水分利用效果明显,且滴灌水肥一体化有利于实现节水增产。

表 3 滴灌水肥一体化对小麦产量和灌溉水利用效率的影响

处理	产量			灌溉水利用效率/(kg/m ³)	
	数值/(kg/hm ²)	较相应一次性底施增减/%	较小白龙增减/%	数值	较小白龙增加
CK	6 525.0e				
XBL1	7 524.0d			0.83c	
XBL2	8 151.0bc	8.33		1.36c	
XBL3	7 912.5cd	5.16		1.16c	
XBL4	8 046.0bcd	6.94		1.27c	
XBL5	7 872.0cd	4.63		1.12c	
XBL6	8 179.5bc	8.71		1.38c	
DG1	8 599.5b		14.29	2.77b	1.93
DG2	9 564.0a	11.22	17.34	4.05a	2.70
DG3	9 367.5a	8.93	18.39	3.79a	2.63
DG4	9 571.5a	11.30	18.96	4.06a	2.79
DG5	9 276.0a	7.87	17.84	3.67a	2.55
DG6	9 609.0a	11.74	17.48	4.11a	2.73

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同。

2.2.2 玉米产量和灌溉水利用效率 从表 4 可以看出,灌溉水肥一体化对提高玉米产量和灌溉水利用效率具有积极影响,尤其是滴灌水肥一体化。其中,小白龙水肥一体化处理较一次性底施处理增产 5.11% ~ 21.29%,以底施 50% + 拔节期追施 30% + 灌浆期追施 20% 处理最好,增产 21.29%;其次为底施 50% + 灌浆期追施 50% 处理,增产 17.04%。小白龙水肥一体化处理灌溉水利用效率变化趋势与产量一致,也以底施 50% + 拔节期追施 30% + 灌浆期追施 20% 处理最高,灌溉水利用效率为 2.38 kg/m³;其次为底施 50% + 灌浆期追施 50% 处理,灌溉水利用效率为 2.10 kg/m³。滴灌水肥一体化处理较一次性底施处理增产 1.12% ~ 15.50%,也以底施

50% + 拔节期追施 30% + 灌浆期追施 20% 处理最好,显著增产 15.50%;其次为底施 50% + 拔节期追施 50% 处理,增产 12.42%。滴灌水肥一体化处理灌溉水利用效率变化趋势与产量一致,也以底施 50% + 拔节期追施 30% + 灌浆期追施 20% 处理最高,灌溉水利用效率为 8.23 kg/m³;其次为底施 50% + 拔节期追施 50% 处理,灌溉水利用效率为 7.77 kg/m³。与小白龙处理相比,滴灌处理显著增产 21.79% ~ 47.19%,灌溉水利用效率显著提高 3.97 ~ 6.07 kg/m³,以底施 50% + 拔节期追施 50% 和底施 70% + 灌浆期追施 30% 处理效果较好。说明玉米拔节期 + 灌浆期的水肥一体化增产及水分利用效果明显,且滴灌水肥一体化有利于实现节水增产。

表 4 滴灌水肥一体化对玉米产量和灌溉水利用效率的影响

处理	产量			灌溉水利用效率/(kg/m ³)	
	数值/(kg/hm ²)	较相应一次性底施增减/%	较小白龙增减/%	数值	较小白龙增加
CK	6 825.0e				
XBL1	7 983.0de			0.97c	
XBL2	9 166.5cd	14.83		1.95c	
XBL3	8 865.0cd	11.05		1.70c	
XBL4	8 391.0cd	5.11		1.31c	
XBL5	9 343.5cd	17.04		2.10c	
XBL6	9 682.5c	21.29		2.38c	
DG1	11 253.0b		40.96	5.90b	4.94
DG2	12 094.5ab	7.48	31.94	7.03ab	5.07
DG3	12 651.0ab	12.42	42.71	7.77ab	6.07
DG4	12 351.0ab	9.76	47.19	7.37ab	6.06
DG5	11 379.0ab	1.12	21.79	6.07ab	3.97
DG6	12 997.5a	15.50	34.24	8.23a	5.85

2.2.3 小麦 - 玉米周年产量和灌溉水利用效率 从表 5 可以看出,灌溉水肥一体化对提高小麦 - 玉米周年产量和灌溉水利用效率具有积极影响,尤其

是滴灌水肥一体化。其中,小白龙水肥一体化处理较一次性底施处理增产 6.00% ~ 15.19%,以底施 50% + 拔节期追施 30% + 灌浆期追施 20% 处理最

表 5 滴灌水肥一体化对小麦 - 玉米周年产量及灌溉水利用效率的影响

处理	产量			灌溉水利用效率/(kg/m ³)	
	数值/(kg/hm ²)	较相应一次性底施增减/%	较小白龙增减/%	数值	较小白龙增加
CK	13 350.0f				
XBL1	15 507.0e			0.90d	
XBL2	17 317.5de	11.68		1.65d	
XBL3	16 777.5de	8.19		1.43d	
XBL4	16 437.0de	6.00		1.29d	
XBL5	17 215.5de	11.02		1.61d	
XBL6	17 862.0d	15.19		1.88d	
DG1	19 852.5c		28.02	4.34c	3.44
DG2	21 658.5ab	9.10	25.07	5.54ab	3.89
DG3	22 018.5ab	10.91	31.24	5.78ab	4.35
DG4	21 922.5ab	10.43	33.37	5.72ab	4.43
DG5	20 655.0bc	4.04	19.98	4.87bc	3.26
DG6	22 606.5a	13.87	26.56	6.17a	4.29

好,增产 15.19%;其次为底施 70% + 拔节期追施 30% 处理,增产 11.68%。小白龙水肥一体化处理灌溉水利用效率变化趋势与产量一致,也以底施 50% + 拔节期追施 30% + 灌浆期追施 20% 处理最高,灌溉水利用效率为 1.88 kg/m^3 ;其次为底施 70% + 拔节期追施 30% 处理,灌溉水利用效率为 1.65 kg/m^3 。滴灌水肥一体化处理较一次性底施处理增产 4.04% ~ 13.87%,也以底施 50% + 拔节期追施 30% + 灌浆期追施 20% 处理最好,增产 13.87%;其次为底施 50% + 拔节期追施 50% 处理,增产 10.91%。滴灌水肥一体化处理灌溉水利用效率变化趋势与产量一致,也以底施 50% + 拔节期追施 30% + 灌浆期追施 20% 处理最高,灌溉水利用效率为 6.17 kg/m^3 ;其次为底施 50% + 拔节期追施 50% 处理,灌溉水利用效率为 5.78 kg/m^3 。与小白龙处理相比,滴灌处理显著增产 19.98% ~ 33.37%,灌溉水利用效率显著提高 $3.26 \sim 4.43 \text{ kg/m}^3$,均以底施 70% + 灌浆期追施 30% 处理效果最佳。上述结果说明,小麦-玉米拔节期+灌浆期的水肥一体化增产及水分利用效果明显,且滴灌水肥一体化有利于实现小麦-玉米周年节水增产。

3 结论与讨论

本研究结果表明,采用滴灌水肥一体化更有利于改善水肥的协调供应,促进小麦-玉米的生长发育。与小白龙处理相比,滴灌处理株高增加 0.9 ~ 7.6 cm,穗长增加 0.4 ~ 1.6 cm,小穗数增加 1.1 ~ 2.8 个,穗粒数增加 0.6 ~ 5.2 粒,不孕穗数减少 1.1 ~ 3.3 个,千粒质量增加 0.1 ~ 1.4 g;玉米株高增加 2.4 ~ 8.2 cm,叶片数增加 0.2 ~ 0.8 片,茎粗增加 0.44 ~ 0.68 cm,穗行数增加 0.2 ~ 1.2 行,双行粒数增加 0.8 ~ 7.3 粒,有效穗长增加 0.04 ~ 1.67 cm,穗周长增加 0.39 ~ 1.40 cm,百粒质量增加 0.2 ~ 2.1 g,小麦和玉米均总体以底施 50% + 灌浆期追施 50% 处理效果较好。

本研究结果表明,滴灌水肥一体化有利于实现节水增产,这与前人研究结果具有一致性^[1,6,12-13,15]。与小白龙处理相比,滴灌水肥一体化处理小麦显著增产 14.29% ~ 18.96%,灌溉水利用效率显著提高 $1.93 \sim 2.79 \text{ kg/m}^3$;玉米显著增产 21.79% ~ 47.19%,灌溉水利用效率显著提高 3.97 ~ 6.07 kg/m^3 ;小麦-玉米周年显著增产 19.98% ~ 33.37%,灌溉水利用效率显著提高 $3.26 \sim 4.43 \text{ kg/m}^3$,均以底施 70% + 灌浆期追施 30% 处理效果最佳。与一次性底施处理相比,滴灌水肥一体化处理小麦、玉米及小麦-玉米周年产量及灌溉水利用效率均以

底施 50% + 拔节期追施 30% + 灌浆期追施 20% 处理最高。由此可见,滴灌水肥一体化有利于实现节水增产,氮肥适当后移效果明显。

参考文献:

- [1] 宏文海,江荣风,刘全清,等.不同灌溉方式对华北冬小麦生长的影响[J].华北农学报,2013,28(2):175-179.
- [2] 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,2006,34(6):1011-1017.
- [3] 张娜,张永强,李大平,等.滴灌量对冬小麦光合特性及干物质积累过程的影响[J].麦类作物学报,2014,34(6):795-801.
- [4] 彭婷,蒋桂英,段瑞萍,等.滴灌春小麦群体质量与产量的关系[J].麦类作物学报,2014,34(5):655-661.
- [5] 牟洪臣,王振华,何新林,等.滴灌条件下北疆春小麦耗水特点[J].华北农学报,2014,29(2):213-217.
- [6] 李英,赵福年,丁文魁,等.灌溉方式和播期对玉米水分动态与水分利用效率的影响[J].中国农学通报,2015,31(6):62-67.
- [7] 李晓玲,刘普海,成自勇.不同灌溉方式下玉米节水增产效果试验研究[J].节水灌溉,2006(3):7-9.
- [8] 张经廷,陈青云,吕丽华,等.夏玉米产量及茎秆抗倒伏性状对不同肥料滴灌配施的响应[J].华北农学报,2015,30(6):209-215.
- [9] 杨明达,关小康,白田田,等.不同滴灌模式对土壤水分空间变异及夏玉米生长的影响[J].河南农业大学学报,2016,50(1):1-7.
- [10] 曹玉军,魏雯雯,徐国安,等.半干旱区不同地膜覆盖滴灌对土壤水、温变化及玉米生长的影响[J].玉米科学,2013,21(1):107-113.
- [11] 张国桥,王静,刘涛,等.水肥一体化施磷对滴灌玉米产量、磷素营养及磷肥利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(5):1103-1109.
- [12] 郭丙玉,高慧,唐诚,等.水肥互作对滴灌玉米氮素吸收、水氮利用效率及产量的影响[J].应用生态学报,2015,26(12):3679-3686.
- [13] 张晓伟,黄占斌,李秧秧,等.滴灌条件下玉米的产量和 WUE 效应研究[J].水土保持研究,1999,6(1):72-75,98.
- [14] 孙文涛,孙占祥,王聪翔,等.滴灌施肥条件下玉米水肥耦合效应的研究[J].中国农业科学,2006,39(3):563-568.
- [15] 姜国军,王振华,郑旭荣,等.基于大型蒸渗仪的 1 年 2 作滴灌小麦-玉米耗水特征[J].灌溉排水学报,2015,34(1):59-63.
- [16] 杨金钰,唐光木,徐万里.氮肥滴灌施肥方式对小麦/玉米/玉米间套作产量和土壤肥力的影响[J].新疆农业科学,2014,51(9):1638-1643.
- [17] 武继承,杨永辉,郑惠玲,等.分期灌溉与施肥耦合对砂质潮土地作物产量和水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2014,33(4/5):35-39.
- [18] 武继承,杨永辉,潘晓莹.小麦-玉米周年水肥一体化增产效应[J].中国水土保持科学,2015,13(3):124-129.
- [19] 武继承,杨永辉,郑惠玲,等.水肥互作对小麦-玉米周年产量及水分利用率的影响[J].河南农业科学,2015,44(7):67-72.