

不同亏缺灌溉对石河子垦区棉花主栽品种生长发育及产量形成的影响

杨京京¹ 王明娟² 宁克伟¹ 俞浩楠¹ 张爱华¹ 蔡俊玲¹ 周泰龙¹ 刘爱萍² 谢晓东¹

(¹石河子农业科学研究院, 832000, 新疆石河子; ²玛纳斯县农业技术推广中心, 832200, 新疆玛纳斯)

摘要 为探究水分调控对石河子垦区棉花主栽品种生长发育及产量形成的影响,并解析各生育期需水规律,在膜下滴灌模式下,采用裂区试验设计,以灌水梯度为主区,品种为副区,设置4个灌水梯度,分别为正常灌溉量(对照, W_{100} , $4200\text{ m}^3/\text{hm}^2$)、轻度缺水(W_{85} , $3570\text{ m}^3/\text{hm}^2$)、中度缺水(W_{70} , $2940\text{ m}^3/\text{hm}^2$)和重度缺水(W_{55} , $2310\text{ m}^3/\text{hm}^2$),选择5个品种,分别为对照(新陆早61号)和4个主栽品种(惠远720、新陆早79号、新陆早80号、新陆早84号),测定不同生育期的农艺指标和产量。结果表明,水分亏缺显著缩短棉花生育周期, W_{55} 处理使主栽品种花铃期至吐絮期缩短21 d(由58 d降至37 d),全生育期较 W_{100} 处理提前7~23 d。花铃期为需水关键期,功能叶叶面积在此阶段达峰值(W_{100} 较 W_{55} 高 $34.2\sim 52.9\text{ cm}^2$),水分亏缺导致籽棉生物量减少46.9%。净光合速率(P_n)和气孔导度(G_s)与水蒸气压亏缺呈显著负相关($P<0.05$), W_{55} 处理 P_n 降幅达70%,水分利用效率在 W_{85} 下提升5.11%~8.58%。品种耐旱性差异显著,新陆早80号和新陆早84号在 W_{55} 下产量(4027.0 和 $3781.5\text{ kg}/\text{hm}^2$)显著优于新陆早61号。建议膜下滴灌宜在花铃期保障水分供给,并优选耐旱品种,以 W_{85} (85%灌溉量)为节水增效阈值。

关键词 棉花; 水分利用效率; 品种; 光合参数; 水分亏缺

新疆作为典型的温带大陆性干旱气候区,年均降水量仅150 mm,蒸发量高达1600~2200 mm,水资源短缺已成为制约棉花产业可持续发展的核心矛盾。2023年新疆棉花产量达511.2万t,占全国总产量90%以上,但棉花生产消耗了区域农业用水的65%~75%^[1]。尽管棉花本身具备一定抗旱性,但持续缺水仍会导致叶片光合能力下降、花铃脱落加剧及纤维品质劣变^[2-3]。在全球气候变化与水资源刚性约束的双重压力下,筛选抗旱节水型棉花品种,协同优化灌溉制度,已成为突破新疆棉花生产瓶颈的关键路径^[4-7]。

目前已明确棉花生育期水分需求规律,苗期土壤相对湿度低于55%会抑制光合作用^[8],花铃期缺水则直接导致单株铃数减少(贡献产量损失70%~85%)^[9]、纤维品质指标显著劣化^[10-11]。此外,不同棉花品种在生长过程中对水分的需求差异较大,根系发达程度、叶片蒸腾速率和生长周期不同均会影响其需水量。干旱缺水严重时,抗旱品种通过关闭气孔导度减少了植株间水分的蒸腾^[12],降低了高温缺水对植株的损伤。尽管膜下滴灌技

术已在新疆广泛应用,但现有研究^[13-14]多聚焦单一灌溉模式对产量的影响,而对不同亏缺灌溉与抗旱品种协同效应的机制探索不足。如何通过品种遗传潜力与精准水分调控的耦合实现“以水调产”仍缺乏系统研究。

本研究以新疆石河子垦区主栽棉花品种为对象,在膜下滴灌系统下设置不同亏缺灌溉处理,通过分析不同品种在关键生育期的水分利用效率、农艺性状及产量构成响应规律,旨在揭示抗旱品种在亏缺灌溉条件下的生理补偿机制与节水潜力,提出基于品种抗旱性与灌溉制度匹配的精准节水方案,为新疆棉区实现“以种适水、以水定产”提供理论依据。本研究对突破干旱区作物生产的水资源约束、推动棉花产业绿色可持续发展具有重要实践意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2024年在石河子农业科学研究院试验地($44^{\circ}33'31.46''\text{N}$, $86^{\circ}0'44.80''\text{E}$)进行,海拔

作者简介: 杨京京, 主要从事作物水肥高效利用研究, E-mail: 136116346@qq.com

谢晓东为通信作者, 主要从事加工番茄育种及水肥高效利用研究, E-mail: 1430910719@qq.com

基金项目: 新疆生产建设兵团第八师科技计划项目(2023NY05); 新疆生产建设兵团自然科学支持计划项目(2024DA025); 新疆生产建设兵团第九师科技计划项目(2022J005)

收稿日期: 2025-01-24; 修回日期: 2025-05-08; 网络出版日期: 2025-07-09

362.3 m。地处天山北麓中段，古尔班通古特沙漠南缘，属于典型的温带大陆性气候，年均气温约 7℃，年均降水量 125~220 mm，降水多集中在 4~7 月，该地区日照充沛，无霜期 160 d 左右。供试土壤类型为灰漠土，土壤质地为中壤，属中等肥力田，为典型干旱灌溉农业区。

1.2 试验设计

采用裂区试验，以灌水梯度为主区，以品种为副区。设置 4 个灌水梯度，分别为正常灌溉量（对照，W₁₀₀，4200 m³/hm²）、轻度缺水（W₈₅，3570 m³/hm²）、中度缺水（W₇₀，2940 m³/hm²）和重度缺水（W₅₅，2310 m³/hm²），试验材料选择 2024 年第八师棉花主栽品种惠远 720、新陆早 79 号、新陆早 80 号、新陆早 84 号及对照品种新陆

早 61 号。试验正常总灌溉量、每次灌溉量和灌溉时间的确定参考当地大田生产，同时结合棉花生产实际情况。每个灌水处理内将 5 个品种随机排列，设置 3 个重复，共设置 60 个小区，小区面积为 3.50 m（长）×1.75 m（宽）。于 2024 年 4 月 19 日开始播种，种植模式为膜下滴灌，采用“一膜两管四行”的方式种植，膜宽 145 cm，株距 10 cm。播种时土壤墒情较好，故带墒播种未滴出苗水，具体灌水情况见表 1。未施基肥，全生育期总施肥量 1365 kg/hm²，其中施用磷酸一铵（MAP，N 含量 12%，P₂O₅ 含量 61%）450 kg/hm²，尿素（N 含量 46%）540 kg/hm²，农用硫酸钾（K₂O 含量 50%）375 kg/hm²，具体施肥情况见表 2。采用人工打顶的方式，其他农事操作与大田生产一致。

表 1 不同处理滴灌时间和灌水量
Table 1 Drip irrigation timing and irrigation amount for different treatments m³/hm²

处理 Treatment	日期（月-日）Date (month-day)								全生育期灌水量 Irrigation amount during whole growth period	比例 Proportion (%)
	06-12	07-04	07-11	07-20	07-27	08-10	08-17	08-24		
W ₁₀₀	631.5	544.5	555.0	534.0	528.0	453.0	534.0	376.5	4156.5	99.0
W ₈₅	576.0	484.5	484.5	460.5	451.5	396.0	441.0	291.0	3585.0	86.3
W ₇₀	481.5	403.5	352.5	394.5	387.0	358.5	334.5	201.0	2913.0	70.1
W ₅₅	367.5	297.0	262.5	268.5	310.5	276.0	294.0	190.5	2266.5	54.5

表 2 不同施肥时间和施肥量
Table 2 Different fertilization dates and fertilizer application rates kg/hm²

肥料 Fertilizer	日期（月-日）Date (month-day)							全生育期施肥量 Fertilizer application rate during whole growth period
	06-12	07-04	07-11	07-20	07-27	08-10	08-17	
磷酸一铵 MAP	30	75	90	120	90	45	—	450
尿素 Urea	30	30	75	120	150	75	60	390
农用硫酸钾 Potassium sulfate	—	30	45	75	90	75	60	375

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生育期调查 苗期、蕾期、花铃期、盛铃期和吐絮期均以达到 50%为标准，并记录各处理日期。

1.3.2 农艺指标 每个处理定点标记 5 株，并在每个生育期末调查定株的相关农艺指标。以地面到顶端生长点为标准测定株高；茎粗测定植株基部；使用托普云农的活体叶面积测量仪 YMJ-B 调查功能叶的叶面积（打顶前选择倒 4 叶，打顶后选择倒 2~3 叶）；使用 SPAD-502Plus（柯尼卡美能达，日本）进行测定叶绿素含量；蕾期统计现蕾数；花铃期统计蕾、铃和初始果枝高度；吐絮期统计有效果枝台数和铃数。

1.3.3 根冠比 根冠比=地下根系生物量干重/地

上部生物量干重。

1.3.4 光合指标 采用 LI-6400 光合仪（LI-COR，美国）在苗期（6 月 6 日）、蕾期（6 月 27 日）和花铃期（7 月 15 日）测定功能叶的蒸腾速率（T_r）、胞间 CO₂ 浓度（C_i）、净光合速率（P_n）、气孔导度（G_s）、水蒸气压亏缺（VPD）和水分利用效率（WUE），每个处理选择定株测定。

1.3.5 生理指标 在花铃期取植株功能叶，用锡纸包裹好后放入液氮中，使用苏州科铭生物技术有限公司的酶活性试剂盒，采用可见分光光度计进行比色测定脯氨酸（Pro）含量、过氧化物酶（POD）活性、超氧化物歧化酶（SOD）活性、可溶性糖（SS）和丙二醛（MDA）含量。

1.3.6 产量及其构成因素 收获前每小区取 3 株，

分器官烘干后计算生物量。收获前每小区取 30 朵棉铃（上部、中部、下部各 10 朵）测定单铃重。取长度 1 m 统计株数并折算出每公顷收获株数。产量为小区实打实收。

1.3.7 水分利用效率 水分利用效率（WUE， kg/m^3 ）=Y/I，式中，Y 为棉花的籽棉产量（ kg/hm^2 ）；I 为滴灌棉花全生育期灌水量（ m^3/hm^2 ）。

1.4 数据处理

采用 Excel 2019 进行数据统计及处理，采用 IBM SPSS Statistics 26.0 软件进行方差分析，采用 Origin 2022 绘图。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉处理对棉花生育期的影响

由表 3 可知，同一灌溉水平内主栽品种间生育期无明显差异，而主栽品种较对照品种苗期早

2 d，蕾期无差异，初花期和花铃期均晚 1 d，吐絮期 W_{100} 、 W_{85} 、 W_{70} 、 W_{55} 分别晚 16、9、11、2 d，主栽品种较对照品种全生育期差异与吐絮期一致。同一品种在不同亏缺灌溉条件下苗期和蕾期无差异， W_{55} 较其他处理初花期早 1 d，花铃期早 2 d。吐絮期 W_{55} 主栽品种较 W_{70} 、 W_{85} 和 W_{100} 分别早 13、16 和 23 d， W_{55} 对照品种较 W_{70} 、 W_{85} 和 W_{100} 分别早 4、9 和 9 d。随着灌水亏缺程度的加剧，主栽品种在初花期、花铃期、吐絮期和全生育期分别比对照组提前了 1、2、7~23 和 13~23 d，对照品种在初花期、花铃期、吐絮期和全生育期分别比对照组提前了 1、2、4~9 和 4~9 d。灌水亏缺主要影响花铃期—吐絮期这一阶段，主栽品种在花铃期—吐絮期 W_{100} 、 W_{85} 、 W_{70} 和 W_{55} 分别为 58、51、48 和 37 d，对照品种在花铃期—吐絮期 W_{100} 、 W_{85} 、 W_{70} 和 W_{55} 分别为 43、43、38 和 36 d。

表 3 不同亏缺灌溉对生育期的影响
Table 3 Effects of different deficit irrigation on growth periods 月-日 month-day

处理 Treatment	品种 Variety	苗期 Seedling stage	蕾期 Bud stage	初花期 Early flowering stage	花铃期 Flowering and boll stage	吐絮期 Boll opening stage	全生育期 Total growth period (d)
W_{100}	主栽品种	04-25	06-14	06-27	07-03	08-30	133
	新陆早 61 号	04-27	06-14	06-26	07-02	08-14	117
W_{85}	主栽品种	04-25	06-14	06-27	07-03	08-23	126
	新陆早 61 号	04-27	06-14	06-26	07-02	08-14	117
W_{70}	主栽品种	04-25	06-14	06-27	07-03	08-20	123
	新陆早 61 号	04-27	06-14	06-26	07-02	08-09	112
W_{55}	主栽品种	04-25	06-14	06-26	07-01	08-07	110
	新陆早 61 号	04-27	06-14	06-25	06-30	08-05	108

2.2 不同灌溉处理对农艺性状的影响

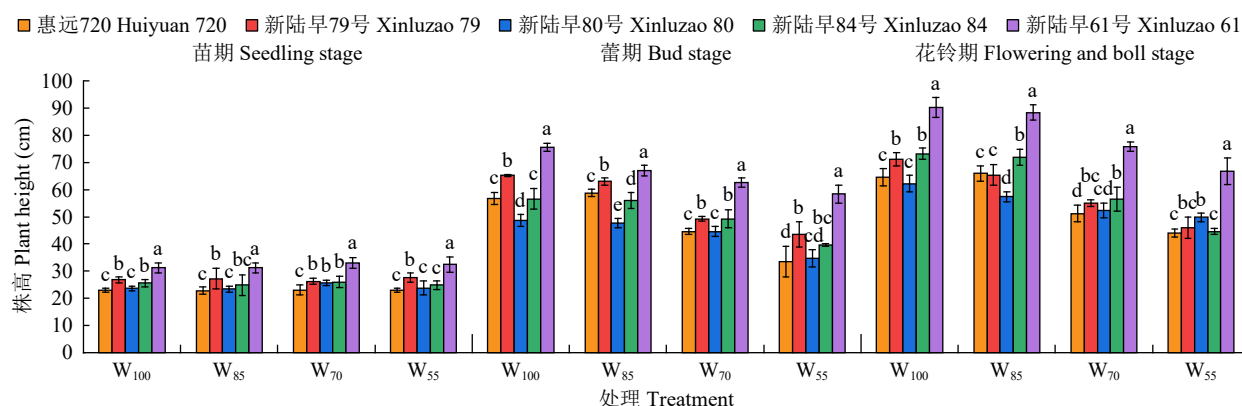
2.2.1 对株高和茎粗的影响 随着亏缺灌溉的加剧，各品种株高均表现出降低的趋势。同一亏缺灌溉条件下株高各生育时期新陆早 61 号表现最好，且与主栽品种存在显著差异，这可能是品种特性造成的。主栽品种间在蕾期和花铃期，新陆早 79 号株高优于惠远 720（图 1）。

随着亏缺灌溉的加剧，各品种茎粗均表现出降低的趋势，新陆早 79 号和新陆早 80 号在蕾期、花铃期的 W_{55} 明显低于其他处理， W_{70} 与 W_{85} 和 W_{100} 差异不明显。新陆早 84 号和新陆早 61 号在蕾期 W_{55} 和 W_{70} 差异不显著，但两者与 W_{85} 和 W_{100} 存在明显差异。 W_{70} 与 W_{85} 和 W_{100} 存在明显差异。同一亏缺灌溉条件下在蕾期和花铃期茎粗无显著

性差异，而在苗期阶段品种间略有差异，这可能是品种特性所致（图 2）。

2.2.2 对功能叶叶面积和 SPAD 值的影响 随着亏缺灌溉的加剧，各品种的叶面积和 SPAD 值均表现出降低的趋势（图 3）。全生育期功能叶叶面积表现出先增加后降低的趋势，在花铃期各品种功能叶叶面积最大，各品种在花铃期 W_{100} 分别比 W_{55} 、 W_{70} 和 W_{85} 的功能叶叶面积多 34.2~52.9、13.0~32.2 和 0~15.4 cm^2 。在苗期各处理的 SPAD 值差异较小，在苗期后，即开始亏缺灌溉，功能叶 SPAD 值出现差异，亏缺越严重 SPAD 值越低（图 3）。

2.2.3 对初始果枝高度和有效果枝台数的影响 亏缺灌溉降低了初始果枝高度和有效果枝台数，亏缺越严重，降低越多。同一亏缺灌溉主栽品种间初始



不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异性显著，下同。

Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$ level, the same below.

图 1 不同亏缺灌溉对株高的影响

Fig.1 Effects of different deficit irrigation treatments on plant height

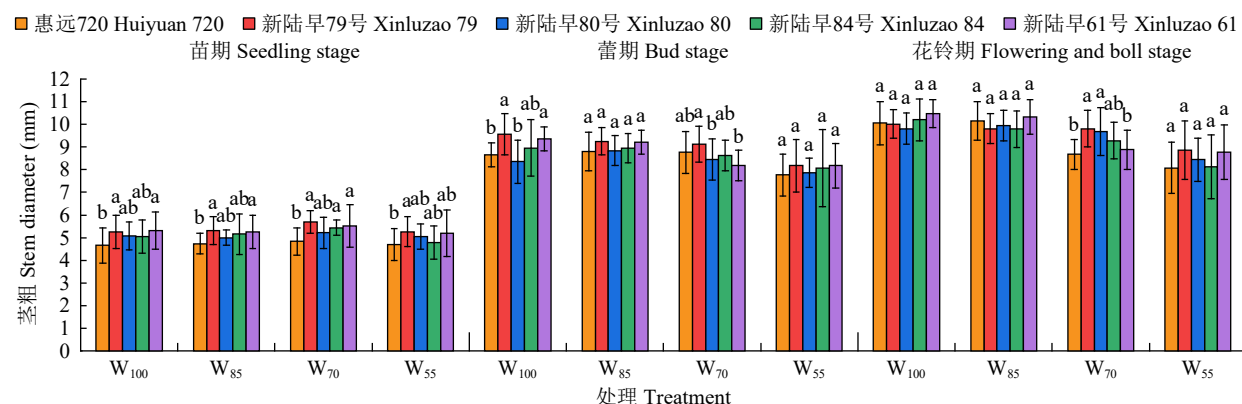


图 2 不同亏缺灌溉对茎粗的影响

Fig.2 Effects of different deficit irrigation treatments on stem diameter

果枝高度差异不显著，主栽品种间 W_{55} 、 W_{70} 、 W_{85} 和 W_{100} 的初始果枝高度分别为 23.5~28.2、26.5~29.9、26.3~28.8 和 27.3~32.2 cm，主栽品种 W_{55} 、 W_{70} 、 W_{85} 和 W_{100} 的初始果枝高度比新陆早 61 号同一亏缺灌水平分别少 7.8~12.5、6.8~11.2、11.6~14.1 和 7.9~12.8 cm (图 4)。

各品种间有效果枝台数在亏缺灌溉的情况下， W_{85} 和 W_{100} 差异不显著，且两者显著高于 W_{55} 和 W_{70} 。同一亏缺灌溉主栽品种的有效果枝台数均高于新陆早 61 号，主栽品种在 W_{55} 、 W_{70} 、 W_{85} 和 W_{100} 条件下有效果枝台数分别比新陆早 61 号多 0.2~1.0、0.6~1.8、0.4~1.9 和 0.6~1.7 (图 4)。

2.3 不同灌溉处理对蕾铃脱落率的影响

随着亏缺灌溉的加剧，蕾铃脱落率也呈现增加的趋势。各品种蕾铃脱落率总体表现为 W_{85} 和 W_{100} 差异不显著，但 W_{100} 显著低于 W_{55} 和 W_{70} 。所有品种在 W_{100} 、 W_{85} 、 W_{70} 和 W_{55} 蕾铃脱落率分别为 55.5%~60.0%、60.8%~65.6%、63.2%~66.7% 和

64.4%~68.9% (图 5)。

2.4 不同灌溉处理对收获期生物量积累及分配的影响

由表 4 可知，不同品种均表现为随着亏缺灌溉的加剧，总生物量及各器官生物量均呈现降低的趋势 ($W_{100} > W_{85} > W_{70} > W_{55}$)，且存在显著差异。收获期正常灌溉总生物量、籽棉生物量和根系生物量分别较亏缺灌溉增加 13.8%~63.0%、2.2%~46.9% 和 19.0%~52.6%。同一灌溉处理新陆早 61 号总生物量最大，主栽品种间总生物量排序为新陆早 84 号 > 新陆早 80 号 > 新陆早 79 号 > 惠远 720，正常灌溉处理主栽品种的总生物量较新陆早 61 号低 17.8%~39.9%。随着亏缺灌溉的加剧根冠比总体呈增加的趋势，主栽品种间新陆早 80 号和新陆早 84 号的根冠比表现较好。

2.5 不同灌溉处理对花铃期生理指标的影响

随着亏缺灌溉的加剧，MDA、Pro、SS 含量及 POD 和 SOD 活性呈不同程度增加 (表 5)。

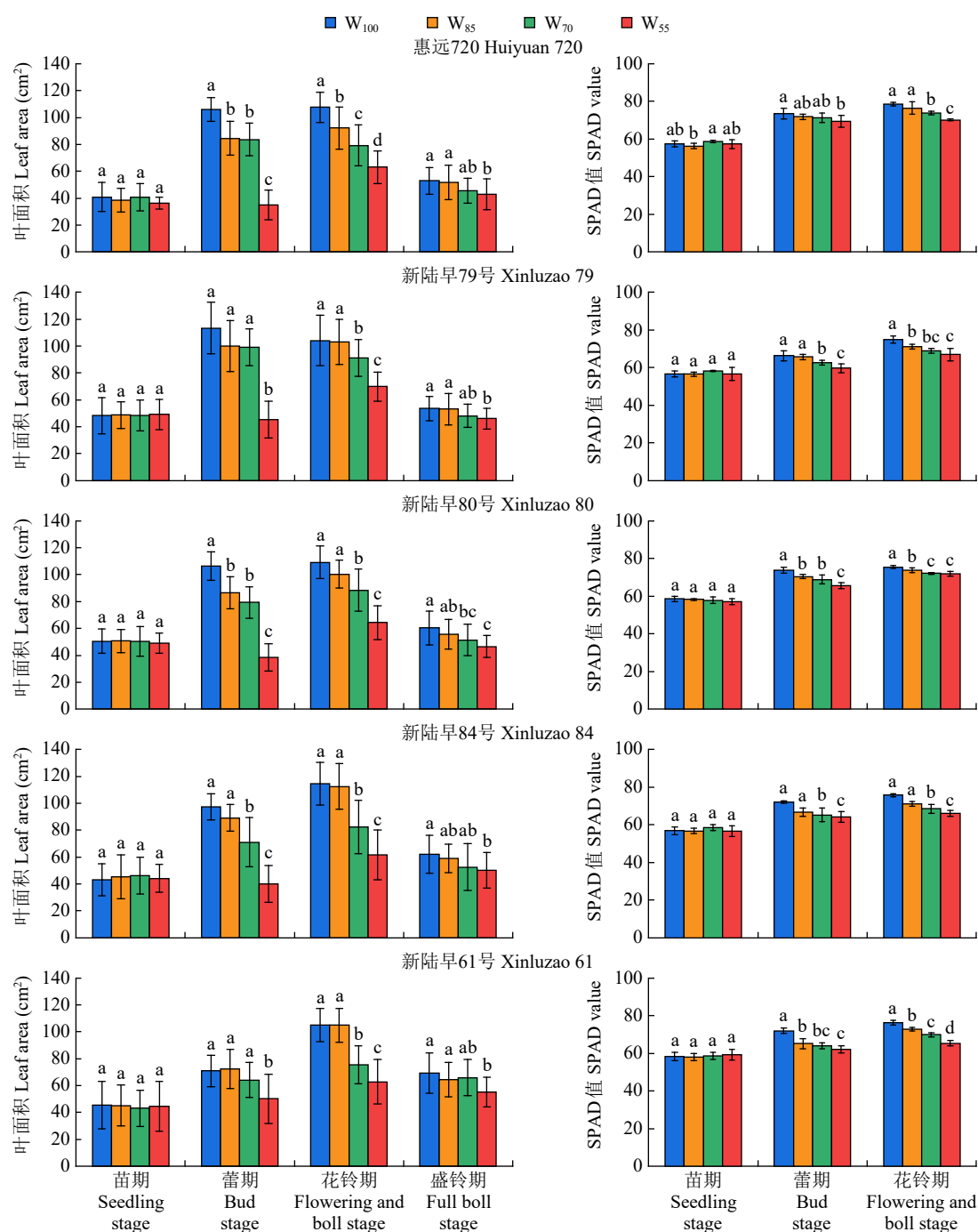
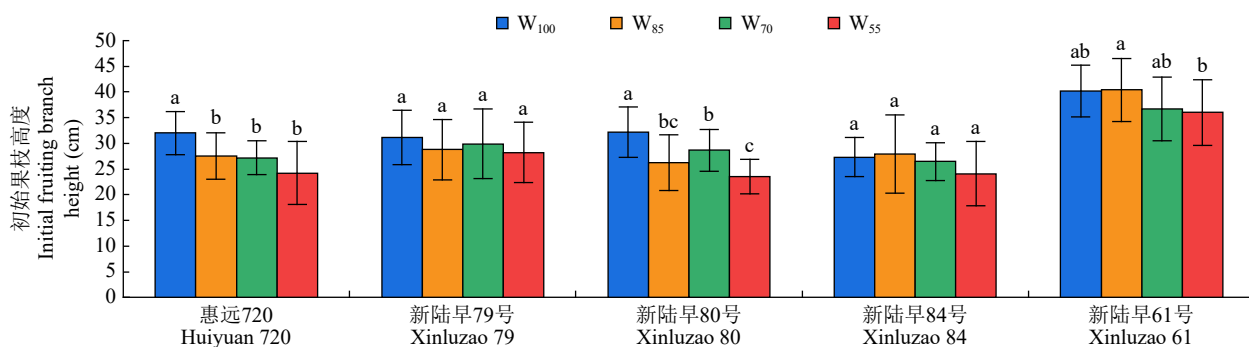


图 3 不同亏缺灌溉对功能叶叶面积和 SPAD 值的影响

Fig.3 Effects of different deficit irrigation levels on leaf area and SPAD values of functional leaf



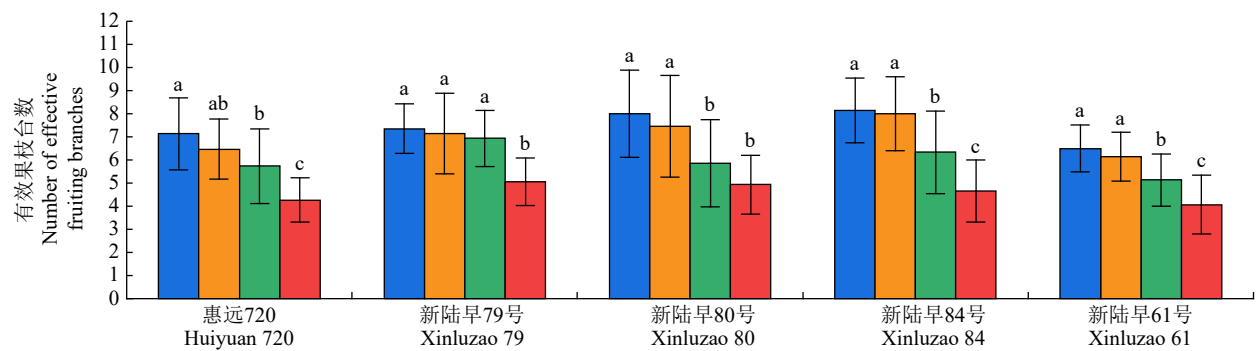


图 4 不同亏缺灌溉对初始果枝高度和有效果枝台数的影响

Fig.4 Effects of different deficit irrigation levels on initial fruiting branch height and number of effective fruiting branches

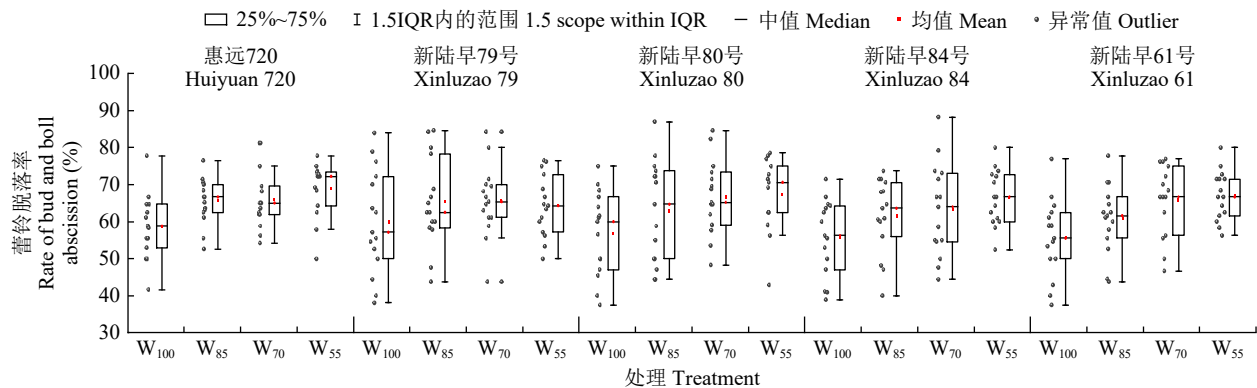


图 5 不同亏缺灌溉对蕾铃脱落率的影响

Fig.5 Effects of different deficit irrigation levels on the rate of bud and boll abscission

表 4 不同亏缺灌溉对收获期生物量及根冠比影响

Table 4 Effects of different deficit irrigation on biomass and root-shoot ratio at harvest stage

品种 Variety	处理 Treatment	茎 (g/株) Stem (g/plant)	叶 (g/株) Leaf (g/plant)	根 (g/株) Root (g/plant)	籽棉 (g/株) Seed cotton (g/plant)	棉壳 (g/株) Cotton hull (g/plant)	总生物量 (g/株) Total biomass (g/plant)	根冠比 Root-shoot ratio
惠远 720 Huiyuan 720	W ₁₀₀	12.5±0.4a	6.9±0.7a	4.6±0.3a	11.6±0.4a	31.6±0.3a	67.2±3.3a	0.073bc
	W ₈₅	10.8±0.3b	4.5±0.2b	3.7±0.3b	8.1±0.6b	30.9±1.0a	58.0±1.8b	0.068c
	W ₇₀	7.8±0.4c	2.6±0.2c	3.6±0.1b	6.7±0.5c	24.3±0.7b	45.0±2.2c	0.088a
	W ₅₅	6.4±0.5d	1.9±0.1d	2.4±0.3c	4.2±0.7d	17.6±1.1c	32.6±2.3d	0.081ab
新陆早 79 号 Xinluzao 79	W ₁₀₀	14.9±0.9a	7.5±1.0a	5.5±0.5a	15.7±0.8a	33.4±1.3a	76.9±2.2a	0.077a
	W ₈₅	12.2±0.2b	5.5±1.2b	4.5±0.3b	13.2±0.3b	30.6±0.3b	66.0±1.4b	0.072a
	W ₇₀	10.4±0.6c	3.1±0.1c	3.7±0.3bc	10.0±0.8c	26.7±0.5c	54.0±1.3c	0.073a
	W ₅₅	6.1±0.7d	2.0±0.4c	2.9±0.7c	6.1±0.6d	18.9±0.7d	36.1±1.3d	0.089a
新陆早 80 号 Xinluzao 80	W ₁₀₀	15.8±0.9a	8.1±0.4a	6.8±0.6a	15.9±1.3a	35.4±0.5a	82.1±0.9a	0.091ab
	W ₈₅	12.6±0.5b	6.2±0.5b	4.8±0.6b	9.1±0.4b	32.4±0.2b	65.1±2.1b	0.080bc
	W ₇₀	12.1±0.7b	4.9±1.2b	3.7±0.1c	9.4±0.5b	30.2±0.7c	60.2±0.8c	0.066c
	W ₅₅	5.4±0.2c	3.1±0.6c	3.2±0.1c	6.1±0.2c	18.8±0.1d	36.7±0.5d	0.097a
新陆早 84 号 Xinluzao 84	W ₁₀₀	22.4±0.6a	16.1±0.8a	6.9±0.3a	13.0±1.9a	33.6±0.4a	92.0±3.1a	0.081b
	W ₈₅	14.6±0.2b	8.6±0.2b	4.5±0.4b	8.8±0.2b	31.8±1.3b	68.2±2.0b	0.071b
	W ₇₀	12.9±0.9c	3.7±0.1c	5.8±0.5c	10.1±0.9b	27.7±0.3c	60.3±4.3c	0.107a
	W ₅₅	7.6±0.5d	3.5±0.3c	3.4±0.5d	6.0±0.7c	18.5±0.3d	39.0±1.0d	0.097a
新陆早 61 号 Xinluzao 61	W ₁₀₀	34.9±0.5a	19.6±0.1a	9.6±0.1a	16.6±1.4a	31.1±0.5a	111.9±5.2a	0.095b
	W ₈₅	19.2±0.7b	8.4±0.3b	6.8±0.8b	11.5±1.4b	29.4±0.6a	75.4±2.9b	0.099b
	W ₇₀	15.8±0.6c	4.5±0.6c	5.7±0.4c	8.2±0.6c	23.6±0.7b	57.8±1.6c	0.109ab
	W ₅₅	10.0±0.9d	2.4±0.4d	4.8±0.3c	6.3±0.7c	17.8±1.6c	41.4±1.6d	0.133a

不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著，下同。
Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$ level, the same below.

表 5 不同亏缺灌溉对生理指标的影响
Table 5 Effects of different deficit irrigation on physiological indicators

指标 Index	W ₁₀₀	W ₈₅	W ₇₀	W ₅₅
MDA 含量 MDA content (nmol/g)	42.1	45.2	46.5	51.6
Pro 含量 Pro content (μg/g)	89.9	112.1	146.9	166.1
SS 含量 SS content (mg/g)	3.3	4.5	5.2	6.0
POD 活性 POD activity (U/g)	200.0	380.0	500.0	900.0
SOD 活性 SOD activity (U/g)	116.8	215.2	225.5	236.5

2.6 不同灌溉处理对产量及其构成因素的影响

由表 6 可知，同一品种间亏缺灌溉主要通过影响单株籽棉和单株铃数来影响产量，随着灌水量的减少单株籽棉和单株铃数呈下降的趋势，对收获株

数影响较小。同一灌水条件下新陆早 80 号和新陆早 84 号产量表现最好，主栽品种在产量上与对照品种有显著差异。同一品种间 W₁₀₀ 产量最高，惠远 720 号、新陆早 79 号、新陆早 80 号、新陆早 84 号和新陆早 61 号分别比亏缺灌溉增加 4.7%~48.1%、4.4%~44.7%、4.6%~41.9%、5.3%~45.2%和 6.2%~47.6%。主栽品种间在 W₁₀₀ 条件下新陆早 80 号（6932.0 kg/hm²）和新陆早 84 号（6904.0 kg/hm²）较惠远 720（6720.0 kg/hm²）存在显著差异，在 W₈₅ 条件下新陆早 80 号（6615.5 kg/hm²）较惠远 720（6404.5 kg/hm²）存在显著差异，在 W₇₀ 条件下新陆早 84 号（5502.5 kg/hm²）产量最高，在 W₅₅

表 6 不同亏缺灌溉对收获株数、单株籽棉、单株铃数和产量的影响
Table 6 Effects of different deficit irrigation on harvested plants, seed cotton per plant, number of bolls per plant and yield

处理 Treatment	品种 Variety	收获株数 (/hm ²) Harvested plants (/hm ²)	单株籽棉 Seed cotton per plant (g)	单株铃数 Number of bolls per plant	产量 Yield (kg/hm ²)
W ₁₀₀	惠远 720	215 340.0±18 378.0	31.6±0.3c	7.2±1.7	6720.0±64.8b
	新陆早 79 号	209 628.0±6601.5	33.4±1.3b	7.6±3.0	6765.5±138.3ab
	新陆早 80 号	219 157.5±6601.5	35.4±0.5a	8.4±2.2	6932.0±98.1a
	新陆早 84 号	217 251.0±17 151.0	33.6±0.4b	8.0±2.5	6904.0±76.3a
	新陆早 61 号	213 439.5±8733.0	31.1±0.5c	7.1±1.5	6493.0±103.3c
W ₈₅	惠远 720	209 628.0±13 203.0	30.9±1.0b	6.8±1.4	6404.5±19.0b
	新陆早 79 号	209 628.0±8733.0	30.6±0.3bc	7.3±2.7	6465.5±81.6ab
	新陆早 80 号	207 723.0±3301.5	32.4±0.2a	7.4±2.3	6615.5±223.1a
	新陆早 84 号	211 534.5±11 434.5	31.8±1.3ab	7.7±2.3	6541.5±44.0ab
	新陆早 61 号	213 439.5±3300.0	29.4±0.6c	6.6±1.6	6093.0±42.7c
W ₇₀	惠远 720	215 346.0±3301.5	24.3±0.7c	6.4±1.7	5040.5±270.8bc
	新陆早 79 号	203 911.5±17 466.0	26.7±0.5b	6.7±1.7	4962.5±176.6c
	新陆早 80 号	213 439.5±8733.0	30.2±0.7a	6.8±2.0	5301.5±118.0ab
	新陆早 84 号	209 628.0±3301.5	27.7±0.3b	6.8±1.9	5502.5±95.6a
	新陆早 61 号	219 157.5±3301.5	23.6±0.7c	5.9±1.8	4660.0±91.6d
W ₅₅	惠远 720	217 251.0±9903.0	17.6±1.1a	4.6±1.3	3489.5±152.7c
	新陆早 79 号	207 723.0±3301.5	18.9±0.7a	5.5±1.2	3743.0±198.8b
	新陆早 80 号	217 251.0±5716.5	18.8±0.1a	5.1±1.9	4027.0±90.0a
	新陆早 84 号	211 534.5±5716.5	18.5±0.3a	4.9±2.0	3781.5±70.9ab
	新陆早 61 号	215 346.0±3301.5	17.8±1.6a	4.3±1.2	3400.0±132.7c

条件下新陆早 80 号（4027.0 kg/hm²）产量最高。

在同一灌水量条件下，主栽品种较对照在 W₁₀₀、W₈₅、W₇₀ 和 W₅₅ 条件下水分利用效率分别提高 3.50%~6.76%、5.11%~8.58%、6.49%~18.08%和 2.63%~18.44%；在同一产量水平条件下，水分利用效率提高 12.5%~15.3%。主栽品种间在 W₈₅ 条件下水分利用效率均为 1.8 kg/m³，且惠远 720 和新陆早 79 号在此处有最大水分利用效率。新陆早 61 号在 W₈₅ 条件下水分利用效率最大（1.7 kg/m³），在 W₅₅ 条件下水分利用效率最小（1.5 kg/m³）（图 6）。

2.7 不同灌溉处理对不同时期光合指标的影响

由表 7 可知，同一品种在同一生育时期随着亏缺灌溉程度的增加 P_n、G_s、C_i 和 T_r 呈降低的趋势，VPD 和 WUE 呈增加的趋势。同一品种同一灌水梯度随着生育时期的延长，P_n 和 WUE 呈下降的趋势，G_s、C_i、T_r 和 VPD 呈先增加后降低的趋势。

各水分处理组 P_n 均随处理时间呈现显著下降趋势，初期（6 月 6 日）各处理无显著差异，但至胁迫后期（7 月 15 日~8 月 2 日），W₅₅ 的 P_n 降幅

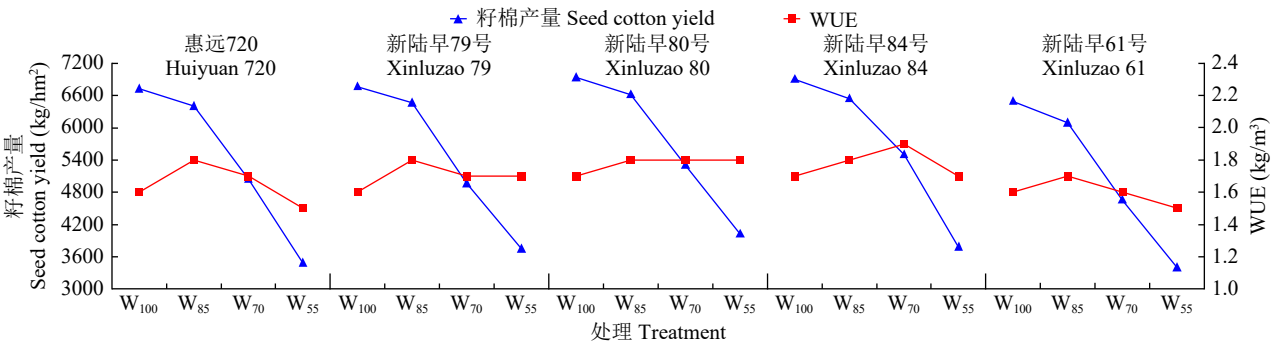


图 6 不同亏缺灌溉对籽棉产量及水分利用效率的影响
Fig.6 Effects of different deficit irrigation on seed cotton yield and water use efficiency

表 7 不同亏缺灌溉对各生育期光合指标的影响
Table 7 Effects of different deficit irrigation on photosynthetic indicators at various growth stages

品种 Variety	处理 Treatment	P_n [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]				G_s [$\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]			
		06-06	06-27	07-15	08-02	06-06	06-27	07-15	08-02
惠远 720 Huiyuan 720	W ₁₀₀	51.1±4.0a	46.6±6.7a	32.0±2.6a	27.5±2.9a	0.48±0.06a	0.69±0.14a	0.65±0.13a	0.60±0.09a
	W ₈₅	50.1±7.8a	42.4±8.7ab	28.4±4.5ab	26.1±2.4a	0.48±0.07a	0.49±0.14b	0.56±0.18a	0.59±0.18a
	W ₇₀	52.9±5.0a	40.5±5.7b	28.6±3.7ab	25.4±3.4a	0.47±0.04a	0.42±0.15b	0.59±0.17a	0.36±0.12b
	W ₅₅	53.3±4.6a	38.6±6.4b	25.8±3.5b	15.7±2.5b	0.47±0.03a	0.41±0.21b	0.51±0.11a	0.17±0.04c
新陆早 79 号 Xinluzao 79	W ₁₀₀	52.1±2.0a	45.4±11.1a	34.6±4.5a	23.5±2.8a	0.50±0.16a	0.74±0.26a	0.72±0.13a	0.55±0.06a
	W ₈₅	53.7±4.5a	42.7±4.8a	30.5±2.1ab	24.7±0.6a	0.50±0.08a	0.63±0.15ab	0.71±0.20a	0.55±0.14a
	W ₇₀	52.4±4.9a	40.1±10.5a	30.4±2.5ab	16.4±4.9b	0.49±0.03a	0.53±0.25bc	0.64±0.19a	0.31±0.16b
	W ₅₅	54.6±6.2a	40.4±4.5a	26.2±2.8b	14.8±3.3b	0.49±0.05a	0.47±0.15c	0.57±0.24a	0.21±0.09b
新陆早 80 号 Xinluzao 80	W ₁₀₀	50.8±2.0a	51.2±5.2a	30.3±1.5a	25.9±1.6a	0.45±0.13a	0.61±0.13a	0.61±0.22a	0.43±0.07a
	W ₈₅	52.4±4.6a	41.9±6.3b	26.9±2.7ab	24.0±3.9a	0.42±0.13a	0.59±0.13a	0.56±0.14a	0.41±0.06a
	W ₇₀	54.1±3.6a	42.0±4.2b	26.0±3.3b	23.7±0.8a	0.42±0.05a	0.47±0.18b	0.54±0.10a	0.26±0.11b
	W ₅₅	51.7±6.8a	40.7±6.0b	25.9±1.5b	22.0±2.7a	0.41±0.07a	0.39±0.10b	0.51±0.03a	0.23±0.07b
新陆早 84 号 Xinluzao 84	W ₁₀₀	53.8±2.6a	50.8±4.7a	27.7±1.1a	26.7±1.6a	0.55±0.15a	0.64±0.25a	0.75±0.25a	0.60±0.17a
	W ₈₅	54.8±5.2a	41.8±8.0b	27.4±0.8a	25.8±3.7ab	0.53±0.18a	0.60±0.18ab	0.60±0.06ab	0.59±0.16a
	W ₇₀	53.2±5.0a	41.3±4.3b	27.6±1.2a	21.3±4.3bc	0.53±0.11a	0.46±0.15bc	0.59±0.13ab	0.33±0.10b
	W ₅₅	53.3±3.8a	41.8±6.5b	26.6±1.5a	19.0±5.5c	0.51±0.08a	0.37±0.14c	0.54±0.09b	0.20±0.06b
新陆早 61 号 Xinluzao 61	W ₁₀₀	46.2±6.7a	46.4±8.0a	28.9±3.0a	26.2±0.1a	0.38±0.10a	0.61±0.22a	0.59±0.17a	0.54±0.14a
	W ₈₅	46.6±7.9a	43.9±6.8ab	27.1±2.2a	25.5±1.7a	0.38±0.11a	0.56±0.13a	0.57±0.07a	0.45±0.08ab
	W ₇₀	47.2±7.5a	39.9±3.2b	27.2±1.2a	25.5±2.1a	0.38±0.07a	0.48±0.20a	0.57±0.12a	0.42±0.05ab
	W ₅₅	48.0±5.0a	39.4±7.0b	27.0±3.7a	18.6±2.2b	0.39±0.05a	0.30±0.14b	0.45±0.12a	0.29±0.15b

品种 Variety	处理 Treatment	C_i ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)				T_r [$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]			
		06-06	06-27	07-15	08-02	06-06	06-27	07-15	08-02
惠远 720 Huiyuan 720	W ₁₀₀	157.0±20.9a	279.6±6.9a	255.9±13.0a	273.0±8.8a	13.3±1.7a	17.5±2.8a	12.2±1.9a	13.1±2.0a
	W ₈₅	151.7±20.5a	214.0±23.0b	259.9±23.6a	264.1±10.9ab	14.0±1.9a	14.2±3.5b	11.6±1.4ab	11.7±0.8a
	W ₇₀	153.3±32.8a	186.9±20.3c	268.1±12.5a	247.3±16.8b	13.7±1.9a	14.4±1.8b	11.6±1.7ab	9.1±1.7b
	W ₅₅	157.1±32.3a	154.9±35.7d	265.9±11.4a	223.9±13.5c	13.5±2.0a	14.5±2.4b	9.9±1.8b	6.2±1.3c
新陆早 79 号 Xinluzao 79	W ₁₀₀	109.3±45.3a	271.9±10.9a	262.2±18.5b	264.4±11.2a	13.8±0.7a	18.3±2.1a	12.2±1.1a	13.2±1.8a
	W ₈₅	111.0±21.8a	215.2±27.9b	261.1±15.5b	260.2±12.8ab	13.9±1.1a	16.6±2.3ab	12.3±1.5a	11.0±0.8a
	W ₇₀	102.5±32.7a	202.1±18.5b	285.8±5.0a	230.3±45.1ab	13.8±1.5a	15.4±2.0bc	11.6±1.0a	8.1±2.9b
	W ₅₅	102.8±48.6a	161.7±25.1c	277.1±12.4ab	227.3±19.1b	13.6±2.0a	14.2±2.6c	11.0±2.4a	7.1±2.2b
新陆早 80 号 Xinluzao 80	W ₁₀₀	107.2±26.0a	247.2±31.8a	264.5±7.5ab	256.1±10.8a	13.4±1.5a	15.9±2.7a	11.6±1.6a	10.1±1.0a
	W ₈₅	109.6±27.1a	214.7±22.9b	254.1±12.8b	236.3±8.8a	13.6±1.7a	16.0±2.1a	11.6±1.9a	10.4±0.9a
	W ₇₀	104.5±42.7a	198.1±25.6b	273.2±12.9a	214.7±59.3a	13.5±1.3a	15.0±2.2a	10.6±1.4a	8.5±3.0a
	W ₅₅	105.3±29.7a	161.7±26.2c	269.2±16.6ab	239.2±21.2a	13.4±1.0a	12.5±2.8b	10.3±0.8a	8.2±2.4a

续表 7 Table 7 (continued)

品种 Variety	处理 Treatment	C _i (μmol/mm ^{ol})				T _r [mmol/(m ² ·s)]			
		06-06	06-27	07-15	08-02	06-06	06-27	07-15	08-02
新陆早 84 号 Xinluzao 84	W ₁₀₀	111.0±36.0a	238.2±23.6a	263.5±24.2a	277.6±16.2a	14.0±1.1a	15.2±5.0a	12.9±2.4a	12.3±1.5a
	W ₈₅	116.8±29.0a	261.1±30.1a	274.2±9.8a	260.0±15.3ab	14.6±2.4a	15.4±2.4a	11.4±0.7ab	11.9±1.2a
	W ₇₀	113.6±22.9a	201.0±24.1b	283.7±12.4a	245.2±15.7bc	14.6±2.0a	15.1±2.6a	10.6±1.4b	9.3±1.8b
	W ₅₅	101.6±59.6a	159.1±34.5c	276.1±15.0a	228.1±17.8c	14.1±2.0a	11.0±1.7b	10.3±1.1b	7.5±2.1b
新陆早 61 号 Xinluzao 61	W ₁₀₀	112.1±30.6a	230.5±22.8a	262.9±18.5a	264.5±11.4a	13.4±1.8a	15.4±3.0a	12.6±1.8a	11.9±1.3a
	W ₈₅	110.0±30.1a	224.4±16.9a	252.0±8.4a	256.6±6.9a	13.6±1.4a	15.2±1.8a	11.7±1.3ab	10.8±1.0a
	W ₇₀	114.3±18.8a	192.0±17.3b	257.7±9.9a	248.9±18.6a	13.9±0.5a	15.1±2.4a	10.4±0.5bc	9.9±2.1a
	W ₅₅	112.7±32.6a	165.5±28.0c	267.8±10.1a	243.7±32.4a	13.2±1.4a	12.0±1.4b	9.5±1.7c	7.2±2.1b

品种 Variety	处理 Treatment	VPD (kPa)				WUE (μmol/mm ^{ol})			
		06-06	06-27	07-15	08-02	06-06	06-27	07-15	08-02
惠远 720 Huiyuan 720	W ₁₀₀	3.26±0.18b	2.71±0.37b	2.03±0.15a	2.17±0.17c	3.76±0.40a	3.86±0.42a	2.43±0.20a	2.20±0.10b
	W ₈₅	3.34±0.24b	2.90±0.74b	2.22±0.37a	2.52±0.31b	3.76±0.31a	2.45±0.51c	2.47±0.12a	2.24±0.16b
	W ₇₀	3.44±0.12b	3.09±0.49b	2.23±0.23a	2.73±0.31b	3.81±0.19a	2.68±0.28bc	2.57±0.21a	2.43±0.26ab
	W ₅₅	3.75±0.24a	3.60±0.69a	2.38±0.31a	3.50±0.14a	3.82±0.09a	2.82±0.29b	2.64±0.29a	2.55±0.20a
新陆早 79 号 Xinluzao 79	W ₁₀₀	3.43±0.21b	2.78±0.37b	1.86±0.21a	2.18±0.18c	3.72±0.17b	3.41±1.11a	2.58±0.32a	2.17±0.12b
	W ₈₅	3.41±0.23b	2.97±0.67b	1.93±0.29a	2.66±0.26bc	3.71±0.17b	2.26±0.52b	2.28±0.24a	2.27±0.18b
	W ₇₀	3.69±0.23a	2.92±0.60b	2.02±0.36a	3.06±0.55ab	3.78±0.13ab	2.58±0.24b	2.36±0.25a	2.31±0.07b
	W ₅₅	3.79±0.26a	3.59±0.43a	2.22±0.34a	3.39±0.31a	3.96±0.11a	2.65±0.25b	2.58±0.16a	2.56±0.16a
新陆早 80 号 Xinluzao 80	W ₁₀₀	3.29±0.30c	2.79±0.42b	2.11±0.23a	2.48±0.12c	3.81±0.41b	4.28±0.53a	2.46±0.17a	2.36±0.21c
	W ₈₅	3.29±0.29c	2.90±0.41b	2.46±0.25a	2.68±0.11bc	3.75±0.27b	2.50±0.49b	2.36±0.24a	2.49±0.18bc
	W ₇₀	3.58±0.10b	3.08±0.44b	2.32±0.22a	3.01±0.38ab	4.00±0.30ab	2.54±0.24b	2.31±0.33a	2.64±0.22b
	W ₅₅	4.00±0.09a	3.52±0.53a	2.22±0.40a	3.21±0.30a	4.24±0.16a	2.73±0.18b	2.48±0.10a	3.02±0.19a
新陆早 84 号 Xinluzao 84	W ₁₀₀	3.20±0.72ab	2.63±0.73c	2.01±0.17a	2.38±0.29b	3.87±0.32b	4.54±0.55a	2.82±0.16a	2.25±0.15b
	W ₈₅	3.01±0.40b	2.81±0.42bc	2.04±0.28a	2.36±0.35b	3.56±0.19b	3.54±1.08b	2.09±0.21b	2.15±0.19b
	W ₇₀	3.46±0.23ab	3.19±0.38ab	2.09±0.05a	2.91±0.24a	3.60±0.38b	2.70±0.19c	2.27±0.25b	2.30±0.21b
	W ₅₅	3.55±0.55a	3.40±0.50a	2.10±0.07a	3.26±0.18a	4.46±0.33a	2.80±0.28c	2.69±0.28a	2.80±0.28a
新陆早 61 号 Xinluzao 61	W ₁₀₀	3.49±0.34a	2.82±0.34b	1.98±0.09b	2.46±0.31a	3.72±0.24a	3.93±0.86a	2.69±0.39a	2.38±0.26ab
	W ₈₅	3.56±0.27a	3.00±0.28b	2.27±0.15a	2.56±0.20a	3.59±0.43a	3.18±1.23b	2.38±0.20a	2.08±0.04b
	W ₇₀	3.67±0.29a	3.50±0.50a	2.31±0.25a	2.86±0.31a	3.60±0.25a	2.64±0.20bc	2.41±0.10a	2.35±0.06ab
	W ₅₅	3.75±0.40a	3.58±0.73a	2.38±0.16a	2.88±0.37a	3.94±0.47a	2.62±0.23c	2.66±0.21a	2.52±0.39a

达 70%，显著低于 W₁₀₀。处理间差异随胁迫时间延长而扩大，W₈₅ 与 W₁₀₀ 差异不显著，而 W₇₀ 和 W₅₅ 处理较 W₁₀₀ 分别下降 19.8% 和 28.8%（新陆早 84）。生理机制分析表明，P_n 下降与 G_s 显著正相关，暗示气孔限制为主导因素，同时长期胁迫可能引发叶绿体功能损伤。环境因子分析进一步揭示 P_n 与 VPD 呈显著负相关，尤其在后期高温低湿条件下，W₅₅ 处理 VPD 达 3.50 kPa 时 P_n 较 W₁₀₀（VPD=2.17 kPa）降低 31.4%。品种间耐旱性差异显著，如新陆早 80 号在 W₅₅ 处理下仍维持 P_n 在 22.0 μmol/(m²·s)，与对照差异不显著，而惠远 720 同期 P_n 下降达 70%。亏缺灌溉抑制了植物的光合作用，灌第 1 水时光合作用和 WUE 最大，要确保灌量足。

3 讨论

3.1 亏缺灌溉对棉花生育期的影响

本研究发现，亏缺灌溉显著缩短了棉花的生育期，尤其是花铃期至吐絮期阶段。主栽品种在亏缺灌溉条件下，初花期、花铃期、吐絮期和全生育期分别比正常灌溉提前 1、2、7~23 和 13~23 d。这与孙绘健等^[8]在南疆棉花品种的研究结果一致，即花铃期干旱显著缩短了棉花的生育期，尤其是吐絮期的提前较为明显。此外，杨明凤等^[10]的研究也表明，花铃期持续干旱胁迫会导致棉花生育期缩短，尤其是吐絮期的提前。这些研究均表明，水分亏缺会加速棉花的生长发育进程，尤其是在花铃期至吐絮期阶段，水分亏缺导致棉花提前进入成熟期，可

能与水分胁迫下棉花的生理代谢加速有关。

3.2 亏缺灌溉对棉花农艺性状及生理指标的影响

本研究发现,随着亏缺灌溉的加剧,棉花的株高、功能叶面积、SPAD 值、初始果枝高度、有效果枝台数、收获期总生物量及各器官生物量均呈下降趋势。这一结果与前人^[3,15]的研究结果一致,他们发现水分胁迫显著降低了棉花幼苗的株高、叶面积和生物量积累。此外,王森等^[11]的研究也表明,花铃期干旱胁迫显著降低了棉花的干物质积累和产量。水分亏缺导致棉花光合作用减弱,进而影响其生长发育和生物量积累。本研究发现,随着亏缺灌溉的加剧,棉花的 MDA、Pro、SS 含量及 POD 和 SOD 活性均呈增加趋势。这与孙丰磊等^[14]的研究结果一致,即花铃期干旱胁迫显著提高了棉花的 MDA 和 Pro 含量,表明棉花在水分胁迫下通过增加渗透调节物质和抗氧化酶活性来应对逆境。此外,王俊娟^[16]的研究也表明,干旱胁迫下棉花的抗氧化酶活性显著提高,以减轻氧化损伤。这些生理指标的变化反映了棉花在水分亏缺条件下的逆境响应机制^[17]。

3.3 亏缺灌溉对棉花产量及水分利用效率的影响

本研究发现,随着亏缺灌溉的加剧,各品种的产量均呈下降趋势,惠远 720、新陆早 79 号、新陆早 80 号、新陆早 84 号和新陆早 61 号分别比正常灌溉减产 4.7%~48.1%、4.4%~44.7%、4.6%~41.9%、5.3%~45.2%和 6.2%~47.6%。这与张慧等^[18]的研究结果一致,即不同灌溉量对新疆棉花的产量有显著影响,随着灌溉量的减少,棉花产量显著下降。此外,崔豫疆等^[9]的研究也表明,棉花产量主要受单株铃数和单株籽棉的影响,水分亏缺显著降低了这 2 个产量构成因素。萨仁娜等^[19]研究表明,高灌水定额较亏缺灌溉显著提高了棉花的株高、茎粗、叶面积指数、生物量、收获指数(HI)、产量及其构成因素,低灌水定额有效提高了灌溉水利用效率。尽管亏缺灌溉导致产量下降,但本研究还发现,在同一灌水量条件下,主栽品种的 WUE 较对照品种有所提高,尤其是在轻度和中度亏缺灌溉条件下,WUE 提高了 3.50%~18.44%。这与杨明凤等^[10]的研究结果一致,即适度亏缺灌溉可以提高棉花的 WUE,尤其是在干旱地区,适度亏缺灌溉可以在保证一定产量的同时,减少水资源的消耗。此外,李腾宇等^[1]的研究也表明,棉花具有一定的抗

旱性,适度亏缺灌溉可以通过提高水分利用效率来缓解水资源短缺的压力。

4 结论

本研究表明,水分胁迫显著缩短棉花生育周期,加速生殖发育进程,但也会加剧蕾铃脱落率(W_{55} 达 64.4%~68.9%)。亏缺灌溉导致 P_n 降幅达 70% (W_{55}),主栽品种在 W_{70} ~ W_{85} 区间 WUE 达 1.8 kg/m^3 ,平衡节水与产量潜力。

新陆早 80 号 and 84 号在 W_{55} 下维持较高产量 ($4020 \sim 5040 \text{ kg/hm}^2$),耐旱性强。花铃期为需水关键期,功能叶面积在花铃期达峰值 (W_{100} 较 W_{55} 多 $34.2 \sim 52.9 \text{ cm}^2$),建议优化花铃期水分供给以保障产量。适度亏缺可实现节水增效, W_{85} 处理下主栽品种 WUE 提升 5.11%~8.58%,产量降幅仅 4.4%~5.3%,表明膜下滴灌下轻度水分调控(85%灌溉量)可兼顾节水与稳产。

参考文献

- [1] 李腾宇,汤孟玲,曹跃芬,等.棉花抗旱研究进展.江苏农业科学,2019,47(20): 64-69.
- [2] 南建福,刘恩科,王计平,等.苗期干旱和施肥对棉花生长发育的影响.棉花学报,2005,17(6): 21-24.
- [3] 李平,张永江,刘连涛,等.水分胁迫对棉花幼苗水分利用和光合特性的影响.棉花学报,2014,26(2): 113-121.
- [4] 齐文婷,王航,薛皓文,等.灌水下限对北疆棉花光合生理和产量的影响.节水灌溉,2024(12): 95-101, 110.
- [5] 闫成川,曾庆涛,陈琴,等.陆地棉花铃期抗旱指标筛选及评价.中国农业科技导报,2022,24(7): 46-57.
- [6] 李憬霖,刘绍东,张思平,等.棉花品种资源全生育期抗旱性评价及抗旱指标筛选.中国农业科技导报,2021,23(10): 52-65.
- [7] 郑巨云,桑志伟,王俊铎,等.棉花品种抗旱性相关指标分析与综合评价.中国农业科技导报,2022,24(10): 23-34.
- [8] 孙绘健,罗静,杜珊珊,等.花铃期不同干旱水平对南疆棉花品种生育进程、产量及纤维品质的影响.中国棉花,2024,51(12): 20-27.
- [9] 崔豫疆,龚照龙,王俊铎,等.245 份陆地棉品种农艺性状及产量构成综合评价.新疆农业科学,2024,61(10): 2358-2365.
- [10] 杨明凤,吉春容,刘勇,等.花铃期持续干旱胁迫对棉花生长与土壤干旱阈值的影响.浙江农业学报,2024,36(4): 738-747.
- [11] 王森,吉春容,陈雪,等.花铃期干旱胁迫后复水对新陆早 78 号干物质质量和产量的影响.中国棉花,2024,51(8): 39-43, 63.
- [12] 杨川.新疆棉花植株生长及形态特征对不同水分用量的响应.乌鲁木齐:新疆农业大学,2022.
- [13] 沈杰,陈正才,何书文,等.棉花生产遇伏期持续高温干旱的防控措施.棉花科学,2014,36(1): 54-55.
- [14] 孙丰磊,张玻,曲延英,等.花铃期干旱胁迫对不同棉花品种光合特性影响及抗旱性评价.干旱地区农业研究,2018,36(5): 7-13, 20.
- [15] 李港强,吕廷波,王久龙,等.种植模式与灌溉定额对棉花生长发育及产量和纤维品质的影响.棉花学报,2024,36(6):

- 513-524.
- [16] 王俊娟. 陆地棉种质资源的抗旱性评价及遗传研究. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [17] 张换样, 吴慎杰, 李静, 等. 全生育期干旱胁迫下棉花主要农艺性状变化研究. 现代农村科技, 2020(1): 69-70.
- [18] 张慧, 张凯, 陈冰, 等. 不同灌溉量对新疆棉花生长发育及产量形成的影响. 干旱区研究, 2022, 39(6): 1976-1985.
- [19] 萨仁娜, 谢香文, 米力夏提·米那多拉, 等. 北疆典型盐碱地棉花滴灌灌水技术参数的优化. 农业资源与环境学报, 2024, 41(6): 1396-1404.

Effects of Deficit Irrigation on Growth, Development, and Yield Formation of Major Cotton Varieties in Shihezi Reclamation Area

Yang Jingjing¹, Wang Mingjuan², Ning Kewei¹, Yu Haonan¹, Zhang Aihua¹,
Cai Junling¹, Zhou Tailong¹, Liu Aiping², Xie Xiaodong¹

(¹Shihezi Academy of Agricultural Sciences, Shihezi 832000, Xinjiang, China;

²Manas County Agricultural Technology Extension Center, Manas 832200, Xinjiang, China)

Abstract To explore the effects of water regulation on growth, development, and yield formation of major cotton varieties in Shihezi Reclamation Area, and to analyze of water requirements across growth stages, a split-plot field experiment was conducted under the under-mulch drip irrigation system. Irrigation gradients were arranged as main plots, and cotton varieties as subplots. Four irrigation gradients were set: normal irrigation (control, W_{100} , 4200 m³/ha), mild water deficit (W_{85} , 3570 m³/ha), moderate water deficit (W_{70} , 2940 m³/ha), and severe water deficit (W_{55} , 2310 m³/ha). Five cotton varieties were selected, including the control variety Xinluzao 61 and four major varieties (Huiyuan 720, Xinluzao 79, Xinluzao 80, and Xinluzao 84). Agronomic traits and yield were measured across growth stages. The results showed that water deficit significantly shortened the cotton growth cycle. W_{55} treatment reduced the period from flowering and boll stage to boll opening stage by 21 days (from 58 to 37 days), with the total growth period advancing by 7-23 days compared to W_{100} . The flowering and boll stage was identified as the critical water-sensitive phase, where functional leaf area peaked (W_{100} exceeded W_{55} by 34.2-52.9 cm²), and water deficit caused a 46.9% reduction in seed cotton biomass. Net photosynthetic rate (P_n) and stomatal conductance (G_s) exhibited significantly negative correlations with vapor pressure deficit ($P < 0.05$). Under W_{55} , P_n decreased by 70%, while water use efficiency improved by 5.11%-8.58% under W_{85} . Varieties showed marked drought tolerance divergence: Xinluzao 80 and Xinluzao 84 under W_{55} achieved significantly higher yields (4027.0 and 3781.5 kg/ha) than Xinluzao 61. The study recommends prioritizing water supply during the flowering-bolling stage under drip irrigation, selecting drought-tolerant varieties, and adopting W_{85} (85% of full irrigation) as the optimal threshold for balancing water conservation and yield efficiency.

Key words Cotton; Water use efficiency; Variety; Photosynthetic parameters; Water deficit