

管渠自动控水灌溉施氮量对夏玉米产量、 氮素吸收利用的影响

李英豪¹, 张政¹, 朱吉祥¹, 冯健¹, 吴可清¹, 冯哲², 刘香花³, 王春堂^{1*}

(1. 山东农业大学 水利土木工程学院, 山东 泰安 271018; 2. 青岛平度市水利勘察设计院, 山东 青岛, 266700; 3. 平度市水利水产局农水科, 山东 青岛, 266700)

摘 要:【目的】寻找管渠自动控水灌溉夏玉米的最佳施氮量。【方法】设置畦灌(B)和管渠自动控水灌溉(W)2种灌水模式①畦灌采用传统施氮量(300 kg/hm², N1); ②管渠自动控水灌溉设置:(农民传统施氮(300 kg/hm², N1)、减氮25%(225 kg/hm², N2)、减氮50%(150 kg/hm², N3)和不施氮(N0)处理。测定不同处理夏玉米抽雄期和完熟期的营养器官干物质积累量和氮素积累量, 并对花后干物质积累量、氮素转运量及转运效率、氮肥的利用效率进行分析比较。【结果】施氮量为300 kg/hm²时, W灌水模式相较于B灌水模式籽粒产量和完熟期干物质积累量分别提高5.46%和3.23%, 氮素总积累量和氮肥利用率分别提高7.79%和26.69%。W灌水模式下, 减氮25%处理籽粒产量、籽粒氮素积累量和植株氮素积累量与畦灌传统施氮处理无显著差异, 且氮素利用率显著提高25.54%, 减氮50%处理氮肥偏生产力显著高于其他处理。【结论】在管渠自动控水灌溉情况下可以考虑适当减少氮肥的施用量, 将氮肥施用量控制在225~300 kg/hm²之间。

关键词: 夏玉米; 管渠自动控水灌溉; 施氮量; 氮肥利用效率

中图分类号: S275.9

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2019379

李英豪, 张政, 朱吉祥, 等. 管渠自动控水灌溉施氮量对夏玉米产量、氮素吸收利用的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(5): 35-41.

LI Yinghao, ZHANG Zheng, ZHU Jixiang, et al. Effects of Nitrogen Application on Yield, Nitrogen Uptake and Utilization by Summer Maize under Automatically Controlled Pipe-channel Irrigation [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(5): 35-41.

0 引言

【研究意义】农业高效用水、科学配方施肥关系到国家的供水安全、粮食安全、经济安全和生态安全。但我国仍未从根本上解决水资源时空分布不均、水旱灾害频发等老问题。同时, 又出现了水资源短缺、水生态损害、水环境污染等一系列新问题^[1]。全国土地利用数据预报结果显示, 截至2016年末, 全国耕地面积为 $1.349\ 566 \times 10^8$ hm²^[2], 耕地总量仅为全球耕地面积的7.5%, 人均耕地面积为0.093 hm², 是世界平均水平的40%, 然而我国人口占世界人口的18.7%^[3-4]。因此, 提高粮食综合生产能力, 切实保障国家粮食安全生产成为重中之重。

联合国粮农组织的相关数据表明, 由于施肥技术

的落后, 导致我国肥料对于农作物的增产贡献率只有30%~40%, 远低于世界范围内40%~60%的标准^[5]。2016年我国农业从业人员文化程度以小学和初中为主, 占比为85.4%, 文化程度过低、缺乏创新技术使得我国农业灌水施肥中还普遍存在大水漫灌、盲目施肥等现象, 不仅造成水肥资源的严重浪费, 同时也带来了水环境恶化、水质和土壤污染等问题, 进一步加剧了国家的粮食安全问题^[6]。同时由于我国科学普及水平不高, 大部分农户还是以手工撒施氮肥或撒施后灌水为主^[7]。

据联合国粮农组织统计, 化学氮肥的施用对世界粮食产量的增加起着关键作用^[8-9]。研究表明, 氮肥的当季利用率仅在30%左右, 除被植物吸收利用和残留在土壤中的氮肥, 大部分通过径流、淋溶、氨挥发、硝化和反硝化作用等多种途径损失, 并进入大气和水体中, 造成土壤酸化、次生盐渍化加重, 造成土壤养分比例失调, 作物发病率升高, 农产品品质下降^[10-11]。

【研究进展】亏缺灌溉、交替灌溉等技术在农业

收稿日期: 2020-01-08

作者简介: 李英豪, 男, 硕士研究生, 主要从事农业水土工程灌溉排水理论与新技术的研究。E-mail: 1655067624@qq.com

通信作者: 王春堂, 男, 教授, 硕士生导师, 主要从事主要从事灌排理论与技术、泵站理论与技术等方面的教学科研工作。E-mail: Slx@sdau.edu.cn

生产实践中节水效益显著^[12],轻度干旱胁迫条件下植株氮肥利用率随施氮量的增加先增加后降低^[13],交替灌溉通过植物根系生长地向水性和植物的补偿性生长促进植物根系生长,通过对植物根系进行干湿交替锻炼来增强根系的吸水性能,从而影响作物的生长发育^[14]。以上都是传统的地面灌溉,无法从根本上解决长畦灌水难、深层渗漏量大、灌水均匀度差、可控性差等难题。近年来喷灌、微灌等灌水技术得到了一定程度的发展,在节水的同时能够提高作物产量和氮肥利用率。但喷灌需要大量设备和管材,基建投资较高,且要求工作压力较高,能耗大;而微灌易堵塞,对水质要求较严,能耗过高,使用寿命过低^[15]。受我国国情影响,以畦灌和沟灌为主的地面灌溉仍是我国主要的灌水方式。

【切入点】鞠茜茜^[16]研究发现管渠自动控水灌溉与畦灌、波涌灌溉相比,可分别节水 31.11%和 10.44%,灌水均匀度提高 31.1%和 13.5%,产量提高 11.7%和 5.5%。管渠自动控水灌溉技术是一种新型的灌水技术,虽然已经研发了初步的管渠地面灌溉系统,并进行了初步试验,但该技术研究目前尚处在起步阶段,国内外未见到相关的报道。【拟解决的关键问题】本文在前人研究的基础上,探究管渠自动控水灌溉条件下施氮量对夏玉米产量及水氮利用效率的影响,为提高黄淮海地区夏玉米产量和肥料利用效率、为夏玉米高产高效栽培提供理论依据。

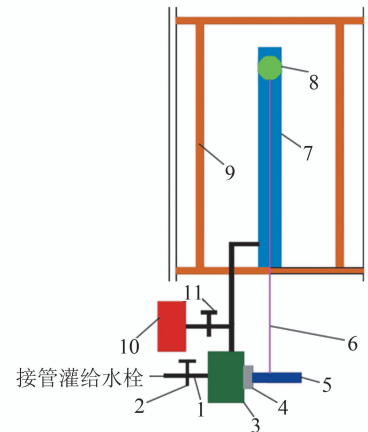
1 材料与方法

1.1 试验原理

管渠自动控水灌溉是将管渠(顶部开敞的圆缺型输水管槽,如图 1 所示)布设在具有一定坡度的畦田中间,在管渠中设置与管渠内壁吻合的球体塞阀,通过拉动牵引绳控制塞阀在管渠内匀速移动,靠其阻挡作用,使管渠内水流在塞阀上游产生溢流,因供水流量不变,溢流段在灌水方向上沿管渠两侧均匀移动,使灌溉水在大田纵向上等量均匀分布,灌溉水在大田内只是完成横向扩散,扩散距离只有畦宽的一半,提高了灌溉水在大田横向上的分布均匀度,节约灌溉用水,提高了水分利用效率。

1.2 试验材料

本试验于 2019 年在山东省泰安市马庄镇和山东农业大学作物生物学国家重点实验室进行,供试材料为郑单 958,本试验为大田试验,试验区属暖温带大陆性季风气候区,年平均降水量 687.7 mm,年平均气温 12.8 ℃,年最高气温 42.2 ℃,最低气温-23.7 ℃,主要土壤类型为壤土,耕层为 0~20 cm 土壤, pH 值 6.81,有机质量 11.84 g/kg、全氮量 0.79 g/kg、碱解氮量 89.43 mg/kg、速效磷量 58.11 mg/kg、速效钾量 116.65 mg/kg。



1-供水管; 2-供水管闸阀; 3-涡轮机; 4-变速装置; 5-动力输出轴;
6-牵引绳; 7-管渠; 8-塞阀; 9-田垄; 10-药肥装置; 11-药肥管闸阀

图 1 管渠自动控水灌溉系统

Fig.1 Automatic pipe channel-control irrigation system

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计,小区面积 1.8 m×120 m=216 m²,管渠自动控水灌溉条件下以不施氮处理为对照组(W-N0),设置农民传统施氮(W-N1),减氮 25%(W-N2),减氮 50%(W-N3),畦灌条件下设置农民传统施氮(B-N1),每个处理重复 3 次。氮、磷、钾肥分别选用尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)、氯化钾(含 K₂O 60%),播前底施总施氮量的 40%和 P₂O₅、K₂O 各 120 kg/hm²,于大喇叭口期开沟追施。种植密度为 63 000 株/hm²,行距 53 cm,株距 30 cm,其他管理措施同一般高产田。2019 年 6 月 16 日播种,10 月 3 日收获,生育期内总降雨量为 246.5 mm,管渠自动控水灌溉总灌水量为 188.3 mm,畦灌总灌水量为 269.0 mm,灌水详情见表 1,降雨详情见图 2。

表 1 夏玉米生育期灌水量和灌水总量

Table 1 The amount of irrigation water and the total amount of irrigation water of summer maize				mm
处理 Treatments	播种期 Sowing stage	大喇叭口期 V12	灌浆期 Filling stage	总灌水量 Total amount
管渠自动控水灌溉 Automatic pipe channel-control irrigation	46.9	78.8	62.6	188.3
畦灌 Border irrigation	67.0	112.6	89.4	269.0

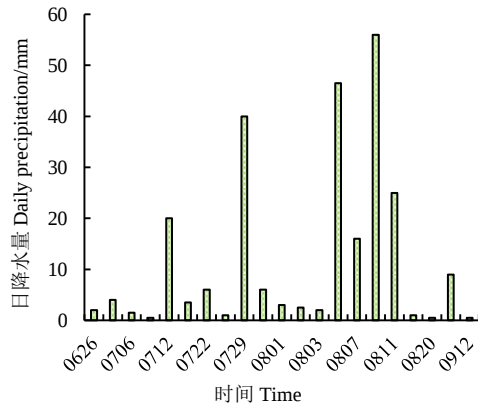


图2 夏玉米生育期内降水量

Fig.2 Precipitation in summer corn growing period

1.4 测定项目与方法

1.4.1 含氮量的测定

分别于拔节期 (V6)、大喇叭口期 (V12)、抽雄期 (VT)、乳熟期 (R3)、成熟期 (R6) 取样, 观察各个时期不同处理的夏玉米的生长趋势及差异, 并选取具有代表性 VT 和 R6 2 个时期进行分析。每个小区分别选取距畦首 0~40、40~80、80~120 m 的代表性植株 4 株, 取植株地上部分, 拔节期地上部分整株保存, 大喇叭口期和抽雄期植株分为叶片、茎鞘, 乳熟期和成熟期植株分为叶片、茎鞘、籽粒、穗轴, 105 °C 杀青, 80 °C 烘干至恒质量, 测定干物质积累量。研磨成粉之后过 0.25 mm 孔径筛, 采用凯氏定氮法测定含氮量。

1.4.2 土壤含水率

于夏玉米的整个生育期内, 每隔 5 d 采用 TDR 法测定小区 20、60、100 m 处 0~100 cm 的土壤含水率, 降雨前后加测。

1.4.3 测产

每个处理分别选取距畦首 0~40、40~80、80~120 m 的田块中长势均匀的地段, 每个地段的面积为 $1.8\text{ m} \times 4\text{ m} = 7.2\text{ m}^2$, 选取 10 株具有代表性的夏玉米进行室内考种, 测量穗粒数和千粒质量, 并将地段内全部夏玉米收获脱粒, 自然风干至籽粒含水率为 12.5% 左右, 测定产量及其构成因素。

1.5 植株干物质、氮素积累与转运

氮素相关指标的计算方法参考文献[17-19]。

氮素积累量 (kg/hm^2) = 干物质质量 (kg/hm^2) $\times$ 含氮率 (%), (1)

氮素收获指数 (NHI, %) = 籽粒氮素积累量 (kg/hm^2) / 植株氮素积累量 (kg/hm^2), (2)

氮肥偏生产力 (NFPF, kg/kg) = 施氮区产量 (kg/hm^2) / 施氮量 (kg/hm^2), (3)

氮肥利用率 (NUE, %) = (施氮区地上部总吸氮量 (kg/hm^2) - 不施氮区地上部总吸氮量 (kg/hm^2)) /

施氮量 (kg/hm^2) $\times 100\%$. (4)

1.6 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 整理和计算数据, 用 SPSS Statistics 25 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 夏玉米干物质积累

表 2 为不同生育时期夏玉米干物质积累, 由表 2 可知, W-N0 处理茎秆、叶片及籽粒干物质积累量均低于其他施氮处理, 相较于 W-N0 处理、W-N1 处理、W-N2 处理和 W-N3 处理抽雄期群体干物质积累量分别增加 14.22%、13.32%和 7.65%, 茎秆干物质积累量分别增加 10.53%、10.33%和 6.50%, 叶片干物质积累量分别增加 21.00%、18.41%和 10.14%, W-N1 处理、W-N2 处理和 W-N3 处理完熟期群体干物质积累量分别增加 25.03%、18.51%和 11.13%, 茎秆干物质积累量分别增加 11.03%、9.91%和 3.5%, 叶片干物质积累量分别增加 43.15%, 24.22%和 13.97%, 籽粒干物质积累量分别增加 28.61%、22.06%和 14.50%。与 B 灌水模式相比, W 灌水模式下 N1、N2、N3 施氮水平可以提高籽粒在成熟期干物质中的分配比例, W-N1 处理和 B-N1 处理的茎秆、叶片的干物质积累量、W-N2 处理和 B-N1 处理的籽粒干物质积累量均无显著差异。

2.2 开花后干物质积累量

表 3 为不同处理开花后干物质积累量, 由表 3 可知, 施用氮肥有利于夏玉米花后干物质的积累, 相较于 B 灌水模式, W 灌水模式更有利于夏玉米花后干物质的积累, W 灌水模式下, N1 施氮水平的花后干物质积累量明显高于 N0、N2、N3 施氮水平, 随着施氮量的减少, 花后干物质积累量明显降低, 相较于 W-N0 处理, W-N1、W-N2 和 W-N3 处理花后干物质积累量分别提高 30.32%、21.04%和 12.83%。

2.3 氮素积累与转运

表 4 为抽雄后营养器官氮素向籽粒中的转运, 由表 4 可知, W-N0 处理在抽雄期和完熟期的茎秆、叶片氮素积累量明显低于其他处理。B-N1 处理、W-N1 处理、W-N2 处理抽雄期茎秆、叶片氮素积累量无显著性差异。W 灌水模式下, 相较于 N0 处理, N1、N2、N3 处理营养器官转运量分别提高 4.6%、20%、9.5%, N1、N2 处理抽雄期营养器官氮素积累量无显著性差异, N2 处理营养器官氮素转运量最高, N0 处理花前营养器官氮素转运效率和花前营养器官氮素转运量对籽粒的贡献率明显高于其他处理, W-N1 处理和 B-N1 处理抽雄期营养器官氮素积累量和营养器官氮素转运量无显著性差异。

表 2 不同生育时期夏玉米干物质积累

Table2 Dry matter accumulation of summer maize at different growth stages

生育时期 Growthstage	处理 Treatments	茎秆 Stalk		叶片 Leaf		籽粒 Grain	
		干质量/kg	占总质量比	干质量/kg	占总质量比	干质量/kg	占总质量比
VT	W-N0	3 417.93c	56.48	2 001.01d	34.39	-	-
	W-N1	3 777.85ab	56.90	2 421.21ab	34.02	-	-
	W-N2	3 770.88ab	55.65	2 369.33b	35.17	-	-
	W-N3	3 640.02b	56.50	2 203.95c	34.21	-	-
	B-N1	3 837.99a	57.02	2 528.03a	33.75	-	-
R6	W-N0	5 157.80b	28.34	2 190.28c	12.03	9 172.52d	50.39
	W-N1	5 726.84a	25.17	3 135.49a	13.78	11 797.08a	51.84
	W-N2	5 669.16a	26.28	2 720.68b	12.61	11 195.65b	51.90
	W-N3	5 338.68b	26.39	2 496.25b	12.34	10 502.76c	51.93
	B-N1	5 782.69a	26.23	3 044.15a	13.81	11 186.57b	50.75

注 不同小写字母表示差异达 5%显著水平,下同。

Note The represent significantly difference at 0.05 level, same as below.

表 3 不同处理开花后干物质积累量

Table3 Dry matter accumulation after anthesis of different treatments

处理 Treatments	生育时期 Growth stage		花后干物质积累量 ADMA/(kg hm ⁻²)	占总质量比 Proportion in total dry weight/%
	抽雄期	完熟期		
W-N0	5 984.39d	18 201.48e	12 217.09d	67.12c
W-N1	6 835.64ab	22 756.83a	15 921.19a	69.96a
W-N2	6 781.75b	21 569.69c	14 787.94b	68.56b
W-N3	6 442.43c	20 226.73d	13 784.30c	68.15b
B-N1	7 034.78a	22 042.48b	15 007.70b	68.08b

表 4 抽雄后营养器官氮素向籽粒中的转运

Table4 Transport of nitrogen from vegetative organs to grains after tasseling

处理 Treatments	抽雄期 NAA/(kg hm ⁻²)		完熟期 NAA/(kg hm ⁻²)		NT/(kg hm ⁻²)	NTR/%	GCR/%
	茎秆	叶片	茎秆	叶片			
W-N0	40.61c	47.37c	28.20d	22.40d	37.38c	42.47a	30.85a
W-N1	51.28a	65.28a	40.09a	37.36a	39.11b	33.56d	21.27c
W-N2	51.13a	63.69a	37.83b	32.12b	44.87a	39.06b	26.65b
W-N3	46.03b	56.97b	33.44c	28.62c	40.94b	39.75b	27.62b
B-N1	52.28a	64.47a	37.93b	35.55a	43.28ab	37.05c	25.61b

表 5 氮肥利用率、偏生产力及氮素收获指数

Table5 NUE、NPFP and NHI

处理 Treatments	氮素总积累量 TNAA/(kg hm ⁻²)	籽粒氮素积累量 NUA in kernel/(kg hm ⁻²)	氮肥利用率 NUE/%	氮肥偏生产力 NPFP/(kg kg ⁻¹)	氮素收获指数 NHI/%
W-N0	171.77d	121.17d	-	-	70.54a
W-N1	261.36a	183.91a	29.86a	39.32c	70.37a
W-N2	238.34b	168.39b	29.59a	49.76b	70.65a
W-N3	210.29c	148.23c	25.68b	70.02a	70.49a
B-N1	242.48b	169.00b	23.57b	37.29d	69.70a

2.4 氮肥利用效率

表 5 为氮肥利用率、偏生产力和氮素收获指数，由表 5 可知，氮肥有利于夏玉米植株氮素和籽粒氮素的积累，W-N1 处理植株氮素总积累量和籽粒氮素积累量和 W-N3 处理氮肥偏生产力显著高于其他处理，各处理的氮素收获指数无显著差异。N1 施氮水平下，W-N1 处理氮素总积累量、籽粒氮素积累量、氮肥利用率和氮肥偏生产力均显著高于 B-N1 处理。W 灌水模式下，相较于 N0 处理，N1、N2、N3 处理氮素总积累量分别提高 52.15%、38.76%、22.43%。在 W 灌水模式下 N1 和 N2 处理氮肥利用率无显著性差异。

3 讨论

氮肥是可持续发展农业不可缺少的生产资料，施用氮肥有利于作物籽粒蛋白质质量的提高，其对作物的生长和代谢有重大影响^[20]。但氮肥施用量并不是越高越好，国内外大量试验证明肥料的增产效应往往符合二次抛物线的形式^[21]。本研究表明，W-N1 处理在成熟期干物质积累量比 B-N1 处理高出 3.23%，产量提高 5.46%，本结果与鞠茜茜^[16]研究一致，主要原因是畦灌的施肥方式为地表撒施，撒施氮肥后再进行灌溉使灌溉水流对氮肥产生冲刷，造成肥料在田面的分布不均，而管渠自动控水灌溉氮肥分布均匀，从而提高了产量，花后干物质积累量提高 6.1%，氮素总积累量和氮肥利用率分别提高 7.79% 和 26.69%，结合本人研究结果和前人研究表明管渠自动控水灌溉不仅可以节水，而且有利于籽粒产量的增加和花后干物质的积累。合理的施用氮肥可以减少氮素损失、提高产量和氮肥的利用效率，本试验结果表明，氮肥施用量对夏玉米产量有着显著影响，管渠自动控水灌溉减少 25% 的氮肥施用量，籽粒产量、籽粒氮素积累量和植株氮素积累量与畦灌传统施氮处理无显著性差异，且氮肥利用率较畦灌传统施氮处理提高 25.54%，主要原因是管渠自动控水灌溉氮肥分布均匀，能够提高氮肥的利用效率，促进作物对氮肥的吸收利用。W 灌水模式下施氮量与产量呈线性关系，产量、花后干物质积累量和氮肥利用率随着施氮量的增加而增加，并没有出现明显的转折，但减氮 25% 与传统施氮的氮肥利用率无明显差异，转折点可能在施氮量为 225~300 kg/hm² 之间，且较为接近 300 kg/hm²，产生的负面效果不明显。本研究结果说明管渠自动控水灌溉能提高氮肥的利用率，增加作物产量氮肥最佳施用量在 225~300 kg/hm² 且较为靠近 300 kg/hm²。因此，在管渠自动控水灌溉情况下可以考虑适当减少氮肥的施用。研究中氮肥的最佳施用量的范围有待进一步缩小，水肥耦合方面可以进一步研究。

4 结论

管渠自动控水灌溉相较于畦灌更有利于夏玉米花后干物质的积累和氮素的吸收利用，从而显著提高夏玉米产量和氮肥利用率。

在管渠自动控水灌溉情况下可以考虑适当减少氮肥的施用量，将氮肥施用量控制在 225~300 kg/hm²。

参考文献：

- [1] 国家发展改革委农经司水利部规计司住房城乡建设部城建司.《水利改革发展“十三五”规划》解读[N].中国水利报, 2017-01-01(003).
Ministry of agriculture, economic affairs, ministry of water resources, ministry of planning, ministry of housing and urban-rural development, ministry of urban construction, national development and reform commission. Interpretation of “the 13th five-year plan for water conservancy reform and development”[N]. China Water Resources News, 2017-01-01(003).
- [2] 中华人民共和国国土资源部. 2016 中国国土资源公报[J]. 国土资源通讯, 2017, (8): 24-30, 45.
Ministry of land and resources of the People's Republic of China. 2016 China land and resources bulletin [J]. National Land & Resources Information, 2017, (8): 24-30, 45.
- [3] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.
National bureau of statistics. China Statistics Press [M]. Beijing: China Statistics Press, 2016: 31
- [4] 国家统计局. 国际统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016: 3, 7-8.
National bureau of statistics. Yearbook of international statistics [M]. Beijing: China Statistics Press, 2016: 3, 7-8
- [5] 谭鸣. 探析传统农业施肥的不足及现代农业施肥的发展方向[J]. 种子科技, 2018, 36(10): 8, 11
TAN Ming. Analysis on the deficiency of traditional agricultural fertilization and the development direction of modern agricultural fertilization [J]. Seed Science & Technology, 2018, 36(10): 8, 11
- [6] 陈美球, 赖昭豪, 刘桃菊. 改革开放以来我国耕地利用变化及其展望[J]. 土壤通报, 2019, 50(2): 497-504.
CHEN Meiqiu, LAI Zhao hao, LIU Taoju. Changes and prospects of cultivated land use since reform and opening up in China[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2019, 50(2): 497-504.
- [7] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 783-795.
JU Xiaotang, GU Baojing. Status-quo, problem and trend of nitrogen fertilization in China[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(4): 783-795.
- [8] 周伟, 吕腾飞, 杨志平, 等. 氮肥种类及运筹技术调控土壤氮素损失的研究进展[J]. 应用生态学报, 2016, 27(9): 3 051-3 058.

- ZHOU Wei, LYU Tengfei, YANG Zhiping, et al. Research advances on regulating soil nitrogen loss by the type of nitrogen fertilizer and its application strategy[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(9): 3 051-3 058.
- [9] ROBERTS T L. The role of fertilizer in growing the world's food[J]. Better Crops With Plant Food, 2009, 93(2): 12-15.
- [10] 中华人民共和国农业农村部. 化肥过量施用等六大问题困扰山东省耕地质量[N]. 山东农业信息网, 2015-01-04.
- Ministry of agriculture and village of the People's Republic of China. Six major problems such as excessive application of chemical fertilizer plague cultivated land quality in shandong province [N]. Shandong Provincial Department of Agricultural and Rural Affairs, 2015-01-04.
- [11] PENG S B, BURESH R J, HUANG J L, et al. Improving nitrogen fertilization in rice by sitespecific N management. a review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2010, 30(3): 649-656.
- [12] 马守臣, 张伟强, 段爱旺. 不同亏缺灌溉方式对冬小麦产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(8): 9-14.
- MA Shouchen, ZHANG Weiqiang, DUAN Aiwang. Effects of different deficit irrigation modes on grain yield and water use efficiency of winter wheat[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(8): 9-14.
- [13] 张智猛, 戴良香, 慈敦伟, 等. 生育后期干旱胁迫与施氮量对花生产量及氮素吸收利用的影响[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(4): 614-621.
- ZHANG Zhimeng, DAI Liangxiang, CI Dunwei, et al. Drought effects at late growth stage and nitrogen application rate on yield and N utilization of peanut[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2019, 41(4): 614-621.
- [14] 梁宗锁, 康绍忠, 张建华, 等. 控制性分根交替灌水对作物水分利用率的影响及节水效应[J]. 中国农业科学, 1998, 31(5): 88-90.
- Liang Zongsuo, Kang Shaozhong, Zhang Jianhua ,et al. Effects of controlled root irrigation on water utilization of crops and water-saving effect [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1998, 31(5): 88-90.
- [15] 袁寿其, 李红, 王新坤. 中国节水灌溉装备发展现状、问题、趋势与建议[J]. 排灌机械工程学报, 2015, 33(1): 78-92.
- YUAN Shouqi, LI Hong, WANG Xinkun. Status, problems, trends and suggestions for water-saving irrigation equipment in China[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2015, 33(1): 78-92.
- [16] 鞠茜茜. 自动渠槽管灌溉对夏玉米土壤水分变化及水分利用效率的影响研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- JU Qianqian]. The variation of soil moisture and water use efficiency of summer maize under automatic rope-control-pipe irrigation[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2017.
- [17] 易琼, 张秀芝, 何萍, 等. 氮肥减施对稻-麦轮作体系作物氮素吸收、利用和土壤氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1 069-1 077.
- YI Qiong, ZHANG Xiuzhi, HE Ping, et al. Effects of reducing N application on crop N uptake, utilization, and soil N balance in rice-wheat rotation system[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(5): 1 069-1 077.
- [18] 王小燕, 于振文. 不同施氮量条件下灌溉量对小麦氮素吸收转运和分配的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3 015-3 024.
- WANG Xiaoyan, YU Zhenwen. Effect of irrigation rate on absorption and translocation of nitrogen under different nitrogen fertilizer rate in wheat[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(10): 3 015-3 024.
- [19] 韩祥飞, 刘鹏, 马云国, 等. 不同施氮方式对夏玉米产量、氮素吸收与利用的影响[J]. 玉米科学, 2019, 27(3): 140-147.
- HAN Xiangfei, LIU Peng, MA Yunguo, et al. Effects of nitrogen application on yield, nitrogen absorption and utilization of summer maize [J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(3): 140-147.
- [20] 高祥照, 申朮, 郑义. 肥料实用手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- GAO Xiangzhao, SHEN Tiao, ZHENG Yi. Practical manual of fertilizer [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002.
- [21] 李仁岗. 肥料效应函数[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986.
- LI Rengang. Fertilizer response function[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1986.
- [22] 黄超, 刘战东, 赵犇, 等. 不同产量水平下冬小麦生长发育和耗水特性研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(10): 10-16.
- HUANG Chao, LIU Zhandong, ZHAO Ben, et al. Study on growth, development and water consumption characteristics of winter wheat under different yield levels[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(10): 10-16.
- [23] 辛琪, 林少喆, 王妮娜, 等. 间隔交替波涌灌溉对冬小麦土壤水分与水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(1): 21-25.
- XIN Qi, LIN Shaozhe, WANG Nina, et al. Effect of alternate surge flow irrigation on soil moisture and water use efficiency of winter wheat field[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(1): 21-25.

Effects of Nitrogen Application on Yield, Nitrogen Uptake and Utilization by Summer Maize under Automatically Controlled Pipe-channel Irrigation

LI Yinghao¹, ZHANG Zheng¹, ZHU Jixiang¹, FENG Jian¹,
WU Keqing¹, FENG Zhe², LIU Xianghua³, WANG Chuntang^{1*}

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Shandong agricultural University, Taian 271018, China;

2. Qingdao Pingdu Water Conservancy Survey and Design Institute, Qingdao 266700, China;

3. Pingdu Water Conservancy Bureau Agricultural Water Branch, Qingdao 266700, China)

Abstract: 【Background】 Surface irrigation is the dominant irrigation method in world including China despite its poor irrigation uniformity. Although efforts have been made in many countries to improve surface irrigation technology, progresses are still being made. Automatic pipe-channel irrigation is an irrigation technology that not only reduces irrigation time but also saves water. It can calculate the amount of water required in each field and control the irrigation accuracy along the irrigation furrow to alleviate water leakage loss and improve irrigation uniformity. In China, nitrogen fertilizers contribute 40% to 60% to the increased crop yields in China, but their use efficiency is only 30%, far lower than the international average. Meanwhile, continuous increase in nitrogen fertilizer application has led to detrimental impact on environment, largely due to the inappropriate combination of irrigation and fertilization. 【Objective】 The purpose of this paper is to experimentally seek an optimal nitrogen application for maize irrigated with automatically controlled pipe-channel irrigation. 【Method】 We compared border irrigation (B) and the automatic pipe-channel irrigation (W). Nitrogen fertilizer used in the border irrigation was 300 kg/hm², the same as used by local farmers. In the automatically controlling pipe-channel irrigation, we compared three nitrogen fertilizations: 300 kg/hm² (N1), 225 kg/hm² (N2) and 150 kg/hm² (N3), with no nitrogen fertilization as the control (N0). At the tasseling and full ripeness stages we measured the dry matter accumulation in the vegetative organs, while after the flowering stage we measured the nitrogen accumulation, dry matter accumulation, nitrogen translocation, and nitrogen use efficiency. 【Result】 When nitrogen application was 300 kg/hm², W irrigation increased grain yield and dry matter accumulation at mature stage by 5.46% and 3.23%, and total nitrogen accumulation and nitrogen use efficiency by 7.79% and 26.69% respectively, compared to B irrigation. Coupled with W irrigation, N1, N2 and N3 nitrogen application increased proportion of dry matter at mature stage compared to the control, but did not show significant difference in grain yield, nitrogen accumulation in the grain and the plant despite the reduced nitrogen application in N2 and N3. Reducing nitrogen application therefore increased nitrogen use efficiency significantly by up to 25.54%. The partial productivity of nitrogen in N3 was significantly higher than that in other treatments. 【Conclusion】 Coupling fertilization and automatic pipe-channel irrigation can reduce nitrogen fertilizer application, and for the experiments we conducted, the application rate can be controlled in 225 kg/hm² to 300 kg/hm² without scarifying grain yield and quality.

Key words: summer maize; automatic pipe-channel irrigation; nitrogen application; nitrogen utilization efficiency

责任编辑：陆红飞