

不同滴灌量下冬小麦耗水特性及干物质积累分配研究

孙乾坤¹, 章建新¹, 赵连佳¹, 薛丽华², 段丽娜¹

(1. 新疆农业大学农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业科学院粮食作物研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091)

摘要: 在 2013—2014 年、2014—2015 年田间试验研究了 W_1 (2 550、2 325 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), W_2 (3 450、3 000 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), W_3 (4 350、3 675 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), W_4 (5 250、4 350 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 4 种滴水量处理对 0~140 cm 土层含水量及小麦叶面积指数、光合势、干物质积累分配、水分利用效率及产量等的影响。结果表明, 拔节至灌浆期间, 在每次滴水 225~900 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 的范围内, 增加滴水量主要直接增加 0~60 cm 土层含水量, 间接减少 60~140 cm 土层储水消耗量, W_4 土壤储水消耗较 W_1 减少 50% 左右; 增加拔节至成熟期间冬小麦群体叶面积指数、光合势; 增加干物质积累量和花后光合产物对子粒的贡献率, 降低花前营养器官贮藏物向子粒的转移量、转移率 and 其对子粒的贡献率, 增加产量、降低灌溉水利用效率。总滴水量大于 3 675 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (其中, 拔节至灌浆期间的滴水量大于 2 700 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 增产不显著, 并且大幅度降低灌溉水利用效率。降水量对冬小麦产量形成影响很小, 灌水量对小麦产量和水分利用效率起决定性作用; 北疆冬小麦全生育期适宜总滴水量为 3 450~3 675 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (其中, 拔节期、孕穗期、开花期、灌浆期各 450~675 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), 可以获得的产量是 6 737.4~8 604.1 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

关键词: 冬小麦; 滴灌量; 耗水量; 干物质积累; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S275.6 **文献标志码:** A

Water consumption and dry matter accumulation and distribution of winter wheat under different drip irrigation amount

SUN Qian-kun¹, ZHANG Jian-xin¹, ZHAO Lian-jia¹, XUE Li-hua², DUAN Li-na¹

(1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;

2. Grain crops Research Institute of the Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China)

Abstract: To research water consumption characteristics and dry matter accumulation and distribution for high yielding winter wheat in North Xinjiang, four drip irrigation amount treatments, i. e. W_1 (2 550, 2 325 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), W_2 (3 450, 3 000 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), W_3 (4 350, 3 675 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), and W_4 (5 250, 4 350 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), were applied in 2013—2014 and 2014—2015 years. We measured the leaf area index, photosynthetic potential, dry matter accumulation, and moisture contents at 0~140 cm soil layers. The results showed that increase in drip water amount improved moisture contents mainly at the 0~60 cm soil layers, while reduced the storage consumption of 60~140 cm soil layers with a range of 225~900 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ from booting and filling stage. The consumption of W_4 was reduced by about 50% compared with W_1 , from booting and maturity stages. Increase in yield was not significant when total drip water amount being above 3 675 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$. The effect of precipitation was very small on winter wheat yield, but irrigation amount played a decisive role in the yield and WUE of winter wheat. The proposed drip water amount was 3 450~3 675 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ for the whole growth period of winter wheat in North Xinjiang, with a yield level of 6 737.4~8 604.1 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$.

Keywords: winter wheat; drip irrigation amount; water consumption; dry matter accumulation; yield; WUE

新疆作物生产必需依靠灌溉, 灌溉水资源匮乏是限制新疆农作物生产发展的重要因素。冬小麦是新疆种植面积最大的粮食作物。目前, 仍然主要采用漫灌方式, 灌溉水利用效率不高, 节水潜力很大,

收稿日期: 2016-04-01 修回日期: 2016-11-07
基金项目: 国家自然科学基金项目(31101121); 新疆农业大学产学研联合培养研究生示范基地项目(xjaucxy-yjs-20151009)
作者简介: 孙乾坤(1991—), 男, 硕士研究生, 研究方向为滴灌小麦节水栽培。E-mail: 1228217534@qq.com。
通信作者: 薛丽华(1978—), 女, 副研究员, 研究方向为作物高产栽培研究。E-mail: xuelihua521@126.com。

节水高产是新疆小麦生产发展的必然趋势。目前,滴灌技术已在新疆小麦生产上大面积应用,节水、增产效果显著^[1],且应用面积逐步增大。滴灌技术不仅能通过局部湿润的方式将水肥控制在根区内促进作物对水分和养分的吸收利用,还能减少地表径流、棵间蒸发和深层渗漏^[2]。滴灌条件下的水分利用效率显著高于漫灌^[3-4]。Arafa 等^[5]小麦滴灌研究表明,产量比喷灌少 16%~27%,但可节水 43%~76%。谢小清等^[6-7]管栽试验认为增加滴灌量,增加土层湿润深度,促进深层根系生长,并延缓衰老。田间试验认为随着每次滴灌量增加,水分在水平方向的扩散距离增大,避免远离毛管处小麦受旱^[8]。滴灌量特别是春季滴灌量对冬小麦产量和灌溉水利用效率影响很大。有关滴灌量对冬小麦耗水特性和产量及水分利用效率的影响缺乏系统研究^[7,9-10]。本文研究了高产麦田拔节期至成熟期间不同滴灌量对冬小麦耗水特性、干物质积累分配及产量的影响规律,为冬小麦节水高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区基本概况

试验于 2013—2014、2014—2015 年在新疆农业科学院玛纳斯实验站进行,实验站降水资源见表 1。参试品种为新冬 18 号。

2013—2014 年施基肥前取土样测定 0~20 cm

土壤养分,有机质为 2.49%,碱解氮 51.03 mg·kg⁻¹、速效磷为 21.46 mg·kg⁻¹,速效钾为 217.0 mg·kg⁻¹。基施尿素 45 kg·hm⁻²,磷酸二铵 375 kg·hm⁻²,2013 年 9 月 25 日播种,行距 15 cm,两毛管间距 60 cm。在拔节期用环刀分别取(重复 3 次)0~20、20~40、40~60、60~80、80~100、100~120、120~140 cm 土样测定容重,结果分别为 1.6、1.7、1.6、1.6、1.6、1.6、1.6 g·cm⁻³。拔节期、孕穗期分别滴入尿素 225 kg·hm⁻²。6 月 24 日至 29 日成熟。

2014—2015 年施基肥前取土样测定 0~20 cm 土壤有机质含量为 2.27%,碱解氮 53.21 mg·kg⁻¹、速效磷含量 23.23 mg·kg⁻¹,速效钾含量为 231.3 mg·kg⁻¹,0~140 cm 拔节期测土壤容重同 2014 年。基肥和追肥同 2013 年,2014 年 9 月 25 日播种,行距 15 cm,两毛管间距 60 cm。小麦生长期间各月累计降水量见表 1。6 月 21 日至 29 日成熟。

1.2 试验设计

2013—2014 年、2014—2015 年试验全生育期设 W₁(2 550、2 325 m³·hm⁻²), W₂(3 450、3 000 m³·hm⁻²)、W₃(4 350、3 675 m³·hm⁻²)、W₄(5 250、4 350 m³·hm⁻²)4 种滴灌水处理,具体滴水时期和滴水量见表 2。田间按滴水量从多到少的顺序排列,试验小区长 7 m、宽 4.2 m,面积 29.4 m²,重复 3 次,各处理间设 2 m 宽隔离带。

表 1 冬小麦生长期各月的累计降水量/mm

Table 1 Cumulative rainfall for each month during winter wheat growth										
年份 Years	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	合计 Total
2013—2014	11.1	15.2	11.9	8.3	12.6	10.2	43.1	21.9	6.6	140.9
2014—2015	20.8	14.1	9.1	1.5	14.7	4.3	26.2	9.2	27.1	127.0

表 2 各滴水处理的滴水时期和滴水量/(m³·hm⁻²)

Table 2 Timing and amount of dripping treatments								
年份 Years	处理 Treatment	播种期 Sowing	越冬前 Tillering	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	开花期 Flowering	灌浆期 Filling	总灌水量 Total
2013—2014	W ₁	750	900	225	225	225	225	2550
	W ₂	750	900	450	450	450	450	3450
	W ₃	750	900	675	675	675	675	4350
	W ₄	750	900	900	900	900	900	5250
2014—2015	W ₁	750	900	225	225	225	—	2325
	W ₂	750	900	450	450	450	—	3000
	W ₃	750	900	675	675	675	—	3675
	W ₄	750	900	900	900	900	—	4350

注:2014 年春季灌水日期分别为:4 月 25 日、5 月 9 日、5 月 29 日、6 月 11 日;2015 年春季灌水日期分别为:4 月 22 日、5 月 4 日、5 月 28 日。
Note: The irrigation were performed on April 25th, May 9th, May 29th, and June 11th in 2014 and those for 2015 were April 22nd, May 4th, May 28th.

1.3 主要测定项目及方法

1.3.1 土壤含水量测定 播种前用铝盒烘干法测定 0~140 cm 土层含水量(每层 20 cm,共分 7 层)。春季从滴头水前 1 天开始,每 7 d 左右测定一次 0~140 cm 土层含水量(在毛管间距 1/2 处取样,分层同上),测至成熟期停止,在每次滴水前、后,各处理加测 1 次 0~20、20~40、40~60 cm 土层含水量,重复 2 次。

1.3.2 叶面积指数、光合势及干物质的测定 在 2014、2015 年分别于拔节期(04-20、04-25)、孕穗期(05-13、05-11)、开花期(06-02、05-20)、灌浆期(06-16、06-11)各处理选取具代表性 30 个茎,用长宽系数法测定叶面积,同时选样点 0.3 m² 测定单位面积总茎数,重复 3 次,计算各处理叶面积指数(LAI)和光合势;每次将各处理植株样在 80℃ 下烘至恒重,分别称重计算干物质量。

叶面积指数(LAI) = 绿叶面积/土地面积

光合势 = (L₂ - L₁) × (T₂ - T₁),式中 L 表示叶面积, T 为时间。

1.3.3 花前营养器官贮藏物转移量、转移率及其对产量的贡献率测定 开花期各处理分别选取当天开花且大小相似的茎 80 个挂牌标记,开花当天各处理分别自茎基部取 10 个茎烘干称重,重复 3 次;成熟期各处理分别自茎基部取开花期挂牌茎 10 个,重复 3 次,烘干称总重后,脱粒称粒重,计算花前营养器官的物质转移量、转移率和贡献率。

营养器官开花前贮藏同化物转运量(kg·hm⁻²) = 开花期总干重 - 成熟期营养器官干重

营养器官开花前贮藏同化物转运率(%) = 营养器官开花前贮藏同化物转运量/开花期总干重 × 100%

开花后同化物输入子粒量(kg·hm⁻²) = 成熟期子粒干重 - 营养器官花前贮藏物质转运量

营养器官开花前贮藏同化物对子粒产量的贡献率(%) = 开花前营养器官贮藏物质转运量/成熟期子粒干重 × 100%

1.3.4 产量和水分利用效率的测定 各处理分别取 3 个具有代表性的样点(每点 4.5 m²)实收、单脱,晒干后称重,以 3 个样点平均值计算折合产量。

水分利用效率(%) = 经济产量/总耗水量

总耗水量 = 土壤贮水消耗量 + 小麦生长期总降水量 + 总灌水量

土壤贮水消耗量 = 140 cm 土层播种时贮水量 - 成熟时 140 cm 土层贮水量

灌溉水利用效率(kg·m⁻³) = 子粒产量/总灌水量

水分利用效率(kg·m⁻³) = 子粒产量/总耗水量

1.4 数据处理

用 Excel 2010 进行数据处理, Sigmaplot - v10 进行图表的绘制,用 SAS8.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同滴灌量处理对 0~140 cm 土壤含水量的影响

不同滴水处理 0~140 cm 土层含水量变化见图 1。各滴水处理 0~20 cm 土层含水量在灌水前、后连续呈现明显的“谷”、“峰”变化, 20~40 cm 土层含水量除 W₁ 处理外,其余处理在灌水前、后仍连续呈现明显的“谷”、“峰”变化, 40~60 cm 土层含水量仅 W₂、W₄ 连续呈现明显的“谷”、“峰”变化,增加每次滴水量,增大 0~60 cm 土层含水量,以 0~20 cm 土层增幅最大,其次是 20~40 cm 土层, 40~60 cm 土层最小;随着滴水量的增加,开花后 60~140 cm 土层含水量降幅明显减少;两年结果相似,同一处理(如 W₁)2014—2015 年较 2013—2014 年少灌最后 1 次水,灌浆期各土层含水量明显低于 2013—2014 年。随滴水量增加,湿润土层深度增加,在每次 225~900 m³·hm⁻²滴水范围内,主要直接增加 0~60 cm 土层含水量,间接减少生育中、后期麦田 60~140 cm 土层储水耗水量和耗水深度。

2.2 不同滴灌量处理对冬小麦叶面积指数和光合势的影响

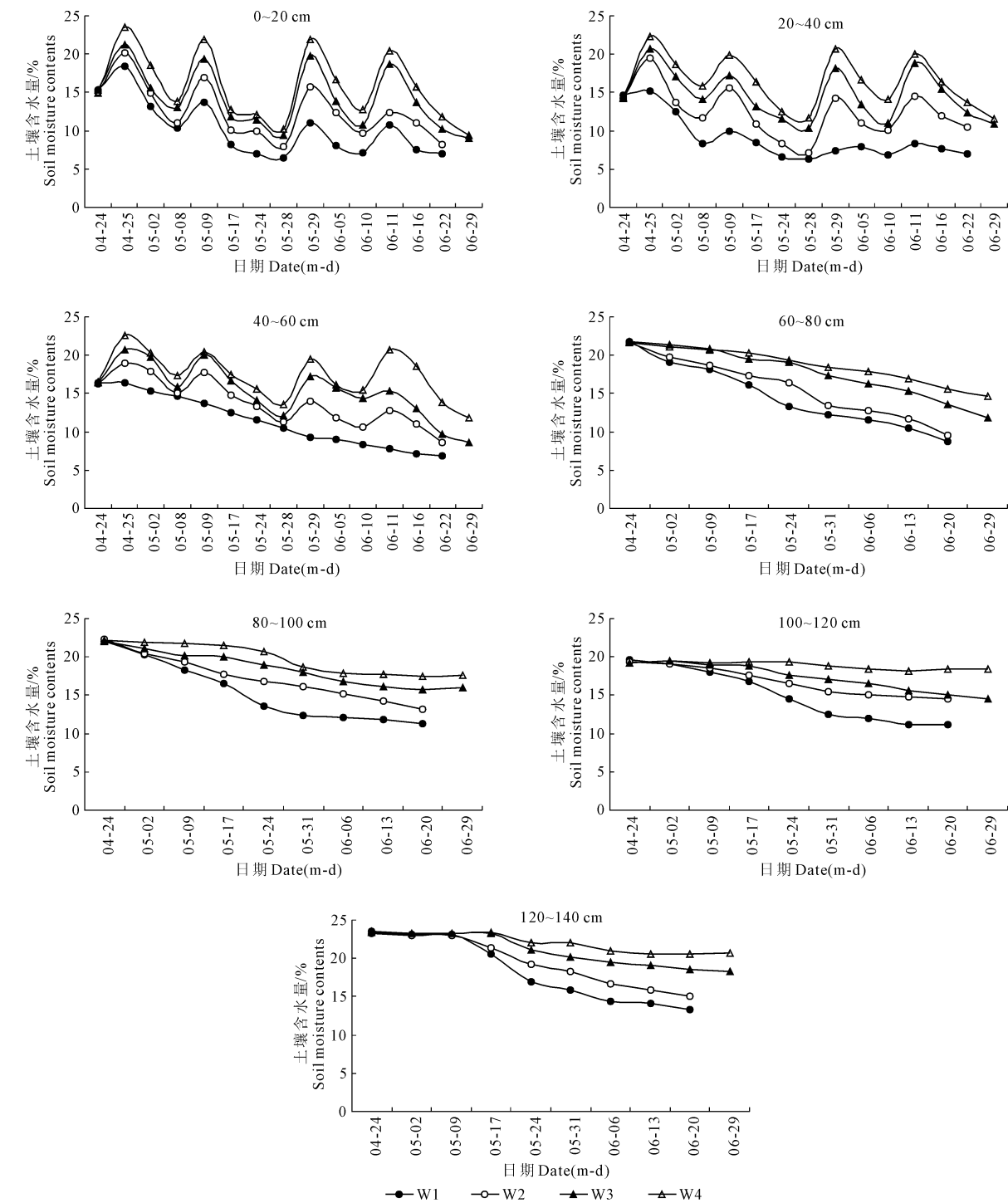
由图 2 可见,不同滴水处理叶面积指数在拔节期后迅速增加,孕穗期达峰值后缓慢下降。并随着滴水量的增加,显著增加冬小麦拔节至成熟期间叶面积指数,2014 年、2015 年孕穗期叶面积指数分别由 W₁ 的 3.83、4.18 增加到 W₄ 的 6.42、6.45,分别增加 67.6%、54.3%;增加滴水量,显著增加春季各生育阶段光合势和春季总光合势(见图 3),2014 年、2015 年开花至花后 20 d 的光合势分别由 W₁ 的 51.57、27.1 m²·d·m⁻²增加到 W₄ 的 90.61、83.70 m²·d·m⁻²,2014 年、2015 年 W₄ 处理的春季总光合势分别比 W₁ 增加 50.0%、76.4%, W₃ 与 W₄ 的总光合势差异不显著,两年结果一致。增加滴水量,增加冬小麦拔节至成熟期间各生育阶段的叶面积指数和光合势,以 W₃ 和 W₄ 拔节后的总光合势较高。

2.3 不同滴灌量处理对小麦干物质积累及分配的影响

由表 3 可见,随着拔节后滴水量的增加,拔节至成熟期间干物质积累量增加,2013—2014 年、2014—2015 年 W₄ 成熟期干物质量分别较 W₁ 增加 16.9%、

16.5%, W_3 与 W_4 的总干物质积累量差异不显著;随着滴水量的增加,2014 年花前营养器官贮藏物转移量、转移率、对子粒贡献率分别由 W_1 的 $2\,725.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、20.8%、26.1% 下降为 W_3 的 $2\,512.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、15.8%、20.5%,花后光合产物对子粒的贡献率由 W_1 的 73.9% 上升为 W_3 的 79.5%;2015 年花前营养器官贮藏物转移量、转移率、对子粒的贡献率分别由 W_1 的 $1\,832.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、16.8%、27.7% 下降为 W_3 的 $1\,281.2\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、6.8%、9.8%,花后光合

产物对子粒的贡献率由 W_1 的 72.3% 上升到 W_3 的 92.8% (见表 4)。2015 年 W_2 、 W_3 、 W_4 各处理的花前营养器官贮藏物转移量、转移率、对子粒的贡献率明显低于 2014 年,是由于 2015 年灌浆前期发生严重倒伏,导致营养器官储存物质向子粒转移受阻造成的。增加拔节后滴水量,增加拔节至成熟期的干物质积累量和花后光合产物对子粒的贡献率,降低花前营养器官贮藏物对子粒的贡献率;灌浆前期倒伏严重抑制花前营养器官贮藏物质向子粒的转移。



2014 年

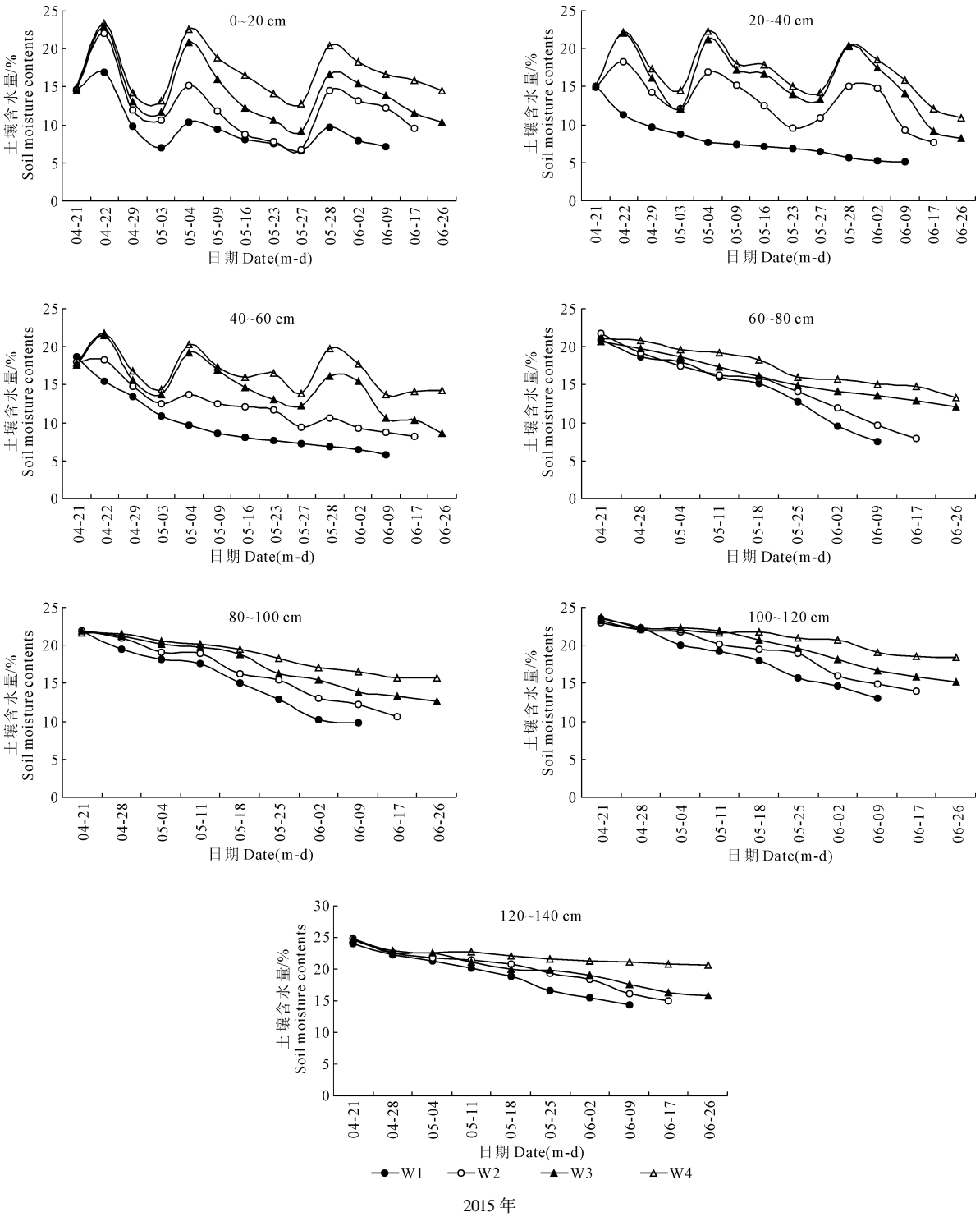


图 1 各滴水处理土壤含水量变化

Fig.1 Changes of soil moisture in different drip water treatments

2.4 不同滴灌量处理对小麦产量和水分利用效率的影响

由表 5 和表 6 可见,随着滴水量的增加,总耗水量增加,土壤贮水消耗量明显减少(2014 年、2015 年 W₃ 土壤耗水量分别仅为 W₁ 的 69%、79.4%),增加穗数和穗粒数,最终大幅度增加产量,两年的变化趋

势一致;2014 年 W₃ 较 W₁ 产量增加了 15.9%,W₂、W₃、W₄ 处理间产量差异不显著,故适宜的滴水量为 3 450 m³·hm⁻²(W₂),其产量为 8 604.13 kg·hm⁻²,灌溉水利用效率为 2.49 kg·m⁻³、水分利用效率为 1.18 kg·m⁻³;2015 年 W₃(W₄)产量较高,并与 W₁、W₂ 间差异显著,故适宜滴水量为 3 675 m³·hm⁻²(W₃),产

量为6 737.37 kg·hm⁻²,灌溉水利用效率为 1.83 kg·m⁻³、水分利用效率为 0.97 kg·m⁻³。2015 年产量较 2014 年明显降低是因 W₃、W₄ 处理在灌浆初期发生严重倒伏,大幅度降低千粒重的结果。2015 年千粒重若按 2014 年值计算,产量则接近 2014 年。因此,

增加拔节至成熟期间滴水量,增加冬小麦产量,却降低水分利用效率,拔节至成熟期适宜为1 800~2 025 m³·hm⁻²(总滴水量为 3 450~3 675 m³·hm⁻²),可获得 6 737.37~8 604.13 kg·hm⁻²的产量。

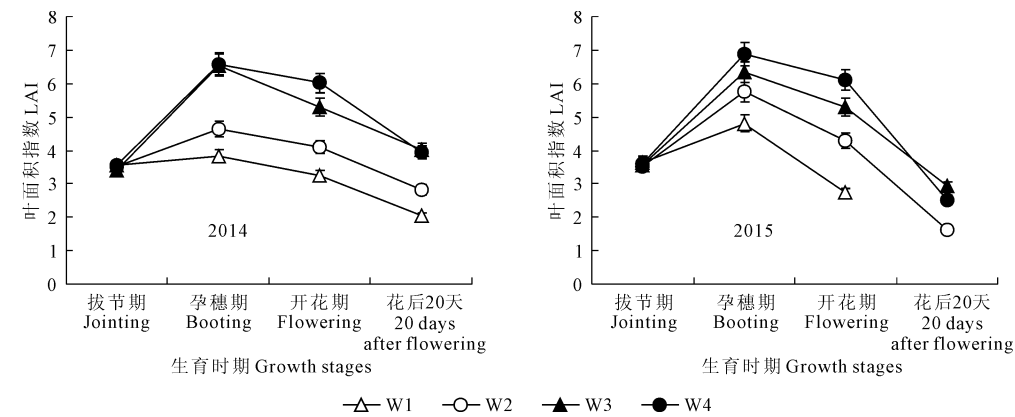


图 2 各滴灌处理的叶面积指数 (LAI) 动态变化 (2014—2015)
Fig.2 Dynamic changes of LAI in different water treatments(2014—2015)

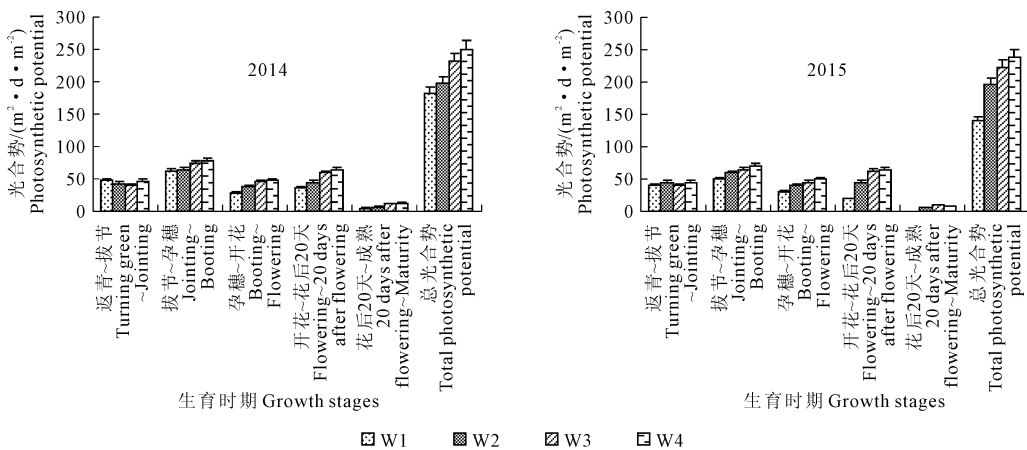


图 3 各滴灌处理春季光合势 (LAD) 动态变化及总光合势 (2014—2015)
Fig.3 Dynamic changes of photosynthetic potential in different water treatments (2014—2015)

表 3 不同滴灌处理干物质积累/(kg·hm⁻²)

Table 3 Dry matter accumulation under different drip irrigation treatments						
年份 Year	处理 Treatment	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	开花期 Flowering	灌浆期 Filling	成熟期 Maturity
2014	W ₁	4523.1aA	5272.4	9625.0bB	13211.4bB	13710.4bB
	W ₂	4656.8aA	5823.5	11835.2aA	14561.3aA	16234.7aA
	W ₃	4515.6aA	6456.3	12123.3aA	14436.1aA	15976.2aA
	W ₄	4573.9aA	9432.1	12411.7aA	14231.4aA	16495.7aA
2015	W ₁	4813.2aA	5372.4cC	7325.4cC	13002.3cC	13455.1cC
	W ₂	4756.3aA	6823.5bB	7835.2bB	13966.1bB	14246.5bB
	W ₃	4824.5aA	7956.3aA	9683.3aA	14838.5aA	15672.2aA
	W ₄	4878.4aA	8435.1aA	10001.5aA	15032.4aA	15879.5aA

注:同列数据后不同大小写字母表示处理间差异达 1% 和 5% 极显著和显著水平,下同。
Note: Values with different upercase(lowercase) letters in a column are significantly different at the levels of $P \leq 1\%$ and 5% . The same as below.

表 4 不同滴灌处理对花前营养器官贮藏物向子粒运转率及贡献率的影响

Table 4 Effect of different drip irrigation treatments on storage of vegetative organs before anthesis to grain transport rate and contribution rate in winter wheat

年份 Year	处理 Treatment	花前贮藏物 转运量 Dry matter translocation amount before anthesis /(kg·hm ⁻²)	花前贮藏物 转运率 Dry matter translocation ratio before anthesis/%	花前贮藏物对 子粒贡献率 Contribution of dry matter translocation amount before anthesis to grains/%	花后物质积累对 子粒贡献率 Contribution of dry matter assimilation amount after anthesis to grains/%
2014	W ₁	2725.8aA	20.8aA	26.1aA	73.9bB
	W ₂	2566.0bB	17.6bB	22.0bB	78.0aA
	W ₃	2512.3bB	15.8cC	20.5bcBC	79.5aA
	W ₄	2528.4bB	15.5cC	20.0cC	80.0aA
2015	W ₁	1832.8aA	16.8aA	27.7aA	72.3cC
	W ₂	1882.6aA	11.4bB	17.5bB	82.5bB
	W ₃	1281.2bB	6.8cC	9.8cC	90.2aA
	W ₄	848.7cC	4.7dD	7.2dD	92.8aA

表 5 不同滴灌处理的耗水构成

Table 5 Water consumption composition under different drip irrigation treatment

年份 Year	处理 Treatment	总灌水量 Total irrigation /(m ³ ·hm ⁻²)	土壤耗水 Soil water consumption /(m ³ ·hm ⁻²)	降水量 Precipitation /(m ³ ·hm ⁻²)	总耗水量 Total water consumption /(m ³ ·hm ⁻²)
2014	W ₁	2550	2430.9aA	1409	6389.9dD
	W ₂	3450	1977.2bB	1409	6836.2cC
	W ₃	4350	1677.5cC	1409	7436.5bB
	W ₄	5250	1202.6dD	1409	7861.6aA
2015	W ₁	2325	2517.8aA	1270	6112.8cC
	W ₂	3000	2191.4bB	1270	6461.4bB
	W ₃	3675	1886.1cC	1270	6831.1abAB
	W ₄	4350	1257.6dD	1270	6877.6aA

表 6 不同滴灌处理的产量和水分利用效率

Table 6 Yield and water use efficiency of different drip irrigation treatments

年份 Year	处理 Treatment	穗数 Panicles × 10 ⁴ /hm ²	穗粒数 Grain number	千粒重 1000 Grain weight/g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	灌溉水利用效 Irrigation water use efficiency /(kg·m ⁻³)	水分利用效率 Water use efficiency /(kg·m ⁻³)
2014	W ₁	647.9cB	28.4cB	40.7aA	7541.1bB	2.96aA	1.18bB
	W ₂	684.4bAB	30.2bB	41.6aA	8604.1aA	2.49bB	1.26aA
	W ₃	703.3abA	32.0aA	39.3bB	8741.2aA	2.01cC	1.18bB
	W ₄	724.4aA	29.5bBc	40.9aA	8848.6aA	1.69dD	1.13bB
2015	W ₁	604.4bB	24.1dD	37.8aA	4507.7cC	1.94bB	0.74bB
	W ₂	654.4aA	28.8cC	33.9bB	6322.5bB	2.11aA	0.98aA
	W ₃	686.7aA	31.3bB	31.4cC	6737.4aA	1.83cC	0.98aA
	W ₄	678.9aA	31.9aA	31.0cC	6715.9abAB	1.54cC	0.97aA

注:2015 年处理 W₃、W₄ 发生严重倒伏。 Note: Serious lodging occurred for W₃ and W₄ treatments in 2015.

3 讨 论

已有试验结果表明,在一定的范围内,增加灌水量进而增加产量,但过量灌水反而会降低产量和水

分利用效率^[11]。高产条件下,冬小麦的产量与耗水量之间呈非线性关系^[12]。增加冬小麦春季滴水量,增加总耗水量和产量,降低土壤贮水消耗量和水分利用效率^[7];在一定范围内,减少冬小麦滴灌量,产

量下降不显著,水分利用效率显著提高^[13]。本试验结果表明,滴灌冬小麦拔节至成熟期间每次滴水量在 225~900 m³·hm⁻² 的范围内,随着滴水量增加,增加总耗水量和土层湿润深度,主要直接增加 0~60 cm 土层含水量,间接减少 60~140 cm 土层储水消耗量;总滴水量为 3 450~3 675 m³·hm⁻² (其中,拔节期、孕穗期、开花期、灌浆期各 450~675 m³·hm⁻²),获得产量 6 737.4~8 604.1 kg·hm⁻²。

本研究 2014—2015 年试验因 6 月上旬降雨量大,与 2013—2014 年相比,各处理少灌灌浆水。W₄、W₃ 处理在灌浆初期发生严重倒伏、后期贪青,营养器官储存物质向子粒转移受阻,大幅度降低千粒重,产量和水分利用效率明显下降。可见,在选择抗倒伏性强的高产品种基础上,适时适量施氮肥和灌水是实现滴灌冬小麦节水高产的关键技术。

冬小麦总耗水由生育期间降水量、灌水量和土壤储水消耗量三部分组成。其中,2013—2014 年、2014—2015 年在产量形成关键期(4—6 月)的降水量分别为 71.6、62.5 mm,分别占小麦整个生育期间总降水量的 50.8%、49.2%,加上每次降水量很少,湿润土层浅,小麦根系难于吸收利用。因此,降水量对新疆冬小麦产量形成作用很小。在土壤储水量一致条件下,影响小麦产量形成主要是灌水量。而冬小麦总灌水量由冬前灌水(出苗水、越冬水)和春灌(拔节水、孕穗水、开花水、灌浆水)组成。本文仅研究了春季不同滴水量对冬小麦干物质积累、产量及水分利用效率的影响。有关减少出苗水和越冬水量对冬小麦产量和水分利用效率的影响有待进一步研究。

参 考 文 献:

[1] 王荣栋,王新武,符林,等.关于滴灌小麦栽培的几个问题[J].新疆农业科学,2010,47(7):1412-1415.

[2] 李久生,张建君,薛克宗,等.滴灌施肥灌溉原理与应用[M].北京:中国农业出版社:1-2.

[3] Wood M L, Finger L. Influence of irrigation method on water use and production of perennial pastures in northern Victoria[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2001,46:1605-1614.

[4] Alexiou I, Kalfountzos D, Kotsopoulos S, et al. Comparison of subsurface and surface drip irrigation of cotton crop[C]//Proceedings of the 9th National Congress of the Hellenic Hydrotechnical Association. The ssaloniki, Greece, 2003:199-206.

[5] Arafa Y E, Wasif E A, Mehawed H E. Maximizing use efficiency in wheat yields based on drip irrigation systems[J]. Aust J Basic Appl Sci, 2009,3:790-796.

[6] 谢小清,章建新,段丽娜,等.滴灌量对冬小麦根系时空分布及水分利用效率的影响[J].麦类作物学报,2015,35(7):971-979.

[7] 薛丽华,陈兴武,胡锐,等.不同滴水量对冬小麦根系时空分布及耗水特征的影响[J].华北农学报,2014,29(5):200-206.

[8] 薛丽华,谢小清,段丽娜,等.滴灌次数对冬小麦根系生长及时空分布的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(6):1-9.

[9] 位国峰,刘义国,姜雯,等.不同滴灌量对冬小麦干物重及产量的影响[J].灌溉排水学报,2013,32(5):67-70,99.

[10] 刘义国,位国峰,商健,等.不同滴灌量对冬小麦旗叶衰老及产量的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(10):96-101.

[11] Sun H Y, Shen Y J, Yu Q, et al. Effect of precipitation change on water balance and WUE of the winter wheat-summer maize rotation in the North China Plain[J]. Agric Water Manag, 2010, 97: 1139-1145.

[12] 张胜全,方保停,王志敏,等.春灌模式对晚播冬小麦水分利用及产量形成的影响[J].生态学报,2009,29(4):235-244.

[13] 聂紫瑾,陈源泉,张建省,等.黑龙江流域不同滴灌制度下的冬小麦产量和水分利用效率[J].作物学报,2013,39(9):1687-1692.

(上接第 65 页)

[6] Valenza A, Grillot J C, Danzy J. Influence of groundwater on the degradation of irrigated soils in semi-arid region, the inner delta of the Niger River Mail[J]. Hydrogeology Journal, 2000,8(4):417-429.

[7] 吴忠东,王全九.微咸水非充分灌溉对土壤水盐分布与冬小麦产量的影响[J].农业工程学报,2009,25(9):36-42.

[8] 陈素英,张喜英,邵立威,等.微咸水非充分灌溉对冬小麦生长发育及夏玉米产量的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(3):580-585.

[9] 王诗景,黄冠华,杨建国,等.微咸水灌溉对土壤水盐动态及春小麦产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(5):27-33.

[10] 蒋静,冯绍元,孙振华,等.咸水非充分灌溉对土壤水盐分布及玉米产量的影响[J].应用生态学报,2008,19(12):2637-2642.

[11] 杨树青,杨金忠,史海滨.微咸水灌溉对作物生长及土壤盐分影响的试验研究[J].中国农村水利水电,2008,(7):32-35.

[12] 赵志才,冯绍元,霍再林,等.咸水灌溉条件下土壤水盐分布特征[J].应用生态学报,2010,21(4):945-951.

[13] 江冠军,刘芳,唐泽军.石羊河流域井灌区土壤水分渗层渗漏研究[J].灌溉排水学报,2009,28(6):91-93.

[14] 蒋静,冯绍元,王永胜,等.灌溉水量和水质对土壤水盐分布及春玉米耗水的影响[J].中国农业科学,2010,43(11):2270-2279.

[15] Ben-Asher J, van Dam J C. Irrigation of grapevines with saline water II. Mathematical simulation of vine growth and yield[J]. Agriculture Water Management, 2006,83(1-2):22-29.