

分期施肥补灌对小麦产量和水分利用效率的影响

潘晓莹^{1,2}, 武继承^{1,2}, 张森森³, 杨永辉^{1,2}, 王越^{1,2},
李敏杰^{1,2,4}, 高翠民^{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. 河南省有色金属地质勘查总院, 河南 郑州 450002; 4. 郑州大学 生命科学学院, 河南 郑州 450052)

摘要: 探讨分期施肥补灌对小麦 SPAD、光合特性、群体动态、生物性状、水分利用效率及产量的影响, 为豫中补灌区小麦高产高效施肥提供理论依据。通过田间试验, 设灌水和施肥两因素, 其中灌水设 3 个水平, 灌水 $450 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{次})$ 。施肥设 5 个水平。研究结果表明: 三种灌水水平条件下, 增施有机肥的小麦 SPAD 和净光合速率均高于相应不施有机肥处理; N0 处理产量显著低于其他处理; N0 处理水分利用效率最低。基于节本、增产、增效综合考虑, 本研究推荐拔节期补灌一次, 施用纯氮 $300 \text{ kg}/\text{hm}^2$ + 有机肥 $1500 \text{ kg}/\text{hm}^2$ (氮肥底追比为底施: 拔节肥 = 7: 3) 处理。

关键词: 分期施肥; 补灌; 小麦; 水分利用效率

中图分类号: S274.4

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2020)04—0063—07

Effects of Staged Fertilization and Supplementary Irrigation on Wheat Yield and Water Use

PAN Xiaoying^{1,2}, WU Jicheng^{1,2}, ZHANG Sensen³, YANG Yonghui^{1,2},
WANG Yue^{1,2}, LI Minjie^{1,2,4}, GAO Cuimin^{1,2}, HE Fang^{1,2}

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

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

3. Henan Nonferrous Metal Geological Exploration Institute, Zhengzhou, He'nan 450002, China;

4. School of Life Sciences, Zhengzhou University, Zhengzhou, He'nan 450052, China)

Abstract: In order to investigate the effects of stage fertilization and supplementary irrigation on wheat SPAD, photosynthetic characteristics, population dynamics, biological characters, water use efficiency and yield, and provide theoretical basis for high-yield and efficient fertilization of wheat in the supplementary irrigation area of central Hennan. Through the field experiment, two factors of irrigation and fertilization were set, which include three levels of irrigation, $450 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{times})$. Five fertilization levels were set. The results are as follows. The SPAD and net photosynthetic rates of the wheat under three irrigation levels were higher than those without organic fertilizer. Under the three irrigation conditions, the yield of N0 treatment was significantly lower than that of other treatments. Under the three irrigation conditions, the water use efficiency of N0 treatment was the lowest. Based on the comprehensive consideration of cost saving, increase production and increase efficiency, this study recommended a supplementary irrigation at jointing stage, with the application of pure nitrogen $300 \text{ kg}/\text{hm}^2$ plus organic fertilizer $1500 \text{ kg}/\text{hm}^2$ (the base application of nitrogen fertilizer was based on the base application: jointing fertilizer = 7: 3)

Keywords: staged fertilization; supplementary irrigation; wheat; water use

收稿日期: 2020-04-20

修稿日期: 2020-05-11

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0300703); 国家重点研发计划项目(2017YFD0301102)

作者简介: 潘晓莹(1989—), 女, 河南商丘人, 硕士, 助理研究员, 主要从事农业生态、节水农业、水肥一体化研究工作。

E-mail: yanmeipan - pmy@163.com

通讯作者: 武继承(1965—), 男, 河南通许人, 博士, 研究员, 主要从事节水农业、水肥一体化、植物营养与农业生态方面的研究工作。

E-mail: wujc2065@126.com

豫中地区是河南省小麦生产的主产区,水资源短缺和化肥过量施用(肥料消耗量达 4 500 kg/hm²)^[1]制约着该区域农业的绿色可持续发展。如何合理灌溉、优化水肥管理模式是豫中补灌区小麦高产高效生产亟待解决的关键问题。

水分和氮肥作为农业生产的重要因素和主要调控手段,两者对农作物生长调控具有互补效应,正所谓“有收无收在于水,收多收少在于肥”^[2-3]。对于小麦而言,充足的水分是其生长的基础和成产三要素(亩穗数、穗粒数和千粒质量)的调控因子,干旱则是最具威胁力的逆境^[4]。补充灌溉对水分利用效率影响显著,平水年拔节期补灌、枯水年拔节期和抽穗期补灌是提高黄海地区冬小麦产量的最佳灌溉模式^[5],拔节期和开花期灌水显著提高拔节期至成熟期小麦的耗水量^[6],补灌处理较不补灌处理可显著提高山农 23 籽粒产量和水分利用效率^[7],总灌水量和籽粒产量均呈现随补灌次数增加而增加的趋势^[8]。氮肥不同基追比对小麦耗水量、水分利用效率影响显著,与不追肥相比,分期追肥有利于提高小麦水分利用效率和产量^[9],基肥:拔节肥:孕穗肥为 6:3:1 处理开花至成熟期籽粒产量最高^[10]。

与此同时,为片面追求高产,盲目、过量施用化肥的农业种植技术,不仅增加农业生产投入,还造成肥料利用率低、土壤氮素深层积累、农业生态环境受到破坏等系列问题^[11]。有机肥可显著增强土壤肥力,是一种肥力持久的重要肥源。化肥与有机肥的配施,可降低耕层土壤的污染,改善土壤物理结构和生态环境^[12-13]。

本试验在前人研究的基础上,结合豫中补灌区栽培种植模式,基于“分期施肥补灌有可能提高小麦产量和水分利用效率”的假设,采取分期施肥和补充灌溉手段,于 2018 年—2019 年以郑麦 369 为试验材料,研究分期施肥补灌对小麦 SPAD、光合特性、群体动态、生长发育指标、产量和水分利用效率的影响机理,以期为豫中补灌区小麦高产高效种植技术提供技术支撑和理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况及试验材料

试验于 2018 年—2019 年在河南省开封市通许县厉庄乡司马庄村进行(东经 E 114. 46°,北纬 N 34. 43°)。试验土壤为壤质潮土,土壤耕层含有机质 13. 9 g/kg、水解氮 71. 6 mg/kg、速效磷 14. 6 mg/kg、速效钾 90. 6 mg/kg,pH 值为 8. 26。

供试小麦品种为郑麦 369。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 60%)、有机肥料(有机质≥50%,N + P₂O₅ + K₂O 总养分≥5%)。

1.2 试验设计

试验设 3 种灌水模式:不灌溉(W0),补灌一次(W1)(拔节期)、补灌二次(W2)(拔节期,抽穗一扬花期)。灌水 450 m³/(hm²·次),采用地面灌,水表计量。设 5 种施肥模式:不施肥(N0)、纯氮 210 kg/hm²(N1)、纯氮 300 kg/hm²(N2)、纯氮 210 kg/hm² + 有机肥 1 500 kg/hm²(N3)、纯氮 300 kg/hm² + 有机肥 1 500 kg/hm²(N4)。灌水施肥同步进行。不灌水条件下氮肥一次性底施,拔节期补灌一次条件下,氮肥底追比为底肥:拔节肥 = 7:3;拔节期、抽穗一扬花期补灌二次,氮肥底追比为底肥:拔节肥:穗肥 = 6:3:1。磷肥 135 kg/hm²、钾肥 90 kg/hm²和有机肥料一次性底施。试验共 15 个处理,试验处理详见表 1。小区面积 4. 0 m × 5. 6 m,随机区组排列,重复 3 次,共 45 个小区。小麦于 10 月 16 日等行距(22 cm)播种,播种量为 210 kg/hm²;于次年 6 月 4 日收获。其他管理同常规大田一致。

表 1 不同分期施肥补灌处理

灌水次数	灌水量 /(m ³ ·hm ⁻²)	施肥模式
不灌水(W0)	—	不施肥(N0)
	—	纯氮 210 kg/hm ² (N1)
	—	纯氮 300 kg/hm ² (N2)
	—	纯氮 210 kg/hm ² + 有机肥 1 500 kg/hm ² (N3)
	—	纯氮 300 kg/hm ² + 有机肥 1 500 kg/hm ² (N4)
补灌一次 (W1)	450	不施肥(N0)
	450	纯氮 210 kg/hm ² (N1)
	450	纯氮 300 kg/hm ² (N2)
	450	纯氮 210 kg/hm ² + 有机肥 1 500 kg/hm ² (N3)
	450	纯氮 300 kg/hm ² + 有机肥 1 500 kg/hm ² (N4)
补灌二次 (W2)	450 + 450	不施肥(N0)
	450 + 450	纯氮 210 kg/hm ² (N1)
	450 + 450	纯氮 300 kg/hm ² (N2)
	450 + 450	纯氮 210 kg/hm ² + 有机肥 1 500 kg/hm ² (N3)
	450 + 450	纯氮 300 kg/hm ² + 有机肥 1 500 kg/hm ² (N4)

1.3 测定指标及方法

1.3.1 小麦 SPAD

利用 SPAD-502(日本美能达公司)叶绿素仪测定小麦扬花—灌浆期旗叶 SPAD 值,每个处理随机测定 5 片小麦旗叶 SPAD 值。

1.3.2 小麦光合特性

利用 Li-6400XT(美国 Li-Cor 公司)便携式光合仪测定小麦扬花—灌浆期旗叶净光合速率和蒸腾速率每个处理随机测定 3 片小麦净光合速率和蒸腾速率。

1.3.3 小麦考种及产量测定

于收获期,随机选 5 株小麦,对其进行考种,测定其株高、穗长、不孕小穗数、小穗数、穗粒数、千粒质量。每小区收取 3 行,用小型谷物脱粒机进行脱粒,风干后称其籽粒重量并计算其产量。

1.3.4 水分利用效率

水分利用效率采用如下公式计算:
$$WUE = Y/ET \quad (1)$$
式中:WUE 为水分利用效率,kg/(hm²·mm);Y 为小

麦籽粒产量,kg/hm²;ET 为冬小麦生育期内耗水量,mm。

农田耗水量(Field water consumption,)的计算采用水分平衡法^[15],耗水量的计算公式为

$$ET = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (\theta_{i1} - \theta_{i2}) + M + P_0 + K \quad (2)$$

式中:ET 为整个生育期作物的耗水量,mm;i 为土层编号;n 为总土层数; γ_i 为第 i 层土壤干密度,g/cm³;H_i 为第 i 层土壤厚度,cm; θ_{i1} 和 θ_{i2} 分别为第 i 层土壤播种前和收获后土壤含水量;M 为灌水量,mm;P₀ 为生育期内降水量,mm,冬小麦生育期间的降雨资料有当地气象部门提供;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,本试验的地下水埋深在 5 m 以下,故地下水补给量可视为 0。

采用土钻取 0~100 cm 土层土样,每 20 cm 为一层,立即装入铝盒中,烘干法测定土壤含水率,同时采用环刀法测定土壤密度。2018 年—2019 年度冬小麦生育期内降雨量见表 2。

表 2 2018 年—2019 年度冬小麦生育期内降雨量

月份	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
降雨量/mm	1.2	21.1	21.0	20.2	12.3	0.3	49.7	1.6	81.2

注:降雨量数据来源于通许县农业科学研究所。

1.4 数据处理

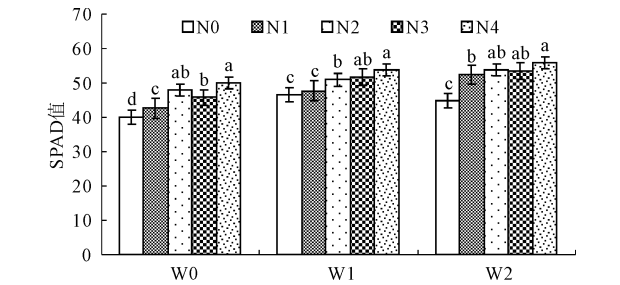
试验数据利用 WPS Office 2019 和 IBM SPSS Statistics 19 软件进行数据处理及差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 分期施肥补灌对小麦 SPAD 值的影响

由图 1 可知,三种灌水水平条件下,各施肥处理的小麦 SPAD 显著高于不施肥处理,且随施氮量增加而增加,N4 处理最高,各处理小麦 SPAD 较对照 N0 处理分别提高 6.94%~25.59%、2.21%~15.14%和 16.86%~24.67%;同时,增施有机肥处理(N3 和 N4)的 SPAD 值均高于不施有机肥处理(N1 和 N2)。不灌水条件下,N4 处理小麦 SPAD 值为 50.07,N2、N3、N4 小麦 SPAD 值显著高于 N0、N1 处理;补灌一次条件下,N4 处理小麦 SPAD 值最高,为 53.73,N2、N3、N4 处理小麦 SPAD 显著高于 N0 和 N1 处理,N4 处理显著高于 N2 处理;补灌两次条件下,N4 处理小麦 SPAD 值为 55.93,且显著高于 N0 和 N1 处理处理。同肥条件下,补灌一次和补灌二次的小麦 SPAD 均高于不灌水相应处理小麦

SPAD 值,分别提高 7.32%~17.06%和 11.72%~22.99%,与补灌一次相比,补灌二次的 N0 处理的小麦 SPAD 值较相应处理降低了 3.86%,其他处理则分别提高了 9.92%、5.90%、3.28%和 4.09%。



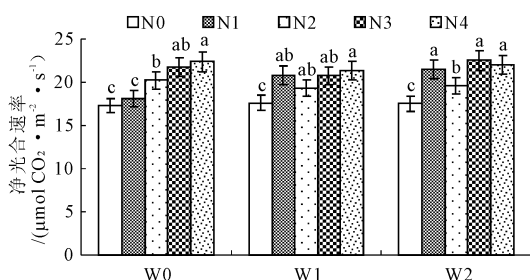
注:图中不同小写字母表示同一灌水水平下不同处理间的差异显著水平(P<0.05)

图 1 不同处理下小麦 SPAD 值

2.2 分期施肥补灌对小麦光合特性的影响

由图 2 可知,三种灌水水平条件下,各施肥处理的小麦净光合速率高于或显著高于不施肥(N0)处理,且增施有机肥处理(N3 和 N4)小麦的净光合速率均高于不施有机肥处理(N1 和 N2)。不灌水条件

下, N4 处理小麦净光合速率最高, 为 $22.37 \mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 显著高于 N1 处理; 补灌一次条件下, N4 处理小麦净光合速率最高, 为 $21.37 \mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 补灌二次条件下, N3 处理小麦净光合速率最高, 为 $22.50 \mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 显著高于 N2 处理。补灌一次条件下 N0 和 N1 处理的小麦净光合速率较不灌溉相应处理分别增加 1.80% 和 15.17%, 其他处理较不灌溉相应处理则是有所减少; 补灌二次条件下 N2 和 N4 处理的小麦净光合速率较不灌溉相应处理分别减少 3.21% 和 1.62%, 其他处理增加; 补灌二次条件下 N0 处理的小麦净光合速率较补灌一次条件下相应处理降低 0.45%, 其他处理增加。



注: 图中不同小写字母表示同一灌水水平下不同处理间的差异显著水平 ($P < 0.05$)

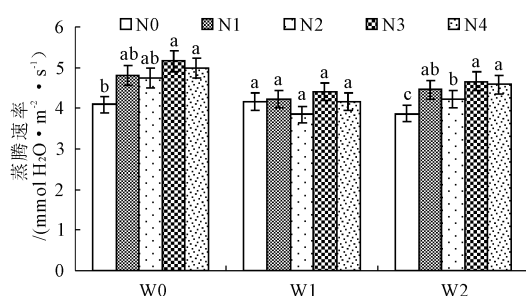
图 2 不同处理下小麦净光合速率

由图 3 可知, 不灌水条件下, N3 处理小麦蒸腾速率最高, 为 $5.16 \text{ mmol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 显著高于 N0 处理; 补灌一次条件下, N3 处理小麦蒸腾速率最高, 为 $4.40 \text{ mmol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 各处理间差异不显著; 补灌二次条件下, N3 处理小麦蒸腾速率最高, 为 $4.66 \text{ mmol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 显著高于 N0、N1、N2 处理。补灌一次条件下 N0 处理的蒸腾速率较不灌溉条件下相应处理增加 1.89%, 其他处理较不灌溉相应处理则是有所降低; 补灌二次条件下各处理小麦蒸腾速率较不灌溉相应处理减少 5.53% ~ 10.91%; 补灌二次条件下 N0 处理的小麦蒸腾速率较补灌二次条件下相应处理减少 7.29%, 其他处理较补灌一次相应处理则是有所增加。

2.3 分期施肥补灌对小麦群体动态的影响

对不同生育期小麦群体数动态的调查表明 (见图 4), 各处理小麦全生育期的群体数变化均呈现先上升后降低的趋势, 在拔节期达到最大。三种灌水条件下, 小麦群体数均以 N0 处理最低, 且不灌水处理小麦群体数低于灌溉处理, 不灌水不施肥不利于提高小麦群体数。除苗期 W0N0 与 W0N4 处理、返

青期 W2N0 与 W2N4 及收获期 W1N0 与 W1N3 处理间差异不显著外, 其他同灌水水平下各处理苗期和越冬期、返青期、拔节期、抽穗期、收获期的小麦群体数均显著高于 N0 处理, 整体上, 以拔节期提高幅度最大。与不灌水相应处理相比, 补灌一次各处理在苗期和越冬期、返青期、拔节期、抽穗期、收获期的小麦群体数分别提高 1.61% ~ 19.05%、8.09% ~ 32.80%、3.64% ~ 33.33%、13.38% ~ 21.81%、10.83% ~ 53.47%、1.67% ~ 34.48%, 补灌二次各处理小麦群体数分别提高 4.23% ~ 25.40%、5.13% ~ 44.62%、12.08% ~ 38.22%、16.14% ~ 43.43%、2.78% ~ 34.87%、1.92% ~ 32.76%。补灌二次与补灌一次相应处理小麦群体数相比增减不一。



注: 图中不同小写字母表示同一灌水水平下不同处理间的差异显著水平 ($P < 0.05$)

图 3 不同处理下小麦蒸腾速率

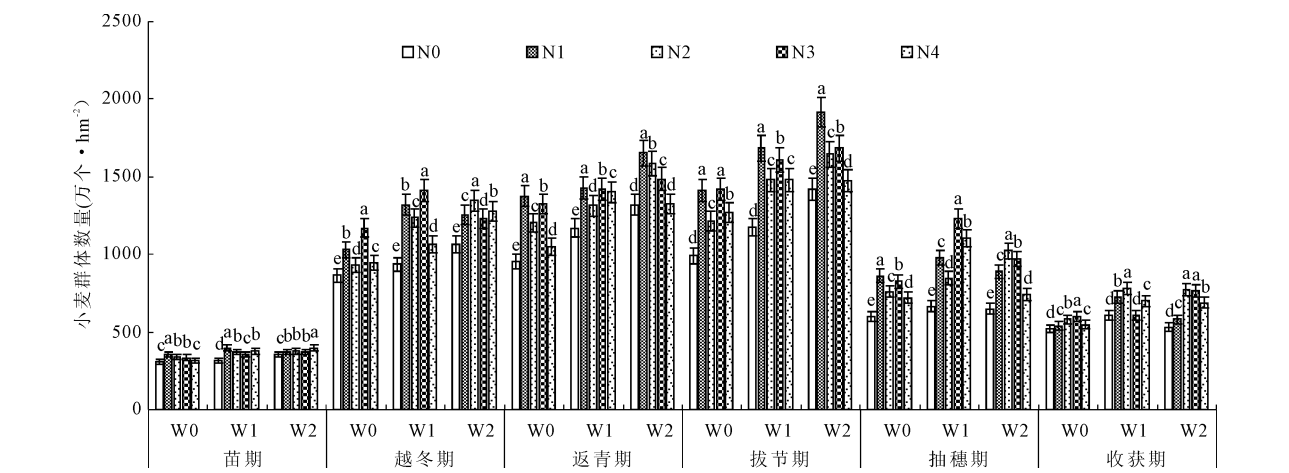
2.4 分期施肥补灌对小麦生物性状及产量的影响

由表 3 可知, 与不灌水处理相比, 补灌一次和补灌二次各处理的穗粒数、株高、穗长和千粒质量均有所提高, 不孕小穗有所降低。三个灌水水平条件下, 各处理不孕小穗较相应对照 N0 处理显著降低, 分别降低了 24.42% ~ 41.86%、32.89% ~ 44.98% 和 22.65% ~ 41.18%, 株高、穗长、小穗数、穗粒数、千粒质量较相应 N0 处理均有所提高或显著提高, 其中不灌水条件下株高和穗粒数增加幅度较大, 分别为 12.08% ~ 18.39% 和 11.91% ~ 15.20%, 补灌一次条件下, 穗粒数和千粒质量增加幅度较大, 分别为 8.03% ~ 18.31% 和 9.09% ~ 13.64%, 补灌二次条件下, 株高和小穗数增加幅度较大, 分别为 5.60% ~ 15.79% 和 9.86% ~ 18.3%。

三种灌水平条件下, N0 处理产量最低, 显著低于其他处理, 且 $W1N0 > W2N0 > W0N0$; 不灌水条件下, N2 处理的产量最高, 达 $10990.53 \text{ kg}/\text{hm}^2$, N3 处理次之, N2、N3 处理产量显著高于 N1、N4 处理; 补灌一次条件下, N4 处理产量最高, 为 11865.53

kg/hm²,N3 处理次之,增施有机肥处理(N3、N4)的产量高于不施有机肥处理(N1、N2),N2、N3 和 N4 处理产量显著高于 N1 处理;补灌二次条件下,N3 处理产量最高,为 11 768.94 kg/hm²,N3 处理产量显著高于 N2 处理,增施有机肥处理(N3、N4)的小麦产量高于不施有机肥处理(N1、N2)。补灌一次和

补灌二次的小麦产量均高于不灌水相应处理的小麦产量,分别提高 4.29% ~ 22.34% 和 1.53% ~ 23.27%,与补灌一次相比,补灌二次的 N0、N2、N4 处理的产量较相应处理分别减少了 0.35%、2.64% 和 2.22%,N1 和 N3 处理则分别增加 14.41% 和 1.30%。



注:图中不同小写字母表示同一灌水水平下不同处理间的差异显著水平(P<0.05)

图 4 不同处理对小麦群体动态的影响

表 3 分期施肥补灌对小麦生长发育和产量的影响

灌水处理	施肥处理	小穗数 /个	不孕小穗 /个	穗粒数 /粒	株高 /cm	穗长 /cm	千粒质量 /g	产量 /(kg·hm ⁻²)
W0	N0	17.63 b	4.30 a	27.20 b	68.78 c	6.96 b	41 c	7318.18 c
	N1	19.00 a	2.64bc	30.44 a	77.09 b	7.14ab	44 b	9757.58 b
	N2	17.64 b	3.00bc	31.27 a	81.27 a	7.60 a	46 a	10990.53 a
	N3	17.79 b	3.25 b	30.86 a	77.93 b	7.48ab	44 b	10606.06 a
	N4	18.42ab	2.50 c	31.33 a	81.43 a	7.48ab	47 a	9698.86 b
W1	N0	17.91 b	3.80 a	29.20 a	76.09 c	7.25 b	44 d	8314.39 c
	N1	19.80 a	2.27 b	31.55 a	78.55bc	7.63 a	49 b	9920.45 b
	N2	19.55ab	2.55 b	31.57 a	83.09 a	7.82ab	49 b	11462.12 a
	N3	19.25ab	2.50 b	34.13 a	81.63ab	8.31ab	48 c	11617.42 a
	N4	18.36ab	2.09 b	34.55 a	82.90 a	7.56ab	50 a	11865.53 a
W2	N0	16.55 c	3.40 a	30.73 b	76.50 d	7.44 c	46 b	8340.91 c
	N1	18.18 b	2.63 b	31.91 b	84.05 b	7.84 b	49 a	11566.29ab
	N2	18.43ab	2.55 b	32.00 b	85.86 b	7.87ab	48 a	11159.09 b
	N3	19.53 a	2.29 b	32.71 b	80.79 c	7.66 a	46 b	11768.94 a
	N4	18.22 b	2.00 b	37.22 a	88.58 a	7.69 b	49 a	11602.27ab

注:同列数据后不同小写字母表示同一灌水水平下不同处理间的差异显著水平(P<0.05)

2.5 分期施肥补灌对小麦水分利用效率的影响

由表 4 可知,三种灌水平条件下,N0 处理水分利用效率显著低于其他处理,且 W1N0 > W0N0 > W2N0;不灌水条件下,N2 处理水分利用效率最高,为 28.30 kg/(hm²·mm),N4 处理次之,且显著高于其他处理;补灌一次条件下,N4 处理水分利用效

率最高,为 27.88 kg/(hm²·mm),N2 处理次之,N2、N3、N4 处理的水分利用效率显著高于 N1 处理;补灌二次条件下,N4 处理水分利用效率最高,为 26.79 kg/(hm²·mm),且显著高于 N1、N2 和 N3 处理。补灌一次的 N1 处理小麦水分利用效率低于不灌水相应处理,较之降低 2.55%,其他处理的水分

利用效率则高于不灌溉行营处理;补灌二次条件下各处理的水分利用效率较不灌水处理降低了 1.71% ~ 18.22%;补灌二次各处理的水分利用效率较补灌一次相应处理均有所降低。

表 4 分期施肥补灌对小麦水分利用效率的影响

灌水处理	施肥处理	耗水量 /mm	水分利用效率 /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)	较相应对照增加 /%	较 W0 处理增减 /%	较 W1 处理增减 /%
W0	N0	405.41 b	18.05 d	—	—	—
	N1	416.47 a	23.43 c	29.80	—	—
	N2	388.29 c	28.30 a	56.80	—	—
	N3	406.42 b	26.10 b	44.57	—	—
	N4	352.13 d	27.54 a	52.59	—	—
W1	N0	436.44 a	19.05 c	—	5.53	—
	N1	405.84 e	24.44 b	28.32	4.33	—
	N2	412.92 d	27.76 a	45.72	-1.92	—
	N3	429.64 b	27.04 a	41.95	3.62	—
	N4	425.54 c	27.88 a	46.38	1.23	—
W2	N0	470.14 d	17.74 c	—	-1.71	-6.87
	N1	502.42 a	23.02 b	29.76	-1.74	-5.82
	N2	482.08 c	23.15 b	30.48	-18.22	-16.61
	N3	489.80 b	24.03 b	35.44	-7.93	-11.14
	N4	433.12 e	26.79 a	50.99	-2.75	-3.93

注:同列数据后不同小写字母表示同一灌水水平下不同处理间的差异显著水平(P<0.05)。

3 讨 论

光合作用是小麦产量形成的关键因素和物质基础,有研究表明,小麦产量 70% 以上是通过植株光合作用产生合成有机物形成的^[16]。田间试验研究发现:三种灌水水平条件下,各施肥处理的小麦 SPAD 和净光合速率高于或显著高于不施肥处理,增施有机肥的小麦 SPAD 和净光合速率均高于相应不施有机肥处理,且小麦的 SPAD 值随施氮量增加而增加,这与前人研究结果一致^[17-18]。小麦穗粒数、株高、穗长和千粒质量在同灌水条件下均以 N0 处理最低,灌水处理高于不灌水相应处理。

由于季节性干旱和降雨时空分布不均衡,豫中地区小麦产量主要依靠补灌水量,生产实践和科学实验结果表明,合理的补灌^[7-8]、分期施肥^[9]、增施有机肥^[12]有利于提高小麦产量和水分利用效率。文中研究结果表明:补灌一次和补灌二次的小麦产量均高于不灌水相应处理,补灌一次的小麦水分利用效率高于不灌水相应处理的小麦水分利用效率,较之提高 3.13% ~ 10.77%,这与王丽^[7]研究结果一致。三种灌水水平下,N0 处理产量显著低于其他处理,且 W1N0 > W2N0 > W0N0;补灌一次和补灌二次的小麦产量均高于不灌水下的相应处理,且以

W1N4 水平产量最高,为 11 865.53 kg/hm²,补灌一次条件下,增施有机肥处理(N3、N4)的小麦产量高于不施有机肥处理(N1、N2)。三种灌水条件下,N0 处理水分利用效率最低,且 W1N0 > W0N0 > W2N0;补灌条件下增施有机肥的小麦水分利用效率高于相应不施有机肥处理。针对不同降雨年型,有人小麦生育期内补灌频次:干旱年灌 3 水、平水年灌 2 水、丰水年灌 1 水^[19-20],与试验结果略有偏差(平水年补灌一次增产增效效果最佳),这可能是由于降雨时空分布不均一起的。

4 结 论

补灌和追施氮肥对小麦 SPAD、光合特性、产量及水分利用效率有着显著影响。三种灌水条件下,各施肥处理的小麦 SPAD 和净光合速率高于或显著高于不施肥处理,增施有机肥效果更佳;灌水处理的小麦穗粒数、株高、穗长和千粒质量高于不灌水相应处理,不孕小穗则与之相反;三种灌水条件下,N0 处理水分利用效率和产量最低,补灌条件下增施有机肥的小麦水分利用效率高于相应不施有机肥处理。

基于节水、增产、增效综合考虑,结合豫中地区小麦种植模式和试验研究结果,平水年小麦拔节期补灌一次、施用纯氮 300 kg/hm² + 有机肥 1 500 kg/hm²(氮肥底追比为底施:拔节肥 = 7:3)处理为

豫中地区最佳推荐模式。

参考文献:

- [1] 郑惠玲,武继承,潘晓莹,等. 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[J]. 河南农业科学,2015,44(6):18-23.
- [2] 黄玲,杨文平,胡喜巧,等. 水氮互作对冬小麦耗水特性和氮素利用的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(2):168-174.
- [3] 胡梦芸,门福圆,张颖君,等. 水氮互作对作物生理特性和氮素利用影响的研究进展[J]. 麦类作物学报,2016,36(3):332-340.
- [4] 孙旭生,刘义国,林琪. 补灌对旱地高产小麦生育后期碳代谢及产量的影响[J]. 中国农学通报,2017,33(18):7-12.
- [5] 满建国,于振文,石玉,等. 不同土层测墒补灌对冬小麦耗水特性与光合速率和产量的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(8):2353-2361.
- [6] 张兴娟,薛绪掌,郭文忠,等. 有限供水下冬小麦全程耗水特征定量研究[J]. 生态学报,2014,34(10):2567-2580.
- [7] 王丽. 补灌时期对不同小麦品种籽粒产量和水分利用效率的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2017.
- [8] 张洪波. 不同补灌时期和拟湿润层深度对小麦产量和水分利用效率的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2015.
- [9] 武继承,杨永辉,郑慧玲,等. 测墒补灌与氮肥运筹对小麦品种水分利用的影响[J]. 华北农学报,2017,32(3):188-195.
- [10] 修明,谷世禄,田中伟,等. 稻秸还田下播种密度与氮肥运筹对小麦产量及氮素利用效率的影响[J]. 麦类作物学报,2016,36(10):1377-1385.
- [11] 金修宽,赵同科. 测墒补灌和施氮对冬小麦产量及氮素吸收分配的影响[J]. 水土保持学报,2017,31(2):233-239.
- [12] 王德贵. 补灌和增施有机肥对全膜覆土春小麦土壤水热和产量的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2017.
- [13] 刘世亮,刘晨旭,刘红恩,等. 畜禽粪便有机肥与氮肥配施对小麦土壤理化性状及酶活性影响[J]. 西北农业学报,2014,23(8):45-51.
- [14] Li Q, Liu M, Zhang J, et al. Biomass accumulation and radiation use efficiency of winter wheat under deficit regimes[J]. Plant Soil and Environment, 2009,55(2):85-91.
- [15] Li Q Q, Chen Y H, Liu M Y, et al. Effect of irrigation to winter wheat on the soil moisture, evapotranspiration, and water use efficiency of summer maize in North China[J]. Transactions of the ASABE, 2007,50(6):2073-2079.
- [16] Saeidi M, Moradi F, Jalali - Honarmand S. The effect of post anthesis source limitation treatments on wheat cultivars under water deficit[J]. Australian Journal of Crop Science,2012,6(7):1179-1187.
- [17] 董志强,张丽华,吕丽华,等. 不同灌溉方式对冬小麦光合速率及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(6):1-7.
- [18] 郭培武,赵俊晔,石玉,等. 水肥一体化对小麦水分利用和光合特性的影响[J]. 应用生态学报,2019,30(4):1170-1178.
- [19] 孙宏勇,张喜英,陈素英,等. 亏缺灌溉对冬小麦生理生态指标的影响及应用[J]. 中国生态农业学报,2011,19(5):1086-1090.
- [20] 宋兆云,赵阳,王东,等. 拔节期补灌对两种土壤质地冬小麦旗叶衰老特性和籽粒产量的影响[J]. 作物学报,2016,42(12):1834-1843.