

不同生育时期追施氮肥与补灌结合对小麦生长发育及产量的影响

郑惠玲¹,武继承^{2,3*},潘晓莹^{2,3},李学军⁴,韩伟锋^{2,3}

(1. 河南省土壤肥料站,河南 郑州 450008; 2. 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; 3. 农业部作物高效用水原阳科学观测站,河南 原阳 453514; 4. 通许县农业科学研究所,河南 通许 475600)

摘要:以矮抗 58 和周麦 18 为材料,研究了不同生育时期追施氮肥与补灌结合对小麦生长发育和产量的影响。氮肥追施设置不追肥、1 次追肥(返青—拔节、扬花—灌浆)和 2 次追肥(返青+灌浆、拔节+灌浆、返青—拔节+扬花)6 种方式,水分设置重度胁迫(田间持水量的 50%~55%)、轻度胁迫(田间持水量的 65%~75%)和充分灌溉(田间持水量的 75%~85%)。结果表明,氮肥追施和补灌对小麦株高、穗长、小穗数、穗粒数有显著的正效应,轻度胁迫和充分灌溉(矮抗 58)、重度胁迫(周麦 18)使不孕穗数明显减少,千粒质量明显增加。周麦 18 和矮抗 58 产量均表现为轻度胁迫>充分灌溉>重度胁迫。其中重度胁迫时,与不追肥相比,周麦 18 增产 0.78%~9.39%,矮抗 58 增产 7.06%~11.15%;充分灌水时,周麦 18 较不追肥增产 1.76%~6.25%,矮抗 58 增产 1.01%~13.44%;轻度胁迫时,周麦 18 较不追肥增产 0.53%~4.14%,矮抗 58 增产 6.01%~12.94%。周麦 18 充分灌溉和轻度胁迫较重度胁迫分别增产 6.83%~13.33%、12.24%~19.74%,轻度胁迫较充分灌溉增产 4.13%~9.41%。矮抗 58 充分灌溉和轻度胁迫较重度胁迫分别增产 5.54%~14.18%和 11.29%~15.56%,轻度胁迫较充分灌溉增产 -0.75%~6.70%。周麦 18 以返青—拔节+扬花 2 次追肥和返青—拔节 1 次追肥增产效果较好;矮抗 58 则以扬花—灌浆 1 次追肥和拔节+灌浆 2 次追肥增产效果较好。说明不同小麦品种间控水时间和施肥时间有一定的差异。

关键词:壤质潮土;小麦;氮肥运筹;生长发育;产量

中图分类号: S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2015)06-0018-06

Effects of Nitrogen Fertilization Combining with Complementary Irrigation at Different Growth Stages on Development and Yield of Winter Wheat

ZHENG Huiling¹, WU Jicheng^{2,3*}, PAN Xiaoying^{2,3}, LI Xuejun⁴, HAN Weifeng^{2,3}

(1. Station of Henan Soil and Fertilizer, Zhengzhou 450008, China; 2. Institute of Plant Nutrition & Resource Environment, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 3. Yuanyang Experimental Station of Crop Water Use, Ministry of Agriculture, Yuanyang 453514, China; 4. Institute of Tongxu Agricultural Sciences, Tongxu 475600, China)

Abstract: The field experiment was conducted to study the effects of applying nitrogen fertilizer and complementary irrigation at different growth stages on the growth and yield of winter wheat varieties

收稿日期:2014-12-15
基金项目:“十二五”农村领域国家科技计划课题(2013BAD07B07-6);公益性行业(农业)科研专项(201203077);河南省重大公益性科研项目(081100911600)
作者简介:郑惠玲(1966-),女,河南永城人,高级农艺师,硕士,主要从事节水栽培和土壤肥料研究与推广。
E-mail: zzzh103@126.com
* 通讯作者:武继承(1965-),男,河南通许人,研究员,博士,主要从事节水农业、农业生态和土壤肥料等方面的研究工作。
E-mail: wujc2065@126.com

Aikang 58 and Zhoumai 18 in Tongxu county. Six fertilization treatments were designed, i. e. no topdressing, once topdressing at returning green stage to jointing stage or at flowering stage to filling stage, and twice topdressings at returning green stage plus filling stage, jointing stage plus filling stage or returning green stage to jointing stage plus flowering stage. The water treatments were set in 3 patterns, including severe water stress (50% to 55% of filed capacity), mild stress (65% to 75% of filed capacity) and full irrigation (75% to 85% of filed capacity). The main results showed that the models of nitrogen fertilization plus complementary irrigation had the positive effect on plant height, spike length, spikelet number and grain number per spike. The volume of sterility spike of Aikang 58 reduced under mild stress and full irrigation conditions, while that of Zhoumai 18 reduced under severe stress condition. There was an obvious increase tendency of 1 000-grain weight. The spike rate of Aikang 58 was higher than that of Zhoumai 18. The mild stress gave the highest yields in both Zhoumai 18 and Aikang 58, followed by full irrigation, and the severe stress was the lowest. Compared with no fertilization, the grain yield increased by 0.78%—9.39% for Zhoumai 18 and by 7.06%—11.15% for Aikang 58 in severe stress condition, it increased by 1.76%—6.25% for Zhoumai 18 and by 1.01%—13.44% for Aikang 58 in full irrigation, while it increased by 0.53%—4.14% for Zhoumai 18 and by 6.01%—12.94% for Aikang 58 in mild stress treatment. The yield of Zhoumai 18 under full irrigation and mild stress condition increased by 6.83%—13.33% and 12.24%—19.74%, respectively, compared with that of severe stress, and it under mild stress increased by 4.13%—9.41% compared with that of full irrigation. The yield of Aikang 58 under full irrigation and mild stress condition were 5.54%—14.18% and 11.29%—15.56% higher than that of severe stress, respectively, while it under mild stress was -0.75%—6.70% higher than that of full irrigation. For Zhoumai 18, the best treatments came from topdressing twice at returning green stage plus flowering stage, or topdressing once in returning green to jointing period, while for Aikang 58, the best treatment came from topdressing once from flowering to filling stage or topdressing twice at jointing stage plus filling stage. This suggested that the control time of water and nitrogen fertilizer was different between the two varieties.

Key words: loamy soil; wheat; nitrogen fertilization; growth and development; yield

河南省是水资源严重缺乏的省份,人均水资源量仅 412 m^3 , 常年缺水量 50 亿 m^3 。近年来,农业用水形势十分严峻,豫北豫东地下水漏斗面积不断扩大,目前已经占到平原面积的 17.6%;但灌水利用系数仅 0.52 左右,水分利用率仅 $1.0 \sim 1.2\text{ kg/m}^3$ 。同时,河南省又是肥料消耗大省,平均每公顷消耗量达 450 kg 以上。因此,提高水肥利用效率是解决水肥资源供需矛盾的重要途径。研究表明,干旱胁迫严重影响了氮肥的作用^[1],而补充灌水与施氮肥及秸秆覆盖对冬小麦产量具有明显的增产效果^[2]。高氮条件下灌拔节水+灌浆水或拔节水均可实现水肥的高效耦合^[3];但灌水越多,耗水量、耗水强度越大;相同灌水条件下,施肥越多,产量越高;产量以高水中肥最佳^[4]。分期施肥研究表明,在基施 60% 氮肥条件下,以灌拔节水+孕穗水并于孕穗期追施 40% 氮肥处理产量表现最好^[5]。灌水量对小麦产量的影响主要通过调控 0~140 cm 土层的土壤水分含量实现的^[6-7],且水肥同区耦合方式显著高于水肥异区耦合方式^[8]。高产条件下施纯氮 240 kg/hm^2 并灌底墒水、拔节水和开花水的处理籽粒产量、

水分利用效率和氮肥利用率较好^[9]。拔节和开花期水氮配合施用小麦产量效应最佳^[10-11]。土壤水分田间持水量的 75% 时产量最高,超过 75% 产量则表现为降低,最佳纯氮用量为 360 kg/hm^2 ^[12]。综上所述,目前的研究主要侧重于灌水量与氮肥用量的耦合效应,关于不同生育时期氮肥追施与补充灌溉结合对小麦产量和水分利用的影响研究则报道较少^[13-17]。因此,本研究选用河南省 2 个主栽小麦品种,设置不同水分胁迫与氮肥分期施用结合的水肥耦合处理,探讨了补充灌溉与追施氮肥条件下不同小麦品种生长发育及其产量的差异,旨在为小麦高产和水肥高效利用提供科学依据。

1 材料和方法

试验安排在河南省通许县冯庄乡前山村,土壤为壤质潮土,耕层有机质 16.60 g/kg 、全氮 1.12 g/kg 、全磷 1.04 g/kg 、全钾 18.5 g/kg 、水解氮 68.8 mg/kg 、速效磷 16.8 mg/kg 、速效钾 86.4 mg/kg 。供试小麦品种为矮抗 58 和周麦 18。试验水分条件设置充分灌溉(田间持水量的 75%~85%)、轻度胁迫(田间持

水量的 65% ~ 75%) 和重度胁迫(田间持水量的 50% ~ 55%);氮肥追施设置不追肥、1 次追肥(返青—拔节、扬花—灌浆)和 2 次追肥(返青 + 灌浆、拔节 + 灌浆、返青—拔节 + 扬花),共计 18 个处理(表 1),磷、钾肥一次性做底肥施入,氮肥总用量为 210 kg/hm²,不追肥处理作底肥 1 次施入,1 次追肥处理底肥 70%、追肥 30%,2 次追肥处理底肥 70%、追肥

15% + 15%。重复 3 次,随机排列。小麦于 2010 年 10 月 24 日播种,播种量 150 kg/hm²,次年 6 月上旬收获。小区面积 5 m × 6 m = 30 m²。处理间间距 50 cm,重复间间距 80 cm。小麦成熟期随机选取 5 株考察株高、穗长、穗粒数、小穗数、不孕穗数,产量以小区实收产量折算,并测定千粒质量。

表 1 不同生育时期氮肥追施与补灌相结合的试验设计

水分条件	不追肥	返青—拔节 追肥 1 次	扬花—灌浆 追肥 1 次	返青 + 灌浆 追肥 2 次	拔节 + 灌浆 追肥 2 次	返青—拔节 + 扬花 追肥 2 次
重度胁迫	处理 1(CK1)	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5	处理 6
轻度胁迫	处理 7(CK2)	处理 8	处理 9	处理 10	处理 11	处理 12
充分灌溉	处理 13(CK3)	处理 14	处理 15	处理 16	处理 17	处理 18

2 结果与分析

2.1 氮肥追施与补灌结合对小麦生长发育的影响

从表 2 可以看出,不同水分条件与氮肥追施结合对周麦 18 的影响具有不同的特征。重度胁迫时,不同生育时期氮肥运筹处理对小麦株高、小穗数、穗粒数增加以及不孕穗数减少具有明显的改善效果,穗长只有返青—拔节 1 次追肥、拔节 + 灌浆 2 次追肥处理有所增加,其中株高较相应对照 CK1 增加 3.33 ~ 7.92 cm,小穗数增加 1.15 ~ 2.05 个,不孕穗数减少 0.07 ~ 1.11 个,穗粒数增加 3.38 ~ 4.74 粒。轻度胁迫时,不同生育时期氮肥运筹处理小麦株高、

穗长、小穗数和穗粒数明显增加,但不孕穗数只有扬花—灌浆 1 次追肥、返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理明显减少,其他氮肥运筹处理则增加,其中株高较相应对照 CK2 增加 1.28 ~ 5.28 cm,穗长增加 0.21 ~ 0.78 cm,小穗数增加 0.05 ~ 1.94 个,穗粒数增加 3.48 ~ 8.60 粒。充分灌溉时,不同生育时期氮肥运筹处理小麦株高、穗长、小穗数和穗粒数明显增加,但不孕穗数只有返青 + 灌浆 2 次追肥、返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理明显减少,其他氮肥运筹处理不变或增加,其中株高较相应对照 CK3 增高 2.27 ~ 8.93 cm,穗长增加 0.50 ~ 0.71 cm,小穗数增加 0.33 ~ 1.40 个,穗粒数增加 3.86 ~ 8.87 粒。

表 2 不同水分条件与氮肥追施结合对周麦 18 和矮抗 58 生长发育的影响

水分条件	追肥处理	追肥次数	株高/cm		穗长/cm		穗粒数		小穗数/个		不孕穗数/个	
			周麦 18	矮抗 58	周麦 18	矮抗 58	周麦 18	矮抗 58	周麦 18	矮抗 58	周麦 18	矮抗 58
重度胁迫	不追肥(CK1)	0	66.12	61.62	7.81	7.14	35.32	32.82	19.25	20.53	3.67	3.65
	返青—拔节	1	71.84	64.10	8.29	7.41	39.33	35.00	21.14	21.00	2.56	3.75
	扬花—灌浆	1	69.45	63.78	7.33	7.59	38.80	36.50	21.30	21.50	3.33	3.50
	返青 + 灌浆	2	71.78	66.22	7.43	7.47	38.70	34.55	20.40	21.18	3.60	4.00
	拔节 + 灌浆	2	74.04	63.03	8.07	7.47	39.05	36.27	20.65	21.60	2.93	4.60
	返青—拔节 + 扬花	2	69.62	65.12	7.70	7.66	40.06	35.88	21.02	21.18	3.42	4.06
轻度胁迫	不追肥(CK2)	0	68.12	62.81	7.44	7.54	35.60	33.80	20.23	21.33	3.13	5.40
	返青—拔节	1	72.62	64.82	7.84	7.74	41.42	36.58	20.47	21.92	3.28	3.50
	扬花—灌浆	1	73.40	63.51	7.65	7.86	41.02	41.15	20.28	22.10	2.83	3.20
	返青 + 灌浆	2	69.81	65.39	7.96	7.74	39.08	43.00	20.70	21.65	3.15	2.47
	拔节 + 灌浆	2	69.40	66.37	7.85	7.86	44.20	38.54	22.17	22.31	4.25	2.00
	返青—拔节 + 扬花	2	69.96	65.53	8.22	7.90	42.28	36.50	21.61	21.42	2.19	3.67
充分灌溉	不追肥(CK3)	0	67.04	63.66	7.61	7.30	37.70	33.12	20.97	20.53	3.27	3.65
	返青—拔节	1	70.20	64.50	8.32	7.55	41.56	35.82	21.42	21.23	3.33	2.41
	扬花—灌浆	1	69.31	66.95	8.19	7.64	44.89	38.38	21.30	21.92	3.27	2.85
	返青 + 灌浆	2	72.15	66.35	8.11	7.82	46.53	37.93	21.77	21.50	2.30	3.29
	拔节 + 灌浆	2	75.97	69.13	8.27	7.62	45.93	36.53	22.03	21.53	3.77	3.53
	返青—拔节 + 扬花	2	73.69	65.87	8.25	7.60	46.57	34.17	22.37	21.21	2.20	4.08

不同水分条件与氮肥追施结合对矮抗 58 的影响具有不同的特征。重度胁迫时,不同生育时期氮

肥运筹对小麦株高、穗长、小穗数、穗粒数具有明显的改善效果,不孕穗数只有扬花—灌浆 1 次追肥处理略有减少,其中株高较相应对照 CK1 增高 1.41 ~ 4.60 cm,以返青 + 灌浆 2 次追肥处理最高;穗长增加 0.27 ~ 0.52 cm,以返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理最长;小穗数增加 0.47 ~ 1.07 个,以拔节 + 灌浆 2 次追肥处理最多;穗粒数增加 1.73 ~ 3.68 粒,以扬花—灌浆 1 次追肥处理最多。轻度胁迫时,不同生育时期氮肥运筹使小麦株高、穗长、小穗数和穗粒数明显增加,不孕穗数明显减少,其中株高较相应对照 CK2 增高 0.70 ~ 3.56 cm,以拔节 + 灌浆 2 次追肥处理最高;穗长增加 0.20 ~ 0.36 cm,以返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理最长;小穗数增加 0.09 ~ 0.98 个,以拔节 + 灌浆 2 次追肥处理最多;穗粒数增加 2.70 ~ 9.20 粒,以返青 + 灌浆 2 次追肥处理最多;不孕穗数减少 1.73 ~ 3.40 个,其中拔节 + 灌浆 2 次追肥处理减少最多。充分灌溉时,不同生育时期氮肥运筹处理小麦株高、穗长、小穗数和穗粒数明显增加,不孕穗数除返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理外均明显减少,其中株高较相应对照 CK3 增加 0.84 ~ 5.47 cm,以拔节 + 灌浆 2 次追肥处理最高;穗长增加 0.25 ~ 0.52 cm,以返青 + 灌浆 2 次追肥处理最长;小穗数增加 0.68 ~ 1.39 个,以扬花—灌浆 1 次追肥处理最多;穗粒数增加 1.05 ~ 5.26 粒,以扬花—灌浆 1 次追肥处理最多;不孕穗数除返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理外,减少 0.12 ~ 1.24 个,其中返青—拔节 1 次追肥处理减少最多。

2.2 氮肥追施与补灌结合对小麦千粒质量和产量的影响

不同水分条件与氮肥追施结合对周麦 18 千粒质量的影响表现为相同的变化趋势(表 3)。重度胁迫时,不同氮肥运筹处理的千粒质量较相应对照增加 0.66 ~ 0.86 g,其中返青—拔节 1 次追肥处理的千粒质量最高;轻度胁迫时较相应对照增加 0.40 ~ 3.24 g,其中扬花—灌浆 1 次追肥处理最高;充分灌水时较相应对照增加 0.20 ~ 1.36 g,其中拔节 + 灌浆 2 次追肥处理的千粒质量最高。矮抗 58 也表现为相同的变化趋势。重度胁迫时,不同氮肥运筹处理千粒质量较相应对照增加 0.30 ~ 2.50 g,其中拔节 + 灌浆 2 次追肥处理千粒质量最高;轻度胁迫时较相应对照增加 0.20 ~ 3.66 g,其中扬花—灌浆 1 次追肥处理最高;充分灌水时较相应对照增加 0.10 ~ 2.84 g,也以拔节 + 灌浆 2 次追肥处理的千粒质量最高。

从表 3 可以看出,不同水分条件与氮肥追施结

合对周麦 18 产量的影响表现为不同的变化趋势。重度胁迫时,与不追肥处理相比增产 0.78% ~ 9.39%,依次为返青—拔节 1 次追肥处理 > 返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理 > 扬花—灌浆 1 次追肥处理 > 拔节 + 灌浆 2 次追肥处理 > 返青 + 灌浆 2 次追肥处理;充分灌水时,较不追肥处理增产 1.76% ~ 6.25%,依次为返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理 > 返青—拔节 1 次追肥处理 > 扬花—灌浆 1 次追肥处理 > 返青 + 灌浆 2 次追肥处理 > 拔节 + 灌浆 2 次追肥处理;轻度胁迫时,较不追肥处理增产 0.53% ~ 4.14%,表现为拔节 + 灌浆 2 次追肥处理 > 返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理 > 返青—拔节 1 次追肥处理 > 扬花—灌浆 1 次追肥处理 > 返青 + 灌浆 2 次追肥处理。充分灌溉较重度胁迫增产 6.83% ~ 13.33%,依次为返青 + 灌浆 2 次追肥处理 > 不追肥(对照) > 拔节 + 灌浆 2 次追肥处理 > 返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理 > 扬花—灌浆 1 次追肥处理 > 返青—拔节 1 次追肥处理;轻度胁迫较重度胁迫增产 12.24% ~ 19.74%,依次为拔节 + 灌浆 2 次追肥处理 > 不追肥(对照) > 返青 + 灌浆 2 次追肥处理 > 返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理 > 扬花—灌浆 1 次追肥处理 > 返青—拔节 1 次追肥处理;轻度胁迫与充分灌溉相比增产 4.13% ~ 9.41%,依次为拔节 + 灌浆 2 次追肥处理 > 不追肥(对照) > 返青 + 灌浆 2 次追肥处理 > 返青—拔节 1 次追肥处理 > 扬花—灌浆 1 次追肥处理 > 返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理。

矮抗 58 也表现为相同的变化趋势。重度胁迫时,与不追肥相比增产 7.06% ~ 11.15%,依次为扬花—灌浆 1 次追肥处理 > 拔节 + 灌浆 2 次追肥处理 > 返青—拔节 1 次追肥处理 > 返青 + 灌浆 2 次追肥处理 > 返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理;充分灌水时,较不追肥处理增产 1.01% ~ 13.44%,增产顺序与重度胁迫时相同;轻度胁迫时,较不追肥处理增产 6.01% ~ 12.94%,依次为扬花—灌浆 1 次追肥处理 > 拔节 + 灌浆 2 次追肥处理 > 返青 + 灌浆 2 次追肥处理 > 返青—拔节 1 次追肥处理 > 返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理。充分灌溉较重度胁迫增产 5.54% ~ 14.18%,依次为扬花—灌浆 1 次追肥处理 > 返青—拔节 1 次追肥处理 > 不追肥(对照) > 返青 + 灌浆 2 次追肥处理 > 拔节 + 灌浆 2 次追肥处理 > 返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理;轻度胁迫较重度胁迫增产 11.29% ~ 15.56%,依次为扬花—灌浆 1 次追肥处理 > 拔节 + 灌浆 2 次追肥处理 > 返青 + 灌浆 2 次追肥处理 > 不追肥(对照) > 返青—拔节 +

扬花 2 次追肥处理 > 返青—拔节 1 次追肥处理;轻度胁迫与充分灌溉相比,除返青—拔节 1 次追肥处理减产外,其他处理增产 1.21% ~ 6.70%,依次为返青—拔节 + 扬花 2 次追肥处理 > 拔节 + 灌浆 2 次追肥处理 > 返青 + 灌浆 2 次追肥处理 > 不追肥(对照) > 扬花—灌浆 1 次追肥处理 > 返青—拔节 1 次追肥处理。显著性差异分析显示,相同处理条件的 2 个小麦品种产量差异性均达到极显著水平($P <$

0.01)(表 3)。由此可见,不同水分条件与氮肥追施结合处理中,周麦 18 以返青—拔节 + 扬花 2 次追肥和返青—拔节 1 次追肥处理的增产效果较好,矮抗 58 则以氮肥后移处理(扬花—灌浆 1 次追肥)和拔节 + 灌浆 2 次追肥处理增产效果较好,说明不同小麦品种各生育时期的水肥需求具有一定的差异性。

表 3 不同水分条件与氮肥追施结合对周麦 18 和矮抗 58 千粒质量及产量的影响

品种	水分条件	施肥处理	追肥 次数	千粒质 量/g	产量/ (kg/hm ²)	较不追肥 ±/%	较重度胁 迫 ±/%	较充分灌 水 ±/%
周麦 18	重度胁迫	不追肥(CK1)	0	43.00	7 296.6P			
		返青—拔节	1	43.86	7 981.7LM	9.39		
		扬花—灌浆	1	43.80	7 800.0MN	6.90		
		返青 + 灌浆	2	43.80	7 353.3OP	0.78		
		拔节 + 灌浆	2	43.66	7 591.7NO	4.04		
		返青—拔节 + 扬花	2	43.76	7 933.4LM	8.73		
	充分灌水	不追肥(CK2)	0	42.90	8 165.0KL		11.90	
		返青—拔节	1	43.50	8 526.6HIJ	4.43	6.83	
		扬花—灌浆	1	43.86	8 453.4IJ	3.53	8.38	
		返青 + 灌浆	2	43.76	8 333.4JK	2.06	13.33	
		拔节 + 灌浆	2	44.26	8 308.4JK	1.76	9.44	
		返青—拔节 + 扬花	2	43.10	8 675.0GHI	6.25	9.35	
	轻度胁迫	不追肥(CK3)	0	43.16	8 728.4GHI		19.62	6.90
		返青—拔节	1	43.56	8 958.3DEFG	2.63	12.24	5.06
		扬花—灌浆	1	46.40	8 875.1EFG	1.68	13.78	4.99
		返青 + 灌浆	2	44.00	8 775.0FGH	0.53	19.33	5.30
		拔节 + 灌浆	2	45.80	9 090.0CDE	4.14	19.74	9.41
		返青—拔节 + 扬花	2	45.16	9 033.3CDEF	3.49	13.86	4.13
矮抗 58	重度胁迫	不追肥(CK1)	0	42.36	8 145.3KL			
		返青—拔节	1	43.90	8 862.0EFG	8.80		
		扬花—灌浆	1	43.30	9 053.7CDEF	11.15		
		返青 + 灌浆	2	43.16	8 750.4FGHI	7.43		
		拔节 + 灌浆	2	44.86	9 037.1CDEF	10.95		
		返青—拔节 + 扬花	2	42.66	8 720.4GHI	7.06		
	充分灌水	不追肥(CK2)	0	41.96	9 112.1CDE		11.87	
		返青—拔节	1	42.96	9 937.1B	9.05	12.13	
		扬花—灌浆	1	42.06	10 337.1A	13.44	14.18	
		返青 + 灌浆	2	42.56	9 770.4B	7.22	11.66	
		拔节 + 灌浆	2	44.80	9 948.8B	9.18	10.09	
		返青—拔节 + 扬花	2	44.06	9 203.7CD	1.01	5.54	
	轻度胁迫	不追肥(CK3)	0	41.90	9 263.7C		13.73	1.66
		返青—拔节	1	42.16	9 862.1B	6.46	11.29	-0.75
		扬花—灌浆	1	45.56	10 462.1A	12.94	15.56	1.21
		返青 + 灌浆	2	42.70	9 978.8B	7.72	14.04	2.13
		拔节 + 灌浆	2	42.10	10 353.8A	11.77	14.57	4.07
		返青—拔节 + 扬花	2	43.76	9 820.4B	6.01	12.61	6.70

注:表中数据为平均数,其后不同大写字母表示统计学上的差异显著性($P < 0.01$)。

3 结论与讨论

本试验结果表明,不同生育时期氮肥追施和补灌结合对 2 个小麦品种株高、穗长、小穗数、穗粒数有显著影响,轻度胁迫和充分灌溉条件下矮抗 58 和

重度胁迫条件下周麦 18 不孕穗数明显减少,千粒质量明显增加。周麦 18 和矮抗 58 产量表现为轻度胁迫 > 充分灌溉 > 重度胁迫。周麦 18 以返青—拔节 + 扬花 2 次追肥和返青—拔节 1 次追肥增产效果较好;矮抗 58 则以扬花—灌浆 1 次追肥追肥和拔节 +

灌浆2次追肥增产效果较好。水分胁迫下,施用氮肥对作物产量是否有利,一直以来都是一个有争议的话题^[18-21]。本试验结果表明,干旱影响肥效,只有在合理的水分条件下,氮肥才能充分发挥作用,这与翟丙年等^[1,22]的研究结果一致。有研究显示,灌水过多导致作物产量降低,产量在土壤相对含水量为75%~80%时达最大值^[23]。本试验也得到类似结果,但是在轻度胁迫(田间持水量的65%~75%)时产量最高。从追肥和补灌时期看,矮抗58以扬花+灌浆和拔节+灌浆追肥补灌较好,周麦18则以返青—拔节+扬花和返青—拔节追肥补灌效果更佳,与赵淑章等^[10]和孔东等^[11]的研究结果相吻合。

参考文献:

- [1] 翟丙年,李生秀. 冬小麦水氮配合关键期和亏缺敏感期的确定[J]. 中国农业科学,2005,38(6):1188-1195.
- [2] 翟军海,凌莉,高亚军,等. 补充灌溉、氮素营养与秸秆覆盖对冬小麦生长及产量的影响研究[J]. 中国生态农业学报,2004,12(1):135-137.
- [3] 顾国俊,季仁达,吴传万. 水肥耦合对小麦产量的影响研究[J]. 园艺与种苗,2012(1):11-13.
- [4] 李绍飞,王仰仁,孙书洪,等. 不同节水灌溉方案对冬小麦用水效率及效益的影响[J]. 节水灌溉,2011(3):1-5,8.
- [5] 姚战军,张永刚. 水氮运筹对小麦光合作用及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(7):58-59.
- [6] 易立攀,于振文,张永丽. 不同土层测墒补灌对冬小麦耗水特性及产量的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(5):1361-1366.
- [7] 段文学,于振文,张永丽,等. 测墒补灌对不同穗型小麦品种耗水特性和干物质积累与分配的影响[J]. 植物生态学报,2010,34(12):1424-1432.
- [8] 李开峰,张富仓,祁有玲,等. 根区水肥空间耦合对冬小麦生长及产量的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(12):3154-3160.
- [9] 王小燕,王东,于振文. 水氮互作对小麦旗叶光合特性、籽粒产量及氮素和水分利用率的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(6):17-22.
- [10] 赵淑章,季书勤. 水氮运筹与强筋小麦产量和品质关系研究[J]. 土壤肥料,2005(6):23-26.
- [11] 孔东,晏云,段艳,等. 不同水氮处理对冬小麦生长及产量影响的田间试验[J]. 农业工程学报,2008,24(12):36-40.
- [12] 张凤祥,周明耀,徐华平,等. 水肥耦合对冬小麦生长和产量的影响[J]. 水利与建筑工程学报,2005,3(2):22-24.
- [13] 潘晓莹,武继承,杨永辉,等. 测墒灌溉施肥对冬小麦光合特性及产量的影响[J]. 河南农业科学,2014,43(1):54-58.
- [14] 梅旭荣. 节水农业在中国[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2006:329-334.
- [15] 郑成岩,于振文,张永丽,等. 土壤深松和补灌对小麦干物质生产及水分利用率的影响[J]. 生态学报,2013,33(7):2260-2271.
- [16] 武继承,杨永辉,郑惠玲,等. 不同水分条件对小麦—玉米两熟制作物生长和水分利用的影响[J]. 华北农学报,2010,25(1):126-130.
- [17] Song Jiqing, Bai Wenbo, Li Maosong. Water in agriculture: Challenges technological solution & innovation [M]. Beijing: Science Press, 2010:157-175.
- [18] Atehur W, Gran A W. Interactions encountered when supplying nitrogen and phosphorus fertilizer and a water-soluble polyacrylamide to soil[J]. J Plant Nutri, 1990, 13(3/4):343-347.
- [19] Benbi D K. Efficiency of nitrogen use by dry-land wheat in a subhumid region in relation to optimizing the amount of available water[J]. J Agric Sci, 1989, 115(1):7-10.
- [20] Levieil B, Gabrielle B, Justes E, et al. Water and nitrate budgets in a rendzina cropped with oilseed rape receiving varying amounts of fertilizer[J]. Eur J Soil Sci, 1998, 49:37-51.
- [21] Shan L, Zhang S Q. Water saving agriculture and its biological basis[J]. Res Soil Water Conser, 1999, 6(1):2-6.
- [22] 翟丙年,李生秀. 水氮配合对冬小麦产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(1):26-32.
- [23] 姜东燕,于振文. 灌溉量对冬小麦产量和土壤硝态氮含量的影响[J]. 土壤通报,2008,39(3):703-705.