

滴灌量对北疆春小麦生长发育、产量及水分利用效率的影响

张 钊¹, 黄 超^{2,3}, 樊 宜^{2,3,4}, 郭 翔¹, 顾松华¹,
车红兵¹, 陈海情^{2,3,4}, 刘栩辰^{2,3}, 刘战东^{2,3*}

(1.新疆博州水利灌溉试验站, 新疆 博州 833400; 2.中国农业科学院 农田灌溉研究所, 河南 新乡 453002; 3.中国农业科学院 西部农业研究中心, 新疆 昌吉 831100; 4.塔里木大学 水利与建筑工程学院, 新疆 阿拉尔 843300)

摘 要:【目的】研究不同滴灌量对春小麦生长发育、耗水特性、产量及水分利用效率(WUE)的影响, 为北疆滴灌春小麦节水、增产、增效提供理论依据。【方法】以新春6号春小麦为供试品种, 基于单因素随机区组试验, 设置6个滴灌量处理, 分别为240(W1)、300(W2)、360(W3)、420(W4)、380(W5)、540 mm(W6), 各处理在春小麦出苗后共滴灌8次, 灌水定额分别为30、37.5、45、52.5、60、67.5 mm, 探究不同滴灌量对春小麦生长发育、产量及WUE的影响。【结果】春小麦株高随着滴灌量的增加而增加, 当滴灌量达到W3处理水平时, 株高增加不显著, 而叶面积指数(LAI)和地上部干物质量随滴灌量的增加呈先增加后降低的趋势, W4处理下的LAI最高, 此后LAI和地上部干物质量随着滴灌量增加呈缓慢降低趋势。春小麦耗水量随滴灌量的增加而显著增加, W6处理下的耗水量最高, 为598.1 mm。春小麦有效穗数、穗粒数、千粒质量、产量及WUE随滴灌量的增加呈先增加后降低的趋势, W4处理下的产量和WUE最高, 分别为7 233.2 kg/hm²和15.23 kg/(hm² mm)。春小麦产量和WUE达到最大时的耗水量分别为520.8 mm和462.7 mm。【结论】采用420 mm滴灌量可以实现北疆滴灌春小麦产量和WUE的最大化, 该研究可为北疆春小麦节水高产栽培提供理论依据。

关 键 词: 春小麦; 滴灌量; 耗水特性; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S275.6

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2023453

张钊, 黄超, 樊宜, 等. 滴灌量对北疆春小麦生长发育、产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2024, 43(4): 22-27.
ZHANG Zhao, HUANG Chao, FAN Yi, et al. Effect of drip irrigation amount on growth, yield and water use efficiency of spring wheat in northern Xinjiang[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2024, 43(4): 22-27.

0 引 言

【研究意义】小麦是新疆第二大作物, 种植面积约为118×10⁴ hm², 产量约为629.7×10⁴ t, 其中春小麦种植面积约为46×10⁴ hm², 产量为247.2×10⁴ t^[1]。滴灌是一种可准确、及时施用水肥的高效节水灌溉技术^[2], 可提高作物产量, 减少耗水量, 降低耕作成本, 减少肥料用量^[3]。灌溉定额、灌水定额和滴头流量作为田间灌水技术和灌水器的基本参数, 对于调控土壤水盐、作物生长和制定灌溉制度有重要作用^[4]。在降水量稀少的新疆干旱区, 采用适宜的灌水技术是保证作物产量的关键措施。滴灌技术已在小麦生产中逐步

推广, 但因缺乏适宜的灌溉制度, 其节水增产效果还未充分发挥。北疆地区滴灌方式下春小麦节水高产的适宜滴灌量研究较少。因此, 确定北疆地区春小麦的适宜滴灌量, 对北疆地区春小麦节水高产和实施最严格的水资源管理制度与改善农田生态环境具有重要意义。【研究进展】已有学者研究了滴灌条件下的灌水次数^[5]、灌水量^[6-14]、水氮耦合^[15-17]、减量施氮^[18]对春小麦生长发育、光合特性、耗水量、干物质量及产量的影响。增加灌水次数或灌溉定额可以促进春小麦生长发育, 促进株高、叶面积指数、地上部生物量和产量的增加, 耗水量也显著增加^[6-8]; 然而, 过量灌溉下, 叶面积指数、地上部生物量、产量及水分利用效率均下降^[7,10-11,13]。

【切入点】基于各地的气象、土壤及水资源状况探索当地适宜灌水方式下的灌水定额或滴灌量仍是当前研究的热点。目前, 北疆地区关于滴灌量对春小麦生长发育、耗水规律及水分利用效率的影响研究相

收稿日期: 2023-09-12 修回日期: 2024-01-02

基金项目: 国家科技基础资源调查专项(2022FY101600); 中国农业科学院科技创新工程(ASTIP)

作者简介: 张钊(1978-), 男, 高级工程师, 主要从事农田水利技术研发与示范推广。E-mail: 37677016@qq.com

通信作者: 刘战东(1981-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事作物生理与水分高效利用研究。E-mail: liuzhandong@caas.cn

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

对较少,适用于该地区春小麦节水高产的适宜滴灌量仍不明确。【拟解决的关键问题】鉴于此,本研究以新春6号为供试春小麦品种,通过设置不同滴灌量处理,研究不同滴灌量对春小麦生长发育、地上部干物质积累量、耗水规律、产量构成及水分利用效率的影响,旨在确定北疆春小麦节水高产的适宜滴灌量,为当地春小麦滴灌技术的进一步推广应用以及水资源的高效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2016年4—7月在新疆博州水利灌溉试验站进行。该区域所处区域属于大陆性干旱气候,降水量少,蒸发量大,夏季炎热,空气干燥,春夏季多大风,冬季长且寒冷,日照充足,热量丰富,昼夜温差大,无霜期长。年平均降水量为114.95 mm,年平均气温为8.65℃,年平均日照时间为2 530.6 h,年平均无霜期为175 d。土壤为中壤土,土壤体积质量为1.37 g/cm³,田间持水率为29%。水解性氮量介于56~72 mg/kg,有效磷量介于16.3~20.8 mg/kg,速效钾量介于348~365 mg/kg, pH值介于7.76~8.1。地下水埋深为60 m,井水矿化度为0.68 g/L。

1.2 试验材料

供试春小麦品种为新春6号,采用滴灌系统供水,铺设单翼迷宫式滴灌带,滴头间距为30 cm,压力0.1 MPa时滴头设计流量为3.2 L/h,滴灌带间距为60 cm,采用1条滴灌带灌4行春小麦的种植模式,春小麦行距为15 cm。灌溉水源为井水,采用水泵供水、水表计量,采用施肥罐进行施肥。

1.3 试验设计与田间管理

试验采用单因素随机区组设计,设置6个滴灌量处理,分别为240(W1)、300(W2)、360(W3)、420(W4)、380(W5)、540 mm(W6),采用干播湿出的滴水出苗栽培方式,春小麦播种后立即灌出苗水,每个处理灌水45 mm,出苗后各处理按试验设计的滴灌量进行灌溉,春小麦出苗后各处理共滴灌8次(分蘖期1次、拔节期2次、孕穗期1次、抽穗扬花期1次、灌浆期2次、乳熟期1次),灌水定额分别为30、37.5、45、52.5、60、67.5 mm,每个处理重复3次,共计18个小区。每个小区长15 m,宽3.6 m,面积54 m²。春小麦于4月15日播种,播种方式为机械条播,行距15 cm,播种量375 kg/hm²,7月25日收获。各处理除滴灌量不同外,灌水时间、灌水次数、施肥量和施肥次数均相同。各处理整地时均基施纯磷120 kg/hm²、纯钾150 kg/hm²作为底肥,分别在春小麦分蘖期、拔节期、孕穗期、抽穗期、灌浆期随水追施尿

素(含氮量46%)100、120、120、90 kg/hm²。各处理其他田间管理措施(除草、病虫害防治)按当地推荐的高产栽培措施进行。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 土壤含水率

在每个小区中心位置埋设3个土壤含水率测定导管,采用PR2/6土壤剖面水分仪(英国Delta-T公司生产)测定土壤含水率,测定位置为滴灌带滴头正下方、滴头间的1/2处以及滴灌带间的1/2处,测定深度为0~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~100 cm,每7 d测定1次,在灌水前、后及降水后加测1次。每个处理的土壤含水率为3个测点的平均值。

1.4.2 株高

从苗期开始,每个生育期从每个小区中随机选取代表性的10株春小麦测量株高,抽穗前用米尺测量土面至最高叶尖的高度,抽穗后测量土面至穗顶的高度(不连芒)。

1.4.3 叶面积

从苗期开始,每个生育期从不同小区中选取10株能够代表此小区整体长势的春小麦,采用叶片长宽系数法(系数取值为0.75)进行测定。

1.4.4 地上部干物质积累量

分别在苗期、分蘖期、拔节期、孕穗期、抽穗期、开花期、灌浆期、成熟期取样测定地上部干物质积累量,每个处理选取15株代表性的春小麦植株,从茎基部用剪刀去掉根系,将地上部分植株装入纸袋,置于105℃烘箱内杀青30 min,并于80℃条件下烘干至恒质量。

1.4.5 作物耗水量的计算

作物耗水量基于水量平衡法^[19]计算,计算式为:

$$ET_{1-2} = 10 \sum_{i=1}^m \gamma_i H_i (\theta_{i1} - \theta_{i2}) + I + P + K - C, \quad (1)$$

式中: ET_{1-2} 为阶段蒸散量(mm); i 为土壤层次号数; m 为土壤层次数; γ_i 为第 i 层土壤体积质量(g/cm³); H_i 为第 i 层土壤厚度(cm); θ_{i1} 为时段初第 i 层土壤含水率; θ_{i2} 为时段末第 i 层土壤含水率; I 为时段内灌水量(mm); P 为时段内降水量(mm); K 为时段内地下水补给量(mm),因试验区地下水位为60 m,无地下水补给,故 $K=0$; C 为时段内深层渗漏量(mm),本研究采用水表控制灌水量,单次灌水量较低,可认为无深层渗漏损失。

1.4.6 春小麦产量及构成因素

成熟期在每个小区随机选择代表性的15株春小麦进行室内考种,考察不同处理植株株高、穗长、小穗数、无效小穗数、穗粒数,最后从烘干的样品中取样测定千粒质量。在每个小区内选取1 m²面积的春

小麦植株, 进行人工收割脱粒, 晒干后称质量, 计算籽粒产量, 各处理重复 3 次。

1.4.7 水分利用效率

$$WUE=Y/ET, \quad (2)$$

式中: WUE 为水分利用效率 ($\text{kg}/(\text{hm}^2 \text{ mm})$); Y 为产量 (kg/hm^2); ET 为耗水量 (mm)。

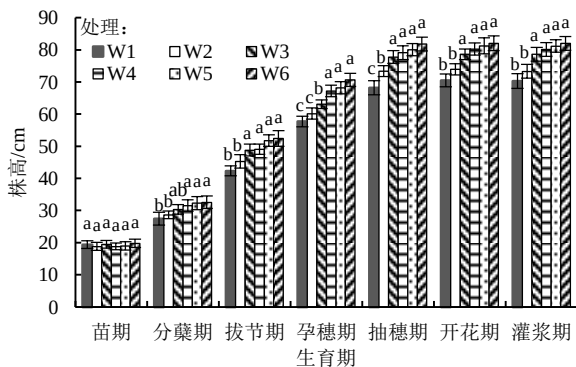
1.5 统计分析

使用 DPS 7.05 进行方差分析 (ANOVA), 在 5.0% 概率水平上, 采用 Duncan 多重检验比较处理间的平均差异, 并进行显著性差异检验 (LSD 法); 利用 Microsoft Excel 2007 绘图。

2 结果与分析

2.1 滴灌量对春小麦株高和叶面积指数的影响

由图 1 可知, 滴灌量对春小麦株高具有显著影响, 苗期土壤水分差异不大, 且气温较低, 植株生长缓慢, 因此不同处理间的株高差异不显著 ($P>0.05$); 随着植株的发育, 土壤水分因灌水量的不同差异逐渐加大, 不同处理间的株高差异逐渐变大。春小麦株高随着滴灌量的增加呈升高趋势, 当滴灌量达到 W3 处理水平后, 增加滴灌量株高增加不显著 ($P>0.05$), W3 处理下的株高显著高于 W1 处理和 W2 处理 ($P<0.05$); 在灌浆期, W3 处理株高分别比 W1、W2 处理高 11.8% 和 7.2%, 但分别比 W4、W5、W6 处理低 1.9%、3.2% 和 4.1%。



注 不同处理的小写字母表示差异达到 0.05 显著性水平, 下同。

图 1 不同处理下春小麦的株高变化

Fig.1 Plant height change of spring wheat under different irrigation amounts

滴灌量对春小麦的叶面积指数 (LAI) 也有显著影响 (图 2), 除苗期各处理间的差异不显著外, 从分蘖期开始, 不同滴灌量对 LAI 产生显著影响, LAI 随着滴灌量的增加呈先增加后降低的趋势, W4 处理的 LAI 最高, 此后再增加滴灌量 LAI 呈下降趋势; 从分蘖期到开花期, W4 处理的 LAI 显著高于 W1、W2、W3 处理 ($P<0.05$), 但与 W5、W6 处理差异不显著 ($P>0.05$); 在灌浆期, W4 处理与 W3 处理间的 LAI

差异不显著, 均显著高于 W1、W2、W5、W6 处理, W4 处理的 LAI 分别比 W1、W2、W3、W5、W6 处理高 34.5%、19.0%、4.7%、7.9%、9.3%。

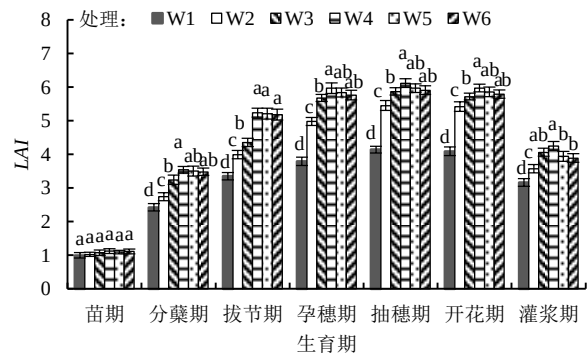


图 2 不同处理下春小麦的 LAI 变化

Fig.2 Leaf area index change of spring wheat under different irrigation amounts

2.2 滴灌量对地上部干物质积累量的影响

由图 3 可知, 春小麦地上部干物质积累量随生育进程的推进逐渐增加, 苗期至分蘖期增加缓慢, 不同处理间的差异不显著 ($P>0.05$), 分蘖后随着气温的升高植株快速生长, 地上部干物质积累量快速增加, 不同处理间的差异逐渐增大; 地上部干物质积累量随滴灌量的增加呈先增加后降低的趋势, W4 处理干物质积累量最大, W3 处理次之, W1 处理最小; 在成熟期, W4 处理的地上部干物质积累量分别比 W1、W2、W3、W5、W6 处理高 17.8%、11.7%、2.9%、5.7% 和 8.0%。

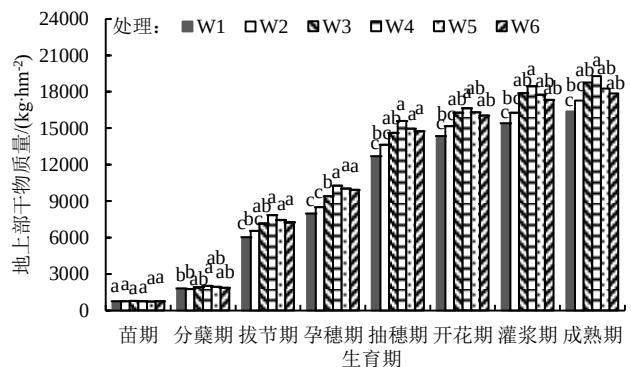


图 3 不同处理对春小麦地上部干物质质量的影响

Fig.3 Effect of different irrigation amounts on above-ground biomass accumulation of spring wheat

2.3 滴灌量对耗水规律的影响

由表 1 可知, 不同处理下, 春小麦生育阶段耗水量、日耗水量及耗水模数在春小麦生育期内的变化规律相似, 日耗水量遵循先升高后降低的趋势, 随着春小麦的生长发育, 日耗水量逐渐增大, 在抽穗—乳熟期达到最大值 ($5.43\sim 8.17 \text{ mm/d}$), 此后随着植株的衰老及 LAI 的下降, 日耗水量逐渐降低; 全生育期耗水量、生育阶段耗水量以及日耗水量随着滴灌量的增加

呈显著增加趋势，W6 处理显著高于其他处理（ $P<0.05$ ），其全生育期耗水量和日耗水量分别为 595.8 mm 和 5.90 mm/d。不同处理的耗水模数均在抽穗—乳熟期达到最高（32.46%~35.19%），拔节—抽穗期次之（26.25%~28.22%），播种—拔节期最低（16.03%~19.57%）。

表 1 不同处理下春小麦各生育阶段耗水量及耗水模数

Tab.1 Water consumption and its modulus of spring wheat at different growth stages under different irrigation amounts						
处理	指标	播种—拔节期	拔节—抽穗期	抽穗—乳熟期	乳熟—成熟期	全生育期
W1	耗水量/mm	64.5d	97.2c	130.3e	78.3d	370.3d
	日耗水量/(mm d ⁻¹)	2.02d	3.74c	5.43e	4.12d	3.67d
	耗水模数/%	17.42b	26.25a	35.19 a	21.15 ab	100
W2	耗水量/mm	77.9c	105.3c	135.3de	79.6d	398.1d
	日耗水量/(mm d ⁻¹)	2.43c	4.05c	5.64de	4.19d	3.94d
	耗水模数/%	19.57a	26.45a	33.99a	19.99b	100
W3	耗水量/mm	80.3bc	121.3b	147.1cd	104.5c	453.2c
	日耗水量/(mm d ⁻¹)	2.51 bc	4.67 b	6.13cd	5.50c	4.49c
	耗水模数/%	17.72b	26.77a	32.46a	23.06a	100
W4	耗水量/mm	84.92b	128.06b	155.52c	106.3c	474.8c
	日耗水量/(mm d ⁻¹)	2.65b	4.49b	6.48c	5.59c	4.70c
	耗水模数/%	17.89b	26.97a	32.75a	22.39a	100
W5	耗水量/mm	89.95ab	155.59a	179.66b	126.2b	551.4b
	日耗水量/(mm d ⁻¹)	2.81ab	5.98a	7.49b	6.64b	5.46b
	耗水模数/%	16.31c	28.22a	32.58a	22.89a	100
W6	耗水量/mm	95.49a	163.71a	196.19a	140.41a	595.8a
	日耗水量/(mm d ⁻¹)	2.98a	6.30a	8.17a	7.39a	5.90a
	耗水模数/%	16.03c	27.48a	32.93a	23.57a	100

2.4 滴灌量对产量和水分利用效率的影响

不同滴灌量对春小麦产量构成因素、耗水量及水分利用效率（WUE）均有显著影响（表 2）。随着滴灌量的增加，有效穗数、穗粒数、千粒质量、产量及 WUE 呈先增后降的趋势，W4 处理下的各项指标最高，W1 处理下的各项指标最低。W4 处理有效穗数显著大于 W1、W2 处理（ $P<0.05$ ），但与 W3、W5、W6 处理相比无显著差异（ $P>0.05$ ）；W4 处理的穗粒数显著高于 W1、W2、W5、W6 处理，但与 W3 处理间差

异不显著；W4、W5、W6 处理的千粒质量差异不显著，其显著高于 W1、W2、W3 处理；W4 处理的产量最高，为 7 233.2 kg/hm²，显著高于其他处理，不同处理间产量具有显著差异，表明滴灌量对产量具有显著影响；当滴灌量超过 420 mm 时，春小麦产量不再增加，反而呈显著降低趋势。春小麦耗水量随着滴灌量的增加显著增加。W4 处理的 WUE 最高，为 15.23 kg/（hm² mm），W1 处理最低，可见灌水量过少和过多均会显著降低春小麦水分利用效率。

表 2 不同处理对春小麦产量构成及水分利用效率的影响

Tab.2 Effects of different irrigation amounts on yield component and water use efficiency of spring wheat						
处理	有效穗数/(10 ⁴ hm ⁻²)	穗粒数/粒	千粒质量/g	产量/(kg hm ⁻²)	耗水量/mm	水分利用效率/(kg hm ⁻² mm ⁻¹)
W1	565.5c	25.9c	30.51c	3 682.4f	370.3d	9.94d
W2	586.5bc	27.6c	33.43b	4 690.1e	398.1d	11.78 c
W3	612.0ab	33.4a	34.90b	6 139.5d	453.2c	13.55b
W4	619.5a	33.9a	38.62a	7 233.2a	474.8c	15.23a
W5	607.5ab	31.3b	38.41a	6 659.6b	551.4b	12.08c
W6	597.0ab	30.2b	37.50a	5 981.3c	595.8a	10.04d

产量和 WUE 与耗水量间的拟合关系见图 4，其关系为二次抛物线，产量（Y）与耗水量（ET）的关系为： $Y=-0.133\ 2ET^2+138.73ET-29\ 234$ ， $R^2=0.852\ 1$ 。（3）由式（3）可知，当耗水量为 520.8 mm 时，产量最高，为 6 888.4 kg/hm²，此后随着耗水量的增加，产量呈降低趋势。
WUE 与 ET 的关系为： $WUE=-0.000\ 3ET^2+0.277\ 6ET-50.59$ ， $R^2=0.710\ 8$ 。（4）由式（4）可知，当 ET 为 462.7 mm 时，WUE 最高，为 13.63 kg/（hm² mm），此后随着 ET 的增加，WUE 降低。

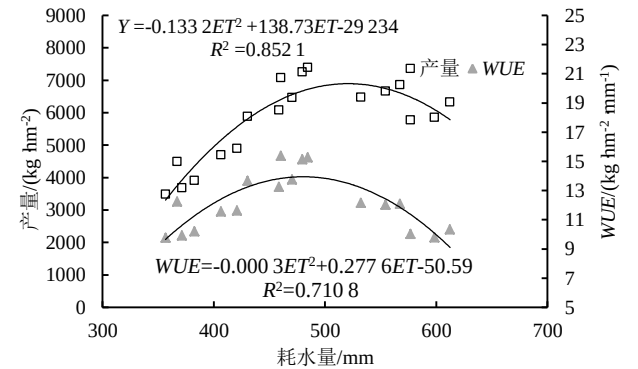


图 4 春小麦产量和水分利用效率与耗水量间的关系
Fig.4 The relationship between yield, water use efficiency and water consumption of spring wheat

3 讨论

土壤水分是影响作物生长发育与产量的关键因素之一。灌水定额和灌水频率是确定灌溉制度的 2 个重要指标^[12]。已有研究^[5,9-10]表明,不同灌水处理间的株高在分蘖期前差异性不明显,分蘖期后滴灌春小麦的株高随着灌水量的增加表现为上升趋势,本研究结果也表明,随着滴灌量的增加,春小麦株高亦呈增加趋势,当滴灌量增加到 360 mm (W3 处理) 时,株高增加缓慢,且增加不显著。不同灌水处理苗期 LAI 差异不显著,而分蘖后滴灌量对 LAI 影响显著, LAI 随着滴灌量的增加呈先增加后降低的趋势, W4 处理最大, W1 处理最小,这与以往研究^[9,11]结果一致。本研究还表明,春小麦地上部干物质积累量随着滴灌量的增加也呈先增加后降低的趋势, W4 处理最大,此后再增加滴灌量,地上部干物质积累量呈下降趋势,与以往研究结果相似^[9,11]。高滴灌量造成 LAI 和地上部干物质积累量降低的原因可能是植株群体生长过旺、叶片披散荫蔽,造成底部叶片死亡及部分植株倒伏。

作物耗水量与灌水量以及生育期降水量密切相关。杨开静等^[6]研究表明,春小麦灌水定额在 30~50 mm 的范围内,春小麦各生育期耗水强度、全生育期总耗水量和耗水强度均随灌水量的增加而增加。本研究也显示,滴灌条件下的春小麦全生育期耗水量、生育阶段耗水量以及日耗水量均随滴灌量的增加而增加, W6 处理最高,其总耗水量和日耗水量分别为 595.8 mm 和 5.90 mm/d。随着滴灌量的增加,春小麦有效穗数、穗粒数、千粒质量、产量及 WUE 呈先增加后降低的趋势, W4 处理的最高,此后再增加滴灌量,各项指标呈降低趋势,与以往研究^[9-10]结论一致。滴灌量过大导致作物减产可能是由于植株群体生长过旺,产量构成因素不协调,土壤湿度过大,部分植株倒伏所致。春小麦产量及 WUE 与耗水量呈二次抛物线关系,当春小麦耗水量分别为 520.8 mm 和 462.7 mm 时,产量和 WUE 达到最大,分别为 6 888.4 kg/hm² 和 13.63 kg/(hm² mm)。可见,过量灌溉不利于春小麦的生长发育以及产量形成,降低产量和 WUE。在降水较少的北疆滴灌春麦区,采用滴灌量 420 mm 的灌溉制度(即灌水定额 52.5 mm,出苗后灌 8 次水)可达到节水、增产、增效的目的。

4 结论

1) 滴灌春小麦株高随滴灌量的增加而增加,而叶面积指数、地上部干物质积累量、有效穗数、穗粒数、千粒质量、产量及 WUE 随滴灌量呈先增加后降

低的趋势,当滴灌量达到 420 mm 时最高。

2) 在降水较少的北疆滴灌春麦区,采用滴灌量 420 mm 的灌溉制度(即灌水定额 52.5 mm,出苗后灌 8 次水)可达到节水、增产、增效的目的。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献:

- [1] 王冀川, 杨正华. 新疆小麦栽培研究与技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2015.
- [2] 范军亮, 张富仓, 吴立峰, 等. 滴灌压差施肥系统灌水与施肥均匀性综合评价[J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 96-101.
FAN Junliang, ZHANG Fucang, WU Lifeng, et al. Field evaluation of fertigation uniformity in drip irrigation system with pressure differential tank[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(12): 96-101.
- [3] LEKAKIS E H, GEORGIU P E, PAVLATOU-VE A, et al. Effects of fixed partial root-zone drying irrigation and soil texture on water and solute dynamics in calcareous soils and corn yield[J]. Agricultural Water Management, 2011, 101(1): 71-80.
- [4] 张迎春, 张富仓, 范军亮, 等. 滴灌技术参数对南疆棉花生长和土壤水盐的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(24): 107-117.
ZHANG Yingchun, ZHANG Fucang, FAN Junliang, et al. Effects of drip irrigation technical parameters on cotton growth, soil moisture and salinity in Southern Xinjiang[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(24): 107-117.
- [5] 李宁, 王振华. 北疆不同灌水次数对滴灌春小麦生长及产量的影响[J]. 节水灌溉, 2013(7): 13-15.
LI Ning, WANG Zhenhua. Influence of different irrigation frequency on growth and yield of spring wheat under drip irrigation in northern Xinjiang[J]. Water Saving Irrigation, 2013(7): 13-15.
- [6] 杨开静, 王凤新, 马丹, 等. 滴灌灌水定额对西北旱区春小麦耗水和产量的影响研究[J]. 节水灌溉, 2013(12): 12-15, 19.
YANG Kaijing, WANG Fengxin, MA Dan, et al. Effect of different drip irrigation quotas on water consumption and yield of spring wheat in arid region of Northwest China[J]. Water Saving Irrigation, 2013(12): 12-15, 19.
- [7] 冯波, 王新武, 苏豫梅, 等. 不同滴灌处理对春小麦土壤耗水量、生长及产量的影响[J]. 新疆农垦科技, 2012, 35(7): 49-51.
- [8] 陈凯丽, 赵经华, 黄红建, 等. 不同滴灌灌水定额对小麦的耗水特性和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(3): 65-68, 84.
CHEN Kaili, ZHAO Jinghua, HUANG Hongjian, et al. Effect of different irrigation quota on water consumption characteristics and yield of wheat[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(3): 65-68, 84.
- [9] 吴海旭, 闫博文, 薛丽华, 等. 不同滴水量对冬播春小麦生长发育及水分利用效率的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(1): 71-77.
- [10] 陈凯丽, 赵经华, 马亮, 等. 不同灌水定额对北疆小麦生长和产量的影响[J]. 节水灌溉, 2016(5): 19-22.
CHEN Kaili, ZHAO Jinghua, MA Liang, et al. Effects of different irrigation quota of drip irrigation in the northern Xinjiang region of the growth and yield of wheat[J]. Water Saving Irrigation, 2016(5): 19-22.
- [11] 王振华, 郑旭荣, 姜国军. 不同灌水量对滴灌春小麦生长与生理指标的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(3): 538-548.
WANG Zhenhua, ZHENG Xurong, JIANG Guojun. Effects of irrigation amount on the growth and physiological indexes of drip irrigated spring wheat[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(3): 538-548.
- [12] 蒋桂英, 魏建军, 刘萍, 等. 滴灌春小麦生长发育与水分利用效率的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(6): 50-54, 73.
JIANG Guiying, WEI Jianjun, LIU Ping, et al. Spring wheat growth and

- water use efficiency under drip irrigation[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2012, 30(6): 50-54, 73.
- [13] 刘冲, 贾永红, 张金汕, 等. 播种方式和灌水量对春小麦干物质和产量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2019, 39(6): 728-737.
LIU Chong, JIA Yonghong, ZHANG Jinshan, et al. Effects of sowing patterns and irrigation amount on dry matter and yield of spring wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2019, 39(6): 728-737.
- [14] 赵妍, 王凤新, 周奇, 等. 滴灌带间距和灌水定额对春小麦产量和水分利用效率的影响[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(14): 194-199.
ZHAO Yan, WANG Fengxin, ZHOU Qi, et al. Effect of drip tape distance and irrigation amount on spring wheat yield and water use efficiency[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(14): 194-199.
- [15] 胡语妍, 王文亮, 王江丽, 等. 不同水氮处理对滴灌春小麦氮素积累转运及产量的影响[J]. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2018, 36(4): 448-456.
HU Yuyan, WAN Wenliang, WANG Jiangli, et al. Effects of different water and nitrogen application rates on the accumulation and translocation of nitrogen and yield of spring wheat under drip irrigation[J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2018, 36(4): 448-456.
- [16] 刘其, 刁明, 王江丽, 等. 施氮对滴灌春小麦干物质、氮素积累和产量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2013, 33(4): 722-726.
LIU Qi, DIAO Ming, WANG Jiangli, et al. Effect of nitrogen application on accumulation of dry matter and nitrogen, yield of spring wheat under drip irrigation[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(4): 722-726.
- [17] 李彦君, 庄丽, 徐红军, 等. 水氮耦合对北疆地区春小麦光合特性及产量的影响[J]. *新疆农业科学*, 2013, 50(2): 204-213.
LI Yanjun, ZHUANG Li, XU Hongjun, et al. Effects of water-nitrogen coupling on photosynthetic characteristics and yield of spring wheat in northern Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2013, 50(2): 204-213.
- [18] 罗静静, 王贺亚. 减量施氮及氮肥运筹对春小麦群体结构和产量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2022, 50(23): 62-67.
LUO Jingjing, WANG Heya. Effects of reduced nitrogen application and nitrogen management on population structure and yield of spring wheat[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(23): 62-67.
- [19] 刘俊明, 高阳, 司转运, 等. 栽培方式对冬小麦耗水量、产量及水分利用效率的影响[J]. *水土保持学报*, 2020, 34(1): 210-216.
LIU Junming, GAO Yang, SI Zhuanyun, et al. Effects of cultivation methods on water consumption yield and water use efficiency of winter wheat[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2020, 34(1): 210-216.

Effect of drip irrigation amount on growth, yield and water use efficiency of spring wheat in northern Xinjiang

ZHANG Zhao¹, HUANG Chao^{2,3}, FAN Yi^{2,3,4}, GUO Xiang¹, GU Songhua¹,
CHE Hongbing¹, CHEN Haiqing^{2,3,4}, LIU Xuchen^{2,3}, LIU Zhandong^{2,3*}

(1. Xinjiang Bozhou Irrigation Experimental Station, Bozhou 833400, China; 2. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453002, China; 3. Western Agricultural Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changji 831100, China; 4. College of Water Resource and Architecture Engineering, Tarim University, Alar 843300, China)

Abstract: 【Objective】 Xinjiang in northwestern China is scarce in freshwater and commonly uses drip irrigation in its agricultural production. In this paper we study the effect of irrigation amount on growth, yield and water use efficiency (*WUE*) of spring wheat in the north of Xinjiang. 【Method】 The experiment was conducted in a field with the No. 6 variety used as the model plant. During its growth period, the crop was irrigated six times with irrigation amount in each time being 30, 37.5, 45, 52.5, 60, 67.5 mm, respectively. In each irrigation treatment, we measured the growth, yield and *WUE* of the spring wheat. 【Result】 Plant height increased with irrigation amount until the irrigation amount was 45 mm, after which a further increase in irrigation amount did not have a significant effect on plant height ($P>0.05$). The leaf area index (*LAI*) and the above-ground dry matter accumulation both increased with irrigation amount, but started to decline when irrigation amount exceeded 52.5 mm. The water consumption of the crop increased with irrigation amount, peaking when irrigation amount was 67.5 mm. The effective spike numbers, grain numbers per spike, 1000-grain weight, yield and *WUE* of the crop increased first and then declined as the irrigation amount increased. Among all treatments we compared, irrigating 52.5 mm of water in each of the six irrigations gave the highest yield and *WUE*, reaching 7 233.2 kg/hm² and 15.23 kg/(hm² mm), respectively ($P<0.05$). Regression analysis showed that the water consumption of the crop for achieving the highest yield and *WUE* was 520.8 mm and 462.7 mm, respectively. 【Conclusion】 For the spring wheat drip-irrigated in northern Xinjiang, irrigating six times with the irrigation amount in each time being 52.5 mm can give the maximum yield and *WUE*. It can be used as an optimal irrigation scheduling for spring wheat production in this region.

Key words: spring wheat; drip irrigation amount; water consumption characteristics; yield; water use efficiency

责任编辑: 韩 洋