

淋洗定额与覆盖方式对北疆棉花生长和产量的影响

胡清阳, 曹红霞*, 何子建, 丁邦新, 张 滢

(西北农林科技大学 旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:【目的】探讨生育期灌溉淋洗定额与膜间秸秆覆盖对棉花生长和产量的影响。【方法】通过田间试验, 设置 4 个灌溉水平: $W_0=80\%ET_c$ 、 $W_1=120\text{ mm}+80\%ET_c$ 、 $W_2=240\text{ mm}+80\%ET_c$ 和 $W_3=360\text{ mm}+80\%ET_c$ (120、240 mm 和 360 mm 为生育期灌溉淋洗定额, $80\%ET_c$ 为棉花蒸散量) 和 2 种覆盖方式: 膜间裸地(N)和膜间秸秆覆盖(S), 共 8 个处理。探究生育期不同灌溉淋洗定额和膜间覆盖方式对棉花株高、叶面积指数、地上干物质积累量、棉花产量和灌溉水利用效率的影响。【结果】同一覆盖方式下, W_0 处理棉花生长指标和产量显著低于其他处理; 提高灌溉淋洗定额对棉花生长指标和产量有显著促进作用, 淋洗定额从 0 提高到 240 mm, 棉花株高、叶面积指数、干物质量和产量分别提高了 53.75%、116.91%、110.45% 和 80.14%, 当淋洗定额由 240 mm 提高至 360 mm 时, 棉花生长指标和产量并没有显著提高, 且灌溉水利用效率显著降低。淋洗定额为 240 mm 时, 棉花产量和灌溉水利用效率分别达到了 $5\,972.46\text{ kg/hm}^2$ 和 0.92 kg/m^3 。【结论】综合考虑节水和棉花高效用水, 北疆棉花生育期灌溉定额为 $240\text{ mm}+80\%ET_c$ 是最适宜当地发展的高效节水控盐策略。

关键词: 膜下滴灌; 秸秆覆盖; 叶面积指数; 干物质积累; 籽棉产量

中图分类号: S565

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2021508

OSID:



胡清阳, 曹红霞, 何子建, 等. 淋洗定额与覆盖方式对北疆棉花生长和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(5): 27-33.

HU Qingyang, CAO Hongxia, HE Zijian, et al. Combined Effect of Drip Irrigation Amount and Straw Mulch on Growth and Yield of Cotton in Salinized Soils in Northern Xinjiang[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(5): 27-33.

0 引言

【研究意义】新疆是中国最重要的棉花种植区, 2020 年棉花种植总面积和产量分别达到了 250.19 hm^2 和 516.10 万 t, 居中国之首^[1]。然而, 干旱和土壤盐渍化制约了当地棉花产业的可持续发展^[2]。棉花具有一定的耐盐性, 然而较高的土壤盐渍化水平仍会降低棉花生长速率和叶片扩展速率, 抑制器官生长, 从而影响干物质积累, 最终导致棉花减产^[3]。为此, 新疆地区主要是通过棉花非生育期进行高定额冬春灌压盐来降低土壤盐分水平^[4-6]。尽管高定额冬春灌可以减缓土壤盐胁迫, 但是高定额灌水造成了水资源大量浪费和地下水位上升, 加剧了次生盐渍化风险^[7]。同时, 近年来很多灌区废弃了末级渠系, 利用漫灌进行冬春灌变得更为困难^[5]。此外, 长期小定额膜下滴灌导致土壤盐分在膜间聚集^[8], 制约了外行棉花的生长。为此, 考虑棉花生长发育和产量、水分利用效率、盐分淋洗效率及新疆棉花产业可持续发展等因素, 在棉花生育期结合暗管排水技术进行大定额

滴灌的盐分淋洗有望成为更有优势的新疆地区节水控盐策略^[9]。

【研究进展】大定额冬春灌具有显著的保墒压盐效果, 灌溉淋洗定额为 360 mm 时, 可为返春后棉花生长提供较好的水盐条件^[5-6]。膜下滴灌以节水抑盐和保温保墒的特点在新疆地区广泛应用^[10]。与沟灌及漫灌相比, 膜下滴灌提高了棉花株高、叶面积指数、产量和水分利用效率^[11]。同时, 滴灌淋洗效率显著高于传统的大水漫灌, 增加滴灌灌水定额^[12]和提高土壤基质势下限^[13]可以显著增加株高、叶面积指数、地上干物质和产量^[8]。研究表明, 生育期灌溉淋洗定额设置为 240 mm 可以显著促进棉花生长, 并获得较高的产量^[12]。此外, 大定额滴灌会导致土壤水盐由膜内向膜间迁移, 膜间秸秆覆盖可减少膜间的水分蒸发损失, 能够有效缓解膜间 0~40 cm 土层的盐分聚集, 促进棉花的生长发育和增产^[14-15]。

【切入点】目前, 针对非生育期不同冬春灌定额对土壤水盐分布和返春后棉花生长的影响研究较多, 而对盐碱化棉田的棉花生育期内灌溉淋洗定额和膜间秸秆覆盖对棉花生长的研究较少。【拟解决的关键问题】为此, 本研究通过双因素随机区组田间试验, 设置 4 个滴灌水平和 2 个膜间秸秆覆盖方式, 基于 Logistic 函数、相关分析和通径分析方法对棉花生育

收稿日期: 2021-12-30

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (51979231)

作者简介: 胡清阳 (1996-), 男, 河北邢台人。硕士研究生, 研究方向为节水灌溉理论与技术研究。E-mail: 18821712175@163.com

通信作者: 曹红霞 (1971-), 女, 新疆五家渠人。教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: nschx225@nwafu.edu.cn

期不同灌溉淋洗定额和膜间秸秆覆盖处理下的棉花株高、叶面积指数、干物质量、产量及灌溉水利用效率进行全面系统的分析,为当地节水控盐策略提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2020 年 4—10 月在新疆生产建设兵团农八师 146 团(85°58'13"E, 44°28'49"N)内进行。该区域位于西北内陆,属于典型的温带大陆性气候,区域内光热资源丰富,干旱少雨,蒸发强烈。棉花全生育期蒸发蒸腾量约为 800 mm;而全生育期有效降水量不足 50 mm(图 1)。土壤质地为碱性砂壤土,0~20、20~40、40~60、60~100、100~140 cm 土层含盐量分别为:16.6~23.5、13.8~16.2、13.1~15.3、12.2~13.8、3.6~12.7 g/kg,土壤体积质量为 1.51 g/cm³,土壤田间体积持水率为 32%。试验地埋有排水暗管,暗管由吸水管和集水管 2 部分组成。

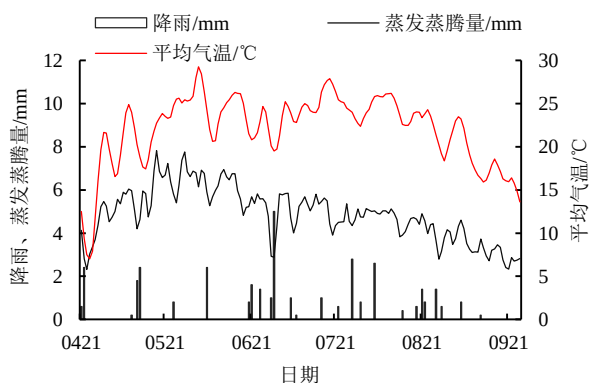


图 1 棉花生育期降雨、蒸发蒸腾量及平均气温

Fig.1 Changes in precipitation, average temperature and ET_0 from seedling stage to harvest stage of cotton

1.2 试验设计

试验设置生育期灌溉淋洗定额和膜间覆盖 2 个因素。在棉花生育期内设置 4 个灌溉定额: W_0 : $80\%ET_c$; W_1 : $120\text{ mm}+80\%ET_c$; W_2 : $240\text{ mm}+80\%ET_c$; W_3 : $360\text{ mm}+80\%ET_c$; 其中 120、240 mm 和 360 mm

为生育期灌溉淋洗定额, ET_c 为蒸发蒸腾量, 由 $ET_c=ET_0\times K_c$ 获得, ET_0 由试验区气象站数据通过 Penman-Monteith 公式计算获得(图 1), K_c 为作物系数。生育期最大淋洗定额 360 mm 与北疆冬春灌定额相同^[5-6], $80\%ET_c$ 是满足当地棉花生长需求的最佳需水量^[12]。具体的灌溉制度如表 1 所示。

表 1 灌溉制度

Table 1 Irrigation scheduling

日期	W_0/mm	W_1/mm	W_2/mm	W_3/mm
20200428	70	70	70	70
20200610	56	96	136	176
20200617	28	28	28	28
20200624	30	30	30	30
20200701	21	21	21	21
20200708	32	72	112	152
20200715	35	35	35	35
20200722	31	31	31	31
20200729	28	68	108	148
20200805	29	29	29	29
20200812	32	32	32	32
20200819	17	17	17	17
总计	409	529	649	769

膜间覆盖设 2 个覆盖方式: 膜间裸地(N)和膜间秸秆覆盖(S), 其中膜间秸秆覆盖量为 3.4 t/hm^2 。采用随机区组设计, 每个小区面积为 $9.2\text{ m}\times 5.0\text{ m}$, 每个处理重复 3 次。种植模式采用如图 2 所示的“1 膜 3 管 6 行”, 其中, 宽行 70 cm, 窄行 10 cm, 膜间裸地 30 cm, 棉花株距 9 cm。棉花种子采用“惠远 72”, 此品种长势强, 较早熟, 吐絮畅, 在新疆地区广泛种植。试验于 4 月下旬开始播种, 采取“干播湿出”的方式, 施肥模式为滴灌追肥, 施肥量按当地施肥标准进行施肥($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$: $300\text{-}120\text{-}60\text{ kg/hm}^2$), 按照当地模式进行田间管理。

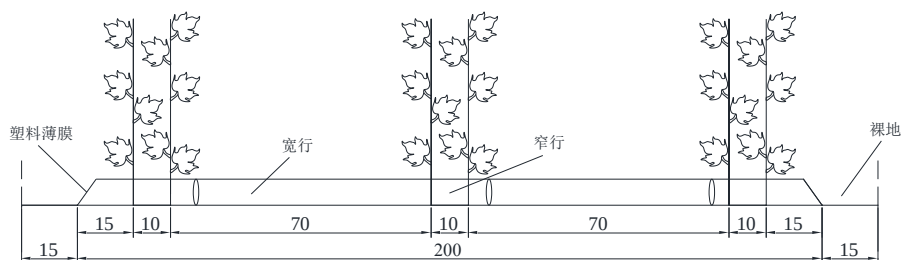


图 2 棉花田间种植模式

Fig.2 Layout of the drip irrigation and mulching system for cotton

1.3 测定指标与方法

1.3.1 株高与叶面积指数

棉花出苗后,在各小区分别选取 6 株长势均一、具有代表性的棉花植株标记,每隔 14 d 观测 1 次株高,直到吐絮期。棉花出苗后,每隔 14 d 在各小区随机取 6 株具有代表性的棉花,通过打孔称质量法测定每株棉花的叶面积,取平均值代表小区单株叶面积。叶面积指数 (LAI) = 单株叶面积 $\times$ 单位面积株数/单位土地面积。

1.3.2 地上干物质质量

在每个小区内自苗期开始每间隔 28 d 随机选取 6 株具有代表性的植株,从茎基部取棉花地上部分,采样后分离植株各器官(茎、叶、蕾、花和铃),将棉花各器官分别装入信封放入烘箱中,于 105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青 0.5 h 后,将温度调至 75 $^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒质量,用天平称量各部分质量,并计算单株地上干物质质量。

在不同淋洗定额和秸秆覆盖条件下,棉花地上干物质积累量随生长时间变化的量化特征利用 Logistic 函数拟合分析^[16]:

$$F = \frac{K}{1 + ae^{-bt}}, \quad (1)$$

式中: F 为棉花地上干物质积累量 (g); K 为理论最大地上干物质积累量 (g); t 为播后天数 (d); a 、 b 为经验系数。

表 2 不同灌溉淋洗定额和覆盖情况下的棉花生育期株高、叶面积指数的显著性

Table 2 Significance level of the effects of treatments on cotton plant height, leaf area index

处理	26 d		65 d		97 d		123 d		140 d	
	H	LAI	H	LAI	H	LAI	H	LAI	H	LAI
淋洗定额	ns	ns	**	**	**	**	**	**	**	**
秸秆覆盖	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
淋洗定额 $\times$ 秸秆覆盖	ns	ns	**	**	**	**	**	**	**	**

注 ns 表示差异不显著 ($p>0.05$), **表示差异极显著 ($p<0.01$), *表示差异显著 ($p<0.05$)。

株高随棉花生长呈先增大后趋于稳定的趋势(图 3(a))。膜间裸地条件下,各灌溉淋洗定额下的棉花株高随着生育期推进差异逐渐拉大,至播种后 100 d 时表现为 W3 处理>W2 处理>W1 处理>W0 处理(W2 处理和 W3 处理无显著差异,其余各处理间的差异显著)。各处理 LAI 随着生育期推进呈先增大后减小的趋势(图 3(b)),在播后 123 d 左右达到最大值;此时,在膜间裸地条件下,除 W2 处理和 W3 处理外,其余各处理存在显著差异,表现为: W3 处理>W2 处理>W1 处理>W0 处理。整体来看,增大淋洗定额促进了棉花生长发育,而膜间秸秆覆盖相比膜间裸地对提高棉花株高和叶面积指数并没有显著作用。

1.3.3 产量

采用样田法,于吐絮期在各小区随机选取长 $\times$ 宽为: 2.3 m $\times$ 1 m 的区域进行测产,统计每个区域内的棉花总铃数,随机选取不同高度的棉絮共 60 朵,计算单铃质量,最后估算棉花籽棉产量,并重复 3 次取均值代表该处理籽棉产量。

1.3.4 灌溉水利用效率

灌溉水利用效率 ($IWUE$, Irrigation Water Use Efficiency, kg/m^3) 计算式为:

$$IWUE = \frac{Y}{I}, \quad (2)$$

式中: Y 为籽棉产量 (kg/hm^2); I 为灌溉定额 (m^3/hm^2)。

1.3.5 统计分析

采用 Excel 2019 对不同指标进行数据分析,采用 Origin 2021 和 CAD 2017 作图;运用 SPSS26 进行 LSD 显著性方差分析,相关分析和 Logistic 函数拟合分析。

2 结果与分析

2.1 生育期灌溉淋洗定额和膜间秸秆覆盖对棉花株高和叶面积指数的影响

灌溉淋洗定额和覆盖下的棉花株高 (H) 和叶面积指数 (LAI) 双因素方差分析结果见表 2。随着棉花的生长(播种 65 d 后),灌溉淋洗定额对 H 和 LAI 产生了极显著影响 ($p<0.01$),而膜间秸秆覆盖对 H 和 LAI 无显著影响 ($p>0.05$)。

2.2 生育期灌溉淋洗定额和膜间秸秆覆盖对单株棉花干物质质量的影响

由表 3 可知, Logistic 函数可以较好地拟合不同灌溉淋洗定额和膜间覆盖处理下棉花干物质积累量 (DMA) 的变化 ($R^2>0.913$)。各处理单株干物质积累最大速率 (V_m) 分布在 0.52~0.95 $\text{g}/(\text{plant}\cdot\text{d})$ 之间,生物量快速积累时间 (t_1) 出现在播后 58.9~65.45 d,维持高速积累的时间段 (Δt) 为 35.86~45.48 d。膜间裸地条件下, W0 处理的干物质快速积累速率最小,出现时间最早,维持时间最短。增加淋洗定额可以提高干物质快速积累速率,并延后快速积累出现时间和延长维持快速积累时段。淋洗定额增加到 240 mm

(W2 处理) 时, 干物质积累速率较大, 快速积累期出现适中, 并且维持时段较长。W3 处理与 W2 处理相比, V_m 、 t_1 和 Δt 差异不显著, 说明在 240 mm 淋洗

定额下, 再增加淋洗定额对促进干物质积累效果不显著。此外, 在淋洗定额相同时, 膜间秸秆覆盖处理对 V_m 、 t_1 和 Δt 没有显著影响。

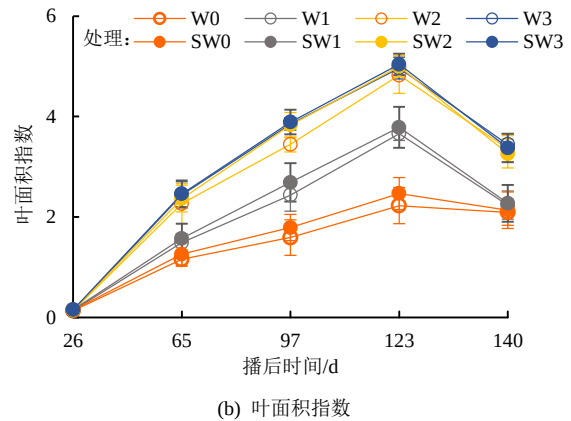
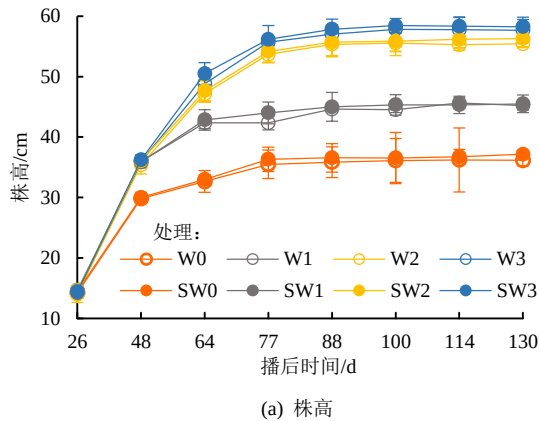


图 3 不同灌溉淋洗定额和覆盖方式因素下株高和叶面积指数随播种后时间变化情况

Fig.3 The plant height and leaf area index changed with day after sowing under different treatments

表 3 不同灌溉淋洗定额与覆盖处理下棉花干物质积累的 Logistic 函数生长模型及相关参数

Table 3 The logistic function growth model and related parameters of dry matter accumulation

处理	$V_m/(g \cdot plant^{-1} \cdot d^{-1})$	t	t_1	t_2	Δt	Logistic 函数	R^2
W0	0.52	79.10	59.01	94.87	35.86	$F = 30.84/(1 + 178.35e^{-0.066t})$	0.998
W1	0.82	83.96	65.19	102.72	37.53	$F = 46.98/(1 + 362.14e^{-0.070t})$	0.932
W2	0.91	86.45	64.49	108.41	43.92	$F = 56.96/(1 + 178.44e^{-0.060t})$	0.951
W3	0.93	89.26	65.41	110.16	43.75	$F = 66.96/(1 + 243.58e^{-0.060t})$	0.960
SW0	0.54	79.34	58.90	94.86	35.96	$F = 33.55/(1 + 155.75e^{-0.064t})$	0.999
SW1	0.87	81.04	63.57	103.46	39.89	$F = 45.97/(1 + 449.84e^{-0.075t})$	0.913
SW2	0.93	86.66	64.62	108.70	44.07	$F = 58.52/(1 + 177.49e^{-0.060t})$	0.952
SW3	0.95	88.18	65.45	110.92	45.48	$F = 66.21/(1 + 165.28e^{-0.058t})$	0.942

注 V_m 为棉花干物质积累最大速率; t 为干物质积累速率最快时间; t_1 棉花地上干物质快速积累开始时间; t_2 棉花地上干物质快速积累结束时间; Δt 为棉花地上干物质快速积累持续时间。

2.3 生育期灌溉淋洗定额和膜间秸秆覆盖对籽棉产量和灌溉水利用效率的影响

棉花干物质积累量在播种后 123 d 左右时达到峰值, 此时各处理差异分析见表 4。灌溉淋洗定额对单株最大干物质质量有极显著影响 ($p < 0.01$), 而膜间覆盖对单株最大干物质质量无显著影响 ($P > 0.05$), W2 处理和 W3 处理的单株最大干物质质量显著大于 W0 处理和 W1 处理 ($p < 0.05$), 而 W2 处理和 W3 处理无显著差异。生育期进行淋洗灌溉可以显著促进干物质积累, 当增加淋洗定额到 240 mm 时, 可获得较高的单株干物质积累量 (62.87 g), 继续增加淋洗定额到 360 mm 时单株干物质积累量 (64.06 g) 相比 W2 处理增加不显著。膜间秸秆覆盖对促进干物质积累无显著作用。

生育期不同灌溉淋洗定额对棉花单铃质量有显著影响 ($p < 0.05$), 对籽棉产量有极显著影响 ($p < 0.01$), 而膜间覆盖对棉花单铃质量、籽棉产量均无显著影响

($p > 0.05$)。在膜间裸地条件下, W0 处理的棉花单铃质量显著小于其他处理 ($p < 0.05$); 不同淋洗定额处理的棉花籽棉产量排序为 W3 处理 > W2 处理 > W1 处理 > W0 处理, 其中 W2 处理和 W3 处理的籽棉产量显著大于 W1 处理和 W0 处理, 而 W2 处理和 W3 处理的籽棉产量无显著差异。淋洗定额达到 240 mm 时 (W2 处理) 可获得较高的籽棉产量 (5 972.46 kg/hm²)。继续增加淋洗定额到 360 mm 时籽棉产量 (6 015.65 kg/hm²) 相比 W2 处理增加不显著。此外, 淋洗定额相同时, 膜间秸秆覆盖对提高棉花单铃质量和籽棉产量没有显著作用。

生育期不同灌溉淋洗定额对灌溉水利用效率有极显著影响 ($p < 0.01$), 而膜间覆盖对灌溉水利用率没有显著影响 ($p > 0.05$)。膜间裸地因素下, 灌溉水利用效率随着灌溉淋洗定额的增大呈先上升后降低的趋势, 在 W2 处理条件下取得最大值 (0.920 kg/m³), 且显著高于 W0、W1 处理和 W3 处理 ($P < 0.05$)。

表 4 不同灌溉淋洗定额和覆盖处理下棉花单株最大干物质质量、籽棉产量和灌溉水利用效率

Table 4 Boll weight, dry matter mass, cotton yield and irrigation water productivity for different treatment

处理	单株最大干物质量/g	单铃质量/g	籽棉产量/(kg hm ⁻²)	灌溉水利用效率/(kg m ⁻³)
W0	29.98 d	4.54 c	3 315.44 c	0.811 bc
W1	50.01 c	5.26 ab	4 731.62 b	0.857 b
W2	62.87 b	5.61 a	5 972.46 a	0.920 a
W3	64.06 ab	5.53 a	6 015.65 a	0.782 c
SW0	30.35 d	4.61 bc	3 406.8 c	0.833 bc
SW1	50.73 c	5.15 abc	4 854.76 b	0.918 a
SW2	63.25 b	5.48 ab	6 047.63 a	0.932 a
SW3	65.36 a	5.55 a	6 013.24 a	0.782 c
淋洗定额	**	*	**	**
秸秆覆盖	ns	ns	ns	ns
淋洗定额×秸秆覆盖	**	ns	ns	ns

注 ns 表示没有显著性差异 ($p>0.05$)；**表示有极显著性差异 ($p<0.01$)；*表示有显著性差异 ($p<0.05$)。

2.4 籽棉产量与株型性状的通径分析

由表 5 可知, 生育期不同灌溉淋洗定额和膜间覆盖处理下, Y 与 H 、 LAI 和 DMA 的简单相关程度和方向为: $H(0.983\ 2)>DMA(0.967\ 0)>LAI(0.881\ 0)$, 均呈极显著正相关。通过以 $H(X_1)$ 、 $LAI(X_2)$ 和 $DMA(X_3)$ 为自变量, 产量 Y 为因变量进行逐步回归分析, 得回归方程: $Y=-649.846+98.002X_1+172.672X_2+3.713X_3$ ($R^2=0.987\ 9$)。可见, H 、 LAI 和 DMA 对 Y 有较好预测效果。株型性状对产量的直接作用 (通径系数) 贡献为: $H(0.803\ 7)>LAI(0.163\ 9)>DMA(0.042\ 9)$, 同时 DMA 和 LAI 通过 H 对 Y 有较大的间接作用, 间接通径系数分别为 0.774 3 和 0.677 9。 H 、 DMA 和 LAI 是影响 Y 的重要因素, 影响力大小排序为 $H>DMA>LAI$ 。

表 5 籽棉产量与株型性状的通径分析

Table 5 Path analysis of yield and plant type

自变量	与 Y 相关系数	通径系数	间接通径系数		
			H	LAI	DMA
H	0.983 2	0.803 7	-	0.138 2	0.041 3
LAI	0.881 0	0.163 9	0.677 9	-	0.039 2
DMA	0.967 0	0.042 9	0.774 3	0.149 8	-

3 讨论

盐胁迫会造成棉花生理干旱, 影响棉花对水分和养分的吸收, 抑制棉花的生长发育, 减少干物质积累^[3]。通常新疆地区主要通过大定额冬春灌压盐, 缓解土壤盐胁迫, 促进次年作物生长^[7]。张瀚等^[6]研究表明,

360 mm 的冬灌定额基本可满足棉花生长初期的水分要求并保证出苗率。此外, 生育期进行大定额洗盐水灌溉同样可以缓解土壤盐胁迫, 促进棉花生长^[16-17]。

株高、叶面积指数和干物质积累量是衡量棉花生长发育和群体株型状况是否合理的重要指标^[18]。膜下滴灌作为高效的节水灌溉技术, 灌水定额对作物生长有显著的影响^[19-20]。本研究表明, 生育期不同淋洗定额对棉花株高、叶面积指数和单株最大干物质质量均有显著影响。生育期末进行淋洗灌溉时, 土壤盐分较高, 含水率较低, 盐胁迫下棉花生理受旱, 生育进程加快, 生育期缩短, 出现早衰, 不利于棉花生长发育, 株高、叶面积指数仅有 35.2 cm 和 2.2, 远低于北疆高产棉花适宜株高 (60~65 cm) 和叶面积指数 (3.5~4.1)^[4]; 而生育期内进行高淋洗定额灌溉减缓了土壤盐胁迫, 促进了棉花生长, 显著提高了株高和叶面积指数, 增加了单株最大干物质质量, 当淋洗定额达到 240 mm 时, 棉花株高、叶面积指数和单株最大干物质质量相比 W0 处理分别提高了 53.75%、116.91%和 110.45%, 这与 Xiao 等^[2]的研究结果一致。

研究表明, Logistic 生长函数可以很好地拟合干物质积累量随播种后天数的变化情况^[4,16]。本研究中 W0 处理下 V_m 仅有 0.52 g/(plant·d), 并且 t_1 出现较早, Δt 较短, 表明棉花植株生育进程加快, 出现早衰, 不利于干物质积累。随着灌溉淋洗定额的增大, V_m 显著提高, t_1 出现的时间延后、 Δt 延长, 增加了干物质积累, 进一步提高了产量。何平等^[4]通过 Logistic 方程分析了株高和干物质积累量在不同灌水定额下随棉花播后天数的变化, 得出土壤水分下限过低会导致棉花受旱, 不利于棉花生长和干物质积累, 土壤水分下限高于 75%FC 时, 可促进棉花生长, 增加干物质积累, 获得高产。

通径分析表明, 在生育期不同灌溉淋洗定额和膜间覆盖下, H 、 LAI 和 DMA 与 Y 存在紧密联系, 这 3 个植株表型可以较准确的反应生育期不同淋洗定额和秸秆覆盖对产量的作用。本研究中, W0 处理棉花植株矮小, 干物质积累量小, 进一步造成了棉花减产和灌溉水生产效率低, 随着灌溉淋洗定额的增大, 产量显著提高, 但是过高的淋洗定额导致灌溉水利用效率显著降低。赵波等^[5]通过不同梯度冬灌定额试验表明, 随着灌溉淋洗定额的增大, 棉花产量相对于未冬灌提高了 2.78%~11.42%。胡宏昌等^[21]研究表明, 在膜下滴灌条件下, 采取冬春灌的非生育期洗盐策略, 年灌溉总量大致在 900 mm, 可以保障棉花正常生长, 并获得较高产量。张迎春等^[12]证明, 膜下滴灌灌水定额增加可以促进棉花生长和干物质积累, 灌溉定额为 100% ET_c 、滴头流量为 2.4 L/h 时, 棉花生长较好, 产

量最大。

有研究表明,膜间秸秆覆盖改善了土壤结构和膜间土壤水热状况,增加了土壤养分量和土壤微生物量,促进了棉花的生长发育和干物质积累^[14]。但也有研究发现膜间秸秆覆盖对促进棉花生长没有显著作用,Tan 等^[15]通过研究秸秆覆盖等 4 种棉花膜间裸地处理方式,得出棉花膜间秸秆覆盖可以减少膜间蒸发,降低膜间表层土壤盐分积累,但对促进棉花生长、产量和水分利用效率没有显著作用,这与本研究中膜间秸秆覆盖对 H 、 LAI 、 DMA 、 Y 和 $IWUE$ 没有显著影响的结论一致。这可能是因为膜间覆盖虽减少了膜间表层土壤的盐分聚积,但是受塑料地膜及水分影响,棉花根系主要位于膜内,其受膜间土壤盐分的影响较小。综合分析,W2 处理棉花长势良好,并且可以获得较高的产量和灌溉水利用效率。此外,本试验中的 W2 处理与冬灌或春灌^[5-6]相比,灌溉水利用效率更高(节水 20.00%~27.89%)。

4 结 论

1) Logistic 函数可以很好模拟棉花干物质累积量随播种后天数的变化情况。通径分析表明, H 、 LAI 和 DMA 与 Y 存在紧密联系。

2) 增大淋洗定额可显著提高 H 、 LAI 、 DMA , 并获得较高的产量和灌溉水利用效率。W2 处理和 W3 处理的 H 、 LAI 、 DMA 和 Y 没有显著差异,但 $IWUE$ 显著降低,造成了水资源浪费。淋洗定额相同时,膜间秸秆覆盖对棉花 H 、 LAI 、 DMA 、 Y 和 $IWUE$ 没有显著影响。

3) 从高效用水和可持续发展角度分析,生育期灌溉淋洗定额 240 mm+80% ET_c 是适宜当地发展的高效节水控盐策略。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 国家统计局关于 2020 年棉花产量的公告 [EB/OL]. (2020-12-18). http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202012/20201218_1810113.html.
National Bureau of Statistics. Announcement of National Bureau of Statistics on cotton output in 2020 [EB/OL]. (2020-12-18). http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202012/20201218_1810113.html.
- [2] XIAO Chao, LI Meng, FAN Junliang, et al. Salt leaching with brackish water during growing season improves cotton growth and productivity, water use efficiency and soil sustainability in Southern Xinjiang[J]. Water, 2021, 13(18): 2 602.
- [3] CHEN Wenling, JIN Menggui, FERRÉ Typa, et al. Soil conditions affect cotton root distribution and cotton yield under mulched drip irrigation[J]. Field Crops Research, 2020, 249: 107 743.
- [4] 何平如, 张富仓, 范军亮, 等. 土壤水分调控对新疆滴灌棉花生长品质及水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(4): 39-46.
HE Pingru, ZHANG Fucang, FAN Junliang, et al. Effects of soil water

- Regulation on growth, quality and water use of cotton under drip irrigation in Southern Xinjiang[J]. Agricultural Research in Arid Areas, 2020, 38(4): 39-46.
- [5] 赵波, 王振华, 李文昊. 滴灌方式及定额对北疆冬灌棉田土壤水盐分布及次年棉花生长的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(6): 139-148.
ZHAO Bo, WANG Zhenhua, LI Wenhao. Effects of drip irrigation pattern and quota on soil water and salt distribution and cotton growth in winter irrigated cotton field in Northern Xinjiang[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(6): 139-148.
- [6] 张瀚, 杨鹏年, 汪昌树, 等. 干旱区不同冬灌定额对土壤水盐分布的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(11): 42-46.
ZHANG Han, YANG Pengnian, WANG Changshu, et al. Effects of winter irrigation quota on soil water and salt distribution in arid area[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2016, 35(11): 42-46.
- [7] ZHONG Ruisen, TIAN Fuqiang, YANG Pengnian, et al. Planting and irrigation methods for cotton in Southern Xinjiang, China[J]. Irrigation and Drainage, 2016, 4(65): 461-468.
- [8] NING Songrui, ZHOU Beibei, SHI Jianchu, et al. Soil water/salt balance and water productivity of typical irrigation schedules for cotton under film mulched drip irrigation in northern Xinjiang[J]. Agricultural Water Management, 2021, 245: 106 651.
- [9] 叶浩, 朱建强, 程伦国, 等. 不同排水模式下棉田排水效果和生产效果[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(7): 93-96.
YE Hao, ZHU Jianqiang, CHENG Lunguo, et al. Drainage effect and production effect of cotton field under different drainage patterns[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(7): 93-96.
- [10] TAN Shuai, WANG Quanjiu, ZHANG Jihong, et al. Performance of AquaCrop model for cotton growth simulation under film-mulched drip irrigation in southern Xinjiang, China[J]. Agricultural Water Management, 2018, 196: 99-113.
- [11] 王进, 白洁, 罗格平, 等. 近 34 年玛纳斯河流域棉花生长和耗水特征研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(8): 83-89.
WANG Jin, BAI Jie, LUO Geping, et al. Growth and water consumption characteristics of cotton in manas basin during recent 34 years[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(8): 83-89.
- [12] 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 parameters on cotton growth and soil moisture and Salinity in Southern Xinjiang[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(24): 107-117.
- [13] 成厚亮, 张富仓, 李萌, 等. 不同生育期土壤基质势调控对棉花生长和土壤水盐分布的影响[J]. 应用生态学报, 2021, 32(1): 211-221.
CHENG Houliang, ZHANG Fucang, LI Meng, et al. Effects of soil substrate potential regulation on cotton growth and soil water and salt distribution at different growth stages[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(1): 211-221.
- [14] AKHTAR Kashif, WANG Weiyu, KHAN Ahmad, et al. Wheat straw mulching offset soil moisture deficient for improving physiological and growth performance of summer sown soybean[J]. Agricultural Water Management, 2019, 211: 16-25.
- [15] TAN Shuai, WANG Quanjiu, XU Di, et al. Evaluating effects of four controlling methods in bare strips on soil temperature, water, and salt accumulation under film-mulched drip irrigation[J]. Field Crops Research, 2017, 214: 350-358.
- [16] 张继红, 刘云鹤, 王全九, 等. 典型作物 Logistic 模型生长参数空间分布及其地区水热相关性[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(5): 199-209.
ZHANG Jihong, LIU Yunhe, WANG Quanjiu, et al. Spatial distribution of growth parameters in Logistic model of Typical crops and their

- correlation with regional water and heat[J]. *Agricultural research in arid areas*, 2021, 39(5): 199-209.
- [17] 潘俊杰, 付秋萍, 阿布都卡依木 阿布力米提, 等. 蕾期和花铃期不同灌水下限对滴灌棉花产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2019, 37(5): 27-32.
- PAN Junjie, FU Qiuping, ABDUKAYM Abrimiti, et al. Effects of different irrigation lower limits at bud and boll stages on cotton yield under drip irrigation[J]. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2019, 37(5): 27-32.
- [18] 文明, 李明华, 蒋家乐, 等. 氮磷钾运筹模式对北疆滴灌棉花生长发育和产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(16): 3 473-3 487.
- WEN Ming, LI Minghua, JIANG Jiale, et al. Effects of NPK operation mode on growth and yield of cotton under drip irrigation in Northern Xinjiang[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(16): 3 473-3 487.
- [19] 朱延凯, 王振华, 李文昊. 不同盐胁迫对滴灌棉花生理生长及产量的影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(2): 298-305.
- ZHU Yankai, WANG Zhenhua, LI Wenhao. Effects of different salt Stress on physiological growth and yield of cotton under drip irrigation[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32(2): 298-305.
- [20] 吴立峰, 张富仓, 周罕觅, 等. 不同滴灌施肥水平对北疆棉花水分利用率和产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(20): 137-146.
- WU Lifeng, ZHANG Fucang, ZHOU Hanmi, et al. Effects of different drip irrigation and fertilization levels on water use efficiency and yield of cotton in Northern Xinjiang[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(20): 137-146.
- [21] 胡宏昌, 田富强, 张治, 等. 干旱区膜下滴灌农田土壤盐分非生育期淋洗和多年动态[J]. *水利学报*, 2015, 46(9): 1 037-1 046.
- HU Hongchang, TIAN Fuqiang, ZHANG Zhi, et al. Leaching and multi-year dynamics of soil salt during non-growth period in drip-irrigated mulched farmland in arid area[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2015, 46(9): 1 037- 1 046.

Combined Effect of Drip Irrigation Amount and Straw Mulch on Growth and Yield of Cotton in Salinized Soils in Northern Xinjiang

HU Qingyang, CAO Hongxia*, HE Zijian, DING Bangxin, ZHANG Yi

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas/

Northwest A&F University, Ministry of Education, Yangling 712100, China)

Abstract: 【Objective】Irrigation management and agronomic practice are critical to crop production in salinized soils. The objective of this paper is to investigate the efficacy of regulating drip irrigation amount combined with straw mulching in improving growth and the ultimate yield of cotton grown in salinized soils. 【Method】The field experiments consisted of four irrigation treatments with their irrigation amounts calculated as 80% of the potential evapotranspiration (ET_c) that meets the physiological demand of the crop for water, added by additional water to leach the root-zone salt: 80% of ET_c (W0), 120 mm+80% of ET_c (W1), 240 mm+80% of ET_c (W2), and 360 mm+80% of ET_c (W3). In all treatments, the intra-rows were mulched by plastic films, and the inter-rows were either mulched by straw (S) or nothing (N). In each treatment, we measured plant height, leaf area index, dry matter accumulation, irrigation water use efficiency at different growth stages, as well as the cotton yield. 【Result】The growth index and yield of W0 were significantly lower than those in other treatments with or without straw mulching. Increasing the leaching irrigation amount to 240 mm increased the plant height, leaf area index, dry matter quality and cotton yield by 53.75%, 116.91%, 110.45% and 80.14%, respectively, compared with those without leaching-aimed irrigation water. After the leaching irrigation amount increased from 240 to 360 mm, no significant changes were found in the growth index and yield, and it hence reduced the irrigation water use efficiency. Keeping the leaching irrigation amount at 240 mm was optimal for both yield and irrigation water use efficiency, reaching 5 972.46 kg/hm² and 0.92 kg/m³, respectively. 【Conclusion】The field experimental results showed that irrigating 240 mm+80% of ET_c combined with the intra-rows mulched by plastic films and the inter-row mulched by straw is optimal to leach the salt out of root zone while in the meantime improving irrigation water use efficiency and cotton yield in the salinized soils in northern Xinjiang.

Key words: drip irrigation; straw mulching; leaf area index; dry matter accumulation; seed cotton yield

责任编辑: 韩 洋