

不同滴灌方式下棉花生物量和产量的水氮调控效应*

李培岭^{1**} 张富仓²

(¹ 江西农业大学工学院, 南昌 330045; ² 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 通过3个水平的灌水量和施氮量(低、中、高)的田间试验,研究了田间不同滴灌方式下棉花生物量和产量的水氮调控效应.结果表明:在1带4行、2带4行、2带6行滴灌模式下灌水量由低(分别为90、140、140 mm)到中(分别为150、200、200 mm)时,地上部干物质质量分别提高9.2%、37.9%和23.5%,籽棉产量分别提高19.1%、14.1%和16.0%;灌水量由中到高(分别为210、260、260 mm)时,地上部干物质质量分别提高15.8%、19.1%和16.7%,籽棉产量分别提高7.7%、11.2%和9.5%.施氮量由低($67.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)到中($95.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)时,地上部干物质质量2带4行模式提高14.3%,籽棉产量1带4行模式提高22.2%,其他模式无显著变化;施氮量由中到高($122.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)时,籽棉产量3种模式分别提高7.4%、13.9%和9.9%,地上部干物质质量无显著变化.与1带4行和2带6行模式相比,2带4行模式地上部干物质质量和籽棉产量的水氮调控效应更明显,相同水氮处理下2带4行地上部干物质质量和籽棉产量均高于2带6行和1带4行.表明2带4行是最有利于滴灌棉花田间水氮管理的模式.

关键词 滴灌模式 棉花 生物量 产量 水氮调控效应

文章编号 1001-9332(2010)11-2814-07 **中图分类号** S275.3 **文献标识码** A

Regulation effect of water and nitrogen on cotton biomass and yield under different drip irrigation patterns. LI Pei-ling, ZHANG Fu-cang (¹College of Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; ²Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2010, 21(11): 2814–2820.

Abstract: Three levels (low, medium, and high) of irrigation amount and nitrogen application rate were installed in a field experiment to study the regulation effect of water and nitrogen on the cotton biomass and yield under different drip irrigation patterns. Under the irrigation patterns 1 lateral 4 rows, 2 laterals 4 rows, and 2 laterals 6 rows, when the irrigation amount increased from low (90, 140, and 140 mm) to medium level (150, 200, and 200 mm), the aboveground dry biomass was increased by 9.2%, 37.9%, and 23.5%, and the seed yield was increased by 19.1%, 14.1%, and 16.0%, respectively. When the irrigation amount increased from medium to high level (210, 260, and 260 mm), the aboveground dry biomass was increased by 15.8%, 19.1%, and 16.7%, and the seed yield was increased by 7.7%, 11.2%, and 9.5%, respectively. When the nitrogen application rate changed from low ($67.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) to medium level ($95.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), the aboveground dry biomass under irrigation pattern 2 laterals 4 rows was increased by 14.3%, the seed yield under irrigation pattern 1 lateral 4 rows was increased by 22.2%, while these two parameters under other irrigation patterns had no significant change. When the nitrogen application rate changed from medium to high level ($122.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), the seed yield under the irrigation patterns 1 lateral 4 rows, 2 laterals 4 rows, and 2 laterals 6 rows was increased by 7.4%, 13.9%, and 9.9%, respectively, but the aboveground dry biomass had no significant change. Comparing with that under the irrigation patterns 1 lateral 4 rows and 2 laterals 6 rows, the regulation effect of water and nitrogen on the aboveground dry biomass and seed yield under irrigation pattern 2 laterals 4 rows was more apparent. As for the same water and nitrogen treatments, the aboveground dry bio-

* 江西农业大学博士科研启动基金项目(3133)和国家自然科学基金项目(50879073)资助.

** 通讯作者. E-mail: lipeiling1981@tom.com

2010-04-06 收稿, 2010-08-26 接受.

mass and seed yield were higher under the irrigation pattern 2 laterals 4 rows, suggesting that this drip irrigation pattern was most appropriate to the water- and nitrogen management of cotton field.

Key words: drip irrigation pattern; cotton; biomass; yield; regulation effect of water and nitrogen.

根区水肥调控即将灌水方式、灌溉制度、根区湿润方式和范围等与根区水分、养分的有效性、根系的吸收功能等有机地结合起来^[1-2],调节根区水分、养分的有效性和根系微生态系统^[3],从而最大限度地提高水分与养分耦合效率^[4].滴灌作为先进的节水灌溉技术,不仅能影响作物光合物质生产量,还能改变光合产物在源库间的分配,有利于作物向高产高效方向转变^[5-6],而水分和氮素则是膜下滴灌棉花光合作用和获得高产的主要限制因素^[7-9].适宜的灌水量可以促进棉花生长,而水分不足会影响其生长,田间水分含量过高又会使棉花根系生长受到影响,叶片脱落,甚至使桃桐腐烂、微生物滋生.氮素较少会限制棉花生长,过多则造成棉花旺长^[9-11].因此合理协调水分和氮素之间的关系,可以有效提高棉花的光合效率,从而获得高产、稳产.在作物生长发育过程中,同化物在植株各器官的转化与分配受水分状况的影响较大^[12-14],不同生育阶段光合产物的生产、分配和累积对水分的敏感性、后效性不同^[15-17];在某些生育时期,减少土壤水分供应,诱导轻度至中度水分胁迫,可避免植株旺长,改变植株体内水分和养分的分配,使同化物从营养器官向生殖器官转移,从而有利于经济产量的形成^[18-21].本文设置不同的供氮水平和灌水量,研究了3种滴灌模式对棉花生物量、产量和品质的水氮调控效应,为大田棉花膜下滴灌水氮管理提供理论参考和试验依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

试验于2007年4—10月在甘肃省民勤农业技

术推广中心试验站进行,该试验站位于甘肃省石羊河流域的民勤县境内,属于温带大陆性干旱气候,年蒸发量2644 mm,多年平均降雨量110 mm左右,且多为5 mm以下的无效降水,7—9月的降水占全年降水的60%,干燥度为5.15,无霜期188 d,绝对无霜期仅118 d,日照时数>3010 h,>10℃积温3149.4℃.地下水埋深在30 m以下,1 m土层内土质均为砂壤土,0~60 cm土层含少量腐殖质和粘粒,粒径在0.5~2.0 mm内,60~100 cm土层内粘粒增多,有少量夹层黄砂,胶泥质夹杂少量腐殖质.1 m土层内含盐量<0.4%,平均容重1.51 g·cm⁻³,田间持水量(θ_f)为22.8%,土壤养分含量差异较小,有机质含量8 g·kg⁻¹,全氮含量0.8 g·kg⁻¹,速效磷平均含量17.5 mg·kg⁻¹,速效钾含量为150~200 mg·kg⁻¹.

1.2 试验材料与设计

供试棉花品种为新陆早7号(*Gossypium hirsutum* cv. Xinluzao 7),参照该地区地膜覆盖、足墒播种和矮秆密植的棉花种植模式,各试验区水量由灌水软管末端的水表控制,各处理锄草、施肥、化控、催熟等田间管理措施均保持一致.

根据膜下滴灌技术和滴灌毛管布置方式,结合棉花种植和灌溉等特点,本试验设3种滴灌模式,分别为1带4行、2带4行和2带6行,试验布置见图1.在不同滴灌模式下,分别设3个施氮量(低肥: F_L ;中肥: F_M ;高肥: F_H)和3个灌水量(低水: W_L ;中水: W_M ;高水: W_H)水平(表1).各小区随机布设.滴灌试验采用内镶式薄壁滴灌带,滴头流量为1.8 L·h⁻¹,

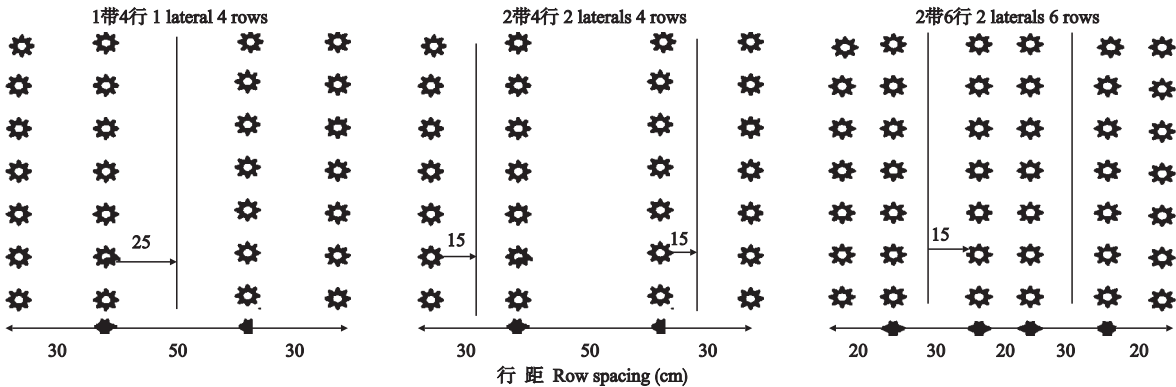


图1 不同滴灌模式棉花行距及滴灌带布置示意图
Fig.1 Sketch of cotton row spacing and drip irrigation lateral placements under different drip irrigation patterns.

表 1 不同滴灌模式施氮量和灌水量田间实施方案
Tab.1 Field programs of N application rate and irrigation amount under different drip irrigation patterns

处理 Treatment	代号 Code	施氮量 N application rate (kg · hm ⁻²)			灌水量 Irrigation amount (mm)		
		1 带 4 行 1 lateral 4 rows	2 带 4 行 2 laterals 4 rows	2 带 6 行 2 laterals 6 rows	1 带 4 行 1 lateral 4 rows	2 带 4 行 2 laterals 4 rows	2 带 6 行 2 laterals 6 rows
低肥低水 Low fertilizer and low water	FLWL	67. 6	67. 6	67. 6	90	140	140
低肥中水 Low fertilizer and medium water	FLWM	67. 6	67. 6	67. 6	150	200	200
低肥高水 Low fertilizer and high water	FLWH	67. 6	67. 6	67. 6	210	260	260
中肥低水 Medium fertilizer and low water	FMWL	95. 2	95. 2	95. 2	90	140	140
中肥中水 Medium fertilizer and medium water	FMWM	95. 2	95. 2	95. 2	150	200	200
中肥高水 Medium fertilizer and high water	FMWH	95. 2	95. 2	95. 2	210	260	260
高肥低水 High fertilizer and low water	FHWL	122. 8	122. 8	122. 8	90	140	140
高肥中水 High fertilizer and medium water	FHWM	122. 8	122. 8	122. 8	150	200	200
高肥高水 High fertilizer and high water	FHWH	122. 8	122. 8	122. 8	210	260	260

滴头间距为 25 cm,灌水量由水表控制,所有处理灌水日期相同,分别为 6 月 25 日、7 月 2 日、7 月 9 日、7 月 16 日、7 月 19 日、7 月 24 日、7 月 28 日、7 月 31 日、8 月 4 日、8 月 9 日、8 月 18 日,灌水次数均为 11 次,灌水定额=灌溉定额/灌水次数. 灌水量和施氮量的上下限根据当地棉花种植灌水和施肥水平确定,上限充分满足棉花水肥需求,下限保证棉花生长和获得经济产量. 所用的氮肥为尿素(含 N 46%),另外施 420 kg · hm⁻² 的过磷酸钙(不设处理),均作为基肥,人工均匀撒施.

1.3 测定项目与方法

棉花植株按器官分为根、茎、叶、蕾铃,每个生育阶段取 5 株,在 105 ℃ 杀青 30 min 后,80 ℃ 烘至恒量,分别称生物量. 叶面积指数用叶面积仪测定. 收获后考种,测定单铃质量、吐絮时期的平均单铃质量(g)、霜前花百分率和僵瓣花百分率、籽棉产量(包括霜前花和霜后花)、皮棉产量、衣分(皮棉占籽棉的质量百分比)和绒长.

在棉花播种前和生育期结束时通过烘干法分别测定土壤含水量,计算土壤含水量变化,再加上灌水量和有效降雨量(气象站资料为 65.2 mm),利用水量平衡法^[22],计算不同滴灌模式下的棉花耗水量:

$$ET_a = I - \Delta W$$

式中: I 为时段 Δt 内的灌水量(mm); ΔW 为时段 Δt 内 0~90 cm 土层的储水量变化(mm); ET_a 为作物实际腾发量(mm).

1.4 数据处理

用 SPSS 10.0 软件对数据进行处理,采用 Duncan 新复极差法进行统计分析.

2 结果与分析

2.1 不同滴灌模式对棉花生物量的水氮调控效应
2.1.1 1 带 4 行模式 由表 2 可以看出,在各施氮量情况下,棉花耗水量、叶面积指数和地上部干物质量随灌水量由低到中平均分别提高了 12.8%、80.3% 和 9.2%,由中到高分别提高了 13.1%、15.6% 和 15.8%,而根系干物质量、根冠比随灌水量无显著变化. 在各灌水量情况下,棉花耗水量、地上部干物质

表 2 1 带 4 行模式下不同水氮处理的棉花生长情况
Tab.2 Cotton growth under 1 lateral 4 rows with different combinations of water and nitrogen

处 理 Treatment	耗水量 ET (mm)	叶面积指数 LAI	地上部 干物质量 Aboveground dry matter (g · plant ⁻¹)	根系干 物质量 Root dry matter (g · plant ⁻¹)	根冠比 Root to shoot ratio
F _L W _L	430. 2c	2. 2c	36. 01cd	3. 01b	0. 098a
F _L W _M	481. 3b	3. 7c	38. 37bcd	3. 25ab	0. 097a
F _L W _H	525. 8a	4. 3b	40. 75bcd	4. 09a	0. 110a
F _M W _L	444. 6c	2. 5c	34. 33d	3. 05b	0. 109a
F _M W _M	479. 1b	4. 5b	39. 99bc	3. 48ab	0. 121a
F _M W _H	503. 8a	5. 0a	44. 74ab	3. 65ab	0. 092a
F _H W _L	429. 4c	2. 4c	36. 82cd	3. 25ab	0. 090a
F _H W _M	484. 4b	4. 6b	38. 64cd	3. 52ab	0. 092a
F _H W _H	525. 9a	5. 5a	47. 77a	4. 07a	0. 089a

同列不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$) Different letters in the same column meant significant difference among treatments at 0.05 level. 下同 The same below.

量、根系干物质量、根冠比随施氮量均无显著变化, 叶面积指数随施氮量由低到中平均提高了 17.6%, 由中到高无显著变化. 可见, 1 带 4 行模式下灌水量对棉花地上部干物质量、叶面积指数和耗水量的影响明显, 施氮量仅对叶面积指数有显著影响.

2.1.2 2 带 4 行模式 由表 3 可以看出, 2 带 4 行模式下棉花耗水量均随灌水量增加而明显上升, 但随施肥水平变化不明显. 在各施氮量情况下, 叶面积指数、地上部干物质量、根系干物质量随灌水量由低到中平均分别提高了 51.6%、37.9% 和 35.4%, 由中到高分别提高了 14.5%、19.1% 和 18.6%, 根冠比随灌水量无显著变化. 在各灌水量情况下, 叶面积指数、地上部干物质量、根系干物质量随施肥量由低到中平均分别提高了 18.3%、14.3% 和 11.7%, 由中到高地上部干物质量和根系干物质量分别提高了 8.5% 和 20.6%, 而叶面积指数无显著变化. 根冠比中肥处理低于低肥和高肥处理. 可见, 2 带 4 行模式灌水量对棉花叶面积指数、地上部干物质量和根系干物质量的影响明显, 施氮量对地上部干物质量、叶面积指数、根系干物质量和根冠比的影响显著.

2.1.3 2 带 6 行模式 由表 4 可以看出, 在各施氮量情况下, 棉花耗水量、叶面积指数、地上部干物质量、根系干物质量随灌水量由低到中平均分别提高了 12.2%、56.3%、23.5% 和 26.4%, 由中到高分别提高了 12.1%、14.3%、16.7% 和 13.4%. 在各灌水量情况下, 棉花耗水量随施氮量的变化不明显, 叶面积指数、地上部干物质量、根系干物质量由低到中平均分别提高了 19.8%、7.2% 和 19.0%, 由中到高叶面积指数和根系干物质量变化不明显, 地上部干物质量平均提高了 6.9%, 根冠比随灌水量和施氮量

表 3 2 带 4 行模式下不同水氮处理的棉花生长情况
Tab.3 Cotton growth under 2 laterals 4 rows with different combinations of water and nitrogen

处 理 Treatment	耗水量 ET (mm)	叶面积 指 数 LAI	地上部 干物质量 Aboveground dry matter (g · plant ⁻¹)	根系干 物 质 量 Root dry matter (g · plant ⁻¹)	根冠比 Root to shoot ratio
F _L W _L	447.2c	2.9c	25.67g	2.19e	0.087b
F _L W _M	509.9b	3.8c	43.22e	4.09c	0.101b
F _L W _H	580.4a	4.8b	52.37bc	4.74b	0.091b
F _M W _L	454.2c	3.0c	35.43f	2.97d	0.089b
F _M W _M	497.9b	5.1b	47.11d	4.30c	0.064c
F _M W _H	570.1a	5.5a	56.00b	5.04b	0.094b
F _H W _L	444.6c	3.2c	40.85e	4.48b	0.111a
F _H W _M	509.7b	4.9b	50.29cd	4.66b	0.099b
F _H W _H	565.5a	5.5a	59.15a	5.70a	0.094b

表 4 2 带 6 行模式下不同水氮处理的棉花生长情况
Tab.4 Cotton growth under 2 laterals 6 rows with different combinations of water and nitrogen

处 理 Treatment	耗水量 ET (mm)	叶面积指数 LAI	地上部 干物质量 Aboveground dry matter (g · plant ⁻¹)	根系干 物质量 Root dry matter (g · plant ⁻¹)	根冠比 Root to shoot ratio
F _L W _L	437.0c	3.0c	32.84g	2.60e	0.079b
F _L W _M	500.9b	4.0c	41.80e	3.67c	0.087b
F _L W _H	565.8a	5.1b	48.56bc	4.42b	0.091b
F _M W _L	450.1c	3.2c	35.10f	3.05d	0.086b
F _M W _M	484.0b	5.5b	44.55d	3.24c	0.072c
F _M W _H	551.0a	5.8a	52.37b	4.34b	0.082b
F _H W _L	438.0c	3.2c	39.84e	3.87b	0.097a
F _H W _M	501.4b	5.2b	46.78cd	3.89b	0.083b
F _H W _H	549.0a	5.9a	54.46a	4.890a	0.089b

变化均不显著. 可见, 2 带 6 行模式灌水量对棉花耗水量、地上部干物质量、根系干物质量和叶面积指数的影响明显, 而施氮量由低到中各指标变化明显, 由中到高各指标无显著变化.

2.2 不同滴灌模式对棉花产量及品质因子的调控效应

2.2.1 1 带 4 行模式 由表 5 可以看出, 在各施肥量情况下, 各产量和品质因子随灌水量由低到中, 单株铃数变化不显著, 铃质量、籽棉产量平均分别提高了 6.5% 和 19.1%, 由中到高单株铃数、铃质量、籽棉产量平均分别提高了 42.4%、11.8% 和 7.7%; 衣分和绒长随灌水量变化不明显. 在各灌水量情况下, 单株铃数随施氮量由低到中变化不显著, 由中到高平均提高了 10.6%; 籽棉产量由低到中、由中到高分别平均提高了 22.2% 和 7.4%; 铃质量、衣分、绒长随施氮量无显著变化. 表明 1 带 4 行模式灌水量对棉花单株铃数、铃质量、籽棉产量影响明显, 施氮量对籽棉产量影响显著.

表 5 1 带 4 行模式下不同水氮处理的棉花产量和品质因子
Tab.5 Yield and quality of cotton under 1 lateral 4 rows with different combinations of water and nitrogen

处 理 Treatment	单株铃数 Boll number	铃质量 Boll mass (g · plant ⁻¹)	衣 分 Lint percentage (%)	绒 长 Fiber length (mm)	籽棉产量 Seed cotton yield (kg · hm ⁻²)
F _L W _L	3.17f	4.47d	42a	48.2ab	2577.3c
F _L W _M	4.58d	5.08c	42a	50.8a	3230.7b
F _L W _H	4.93c	6.57a	46a	44.2bc	3478.5b
F _M W _L	3.86e	4.74d	42a	42.2c	3454.2b
F _M W _M	3.87e	4.57d	45a	44.8bc	3669.9b
F _M W _H	5.62b	5.49b	41a	44.1bc	4228.4a
F _H W _L	4.22d	4.67d	46a	51.9a	3422.5b
F _H W _M	4.57d	5.13c	46a	45.8bc	4354.8a
F _H W _H	5.98a	4.47d	42a	45.6bc	4413.5a

表 6 2 带 4 行模式下不同水氮处理的棉花产量和品质因子
Tab.6 Yield and quality of cotton under 2 laterals 4 rows with different combinations of water and nitrogen

处 理 Treatment	单株铃数 Bolls number	铃质量 Boll mass (g · plant ⁻¹)	衣 分 Lint percentage (%)	绒 长 Fiber length (mm)	籽棉产量 Seed cotton yield (kg · hm ⁻²)
F _L W _L	3. 86f	4. 85d	42ab	48. 4ab	3619. 4d
F _L W _M	6. 34c	5. 30c	40b	50. 6a	4597. 5bc
F _L W _H	5. 97c	5. 91b	45a	45. 8cd	4751. 4bc
F _M W _L	3. 87f	4. 79d	44ab	43. 4d	3830. 5d
F _M W _M	5. 28d	4. 94d	43ab	45. 1d	4041. 0cd
F _M W _H	7. 38b	5. 88b	40b	44. 5d	5023. 6ab
F _H W _L	4. 57e	5. 49c	41ab	48. 3ab	4443. 7bc
F _H W _M	4. 58e	6. 24b	45a	47. 9bc	4929. 7ab
F _H W _H	8. 45a	6. 49a	41b	50. 0ab	5317. 6a

2.2.2 2 带 4 行模式 由表 6 可以看出,在各施氮量条件下,单株铃数、铃质量、籽棉产量随灌水量由低到中分别平均提高了 31.7%、8.9% 和 14.1%,由中到高分别平均提高了 34.6%、10.9% 和 11.2%;衣分和绒长随灌水量变化不显著.在各灌水量情况下,单株铃数随施氮量变化不显著;铃质量、籽棉产量随施氮量由低到中变化不显著,由中到高分别平均提高了 16.7% 和 13.9%;绒长中肥处理最低,分别比低肥和高肥处理低 8.1% 和 9.9%;衣分随施氮量变化不显著.表明 2 带 4 行模式灌水量对棉花单株铃数、铃质量、籽棉产量均有显著影响,施氮量对铃质量、绒长略有影响.

2.2.3 2 带 6 行模式 由表 7 可以看出,在各施氮量条件下,单株铃数和籽棉产量随灌水量由低到中平均分别提高了 14.2% 和 16.0%,由中到高分别提高了 38.2% 和 9.5%;铃质量由低到中、由中到高平均提高幅度均在 7% 以下;衣分和绒长随灌水量均无

表 7 2 带 6 行模式下不同水氮处理的棉花产量和品质因子
Tab.7 Yield and quality of cotton under 2 laterals 6 rows with different combinations of water and nitrogen

处 理 Treatment	单株铃数 Bolls number	铃质量 Boll mass (g · plant ⁻¹)	衣 分 Lint percentage (%)	绒 长 Fiber length (mm)	籽棉产量 Seed cotton yield (kg · hm ⁻²)
F _L W _L	4. 22f	5. 05cd	42a	48. 30ab	3198. 3d
F _L W _M	4. 86d	4. 95d	41b	50. 70a	4014. 0bc
F _L W _H	5. 65c	5. 59b	46a	45. 00cd	4214. 9bc
F _M W _L	3. 86g	4. 78d	43ab	43. 00d	3642. 3d
F _M W _M	4. 78d	4. 84d	44a	45. 04d	3955. 5cd
F _M W _H	6. 90b	5. 75b	41b	44. 42d	4726. 0ab
F _H W _L	4. 45ef	5. 29c	44ab	49. 81ab	4033. 1bc
F _H W _M	4. 67de	6. 04a	46a	46. 85bc	4642. 2ab
F _H W _H	7. 22a	5. 58b	42b	47. 63ab	4865. 6a

显著变化.在不同灌水量情况下,棉花单株铃数随施氮量由低到中,由中到高平均提高幅度均在 6% 以下;铃质量由低到中变化不明显,由中到高平均提高了 10.0%;绒长中肥处理低于低肥和高肥处理;籽棉产量由低到中、由中到高分别提高了 7.8% 和 9.9%.表明 2 带 6 行模式灌水量对棉花单株铃数、籽棉产量的影响显著,而施氮量对铃质量、籽棉产量的影响明显.

3 讨 论

作物生长发育对干旱-复水这一水分变化的响应机制是:作物干旱胁迫期间将 N、P、可溶性糖等营养物质转移到茎秆和根系^[23-25],复水后作物将干旱期间储存的营养物质重新分配,新根和新叶的大量生长促进了作物对养分的吸收与光合性能的提高^[26-27].本试验中,滴灌棉花经过了多次干旱-复水的变化过程,其中 1 带 4 行模式水分调控对棉花耗水量、生物量和产量因子的影响明显.由于根区土壤含水量随灌水量增加而明显增大,改善了棉花根区供水状况,棉花耗水量明显提高,促进了棉花水分吸收和生长发育,产量因子中单株铃数、铃质量、籽棉产量等指标水分效应明显.而 1 带 4 行模式氮素调控对棉花耗水量、地上部干物质质量等指标均无显著效应,仅叶面积指数随施氮量由低肥到中肥变化明显,说明 1 带 4 行模式限制了根区氮素效应的发挥,其原因在于 1 带 4 行模式根区水分供应不均影响了氮素吸收.与 1 带 4 行模式相比,2 带 4 行模式生物量、产量因子等指标水分调控效应更为明显,由于该模式棉花根区水分分布相对均匀,提高了棉花根系水分和养分吸收效率,增加灌水量和施肥量能有效促进棉花根系生长,有利于根系养分吸收和地上部干物质累积.因此,该模式下灌水量变化对叶面积指数、地上部干物质质量和根系干物质质量的影响更为明显;土壤氮素的吸收利用效率提高,氮素调控效应对生物量指标的影响也更为明显.2 带 4 行模式水氮调控对棉花产量因子中单株铃数、铃质量、籽棉产量均有显著影响,且 2 带 4 行模式各处理的籽棉产量均高于 1 带 4 行,综上,2 带 4 行模式从生长发育和收获产量上均优于 1 带 4 行.2 带 6 行模式下,棉花地上部干物质质量、根系干物质质量的水分调控效应比较显著;由于棉花种植密度增加,叶面积指数高于 1 带 4 行和 2 带 4 行模式,但棉花根区水分和养分竞

争以及通气性和透光性下降,影响了棉花干物质累积,与2带4行模式相比,相同水氮处理下地上部干物质质量除低水处理外其他处理均明显降低。2带6行模式下,由于棉花根系受根区土壤养分竞争的限制,氮素调控仅对叶面积指数、根系干物质质量的影响显著。2带6行模式下,灌水量和施氮量变化对单株铃数、铃质量、籽棉产量影响明显,但与2带4行模式相比,各水氮处理籽棉产量均明显降低。

综上,与1带4行和2带6行模式主要生物量指标和产量相比,2带4行模式对地上部干物质质量和籽棉产量(除灌水量和施氮量由低到中外)的水氮调控效应最显著。在相同水氮处理下,2带4行模式下地上部干物质质量和籽棉产量均显著高于1带4行和2带6行模式。综合比较,2带4行滴灌模式最有利于棉花生长发育及获得较高的经济产量。

参考文献

- [1] Mansouri-Far C, Sanavy S AMM, Saberali SF. Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 2010, **97**: 12–22
- [2] Cabello MJ, Castellanos MT, Romojaro F, *et al.* Yield and quality of melon grown under different irrigation and nitrogen rates. *Agricultural Water Management*, 2009, **96**: 866–874
- [3] Zotarelli L, Scholberg JM, Dukes MD, *et al.* Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agricultural Water Management*, 2009, **96**: 23–34
- [4] Zotarelli L, Dukes MD, Scholberg JMS, *et al.* Tomato nitrogen accumulation and fertilizer use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agricultural Water Management*, 2009, **96**: 1247–1258
- [5] Li P-L (李培岭), Zhang F-C (张富仓), Jia Y-G (贾运岗). Coupling effect of water and nitrogen on cotton under different drip irrigation lateral placements. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2009, **42** (5): 1672–1681 (in Chinese)
- [6] Li J-S (李久生), Zhang J-J (张建君), Rao M-J (饶敏杰). Effect of drip irrigation system operation on water and nitrate distribution in soil. *Journal of Hydraulic Engineering* (水利学报), 2004, **35** (9): 31–37 (in Chinese)
- [7] Li P-L (李培岭), Zhang F-C (张富仓), Jia Y-G (贾运岗). Coupling effect of water and nitrogen for cotton under different furrow irrigation patterns. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20** (6): 1346–1354 (in Chinese)
- [8] Tan J-L (谭军利), Wang L-Q (王林权), Li S-X (李生秀). Movement and utilization of water and nutrient under different irrigation patterns. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2005, **11** (4): 442–448 (in Chinese)
- [9] Wei C-Z (危常州), Ma F-Y (马富裕), Lei Y-W (雷咏雯), *et al.* Study on cotton root development and spatial distribution under film mulch and drip irrigation. *Cotton Science* (棉花学报), 2002, **14** (4): 209–214 (in Chinese)
- [10] Liu J-J (刘建军), Chen Y-H (陈燕华), Li M-S (李明思). Relationship between soil moisture and cotton transpiration under mulch trickle irrigation. *Cotton Science* (棉花学报), 2002, **14** (4): 200–203 (in Chinese)
- [11] Li Y-F (栗岩峰), Li J-S (李久生), Li B (李 蓓). Nitrogen dynamics in soil as affected by fertigation strategies and frequencies for drip-irrigated tomato. *Journal of Hydraulic Engineering* (水利学报), 2007, **38** (7): 857–865 (in Chinese)
- [12] Li M-S (李明思), Kang S-Z (康绍忠), Yang H-M (杨海梅). Effects of plastic film mulch on the soil wetting pattern water consumption and growth of cotton under drip irrigation. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2007, **23** (6): 49–54 (in Chinese)
- [13] Zhang Z-H (张振华), Cai H-J (蔡焕杰), Yang R-Y (杨润亚), *et al.* Relationships between yield, quality and CWSI of cotton under drip irrigation with mulch. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2005, **21** (6): 26–29 (in Chinese)
- [14] Zheng Z (郑 重), Ma F-Y (马富裕), Mu Z-X (慕自新). Study of coupling effects and water-fertilizer model on mulched-cotton by drip irrigation. *Cotton Science* (棉花学报), 2000, **12** (4): 198–201 (in Chinese)
- [15] Li F-X (李富先), Lü X (吕 新), Wang H-J (王海江), *et al.* Research and development of the proportionally-mixed variable rate fertilization system for cotton drip irrigation under mulch film. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2008, **24** (5): 115–118 (in Chinese)
- [16] Zhang Q (张 琼), Li G-Y (李光永), Chai F-J (柴付军). Effect of mulched drip irrigation frequency on soil salt regime and cotton growth. *Journal of Hydraulic*

- Engineering* (水利学报), 2004, **35**(9): 123–126 (in Chinese)
- [17] Du T-S (杜太生), Kang S-Z (康绍忠), Wang Z-C (王振昌), *et al.* Responses of cotton growth, yield, and water use efficiency to alternate furrow irrigation. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2007, **33**(12): 1982–1990 (in Chinese)
- [18] Hu X-T (胡晓棠), Li M-S (李明思), Ma F-Y (马富裕). Index of aridity diagnosis for soil and decision making of irrigation. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2002, **18**(1): 49–53 (in Chinese)
- [19] Sun J-S (孙景生), Kang S-Z (康绍忠), Cai H-J (蔡焕杰), *et al.* Water saving mechanism for promoting water use efficiency by using alternate furrow irrigation techniques. *Journal of Hydraulic Engineering* (水利学报), 2002, **33**(3): 64–68 (in Chinese)
- [20] Xi J-G (习金根), Zhou J-B (周建斌). Leaching and transforming characteristics of urea-N added by different ways of fertigation. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2003, **9**(3): 271–275 (in Chinese)
- [21] Du TS, Kang SZ, Zhang JH. Yield and physiological responses of cotton to partial root-zone irrigation in the oasis field of northwest China. *Agricultural Water Management*, 2006, **84**: 41–52
- [22] Reddy SJ. A simple method of estimating the soil water balance. *Agricultural Meteorology*, 1983, **28**: 1–17
- [23] Wang D-M (王德梅), Yu Z-W (于振文). Effects of irrigation amount and stage on water consumption characteristics and grain yield of wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(9): 1965–1970 (in Chinese)
- [24] Liang Z-S (梁宗锁), Kang S-Z (康绍忠), Gao J-F (高俊凤), *et al.* Effect of abscisic acid (ABA) and alternative split root osmotic stress on root growth and transpiration efficiency in maize. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2000, **26**(2): 250–255 (in Chinese)
- [25] Lü D-Q (吕殿青), Wang Q-J (王全九), Wang W-Y (王文焰). Factors affecting soil water movement and solute transport for film drip irrigation. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2002, **39**(6): 794–802 (in Chinese)
- [26] Hou Z-A (侯振安), Li P-F (李品芳), Lü X (吕新), *et al.* Distributions of water, salinity, and nitrogen in cotton root zone by different fertigation strategies. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2007, **40**(3): 549–557 (in Chinese)
- [27] Hu T-T (胡田田), Kang S-Z (康绍忠), Yuan L-N (原丽娜), *et al.* Effects of different irrigation patterns on the growth of maize root hair. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(6): 1289–1295 (in Chinese)

作者简介 李培岭,男,1981年生,博士,讲师.主要从事节水灌溉理论与技术研究. E-mail: lipeiling1981@tom.com

责任编辑 张凤丽
