

不同沟灌方式水、氮调控对棉花产量及水分利用效率的影响

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: 设置交替隔沟灌、常规沟灌和固定隔沟灌方式,施氮量和灌水量采用二次通用旋转组合设计进行试验,研究水、氮调控对沟灌棉花产量、水分利用效率的影响。结果表明:棉花产量与施氮量在 56.2~95.2 kg·hm⁻² 范围内呈显著正相关,与灌水量在 37.52~160.00 mm 范围内呈显著正相关。相同水、氮处理下交替隔沟灌与常规沟灌相比棉花产量差异不显著,常规沟灌棉花产量平均比固定隔沟灌高 9.15%;棉花水分利用率与施 N 量在 56.2~122.8 kg·hm⁻² 范围内呈显著正相关,与灌水量在 37.52~160.00 mm 范围呈显著负相关。相同水、氮处理下常规沟灌与交替隔沟灌相比水分利用效率差异不显著,常规沟灌的水分利用效率平均比固定隔沟灌高 9.01%。因此,交替隔沟灌能够有效提高棉花产量和水分利用效率。

关键词: 沟灌方式;水、氮调控;棉花产量;水分利用效率

中图分类号: S275.3 **文献标识码:** A

文章编号: 1002-7807(2011)-0028-06

Effect of Regulation of Water and Nitrogen on Cotton Yield and Water Use Efficiency under Different Furrow Irrigation Patterns

LI Pei-ling¹, ZHANG Fu-cang²

(1. College of Engineering / Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China; 2. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas/Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: By setting the alternative furrow irrigation, conventional furrow irrigation, and fixed every-other furrow irrigation, the amount of nitrogen and irrigation design using two general rotation experiment conducted to study the regulation effect of water and nitrogen on cotton yield and water use efficiency. The results showed that: cotton yield was significantly positively correlated, with nitrogen applied amount in the range of 56.2 ~ 95.2 kg·hm⁻², and same as cotton yield and water within 37.52 ~ 160.00 mm; Cotton yield was not significant different under the same water and nitrogen treatments between alternative furrow irrigation and conventional furrow irrigation, cotton yield of conventional furrow irrigation was higher on average than the fixed every-other furrow irrigation by 9.15%. Cotton water use efficiency and nitrogen within 56.2 ~ 122.8 kg·hm⁻² was a significant positive correlation, and was significantly negatively correlated with irrigation within 37.52 ~ 160.00 mm. Cotton water use efficiency was no significant difference under the same water and nitrogen treatments between conventional furrow irrigation and alternative furrow irrigation, and conventional furrow irrigation was higher on average than the fixed every-other furrow irrigation in cotton water use efficiency by 9.01%. Therefore, alternative furrow irrigation can increase the cotton yield and water use efficiency.

Key words: furrow irrigation pattern; regulation of water and nitrogen; cotton yield; water use efficiency

在北方干旱地区,灌水和施肥等因素对大田作物产量以及经济效益起着决定性作用^[1-3]。现代农业强调水肥之间的交互作用,利用其存在的协同作用,进行水肥综合管理,是当前大田作物的水、氮管理的研究热点^[4-8]。目前在棉花水分和养

分管理等方面,针对棉花灌水和施肥决策、水肥对棉花生长发育影响以及根区水肥运移规律等研究较多^[9-13]。本文的切入点是利用控制性交替灌溉的节水灌溉理论,研究不同沟灌方式棉花产量、水分利用效率的水、氮调控效应,建立以产

收稿日期:2009-06-02 作者简介:李培岭(1981-),男,博士,讲师, lipeiling1981@tom.com

基金项目:江西农业大学人才科研基金项目,国家自然科学基金(50879073)

量、水分利用效率为目标的水、氮优化方案,提出不同沟灌方式水肥高效利用策略。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验于 2006 年 4 月~10 月在甘肃民勤农业技术推广中心试验站进行。试验站位于甘肃石羊河流域的民勤县内,是温带大陆性干旱气候,年蒸发量为 2644 mm,多年平均降水量 110 mm 左右,且多为 5 mm 以下的无效降水;无霜期 188 d,绝对无霜期仅 118 d;日照时数 > 3010 h, > 10℃ 积温 3149.4℃。1 m 土层内土质均为砂壤土,含盐量 < 0.4%,平均容重 1.51 g·cm⁻³,田间持水量(θ)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,速效钾为 150~200 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

供试棉花品种为新陆早 7 号(*Gossypium hir-*

sutum cv Xinluzao 7),参照该区地膜覆盖、足墒播种和矮秆密植的棉花种植模式,播种前开沟起垄,沟深 30~40 cm,沟宽 60 cm,垄顶宽 40 cm;覆膜宽 120 cm 左右;覆膜后每垄种两行棉花,行距 25 cm,株距 18 cm,每穴保苗 2~3 株。试验设常规沟灌(Conventional furrow irrigation, CFI)、交替隔沟灌溉(Alternative furrow irrigation, AFI)、固定隔沟灌溉(Fixed every-other furrow irrigation, FEFI),施氮量和灌水量采用二次通用旋转组合设计(表 1)。各试验小区随机排列,各小区间以 2 沟 2 垄(宽 2 m)作为保护带。灌水时常规沟灌各灌水沟均灌水,交替隔沟灌溉处理第 1 次灌第 1,3 条等单号沟,第 2 次灌第 2,4 条等双号沟,以后交替进行;固定隔沟灌溉处理始终灌第 1,3 条等单号沟,其余沟不灌水。灌水沟水量由灌水软管末端的水表控制,各处理锄草、施肥、化控等田间管理措施均保持一致。

表 1 试验因素的码值方案与田间实施方案

Table 1 Field experimental design scheme and coding project of experimental factors

处理编号 Code of treatments	码值方案 Coding project		田间实施方案 Field experimental design scheme					
	施氮量 N rate (x_1)	灌水量 Irrigation amount (x_2)	AFI		CFI		FEFI	
			施氮量 N rate (x_1) /(kg·hm ⁻²)	灌水量 Irrigation amount (x_2) /mm	施氮量 N rate (x_1) /(kg·hm ⁻²)	灌水量 Irrigation amount (x_2) /mm	施氮量 N rate (x_1) /(kg·hm ⁻²)	灌水量 Irrigation amount (x_2) /mm
1	1	1	122.8	192	122.8	192	122.8	192
2	1	-1	122.8	64	122.8	64	122.8	64
3	-1	1	67.6	192	67.6	192	67.6	192
4	-1	-1	67.6	64	67.6	64	67.6	64
5	-1.41421	0	56.2	128	56.2	128	56.2	128
6	1.41421	0	134.2	128	134.2	128	134.2	128
7	0	-1.41421	95.2	37.52	95.2	37.52	95.2	37.52
8	0	1.41421	95.2	218.48	95.2	218.48	95.2	218.48
9	0	0	95.2	128	95.2	128	95.2	128
10	0	0	95.2	128	95.2	128	95.2	128
11	0	0	95.2	128	95.2	128	95.2	128
12	0	0	95.2	128	95.2	128	95.2	128
13	0	0	95.2	128	95.2	128	95.2	128

1.3 测定项目和方法

1.3.1 棉花产量。在棉花生育期结束,对不同沟灌方式皮棉产量以小区实收产量计算。

1.3.2 水分利用效率 (Water use efficiency, WUE)。利用水量平衡法,由于地下水位较深,耗水量公式简化为: $ET_c = I - \Delta W$, 进而水分利用效率计算: $WUE = Y/ET_c$ 。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); WUE 为作物水分利用效率(kg·mm⁻¹); y 为棉花产量 (kg·hm⁻²); ET_c 为作物实际蒸腾量 (mm)。

1.4 数据分析方法

采用 Sigmaplot 10.0 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同沟灌方式棉花产量的水、氮调控效应

由表 2 可知,棉花产量与灌水量和施氮量的相关性较好。图 1 表明,棉花产量的水、氮调控效应灌水量影响大于施氮量。由表 3 可知,棉花产量的氮素单因子调控效应为:3 种方式棉花产量在施氮量为 56.2~95.2 kg·hm⁻² 范围内呈显著正相关,高于 95.2 kg·hm⁻² 产量增长不明显;施氮量在 56.2~134.2 kg·hm⁻² 范围内,CFI 方式棉花产

量比 AFI 平均高 0.57%,比 FEFI 平均高 9.28%。棉花产量的水分单因子调控效应为:3 种方式棉花产量在灌水量 37.52~160.00 mm 范围内呈显著正相关,高于 160.00 mm 棉花产量增长不明显;灌水量在 37.52~160.00 mm 范围内,CFI 方式棉花产量比 AFI 平均高 1.86%,比 FEFI 平均高 9.02%。由此可见,与 CFI 棉花产量相比,AFI 无显著差异,FEFI 则显著降低。

表 2 棉花产量、水分利用率的水、氮调控的回归方程

Table 2 Cotton yield, WUE and factor in the regression equation under different furrow irrigation

项目 Item	灌溉方式 Patterns	回归方程(y,x ₁ - 施氮量, x ₂ - 灌水量)Regression equation	F 值 F value	决定系数 r ²
产量	AFI	$y=1064.1+15.6x_1+14.5x_2-0.03x_1^2-0.02x_2^2-0.02x_1*x_2$	22.49**	0.95
	CFI	$y=-125.5+45.2x_1+14.9x_2-0.2x_1^2-0.03x_2^2-0.02x_1*x_2$	54.63**	0.94
	FEFI	$y=-279.4+41.5x_1+16.8x_2-0.2x_1^2-0.03x_2^2-0.02x_1*x_2$	25.36**	0.98
WUE	AFI	$y=70.5+0.2x_1-0.5x_2-0.0008x_1^2+0.001x_2^2-0.001x_1*x_2$	98.63**	0.95
	CFI	$y=71.2+0.3x_1-0.3x_2-0.002x_1^2+0.0003x_2^2-0.0004x_1*x_2$	58.37**	0.92
	FEFI	$y=66.8+0.266x_1-0.5x_2-0.002x_1^2+0.001x_2^2-0.0004x_1*x_2$	47.55**	0.97

注:AFI: 交替隔沟灌溉 Alternative furrow irrigation; CFI: 常规沟灌 Conventional furrow irrigation; FEFI: 固定隔沟灌溉 Fixed every-other furrow irrigation. 下同 The same below.

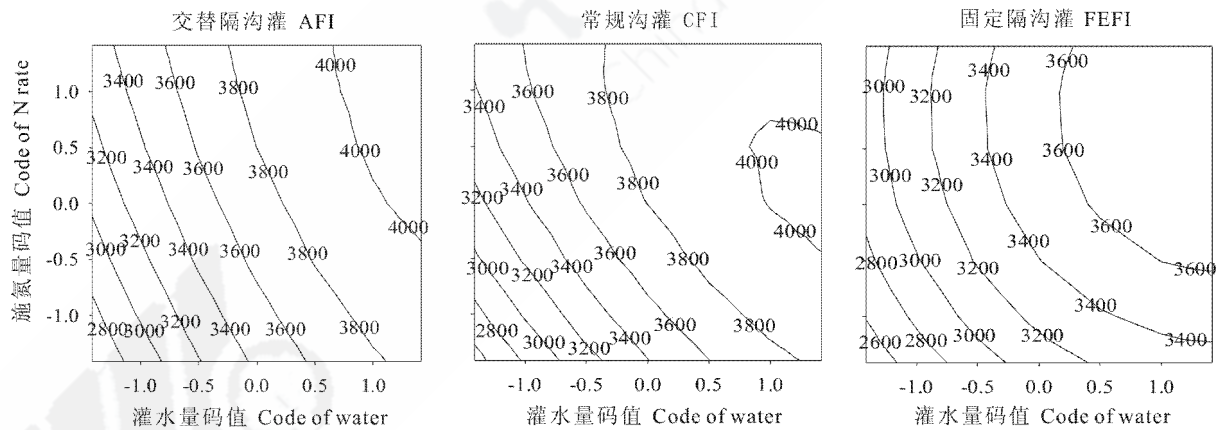


图 1 不同沟灌方式棉花产量的水、氮调控效应

Fig. 1 Regulation effects of water and nitrogen on cotton yield under different furrow irrigation

表 3 棉花产量的水、氮调控的单因子效应分析

Table 3 Analysis on single-factor of water and nitrogen on cotton yield under different furrow irrigation

影响因素	码值	-1.4142	-1.2071	-1	-0.5	0	0.5	1	1.2071	1.4142
施氮量 N Rate	AFI	3434.45	3487.99	3538.18	3645.55	3733.42	3801.77	3850.60	3865.12	3876.28
	CFI	3393.12	3475.03	3549.54	3698.94	3805.21	3868.38	3888.42	3884.09	3872.37
	FEFI	3095.75	3177.26	3250.90	3396.21	3495.61	3549.11	3556.71	3546.41	3528.24
灌水量 Irrigation amount	AFI	3032.29	3160.29	3279.60	3531.82	3733.42	3884.37	3984.69	4011.41	4029.44
	CFI	3150.16	3273.21	3386.96	3623.21	3805.21	3932.98	4006.50	4021.07	4026.33
	FEFI	2854.84	2974.25	3084.90	3315.83	3495.61	3624.24	3701.71	3718.82	3727.15

2.2 不同沟灌方式棉花水分利用效率的水、氮调控效应

表 2 表明,棉花水分利用率(WUE)与施氮量和灌水量相关性较高。由图 2 可知,3 种方式棉花 WUE 的水、氮调控效应均为灌水量大于施氮量。由表 4 可知,棉花 WUE 的氮素单因子效应为:3 种方式在施氮量为 56.2~122.8 kg·hm⁻² 范围内均呈显著正相关,高于 122.8 kg·hm⁻² 时

WUE 变化不明显;施氮量在 56.2~134.2 kg·hm⁻² 范围内,CFI 方式 WUE 和 AFI 相比差异不明显,CFI 方式 WUE 比 FEFI 平均高 9.26%。棉花 WUE 的水分单因子效应:灌水量在 37.52~160.00 mm 时,3 种方式棉花 WUE 与灌水量均呈显著负相关,高于 160.00 mm 时 3 种方式 WUE 变化不明显;CFI 与 AFI 相比 WUE 差异较小,平均高于 FEFI 8.76%。

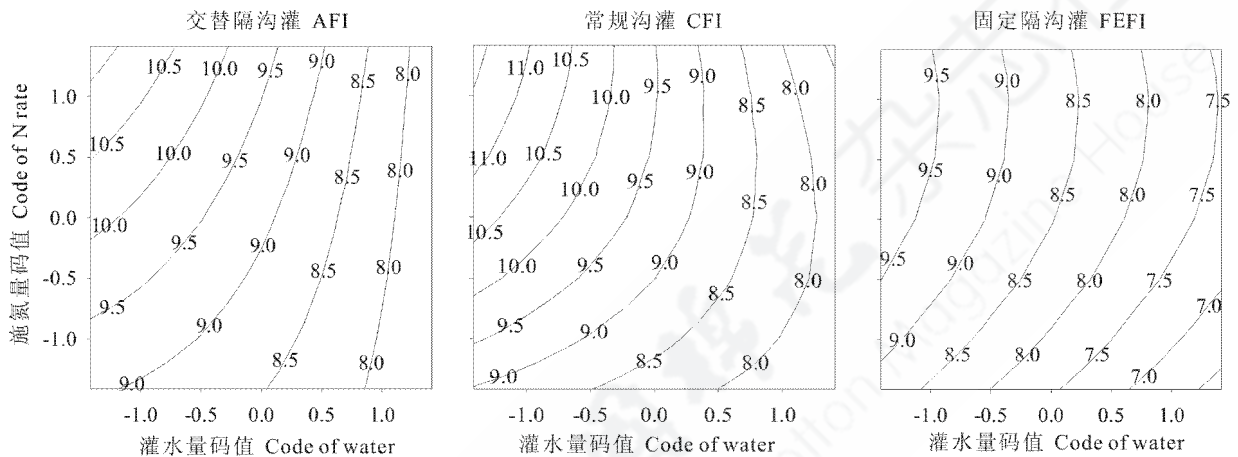


图 2 棉花水分利用率的水、氮调控效应

Fig. 2 Regulation effects of water and nitrogen on WUE under different furrow irrigation

表 4 不同沟灌方式棉花水分利用率的水、氮单因子效应分析

Table 4 Effect of single-factor of water and nitrogen on cotton WUE under different furrow irrigation

影响因素		-1.4142	-1.2071	-1	-0.5	0	0.5	1	1.2071	1.4142
施氮量	AFI	11.18	11.30	11.42	11.71	12.01	12.30	12.60	12.72	12.84
N Rate	CFI	10.89	11.25	11.57	12.18	12.55	12.68	12.58	12.46	12.31
	FEFI	10.46	10.77	11.04	11.55	11.84	11.93	11.79	11.68	11.52
灌水量	AFI	13.18	13.08	12.95	12.55	12.01	11.32	10.49	10.10	9.69
Irrigation	CFI	13.95	13.82	13.67	13.19	12.55	11.74	10.78	10.33	9.86
amount	FEFI	12.43	12.47	12.47	12.29	11.84	11.14	10.18	9.70	9.18

2.3 棉花产量和水、氮利用效率的水、氮优化方案

依据试验结果所建立的数学模型,利用二次通用旋转组合设计分析和筛选优化组合方案。以棉花产量 ≥ 3600.00 kg·hm⁻²、水分利用效率(WUE) ≥ 9 kg·mm⁻¹ 为目标,分别建立不同沟灌方式棉花水、氮耦合优化技术方案。各优化方案及对应的技术参见表 5。对优化方案进行比较得出同时满足以上两目标所需的施氮量:交替隔沟灌溉为 84.5~112.7 kg·hm⁻²,常规沟灌为 94.0~110.5 kg·hm⁻²,固定隔沟灌溉为 101.1~113.4 kg·hm⁻²。而同时满足以上目标的灌水要求,在水、氮优化技术方案中不能产生相同阈值,因此需根据

实际生产中的目标需要实现水、氮优化管理。

3 结论与讨论

在节水灌溉过程中,大田水、氮管理对棉花水分和养分利用率影响表明,棉花受水分严重胁迫时,施肥对产量无显著影响,即水分严重胁迫完全抑制了肥效的发挥^[2,10,12]。本试验中棉花产量水、氮调控效应表明,由于 FEFI 土壤剖面含水量分布不均匀,影响根系水分吸收和养分传输,因此随着灌水量增加能够显著提高棉花产量,但施用氮肥增产的空间比较小。CFI 方式由于土壤含水量分布相对均匀,棉花水分吸收和利用效率提

表 5 棉花水、氮调控效应回归分析

Table 5 Regression analysis of cotton water and nitrogen coupling effect under furrow irrigation

项目 Item	沟灌方式 Patterns	因素 Factor	平均值 Mean	标准误 Standard error	95%置信域 95% onfidence intervals	水、氮用量 Applied water and nitrogen amount
皮棉产量 Lint cotton yield $y \geq 3600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	AFI	$x_1/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	0.19	0.29	-0.39~0.76	84.50~116.20
		x_2/mm	0.93	0.15	0.64~1.22	210.80~257.80
	CFI	$x_1/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	0.27	0.29	-0.29~0.839	87.31~118.19
		x_2/mm	0.79	0.19	0.41~1.17	154.50~202.75
	FEFI	$x_1/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	0.48	0.27	-0.04~1.00	94.01~122.69
		x_2/mm	0.88	0.17	0.54~1.21	162.75~205.57
水分利用效率 WUE $\geq 9 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1}$	AFI	$x_1/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	0.66	0.30	0.08~1.238	82.50~112.70
		x_2/mm	-1.08	0.16	-1.40~-0.77	76.30~133.00
	CFI	$x_1/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	0.55	0.32	-0.07~1.17	79.90~110.502
		x_2/mm	-1.24	0.08	-1.39~-1.09	71.60~119.70
	FEFI	$x_1/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	0.97	0.23	0.51~1.42	82.60~113.40
		x_2/mm	1.25	0.09	-1.43~-1.07	67.00~115.00

高,棉花产量显著增加。但随着灌水量和施氮量的增加,易导致棉花营养生长和生殖生长不协调,表现为棉铃脱落严重,延长棉花生育期,降低棉花霜前产量。AFI方式下,棉花花期以前经过一定程度的水分胁迫锻炼,增强了根系的水分和养分传输能力^[9];花期后棉花生长率明显提高,棉花产量随灌水量和施氮量增加而显著提高,但施氮量高于 $95.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时变化不明显,说明在满足棉花一定氮素需求后,施氮量对棉花影响较小。棉花 WUE 的水、氮调控效应表明,在 FEFI 方式下,灌水量为 $63.4 \text{ mm} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时、施氮量 $16.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $94.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的 WUE 仅相差 12.2%;而施氮量在 $82.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,灌水量 37.52 mm 和 218.48 mm 差值达到 73.6%。AFI 方式灌水量为 64 mm 情况下,施氮量 $16.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $94.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的 WUE 仅相差 15.5%;而施氮量在 $82.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 情况下,灌水量 37.52 mm 和 218.48 mm 差值达到 75.5%,说明 AFI 和 FEFI 方式下水、氮调控对 WUE 影响明显,且灌水量的影响明显大于施氮量。3 种方式比较,FEFI 棉花根系受水分吸收限制而降低 WUE,AFI 方式增强棉花根系吸水功能而显著提升 WUE,CFI 导致棉花营养生长与生殖生长不协调而影响 WUE^[9,11-13]。

不同沟灌方式棉花产量和 WUE 的水、氮调控效应,棉花产量 AFI 与 CFI 相比变化趋势相近,FEFI 各处理均明显偏低,限制了水、氮效应发挥。棉花 WUE 水、氮调控效应,AFI 相比 CFI 显著促进水、氮效应发挥,FEFI 则抑制水、氮效应的发挥。因此,AFI 方式最能够有效提高水、氮利用

效率,有助于大田棉花水、氮管理和优化。

参考文献:

- [1] 李培岭,张富仓,贾运岗. 不同滴灌毛管布置模式棉花水、氮耦合效应[J]. 中国农业科学,2009,42(5):1672-1681.
LI Pei-ling, Zhang Fu-cang, Jia Yun-gang. Coupling effect of water and nitrogen on cotton under different drip irrigation lateral placements[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(5): 1672-1681.
- [2] 习金根,周建斌,赵满兴,等. 不同灌溉施肥方式下尿素态氮在土壤中迁移转化特性的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(3):271-275.
XI Jin-gen, Zhou Jian-bin, Zhao Man-xing, et al. Leaching and transforming characteristics of urea-N added by different ways of fertigation[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(3): 271-275.
- [3] 侯振安,李品芳,吕新,等. 不同滴灌施肥方式下棉花的水、盐和氮素分布[J]. 中国农业科学,2007,40(3):549-557.
HOU Zhen-an, Li Pin-fang, Lü Xin, et al. Distributions of water, salinity, and nitrogen in cotton root zone by different fertigation strategies[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(3): 549-557.
- [4] 危常州,马富裕,雷咏雯,等. 棉花膜下滴灌根系发育规律的研究[J]. 棉花学报,2002,14(4):209-214.
WEI Chang-zhou, Ma Fu-yu, Lei Yong-wen, et al. Study on cotton root development and spatial distribution under film mulch and drip irrigation[J]. Cotton Science, 2002, 14(4): 209-214.
- [5] 谭军利,王林权,李生秀,等. 不同灌溉模式下水分养分的运移及其利用[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(4):442-448.
TAN Jun-li, Wang Lin-quan, Li Sheng-xiu, et al. Movement and utilization of water and nutrient under different irrigation patterns [J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2005, 11(4): 442-448.
- [6] 胡晓棠,李明思,马富裕,等. 膜下滴灌棉花的土壤干旱诊断指标与灌水决策[J]. 农业工程学报,2002,18(1):49-53.

- HU Xiao-tang, Li Ming-si, Ma Fu-yu, et al. Index of aridity diagnosis for soil and decision making of irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(1): 49-53.
- [7] 刘建军,陈燕华,李明思,等. 膜下滴灌棉花植株耗水率与土壤水分的关系[J]. 棉花学报,2002,14(4):200-203.
- LIU Jian-jun, Chen Yan-hua, Li Ming-si, et al. Relationship between soil moisture and cotton transpiration under mulch trickle irrigation[J]. Cotton Science, 2002, 14(4): 200-203.
- [8] 李明思,康绍忠,杨海梅. 地膜覆盖对滴灌土壤湿润区及棉花耗水与生长的影响[J]. 农业工程学报,2007,23(6):49-54.
- LI Ming-si, Kang Shao-zhong, Yang Hai-mei. Effects of plastic film mulch on the soil wetting pattern water consumption and growth of cotton under drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(6): 49-54.
- [9] 张振华,蔡焕杰,杨润亚,等. 沙漠绿洲灌区膜下滴灌作物需水量及作物系数研究[J]. 农业工程学报,2005,21(6):26-29.
- ZHANG Zhen-hua, Cai Huan-jie, Yang Run-ya, et al. Relationships between yield, quality and CWSI of cotton under drip irrigation with mulch[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(6): 26-29.
- [10] 郑重,马富裕,慕自新,等. 膜下滴灌棉花水肥耦合效应及其模式研究[J]. 棉花学报,2000,12(4):198-201.
- ZHENG Zhong, Ma Fu-yu, Mu Zi-xin, et al. Study of coupling effects and water-fertilizer model on mulched-cotton by drip irrigation[J]. Cotton Science, 2000, 12(4): 198-201.
- [11] 李久生,张建君,饶敏杰. 滴灌系统运行方式对砂壤土水、氮分布影响的试验研究[J]. 水利学报,2004(9):31-37.
- LI Jiu-sheng, Zhang Jian-jun, Rao Min-jie. Effect of drip irrigation system operation on water and nitrate distribution in soil[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004(9): 31-37.
- [12] 栗岩峰,李久生,李蓓. 滴灌系统运行方式和施肥频率对番茄土壤氮素动态的影响[J]. 水利学报,2007,38(7):857-865.
- LI Yan-feng, Li Jiu-sheng, Li Bei. Nitrogen dynamics in soil as affected by fertigation strategies and frequencies for drip-irrigated tomato[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(7): 857-865.
- [13] 李富先,吕新,王海江,等. 棉花膜下滴灌比例混合变量施肥系统的研发[J]. 农业工程学报,2008,24(5):115-118.
- LI Fu-xian, Lü Xin, Wang Hai-jiang, et al. Research and development of the proportionally-mixed variable rate fertilization system for cotton drip irrigation under mulch film[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(5): 115-118. ●