

# 考虑环境效益的塔里木灌区棉花最优灌溉量

安巧霞, 孙三民, 叶含春<sup>※</sup>

(塔里木大学水利与建筑工程学院, 阿拉尔 843300)

**摘 要:** 为确定塔里木灌区棉田合理的灌溉量提供依据, 通过田间小区试验, 定量研究了不同灌溉量(8 100、6 600、5 100、3 600 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)与棉花产量、渗漏水量及总氮淋失量之间的关系, 应用费用-效益法分析, 得出经济效益和环境效益最优的棉花灌溉量。结果表明: 该试验条件下, 总氮淋失量为 3.3~28.4 kg/hm<sup>2</sup>; 渗漏量与灌水量成线性正相关, 渗漏量为 670~2 201 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。棉花产量与灌水量呈现二次相关关系, 当棉花产量最大为 1 765 kg/hm<sup>2</sup> 时, 相应的灌水量为 6 937 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。因此得出, 当灌溉量达到一定值时, 再增加灌溉量不会增加棉花产量, 而加大了氮素淋失量。该试验条件下, 考虑经济效益与环境效益, 塔里木灌区棉田推荐灌溉量为 6 651 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

**关键词:** 灌溉, 氮, 淋失, 环境影响评价, 棉花, 产量

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.11.009

中图分类号: S274, S143

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-11-0049-05

安巧霞, 孙三民, 叶含春. 考虑环境效益的塔里木灌区棉花最优灌溉量[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 49-53.

An Qiaoxia, Sun Sanmin, Ye Hanchun. Optimal irrigation amount for cotton field considering environmental benefits in Tarim irrigation area[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 49-53. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

新疆塔里木灌区处于极端干旱地区, 是中国重要的棉花生产基地<sup>[1-2]</sup>。灌溉是该区农业发展的主要措施之一, 灌溉对经济环境效益的影响具有双面性<sup>[3]</sup>。一方面, 合理的灌溉量对实现棉花的稳产高产, 提高灌区的经济效益具有重要意义; 另一方面, 高灌溉量会导致氮素淋失<sup>[4-5]</sup>, 甚至污染地下水<sup>[6-10]</sup>, 增加环境的负面效应。目前, 棉花产量与灌水量的关系及棉花水分生产函数等已有较多的研究<sup>[11-12]</sup>。研究表明, 灌水量与棉花产量呈二次抛物线关系, 并由此确定出棉花产量最大时相应的灌水量。但产量最大并非社会净效益最大<sup>[13]</sup>, 在确定灌水量时考虑灌溉对环境产生负面效益的报道较少。如何在考虑经济效益和环境效益的基础上确定合理灌溉量, 是我们值得关注的问题。因此, 本研究以塔里木灌区棉田为研究对象, 定量研究了不同灌溉量与棉花产量、渗漏水量及总氮淋失量之间的关系, 应用费用-效益法分析, 得出兼顾经济效益和环境效益的最佳灌溉量, 为塔里木灌区棉田制定合理的农田灌溉管理措施和减轻农业污染提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验田设于新疆阿拉尔市塔里木大学以北 2 000 m 左右处(80°30'N, 40°22'E), 属典型的暖温带大陆性干旱荒漠气候。供试土壤为灌耕草甸土, 全氮质量分数

0.723 g/kg, 水解氮质量分数 48.7 mg/kg, 铵态氮质量分数 12.69 mg/kg。田间持水率为 24.6% (占干土质量)。试验点多年年平均降水量为 67 mm 左右, 地下水位在 0.5~1.9 m。

### 1.2 试验设计

试验设 4 个灌溉水平, 分别为 8 100(W<sub>1</sub>)、6 600(W<sub>2</sub>)、5 100(W<sub>3</sub>)、3 600(W<sub>4</sub>) m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (依据当地棉花经验灌溉量确定, 由于年平均降水量小, 本试验不考虑降雨量对灌溉量的影响)。小区面积 5 m×5 m, 小区间筑 0.5 m 的埂, 并用 1.0 m 深的塑料薄膜隔开。每个处理 3 次重复, 并随机排列, 共设 12 个小区。灌水用水泵抽水(潜水泵出水量为 25 m<sup>3</sup>/h), 每小区灌水量通过灌水时间来控制。棉花全生育期共 5 次灌水, 灌溉时间与当地大田一致, 灌溉制度见表 1。

表 1 灌溉制度

Table 1 Irrigation schedule		m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup>			
灌水次数	灌水时间	灌水量			
		W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>
1	3 月 10 日	1 500	1 200	900	600
2	6 月 10 日	1 200	900	600	300
3	6 月 30 日	1 800	1 500	1 200	900
4	7 月 15 日	1 800	1 500	1 200	900
5	8 月 10 日	1 800	1 500	1 200	900
灌溉定额		8 100	6 600	5 100	3 600

### 1.3 种植方式和施肥

每小区棉花种 3 个带幅, 株距为 11.5 cm, 行距为 30 cm。基肥施尿素 600 kg/hm<sup>2</sup> (含 N 276 kg/hm<sup>2</sup>), 磷酸二铵 450 kg/hm<sup>2</sup> (含 N 81 kg/hm<sup>2</sup>, 含 P 90 kg/hm<sup>2</sup>), 花铃期追尿素 300 kg/hm<sup>2</sup> (含 N 138 kg/hm<sup>2</sup>), 灌溉方式采用沟灌。

收稿日期: 2009-04-08 修订日期: 2010-03-30

基金项目: 塔里木大学校长基金资助项目 (TDZKX09001)

作者简介: 安巧霞 (1975—), 女, 甘肃天水人, 主要从事水污染控制研究。新疆阿拉尔 塔里木大学水建学院, 843300。Email: aqxssm@126.com

※通信作者: 叶含春 (1966—), 男, 教授, 主要从事水资源的开发利用研究。新疆阿拉尔 塔里木大学水建学院, 843300

种植作物为中棉（大陆棉）49 号，2007 年 4 月 10 日播种，9—10 月份收获。收获时按小区计产，每小区采用隔 2 株数 1 株的方法，计算铃数。棉花吐絮后分 3 次采摘棉株上、中、下部吐絮完全的棉桃，每次采 50 朵，测定单铃质量及衣分，以每小区单铃质量、总铃数、衣分计算小区皮棉产量。

$$Y = M \cdot X \cdot P$$

式中， $Y$  为皮棉产量， $\text{kg}/\text{hm}^2$ ； $M$  为单铃质量， $\text{kg}$ ； $X$  为总铃数， $\text{hm}^2$ ； $P$  为衣分， $\%$ 。

#### 1.4 样品采集和测定

土壤渗漏液的收集如图 1 所示，在每块小区土壤下 120 cm 深处（根据棉花根系发育及地下水位确定）埋置高为 16.5 cm，直径为 36.0 cm 的瓷盆，以收集渗漏液<sup>[14-15]</sup>。每次灌水 4 d 后用吸水式喷雾器抽出每盆渗漏水，记录体积；并取样以测定总氮浓度，渗漏水取样后现场过  $0.45 \mu\text{m}$  的微孔滤膜后置入聚乙烯塑料瓶内，并加入一滴饱和的氯化汞，立即运回实验室。总氮浓度用过硫酸钾氧化紫外分光光度法测定。

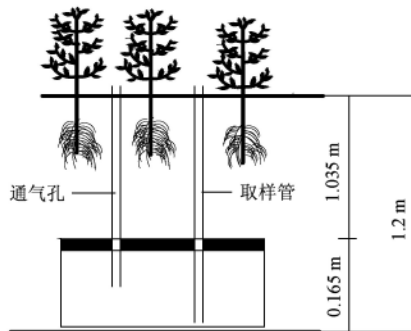


图 1 土壤渗滤液收集示意图

Fig.1 schematic of soil leakage water collection

#### 1.5 数据处理及分析

$$N = W \times C / (3.14 \times 0.18^2 \times 100)^{[15]}$$

式中， $W$  为渗漏水体积， $L$ ； $C$  为渗漏水总氮浓度， $\text{mg}/L$ ； $N$  为总氮淋失量， $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

用 Excel、DPS 软件对数据进行处理及方差分析，5% 显著水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌水量对土壤渗漏水量的影响

为了比较不同处理引起的土壤渗漏水量，试验忽略水分分布的空间变异，把小区在  $0.10 \text{ m}^2$  范围内收集到的渗漏水量换算成每公顷的渗漏水量。从图 2 可以看出：不同处理土壤渗漏水量差异较显著。4 个处理中，土壤渗漏水量以  $W_1$  最高，5 次灌水渗漏水总量为  $2201 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，在  $W_2$ 、 $W_3$ 、 $W_4$  处理下分别为  $1879$ 、 $1228$ 、 $670 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，比  $W_1$  分别减少  $14.6\%$ 、 $44.2\%$ 、 $69.5\%$ 。通过曲线拟合，得出灌溉量与渗漏水量的回归方程如下

$$y_1 = 0.3496x - 550.66 \quad (R^2 = 0.9837) \quad (1)$$

式中， $y_1$  为渗漏水量， $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ； $x$  为灌溉量， $\text{m}^3/\text{hm}^2$ 。

在 5 次灌水中，单位灌水量的渗漏水量以第 1 次灌水（春灌，3 月 10 日）最大，平均渗漏率（渗漏水量比

灌水量）为  $27.5\%$ 。这是因为，春灌时当地气温较低，表面蒸发量较少；同时没有作物根系的吸收和固定，再加上上年秋浇，土壤的底墒较好。

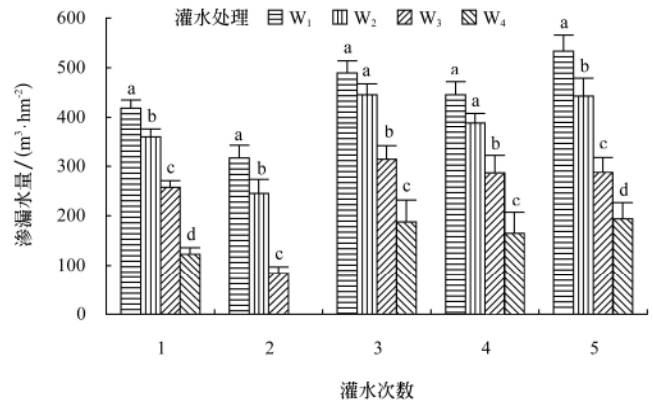


图 2 不同处理间渗漏水量

Fig.2 Amount of soil leakage water with different treatments

### 2.2 不同灌水量对渗漏水总氮浓度和淋失量影响

在 5 次灌水中， $W_4$  的总氮浓度最大值为  $6.50 \text{ mg}/L$ ，第 2 次灌水没有渗漏水，平均浓度为  $3.8 \text{ mg}/L$ ，在整个种植周期内浓度相对稳定； $W_1$  的总氮浓度变化范围为  $5.30 \sim 19.272 \text{ mg}/L$ ，平均浓度为  $12.94 \text{ mg}/L$ ，浓度显著大于  $W_4$ ； $W_2$  和  $W_3$  居于  $W_1$  和  $W_4$  之间。在整个种植周期内，各处理最低浓度值出现在第 1 次灌水后，最高浓度值出现在第 3 次灌水后，这是因为在第 1 次灌水（春灌，3 月 10 日）中未施肥，土壤含氮量相对较低，第 2 次灌水前虽施加了底肥和灌前追肥，但在这时段氮素还主要聚集在土壤表层，随着氮素在土壤中运移和第 3 次灌水量的加大，使第 3 次灌水后渗漏水总氮浓度达到最高，第 4、第 5 次灌水中渗漏水总氮浓度依次降低。由此表明，渗漏水总氮浓度大小在时间上不与施肥期同步，却与灌水量有很好的相关性（见图 3）。

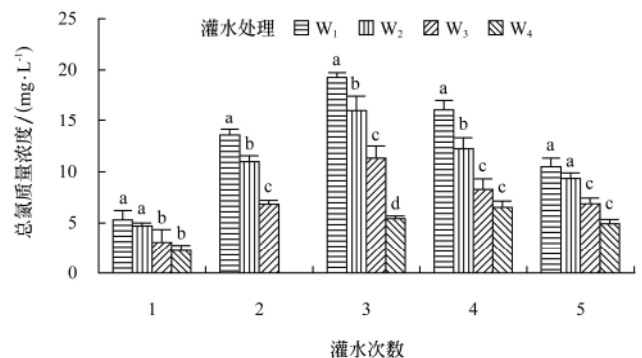


图 3 不同处理渗漏水总氮浓度

Fig.3 Total nitrogen (TN) concentrations in soil leakage water with different treatments

从图 4 可以看出，5 次灌水中总氮淋失量均以  $W_1$  最高，分别为  $2.40$ 、 $4.21$ 、 $9.26$ 、 $7.04$ 、 $5.48 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ，淋失总量达  $28.4 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ；总氮淋失量均以  $W_4$  最低，分别为  $0.27$ 、 $0$ 、 $1.02$ 、 $1.07$ 、 $0.95 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ，淋失总量为  $3.3 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。通

过曲线拟合, 得出灌溉量与总氮淋失量的回归方程如下

$$y_2 = 0.0058x - 18.475 \quad (R^2 = 0.9879) \quad (2)$$

式中  $y_2$  为总氮淋失量,  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

几次灌水中, 单位灌溉量总氮淋失量以第 1 次最低, 这是因为第 1 次灌水(春灌)时未施肥。但由于过去施肥造成土壤氮素的累积, 致使在当季未施肥时仍有氮素淋失。

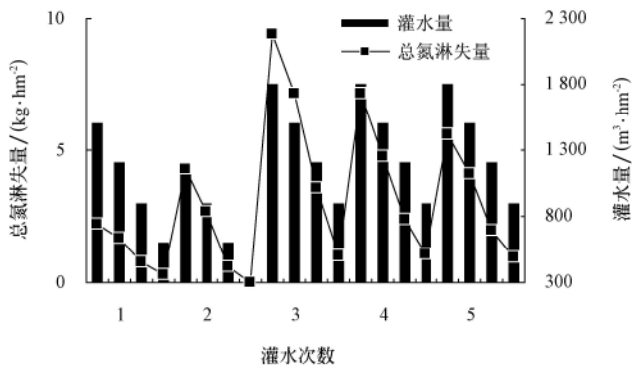


图 4 不同处理之间总氮淋失量

Fig.4 TN leaching loss with different treatments

### 2.3 灌溉对棉花产量的影响

$W_4 \sim W_2$  棉花产量随着灌溉量的增加而增加(图 5), 统计分析表明: $W_4$ 、 $W_3$  和  $W_2$  处理间差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ ); 当灌溉量继续增大到  $W_1$  时, 棉花产量呈现下降趋势, 比  $W_2$  减产 10.6%。说明当灌溉量较小时, 灌溉量是棉花的增产的主要因素, 而当灌溉量增大到一定值时, 灌溉量已经不是提高产量的主要因素。通过拟合, 得出灌溉量与棉花产量的回归方程如下

$$y_3 = -8E-05x^2 + 1.1101x - 2085.9 \quad (R^2 = 0.9838) \quad (3)$$

式中  $y_3$  为皮棉产量,  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

从此方程得出, 产量达到最高为  $1765 \text{ kg}/\text{hm}^2$  时, 灌溉量为  $6937 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

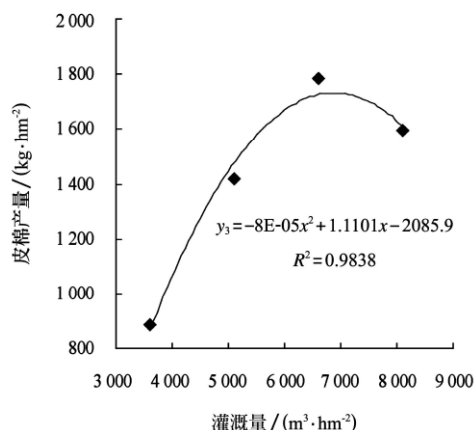


图 5 棉花产量与灌溉量关系

Fig.5 Relationship between cotton yield and irrigation amount

## 3 最佳灌溉量分析

### 3.1 费用-效益分析法

环境问题, 在一定意义上说是一个复杂、可变因素

多的技术经济问题, 涉及到一系列费用、效益的定量评估、综合效益的评估等问题。尤其对未来效益的估算, 不仅存在风险, 有时难以估算。费用-效益分析法<sup>[17]</sup>, 又称损益分析法, 是目前环境管理中最常用的经济分析法。费用-效益分析法的总目标是社会净效益最大, 用货币形式定量表示环境污染的损失。所以, 费用-效益分析法是寻找达到一定管理目标最小费用的方法。在本文中将灌溉量作为因变量, 以经济效益和环境效益为总目标来求棉花最优灌溉量。

### 3.2 环境效益评价指标选取

氮素淋失量被认为是氮素淋失对地下水污染程度的指标之一<sup>[16]</sup>, 其费用的估算主要包括两方面: 一为氮素淋失造成的化肥的损失费(折算成尿素量, 用尿素的价格计算); 二为氮素淋失量对环境的污染损失费。由于目前的环境经济技术条件限制及环境问题本身的复杂性, 污染损失费用的估算比较困难, 而污染控制费较易获得<sup>[17]</sup>。当灌溉量作为因变量, 施肥量为定值时, 各处理之间渗漏水量变化的显著性较渗漏水量氮素浓度大, 所以影响氮素淋失量的主要因素是渗漏水量, 本文选渗漏水量作为环境效益评价的间接指标。农田渗漏水处理费用目前没有直接参考依据, 渗漏水成分主要是化肥、农药等, 而生活污水成分复杂, 处理费用较高, 因此本文对渗漏水的处理费用按生活污水处理费用的 80% 来计算。

### 3.3 最佳灌溉量的确定

根据以上的分析, 费用-效益模型的建立如下:

环境影响费用: 环境影响费=氮素渗漏损失费+渗漏水对环境影响费

渗漏水对环境影响费=渗漏水量×生活污水处理单价×80% 用  $Y_1$  表示

总氮渗漏损失费=总氮渗漏量/尿素含氮量(46%)×尿素单价 用  $Y_2$  表示

经济效益: 棉花经济效益=皮棉产量×当年皮棉单价 用  $Y_3$  表示

经济费用: 经济费用=灌溉水水费+其他费用

灌溉水水费=灌溉量×水单价 用  $Y_4$  表示

其他费用主要包括人工费、化肥投入费等。由于本文强化灌溉量引起氮素淋失对环境的影响, 所以把其他费用如: 化肥投入费用、人工费等作为常量, 用  $C$  表示。

按照当地 2007 年市场价棉花为 10 元/kg, 尿素为 2.3 元/kg, 渗漏水对环境影响费采用生活污水处理单价的 80%, 为 0.8 元/ $\text{m}^3$ , 灌溉水水价为 0.15 元/ $\text{m}^3$ 。

由式 (1) × 0.8 得

$$Y_1 = 0.28x - 513.97 \quad (4)$$

由式 (2) / 0.46 × 2.3 得

$$Y_2 = 0.0287x - 99.862 \quad (5)$$

由式 (3) × 10 得

$$Y_3 = -0.0008x^2 + 11.101x - 20859 \quad (6)$$

由灌溉量  $x \times 0.15$  得

$$Y_4 = 0.15x \quad (7)$$

$$Y = Y_3 - Y_1 - Y_2 - Y_4 - C \quad (8)$$

则

$$Y = -0.0008x^2 + 10.642x - 20239.79 - C \quad (9)$$

式中,  $Y$  为经济环境效益, 元/hm<sup>2</sup>;  $x$  为灌水量;  $Y_1$  为渗漏水对环境的影响费, 元/hm<sup>2</sup>;  $Y_2$  为总氮渗漏损失费, 元/hm<sup>2</sup>;  $Y_3$  为棉花经济效益, 元/hm<sup>2</sup>;  $Y_4$  为灌溉水水费, 元/hm<sup>2</sup>;  $C$  为其他费用 (为常数), 元/hm<sup>2</sup>。

对式 (9) 两边求导, 得出当经济效益与环境效益最大时, 灌水量为 6 651 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 与棉花经济效益最大时的灌水量相差 286 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

## 4 讨 论

1) 通过以上的分析表明: 棉花产量最大时的灌溉量为 6 937 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 经济效益与环境效益最大时的灌溉量为 6 651 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 二者相差较小, 实施控制灌溉并没有显著的环境效益。这可能与下面两个因素有关:

第一, 与指标选取及费用的估算有关。氮素淋失量能反应氮素淋失对地下水的污染程度, 其定量性好, 但采用该指标时, 对环境的损失费估算较为困难, 所以本文采用对渗漏水的处理费间接反映氮素淋失对环境的损失费。渗漏水的处理费采用统一费用标准, 忽略了各处理渗漏水浓度的差异, 从而降低了各处理中环境效益费用的差异。同时, 地下水氮素含量变化是评价氮素淋失影响地下水质的直接指标, 该指标具体、可靠<sup>[17]</sup>。但在本文的研究中没有同步取得地下水的水质资料, 无法证明控制灌溉从改善地下水环境中获得的环境效益。所以在指标的选取和环境费用的估算上还有待进一步的研究。

第二, 以上采用的灌区水价为 0.15 元/m<sup>3</sup>, 水价较低, 是造成 2 个灌溉量相差较小的另一个因素。从目前的城市及农村的用水发展来看, 塔里木灌区水价必然上涨<sup>[18]</sup>。这有利于水资源的合理使用, 也有利于老百姓节约用水。还可以调整水管理部门合理的制定用水制度及合理的灌溉方式, 从而达到节约水资源, 促进控制灌溉措施的广泛实施。

2) 施肥量和灌水量是影响氮素淋失的两大主要因素: 降水和灌溉 (后者可以人为控制) 总量是构成肥料淋失的外因动力, 氮肥施用量是构成氮肥淋失的内因物质基础。没有足够的氮肥施用量, 不会产生氮的淋溶; 只有氮肥施用量超过一定数量后才发生明显淋失<sup>[17,19]</sup>。同时水分和肥料管理是制约氮素淋失的关键环节, 水肥协调可以在减少肥料在土壤中滞留和积累的同时降低氮素向深层的淋失<sup>[20]</sup>。本文将施肥量作为定值, 仅针对灌水量对氮素淋失的影响进行研究, 具有一定的局限性。在以后的试验中, 应从水分和养分平衡的角度出发, 对不同水肥耦合情况下的环境效益作比较精确的定量分析, 以期进一步完善本文的成果。

## 5 结 论

1) 本试验条件下, 灌溉量对总氮淋失量、渗漏水量有显著影响。总氮淋失量、渗漏水量与灌溉量成线性正相关, 总氮淋失量为 3.3~28.4 kg/hm<sup>2</sup>, 渗漏水量为 670~2 201 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

2) 棉花产量与灌溉量呈现二次相关关系。灌溉量较小时, 增加灌水量对棉花的增产效果比较显著, 而当灌水量

增大到一定值时, 棉花产量呈下降趋势。当棉花产量最大为 1 765 kg/hm<sup>2</sup> 时, 相应的灌溉量为 6 937 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

3) 应用费用-效益法分析, 得出经济效益与环境效益最佳的灌溉量为 6 651 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

## [参 考 文 献]

- [1] 杨旭东, 白云岗, 张江辉, 等. 塔里木盆地棉花水分生产函数模型研究[J]. 南水北调与水利科技, 2008, 6(4): 110—112.  
Yang Xudong, Bai Yungang, Zhang Jianghui, et al. Study on water production function of cotton in Tarim basin[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2008, 6(4): 110—112. (in Chinese with English abstract)
- [2] 王平, 陈新平, 田长彦, 等. 新疆南部地区棉花施肥现状及评价[J]. 干旱区研究, 2005, 22(2): 264—269.  
Wang Ping, Chen Xinping, Tian Changyan, et al. Actuality and evaluation of fertilization in cotton fields in south Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2005, 22(2): 264—269. (in Chinese with English abstract)
- [3] 周维博. 干旱半干旱地域提高灌区水资源综合效益研究进展与思考[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(5): 91—96.  
Zhou Weibo. Review on the study of water resources utilization efficiency in irrigation district in arid and semiarid areas of China[J]. Journal of Arid land Resources and Environment, 2003, 17(5): 91—96. (in Chinese with English abstract)
- [4] Cadahia C. Pre-plant slow release fertilization of strawberry plants before fertilization[J]. Fertilizer Research, 1993, 34(3): 191—195.
- [5] Theocheropoulos S P. Nitrogen leaching from soil in the Kopains area of Greece[J]. Soil Use and Management, 1993, 9(2): 76—84.
- [6] Schahram B, Sharyar B, Peter W, et al. Improvement of water use and N fertilizer efficiency by subsoil irrigation of winter wheat[J]. European Journal of Agronomy, 2008, 28(1): 1—7.
- [7] 李永宾, 郑丽敏, 廖树华, 等. 北京郊区不同水氮管理模式对冬小麦产量及水分和养分利用效率的影响[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(2): 51—56.  
Li Yongbin, Zheng Limin, Liao Shuhua, et al. Effects of different patterns of irrigation and N application on grain yield and utilization ratio of water and nutrient of winter wheat in Beijing suburb[J]. Journal of Triticeae Crops, 2005, 25(2): 51—56. (in Chinese with English abstract)
- [8] 叶优良, 李隆. 水氮量对小麦/玉米间作土壤硝态氮累积和水氮利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 33—39.  
Ye Youliang, Li Long. Effects of nitrogen fertilizer application and irrigation level on soil nitrate nitrogen accumulation and water and nitrogen use efficiency for wheat/maize intercropping[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(1): 33—39. (in Chinese with English abstract)
- [9] 翟丙年, 李生秀. 水氮配合对冬小麦产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 26—32.  
Zhai Bingnian, Li Shengxiu. Effect of water and nitrogen cooperation on winter wheat yield and quality[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(1): 26—32. (in Chinese with English abstract)
- [10] 郭天财, 冯伟, 赵会杰, 等. 水氮运筹对干旱年型冬小麦

- 旗叶生理性状及产量的交互效应[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 453—457.
- Guo Tiancai, Feng Wei, Zhao Huijie, et al. Interactive effect of irrigation and nitrogen application on physiological characteristics of flag leaf and grain yield of winter wheat in dry years[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(3): 453—457. (in Chinese with English abstract)
- [11] 王久生. 塔里木灌区棉花灌溉试验结果及分析[J]. 塔里木大学学报, 2005, 17(3): 68—69.
- Wang Jiusheng. Results and analysis of the cotton about irrigation experiment in the Tarim irrigation area[J]. Journal of Tarim University, 2005, 17(3): 68—69. (in Chinese with English abstract)
- [12] 杨凤梅. 不同灌溉处理对棉花生长发育及产量的影响[J]. 塔里木大学学报, 2008, 20(2): 30—32.
- Yang Fengmei. Influences of different irrigation on growth development and yield in cotton[J]. Journal of Tarim University, 2008, 20(2): 30—32. (in Chinese with English abstract)
- [13] 黄进宝, 范晓晖, 张绍林, 等. 太湖地区黄泥土壤水稻氮素利用与经济生态适宜施氮量[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 588—595.
- Huang Jinbao, Fan Xiaohui, Zhang Shaolin, et al. Investigation on the economically-ecologically appropriate amount of nitrogen fertilizer applied in rice production in Fe-leaching-Stagnic Anthrosols of the Taihu Lake region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(2): 588—595. (in Chinese with English abstract)
- [14] 安巧霞, 孙三民. 不同灌水量对阿拉尔垦区棉田土壤硝态氮淋失量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 154—157.
- An Qiaoxia, Sun Sanmin. Effect of different irrigation amount on  $\text{NO}_3^-$ -N leaching in the soil of cotton field in Alaer irrigated area[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(3): 154—157. (in Chinese with English abstract)
- [15] 叶优良, 李隆, 张福锁, 等. 灌溉对大麦/玉米带田土壤硝态氮累积和淋失的影响[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 105—109.
- Ye Youliang, Li Long, Zhang Fusuo, et al. Effect of irrigation on soil  $\text{NO}_3^-$ -N accumulation and leaching in maize/barley intercropping field[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(5): 105—109. (in Chinese with English abstract)
- [16] 于秀娟. 环境管理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 96—98.
- [17] 侯彦林, 李红英, 周永娟, 等. 中国农田氮面源污染研究: II 污染评价指标体系的初步制定[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1277—1282.
- Hou Yanlin, Li Hongying, Zhou Yongjuan, et al. Nitrogen non-point field pollution in china: II establishment of index system for evaluation of pollution degree[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(4): 1277—1282. (in Chinese with English abstract)
- [18] 郭廷友. 塔里木灌区水资源现状与农业可持续发展[J]. 塔里木大学学报, 2006, 18(2): 111—113.
- Guo Tingyou. The present condition of water resource and the sustainable development of agriculture in tarim irrigation area[J]. Journal of Tarim University, 2006, 18(2): 111—113. (in Chinese with English abstract)
- [19] 尹娟, 勉韶平. 稻田中氮肥损失途径研究进展[J]. 农业科学研究, 2005, 26(2): 76—81, 98.
- Yin Juan, Mian Shaoping. Review of losses pathways of fertilizer N from raddy field and the measurements for its reduction[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2005, 26(2): 76—81, 98. (in Chinese with English abstract)
- [20] 石维, 同延安, 赵营, 等. 灌溉施肥对冬小麦土壤氮素盈亏的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(2): 93—97.
- Shi Wei, Tong Yan'an, Zhao Ying, et al. Effect of N fertilizer and irrigation on apparent budget of soil N in winter wheat in anthrosol[J]. Journal of Triticeae Crops, 2006, 26(2): 93—97. (in Chinese with English abstract)

## Optimal irrigation amount for cotton field considering environmental benefits in Tarim irrigation area

An Qiaoxia, Sun Sanmin, Ye Hanchun<sup>\*</sup>

(College of Water Conservancy and Architecture Engineering, Tarim University, Alaer 843300, China)

**Abstract:** In order to provide bases for determining the suitable irrigation amount for cotton fields in Tarim irrigation area of Xinjiang Uygur Autonomous region, a field experiment was conducted. The relationships between the different irrigation amount (8 100, 6 600, 5 100, 3 600  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ) and cotton yield, the different irrigation amount and soil leakage water amount, the different irrigation amount and total nitrogen (TN) leaching loss amount were studied. The suitable irrigation amount was confirmed considering the economic and environmental benefits according to the analysis of the employing expenses—benefit law. Under this experimental conditions, the results showed that TN leaching loss varied from 3.3  $\text{kg}/\text{hm}^2$  to 28.4  $\text{kg}/\text{hm}^2$ . The relationship between soil leakage water amount and irrigation amount was linear, soil leakage water amount varied from 672  $\text{m}^3/\text{hm}^2$  to 2 243  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ . There was quadratic regression correlation between cotton yield and irrigation amount, the maximum yield was 1 765  $\text{kg}/\text{hm}^2$  when irrigation amount was 6 937  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ . Therefore, when irrigation amount attained to certain amount, cotton yield decreased while the total nitrogen leaching loss amount increased with the increase of irrigation amount. Optimal irrigation amount of cotton field was 6 651  $\text{m}^3/\text{hm}^2$  considering the economic and environmental benefits under this experimental conditions.

**Key words:** irrigation, nitrogen, leaching, environmental impact assessments, cotton, yield