

## 畦灌下不同施肥方式新疆棉田氮素淋溶损失特征

康露<sup>1,3</sup>, 朱靖蓉<sup>1,3</sup>, 杨涛<sup>2,3</sup>, 牛新湘<sup>2,3</sup>, 马红红<sup>2,3</sup>,  
李磐<sup>2,3</sup>, 蒲胜海<sup>2,3</sup>, 马兴旺<sup>2,3\*</sup>

- (1. 新疆农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091;  
2. 新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091;  
3. 农业农村部西北绿洲农业环境重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830091)

**摘要:** 利用田间渗滤池采集不同施肥方式下棉田耕层土壤的淋溶液体, 测定总氮、铵态氮以及硝态氮的含量, 旨在研究畦灌下不同施肥方式棉田耕层土壤中氮素的淋溶特征。结果表明: 连续 5 年的定位试验显示, 在新疆棉田常规地面灌溉制度下, 农民常规施肥、测土配方优化施肥、优化施肥基础上增加 50% 施氮量时淋溶到 90 cm 以下的总氮量分别为 5.35、5.34、5.52 kg·hm<sup>-2</sup>·年<sup>-1</sup>, 氮流失系数分别为 5.49%、4.92%、7.79%。氮淋溶以硝态氮为主, 占总氮流失量的 26.30% ~ 27.85%, 铵态氮流失量较少, 仅 2.18% ~ 2.54%。每次施肥灌水都会引起氮淋溶, 但是春灌引起的淋溶量是生育期每次灌水后的 3 ~ 5 倍。减少氮肥施用量和由棉花需要优化每次追肥量, 均可以减少氮淋溶损失。

**关键词:** 优化施肥; 棉田土壤; 氮素; 淋溶

新疆是我国最大的棉花种植区, 据新疆维吾尔自治区统计局统计, 2018 年新疆棉花种植面积达到 247 万 hm<sup>2</sup>, 占全国棉花种植面积的 80%, 在国家棉花产业中占有重要的战略地位<sup>[1]</sup>。氮素是有机体的主要组成之一, 也是生物地球化学系统的关键元素之一, 氮素直接参与植物的光合作用、有机质的分解、同化产物的分配<sup>[2]</sup>。根据汤明尧等<sup>[3]</sup>的调查数据, 南疆棉田氮肥用量约为 (N) 312.78 kg·hm<sup>-2</sup>; 与北疆棉田相比, 南疆化肥、氮肥施用量分别高 108.92、72.77 kg·hm<sup>-2</sup>, 虽然南疆棉花的单产高于北疆, 但化肥利用率低于北疆。

氮肥施用是确保作物产量稳定增长的重要措施, 然而农田生态系统中过量施入氮素肥料, 且低利用率造成氮素大量损失, 不利于现代农业生产的发展<sup>[3]</sup>。同时, 农田氮素的淋洗损失、氨挥发损失等带来严重的环境污染<sup>[4-5]</sup>。在农田土壤中施入氮肥后, 氮素在土壤中的去向大致可分为 3 种: 一是

经化学作用, 部分氮素转变为有效养分被作物吸收利用; 二是经土壤理化作用, 部分氮素被固定在土壤矿物晶格中, 从而残留于土壤中; 三是经淋洗、硝化和反硝化等方式损失掉<sup>[6]</sup>。氮肥的施用被认为是提高农业作物产量的重要途径。然而, 过量使用氮肥不仅会导致作物倒伏、营养生长时间过长、病害易感性增加, 而且还会带来地下水污染、河流湖泊富营养化等一系列环境问题<sup>[7]</sup>。

为明确不同施肥方式下新疆棉田氮素淋溶损失特征, 参照南北疆氮肥施用量现状, 在南疆 312.78 kg·hm<sup>-2</sup> 的施肥基础上, 设置不施肥、常规施肥、优化施肥和增量施氮处理, 探讨优化施肥处理减少单次施肥量和增加追肥次数对氮素损失的影响。本研究以地面灌下棉田为研究对象, 以常规灌不施肥为对照, 根据设计的灌水量和施肥量开展小区试验, 根据渗漏收集不同灌溉及施肥处理的氮素流失负荷, 研究灌溉量和施肥量在削减氮素流失负荷方面的成效, 为减少氮素流失和降低农田面源污染等方面提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验设于新疆库尔勒市包头湖农场新疆棉田面源污染监测研究基地 (41° 41' N, 85° 52' E)。

收稿日期: 2020-03-05; 录用日期: 2020-06-08

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0800804, 2018YFD0800802)。

作者简介: 康露 (1987-), 男, 浙江临海人, 副研究员, 硕士, 主要从事农产品质量与安全研究。E-mail: 96208zx@163.com。

通讯作者: 马兴旺, E-mail: maxw@xaas.ac.cn。

试验区属于典型干旱气候, 年平均降水量 56.2 mm, 年平均蒸发量 2497.4 mm, 年均日照 2878 h,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的积温 4252.2 $^{\circ}\text{C}$ , 无霜期 205 d, 地下水位 6.5 m。供试土壤为灌耕棕漠土, 耕层土壤 0 ~ 30 cm, pH 为 8.4, 土壤有机质含量为 8.1 g · kg<sup>-1</sup>, 碱解氮、有效磷和速效钾含量分别为 43.2、19.9 和 129 mg · kg<sup>-1</sup>。

1.2 试验设计

试验为长期定位小区试验。设 4 个施肥方式处理, 分别是不施肥 (CK)、按农民习惯施肥总量和基追肥量的常规施肥 (CON, 357 kg · hm<sup>-2</sup>,

分 2 次追施)、根据目标产量和土壤肥力对施肥总量和基追肥量进行设计的优化施肥 (OPT, 360 kg · hm<sup>-2</sup>, 分 3 次追施)、在优化施肥基础上增加 50% 施氮量的增量施氮 (OPT+N, 562.5 kg · hm<sup>-2</sup>, 分 3 次追施), 每个处理 3 次重复, 共 12 个监测小区, 每个小区面积为 4.5 m × 7.4 m=33.3 m<sup>2</sup>。灌水量和灌水时间均按当地农民习惯进行, 灌溉方式为畦灌, 用水表控制灌水量。施肥灌溉方案见表 1。供试作物为棉花新陆早 22, 监测点每年 4 月播种, 10 月收获。氮肥、磷肥和钾肥分别是尿素、磷酸二铵和硫酸钾。

表 1 试验处理施肥灌溉方案

| 处理    | 施肥量及灌溉用水量                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CK    | N <sub>0</sub> + P <sub>0</sub> + K <sub>0</sub> , 不施肥, 灌水量 5250 m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> , 分 4 次灌水。                                                                                                                                    |
| CON   | N 357 kg · hm <sup>-2</sup> , 基肥 46% + 追肥 27% + 追肥 27%; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 207 kg · hm <sup>-2</sup> , 基肥 100%; 灌水量 5250 m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> , 分 4 次灌水。                                                                 |
| OPT   | N 360 kg · hm <sup>-2</sup> , 基肥 40% + 追肥 25% + 追肥 20% + 追肥 15%; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 225 kg · hm <sup>-2</sup> , 基肥 100%; K <sub>2</sub> O 75 kg · hm <sup>-2</sup> , 基肥 100%; 灌水量 5250 m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> , 分 4 次灌水。   |
| OPT+N | N 562.5 kg · hm <sup>-2</sup> , 基肥 40% + 追肥 25% + 追肥 20% + 追肥 15%; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 210 kg · hm <sup>-2</sup> , 基肥 100%; K <sub>2</sub> O 75 kg · hm <sup>-2</sup> , 基肥 100%; 灌水量 5250 m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> , 分 4 次灌水。 |

1.3 样品采集与测定

试验从 2008 年开始, 布设淋溶盘式氮淋溶液原位采集装置, 2012 年更换为渗滤池式氮淋溶液原位采集装置 (图 1)。该装置通过分层挖土形成一个 90 cm 深垂直土坑, 土坑底部向中心形成一个 15° 左右的圆锥形, 在圆锥中心向下挖出一个坑放入特制的淋溶液采集桶后, 在土坑壁上铺上完好的 20 mm 厚的塑料膜, 然后分层回填土壤, 与其他特制配件一起形成一个渗滤池的地下淋溶原位收集装置。分别在春灌后、苗期、蕾期、花铃期和吐絮期等几个棉花重要的生育期灌水后采集土壤 90 cm 深度淋溶水样, 并对淋溶水中铵态氮、硝态氮、总氮等指标采用流动注射分析法<sup>[8-9]</sup>进行测定。本文使用 2013 ~ 2017 年的数据进行分析, 2013 ~ 2017 年灌溉日期如表 2 所示。

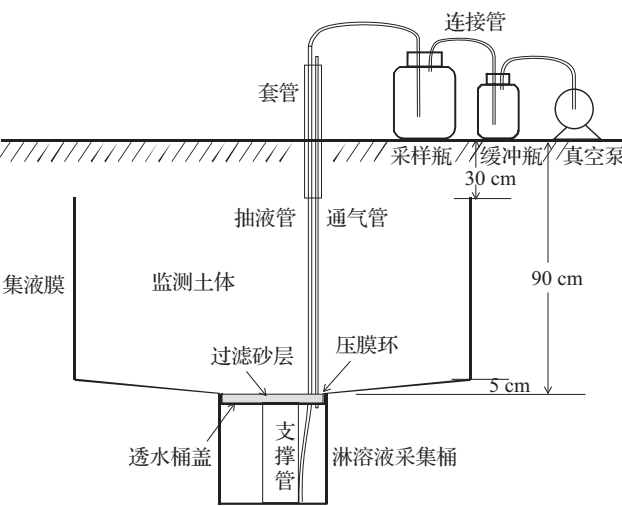


图 1 田间渗滤池示意图

表 2 2013 ~ 2017 年试验灌溉日期

| 监测年度 | 灌溉日期 (月 - 日)                      | 生育时期                  |
|------|-----------------------------------|-----------------------|
| 2013 | 03-12; 05-20; 06-15; 07-28        | 播种前; 苗期; 蕾期; 花铃期      |
| 2014 | 03-20; 05-25; 06-14; 07-25; 08-24 | 播种前; 苗期; 蕾期; 花铃期; 吐絮期 |
| 2015 | 03-21; 05-23; 06-13; 07-27; 08-25 | 播种前; 苗期; 蕾期; 花铃期; 吐絮期 |
| 2016 | 03-24; 05-26; 06-17; 07-26; 08-24 | 播种前; 苗期; 蕾期; 花铃期; 吐絮期 |
| 2017 | 03-22; 05-24; 06-16; 07-27; 08-26 | 播种前; 苗期; 蕾期; 花铃期; 吐絮期 |

## 1.4 数据处理

淋溶流失的氮素分年度进行统计, 计算方法为一年之中每次淋溶液中氮素浓度与体积乘积的总和。

计算公式如下:

$$P = \sum_{i=1}^n (C_i \times V_i)$$

式中:  $P$  表示氮素流失量 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ );  $C_i$  表示某次淋溶液的氮浓度 ( $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$ );  $V_i$  表示某次淋溶液的体积 (L)。

氮素流失系数的计算公式见参考文献 [10]。

计算公式如下:

氮素流失系数 (%) = (氮素流失量 - 对照处理氮素流失量) / 氮素施用量  $\times 100$

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥方式下棉田总氮淋溶量变化

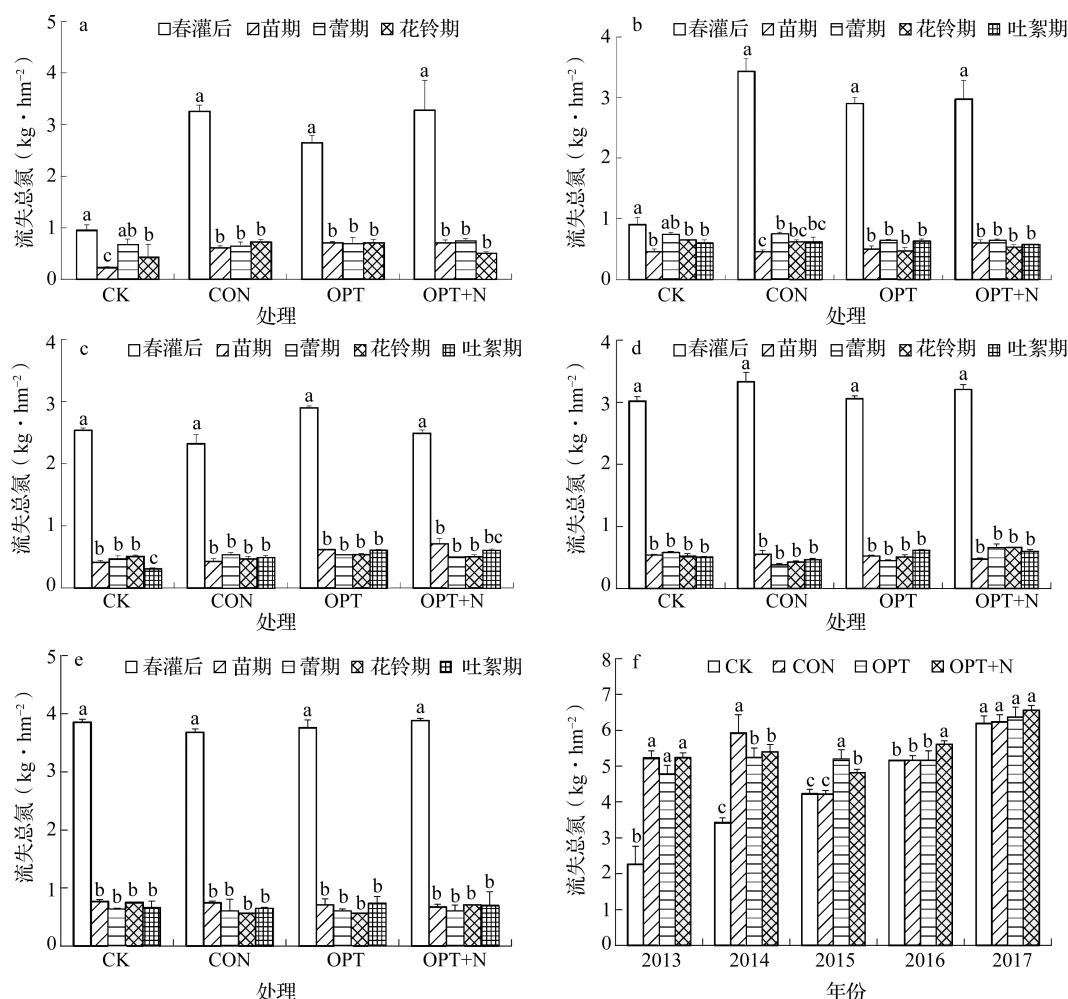


图2 2013 ~ 2017 年不同施肥方式下棉田各生育期总氮淋溶量变化

注: 图 a、b、c、d、e 分别为 2013、2014、2015、2016、2017 年不同施肥方式下棉田各生育期流失总氮含量变化; 图 f 为 2013 ~ 2017 年之间年际累积流失总氮含量。图 a、b、c、d、e 柱上不同字母表示不同生育期不同肥料处理 0.05 水平差异显著; 图 f 柱上不同字母表示各年份不同处理 0.05 水平差异显著, 下同。

## 2.2 不同施肥方式下棉田硝态氮淋溶量变化

图 3a、3b、3c、3d、3e 分别为 2013、2014、2015、2016、2017 年不同处理棉花各生育期淋溶水中硝态氮流失量变化。硝态氮流失量与总氮流失量的变化规律相同，春灌后淋溶水中硝态氮流失量显著高于棉花苗期、蕾期、花铃期和吐絮期的硝态氮流失量，由此可以看出，硝态氮的淋溶

关键时期也主要发生在春灌后。由图 3f 可以看出，从 2013 年至 2017 年 5 年的统计数据可以看出，常规施肥处理硝态氮的流失量占总氮流失量的 24.78% ~ 29.79%，优化施肥处理硝态氮的流失量占总氮流失量的 23.76% ~ 30.58%，增量施氮处理硝态氮流失量占总氮流失量的 23.61% ~ 37.24%。

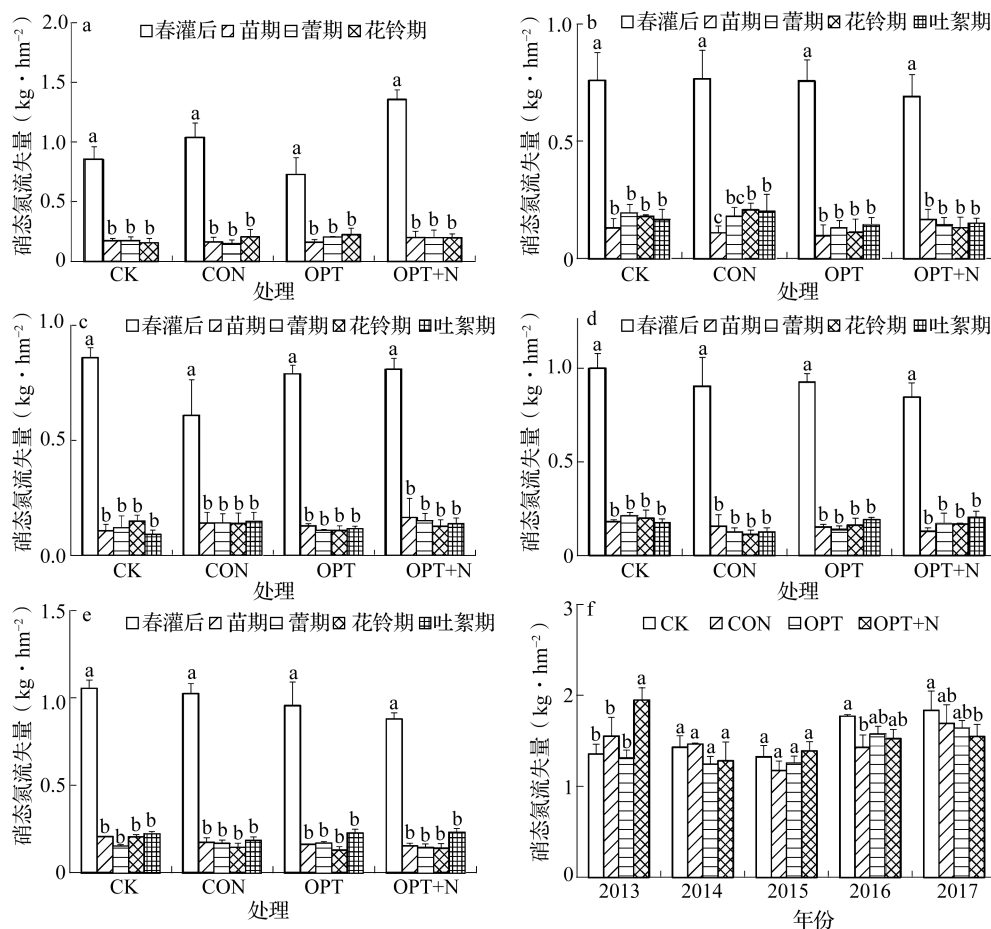


图 3 2013 ~ 2017 年不同施肥方式下棉田各生育期硝态氮流失量变化

注：图 a、b、c、d、e 分别为 2013、2014、2015、2016、2017 年不同施肥方式下棉田各生育期硝态氮流失量变化；图 f 为 2013 ~ 2017 年之间年际累积流失硝态氮含量。

与铵态氮流失量相比，常规施肥处理中硝态氮流失量与铵态氮流失量的比值为 8.17 ~ 15.65；优化施肥处理中硝态氮流失量与铵态氮流失量的比值为 8.64 ~ 16.15；增量施氮处理中硝态氮流失量与铵态氮流失量的比值为 7.62 ~ 23.95。与常规施肥处理相比，优化施肥处理硝态氮的流失负荷削减 3.09% ~ 15.48%；而增量施氮处理硝态氮的流失负荷增加 6.65% ~ 25.42%。为减少氮肥过量施用带来的氮淋溶风险，在棉花生产中施肥应按照优化施肥处理方式进行施用。

## 2.3 不同施肥方式下铵态氮淋溶量变化

图 4a、4b、4c、4d、4e 分别为 2013、2014、2015、2016、2017 年不同施肥处理棉花各生育期淋溶水中铵态氮的流失量变化。铵态氮的流失量与总氮流失量的变化规律相同，春灌后淋溶水中的铵态氮流失量显著高于棉花苗期、蕾期、花铃期和吐絮期铵态氮流失量，铵态氮流失量的淋溶关键时期与总氮流失量的淋溶关键期相同。由图 4f 可以看出，在 2013 至 2017 年期间，常规施肥处理中铵态氮流失量占总氮流失量的 1.72% ~ 3.33%，优化施肥处理

铵态氮的流失量占总氮流失量的 1.49% ~ 2.98%，增量施氮处理铵态氮的流失量占总氮流失量的 1.55% ~ 3.20%。与常规施肥处理相比，优化施肥

处理铵态氮流失负荷削减 8.30% ~ 19.80%；而增量施氮处理铵态氮流失负荷增加 16.10% ~ 42.44%。

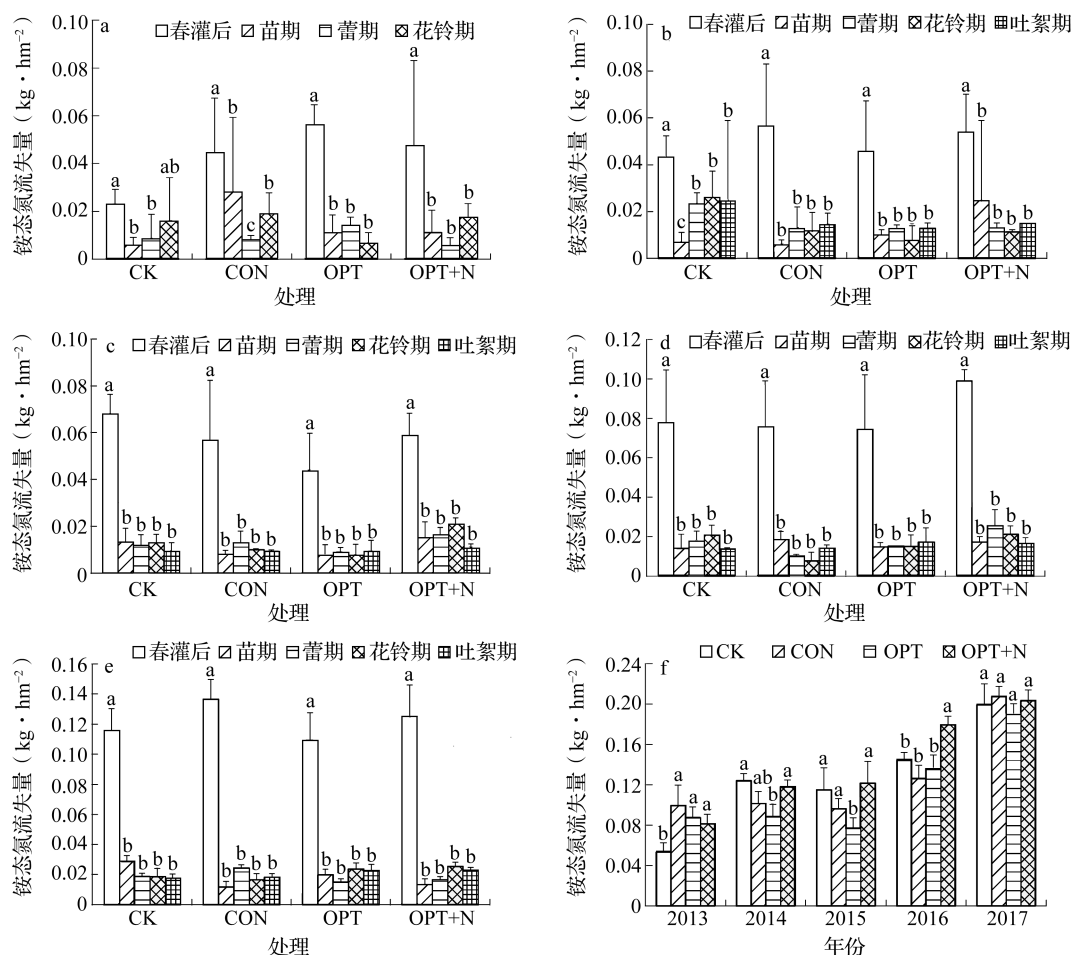


图4 2013 ~ 2017 年不同施肥方式下棉田各生育期铵态氮流失量变化

注：图 a、b、c、d、e 分别为 2013、2014、2015、2016、2017 年不同施肥方式下棉田各生育期铵态氮流失量变化；图 f 为 2013 ~ 2017 年之间年际累积流失铵态氮含量。

## 2.4 不同施肥方式下棉田总氮、硝态氮和铵态氮流失量变化

图 5a、5b、5c 分别为 2013 ~ 2017 年不同施肥方式下棉田总氮、硝态氮和铵态氮流失量箱型图。2013 ~ 2017 年间，常规施肥方式、优化施肥方式和增量施氮方式总氮累计流失量分别为 26.73、26.69、27.61  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，硝态氮累计流失量分别为 7.32、7.02、7.69  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，分别占总氮流失量的 27.38%、26.30%、27.85%；铵态氮累计流失量分别为 0.63、0.58、0.70  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，分别占总氮流失量的 2.36%、2.18%、2.54%。土壤中的氮素在灌溉水的作用下主要是以硝态氮的形式发生淋溶损失。

## 2.5 棉田不同施肥处理氮流失系数变化

2013 ~ 2017 年不同施肥处理棉田氮流失系数如图 6 所示。除 2014 年外，增量施氮处理的氮流失系数均高于常规施肥和优化施肥处理，与常规施肥处理相比，优化施肥处理的氮流失削减 22.37% ~ 56.12%；增量施氮处理的氮流失系数增加 4.81% ~ 297.55%。由此看出，减少氮肥用量和改进氮肥施用方法后，可以有效减少棉田土壤总氮流失量。不同施肥方式下棉田淋溶水的氮流失系数如图 7 所示。常规施肥方式、优化施肥方式和增量施氮方式氮流失系数分别为 5.49%、4.92%、7.79%，与常规施肥方式相比，优化施肥方式能减少氮流失。

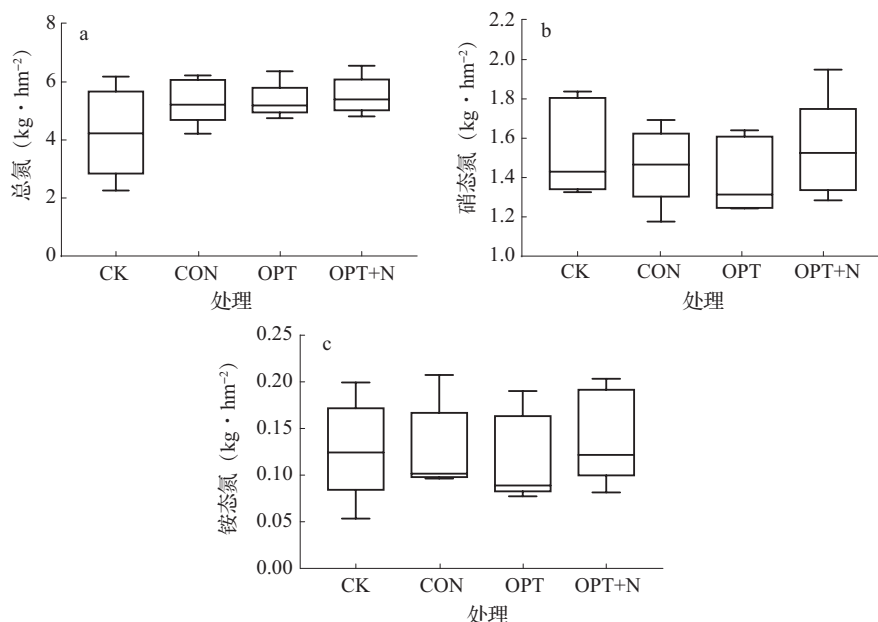


图5 2013 ~ 2017 年不同施肥方式下棉田总氮、硝态氮和铵态氮流失量箱型图

注：图 a、b、c 分别为 2013 ~ 2017 年不同施肥方式下棉田总氮、硝态氮、铵态氮累计流失量变化。

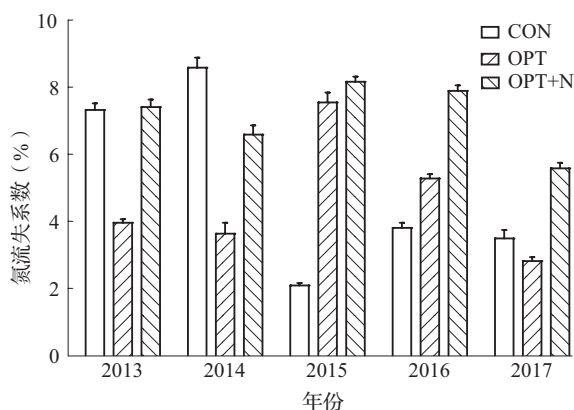


图6 2013 ~ 2017 年不同施肥方式下棉田淋溶水的氮流失系数

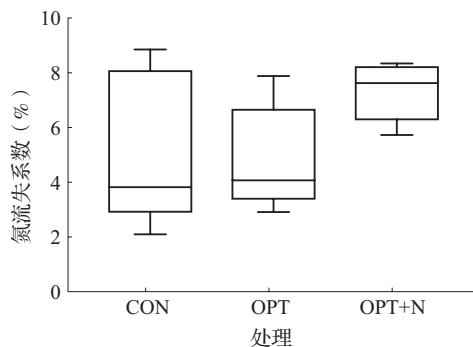


图7 不同施肥方式下棉田淋溶水的氮流失系数

### 3 讨论

#### 3.1 不同施肥方式下棉田氮素流失机理

国内外有关土壤氮素淋溶的特征研究进行了大量报道,化肥中氮素主要以无机态氮存在,遇水极易转化为可溶性氮而流失<sup>[11]</sup>,因此在径流试验前会造成水溶性氮素大量流失<sup>[12]</sup>。对不同作物,如西南紫色土坡耕地玉米生育期氮素流失特征也进行了报道<sup>[13]</sup>。马彦等<sup>[14]</sup>对甘肃省8个农田土壤地下淋溶监测点淋溶水中氮磷含量进行了测定分析,初步得出了甘肃省农田土壤地下淋溶氮流失系数,总氮流失系数为0.19% ~ 153.3%。常规处理淋溶条件下,总氮流失主要以硝态氮为主,这与本研究的结论相一致。本文研究结果表明3个施肥处理中,优化施肥处理能有效降低土壤氮素流失,即N 360 kg·hm<sup>-2</sup>,施肥方式为基肥40% + 追肥25% + 追肥20% + 追肥15%;灌溉量5250 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,分4次灌水。灌水棉田氮素淋溶损失主要发生在春灌后,可能的原因是由于播种前春灌的灌水量为2250 ~ 3000 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,而生育期每次灌水为900 ~ 1350 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,灌水量较大是氮素淋溶量大的主要原因之一;此外在棉花苗期地表裸露且苗期棉花吸收利用土壤中的养分较少,使得施入的肥

料(如基肥)大量累积于表层土壤,随着灌溉水的作用,土壤中氮素尤其是硝态氮具有较强的向下淋溶迁移能力,地块闲置期的氮素淋溶损失应值得关注,在此期间通过减少基肥施用量来减少氮流失。

不同施肥处理土壤中的氮素在灌溉水的作用下主要是以硝态氮的形式发生淋溶损失,可能的原因是  $\text{NO}_3^-$  较  $\text{NH}_4^+$  具有较强的向下淋溶能力<sup>[15]</sup>。从棉田流失的氮素主要以硝态氮为主,其次是颗粒态氮(用差减法得到颗粒态氮含量),而铵态氮很少<sup>[16]</sup>;从铵态氮流失量占总氮流失量的比值可以看出,铵态氮不是氮素淋溶损失的主要形式,其中主要原因是  $\text{NH}_4^+$  容易被带有负电荷的土壤胶体吸附,使农田土壤中  $\text{NH}_4^+$  较难发生淋溶损失。硝态氮占总氮含量的 26.30% ~ 27.85%,铵态氮占总氮含量的 2.18% ~ 2.54%;这与马林等<sup>[17]</sup>报道的研究结果相符,农田淋溶相关的“三氮”(游离态的氨或铵离子等形式存在的氨氮、亚硝态氮、硝态氮)是最主要的污染源,本文中硝态氮和铵态氮由流动注射仪分别进行测定,未采用差减法进行计算;据文献<sup>[18]</sup>报道,氮肥的损失途径主要为氨挥发及  $\text{N}_2\text{O}$  排放,氨挥发主要受土壤氨浓度影响, $\text{N}_2\text{O}$  主要产生于硝化-反硝化作用,剩余的氮素可能以有机氮或亚硝态氮的形态存在。

### 3.2 不同施肥方式下降低棉田氮素的措施

关于棉田最佳施肥量和灌水量一直是学术界关切的问题,如张燕等<sup>[19]</sup>进行水肥耦合对棉花产量和氮累积利用的影响研究表明,灌水量在 380 mm、施肥量( $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ )为 250-100-50  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,可以获得低于最高产量 6% 的籽棉产量,并节省 15% 的灌水量和 16.7% 施肥量。根据赵爱琴<sup>[20]</sup>大尺度水肥耦合模型的估算结果,南疆最佳灌溉和氮肥施用量分别为 604 mm 和 325  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,相应产量潜力为 6773  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;北疆最佳灌溉和氮肥施用量分别为 552 mm 和 354  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,相应产量潜力为 5961  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。韦高玲等<sup>[21]</sup>对不同施肥水平下菜地耕层土壤中氮磷淋溶损失特征结果表明,城郊菜地耕层土壤中氮素和磷素养分存在一定的淋失风险,减量施肥措施能有效降低菜地耕层土壤中氮素的淋溶损失,是降低耕层土壤氮淋失风险的有效措施。据报道花铃期是棉花全生育期内干物质及氮、磷、钾养分含量吸收最旺

盛的时期<sup>[22]</sup>;在盛花期增加施氮比例能提高棉花干物质和皮棉产量<sup>[23]</sup>;棉花初花期对氮肥的需求量占全生育期棉花吸收全氮量的 46%<sup>[24]</sup>。减少氮肥用量和改进氮肥施用方法可有效减少棉田土壤总氮流失量,这与黄丽华等<sup>[25]</sup>基于养分平衡管理的滴灌施肥技术在控制农田氮素流失中积极作用的研究结论一致。本研究中常规施肥处理的氮流失量为 4.9 ~ 6.4  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,推荐施肥处理的氮流失量均比常规处理降低 2.90% ~ 9.22%,减少氮流失的机理为在棉花花期施氮量的追肥量有所增加,棉花对氮素的需求有所增加,大部分氮素被棉花吸收,从而减少氮素的流失。

在控制农田氮素流失方面,主要从氮素污染源控制以及氮素流失途径等两方面来减少氮素损失<sup>[26]</sup>。在旱地农田系统,20  $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$  膨润土-腐植酸与 120  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  氮肥配合施用能增加农作物产量和减少无机氮淋溶损失<sup>[27]</sup>。施氮量 30% ~ 50% 以包膜尿素和生物炭基氮肥做基肥,以速效氮肥做追肥,滴灌下的农民习惯灌溉减量 30%,增加番茄产量、品质和氮肥利用效率,进一步减少氮素向下层土壤迁移<sup>[28]</sup>。不同年际间相同施肥方式氮流失系数存在差异,这与段小丽等<sup>[16]</sup>对 2008 和 2009 年农民习惯施肥处理的氮流失量分别是 36.14 和 89.52  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的研究结果相一致,可能的原因是随着年际施肥量的增加,土壤剖面中氮素不断累积,未被棉花吸收的氮素随灌水淋溶出土体。对照无氮肥投入处理,其 2015 ~ 2017 年总氮流失与其他处理差异并不大,可能的原因是:第一,本研究采集淋溶水的深度为 90 cm 以下,棉花的耕作层在 40 cm 左右,氮素随着灌水向下移动,大部分氮素已经被棉花吸收;第二,施肥方式为撒施,施肥深度较浅<sup>[16]</sup>,在每次灌水前,部分氮肥已经通过氨挥发的方式损失一部分。从 2013 ~ 2017 年地面灌不施肥对照处理淋溶水中的总氮含量呈增加趋势,2013 ~ 2017 年灌溉水中的总氮含量分别为 2.85、2.86、2.75、2.81、2.51  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,淋溶水中的总氮含量与灌溉水中总氮含量无关;因试验区年降水量小于 40 mm,可忽略大气降水来源;而大气降尘可能是主要的来源之一<sup>[29]</sup>。因此在初蕾期、盛蕾期、花期和铃期可以根据降尘中氮素的含量相应地减少氮肥施用量,而在吐絮期应适量增加氮肥施用量。

#### 4 结论

利用田间渗滤池采集不同施肥方式下棉田耕层土壤的淋溶液体,测定了总氮、铵态氮以及硝态氮的含量水平,旨在研究畦灌下不同施肥方式棉田耕层土壤中氮素的淋溶特征。结果表明:(1)连续5年的定位试验显示,在新疆棉田常规地面灌溉制度下,农民常规施肥、测土配方优化施肥、优化施肥基础上增加50%施氮量时淋溶到90 cm以下的总氮量分别为5.35、5.34、5.52 kg·hm<sup>-2</sup>·年<sup>-1</sup>,氮流失系数分别为5.49%、4.92%、7.79%。(2)氮淋溶以硝态氮为主,占总氮流失量的26.30%~27.85%,铵态氮流失量较少,仅2.18%~2.54%。(3)每次施肥灌水都会引起氮淋溶,但是春灌引起的淋溶量是生育期每次灌水后的3~5倍。(4)减少氮肥施用量和由棉花需要优化每次追肥量,均可以减少氮淋溶损失。

#### 参考文献:

- [1] 徐灿,刘启,蔡梦杭,等. 新疆棉田土壤黄萎病菌致病类型和微菌核定量分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2019, 37(6): 734-741.
- [2] 吕宁,尹飞虎,高志建,等. CO<sub>2</sub>浓度升高与氮肥施用对棉田土壤氮素的影响[J]. 干旱区研究, 2014, 31(6): 1017-1023.
- [3] 汤明尧,赖波,赵泽. 新疆棉田施肥现状调查与评价[J]. 新疆农业科技, 2016(2): 48-50.
- [4] Tian D S, Niu S L. A global analysis of soil acidification caused by nitrogen addition[J]. Environmental Research Letters, 2015, 10(2): 024019.
- [5] Li R F, Ruan X H, Bai Y, et al. Effect of wheat-maize straw return on the fate of nitrate in groundwater in the Huaihe River Basin, China[J]. Science of the Total Environment, 2017, 592: 78-85.
- [6] Marouane B, Dahchour A, Dousset S, et al. Monitoring of nitrate and pesticide pollution in Mnasra, Morocco soil and groundwater[J]. Water Environment Research, 2015, 87(6): 567-575.
- [7] 张妍,李发东,时鹏,等. 华北平原玉米种植中施入氮肥的去向研究[J]. 水土保持学报, 2018, 32(4): 210-215.
- [8] Mehrab N, Chorom M, Hojati S. Effect of raw and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-enriched zeolite on nitrogen uptake by wheat and nitrogen leaching in soils with different textures[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2016, 47(10): 1306-1316.
- [9] HJ 667-2013, 水质总氮的测定,连续流动-盐酸萘乙二胺分光光度法[S].
- [10] HJ 665-2013, 水质氨氮的测定,连续流动-水杨酸分光光度法[S].
- [11] 席运官,田伟,李妍,等. 太湖地区稻麦轮作系统氮、磷径流排放规律及流失系数[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(3): 534-540.
- [12] 聂俊,邱俊荣,史亮亮,等. 有机肥和化肥配施对抛栽水稻产量、品质及钾吸收转运的影响[J]. 江苏农业科学, 2016 2(2): 122-125.
- [13] 夏红霞,朱启红,刘希东,等. 自然耕作条件下典型有机肥氮素原位径流流失特征分析[J]. 中国水土保持, 2018, 434(5): 61-64.
- [14] 马彦,杨虎德,冯丹妮. 甘肃省农田土壤地下淋溶氮磷流失系数测算初报[J]. 甘肃农业科技, 2019(6): 37-40.
- [15] 董坤. 不同施肥模式对蔬菜地中氮素流失影响研究[D]. 成都:西南交通大学, 2017.
- [16] 段小丽,张富林,张继铭,等. 江汉平原棉田地表径流氮磷养分流失规律[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2): 49-53.
- [17] 马林,柏兆海,胡春胜. “农田氮磷淋溶损失污染与防控机制研究”项目正式启动[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(11): 1575-1576.
- [18] 章莹,王建武,王蕾,等. 减量施氮与大豆间作对蔗田土壤温室气体排放的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21: 1318-1327.
- [19] 张燕,张富仓,吴立峰. 水肥耦合对棉花产量和氮累积利用的影响[J]. 节水灌溉, 2016(12): 20-26.
- [20] 赵爱琴. 基于大尺度水肥耦合模型估算新疆膜下滴灌棉花生产潜力[J]. 农业工程学报, 2019, 35(5): 111-118.
- [21] 韦高玲,卓慕宁,廖义善,等. 不同施肥水平下菜地耕层土壤中氮磷淋溶损失特征[J]. 生态环境学报, 2016, 25(6): 1023-1031.
- [22] 董合林,李鹏程,刘爱忠,等. 华北平原一熟春棉干物质积累与养分吸收特性[J]. 中国棉花, 2012, 39(12): 19-22.
- [23] Yang G Z, Chu K Y, Tang H Y, et al. Fertilizer (15) N accumulation, recovery and distribution in cotton plant as affected by N rate and split[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(6): 999-1007.
- [24] Yang G Z, Tang H Y, Nie Y C, et al. Responses of cotton growth, yield, and biomass to nitrogen split application ration[J]. European Journal of Agronomy, 2011, 35(3): 164-170.
- [25] 黄丽华,沈根祥,钱晓雍,等. 滴灌施肥对农田土壤氮素利用和流失的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 49-53.
- [26] 赵茜,宣岩芳,曹林奎. 农田土壤氮素流失规律及其控制技术进展[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2009, 27(4): 424-428.
- [27] 郑毅,李丰义,刘庭玉,等. 膨润土-腐植酸与氮肥配施对科尔沁沙地土壤无机氮淋溶和生物有效性的影响[J]. 中国

土壤与肥料, 2019 (6): 114-122.

- [28] 廖上强, 陈延华, 李艳梅, 等. 减量灌溉条件下缓释肥料对番茄产量、品质及硝态氮淋溶的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2015 (6): 70-75.

料, 2015 (6): 70-75.

- [29] 莫治新, 温善菊. 降尘对棉花营养特性的影响 [J]. 河南农业科学, 2015, 44 (5): 50-52, 57.

### Characteristics of nitrogen leaching loss in Xinjiang cotton fields with different fertilization methods and border irrigation

KANG Lu<sup>1, 3</sup>, ZHU Jing-rong<sup>1, 3</sup>, YANG Tao<sup>2, 3</sup>, NIU Xin-xiang<sup>2, 3</sup>, MA Hong-hong<sup>2, 3</sup>, LI Pan<sup>2, 3</sup>, PU Sheng-hai<sup>2, 3</sup>, MA Xing-wang<sup>2, 3\*</sup> (1. Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi Xinjiang 830091; 2. Institute of Soil and Fertilizer and Agriculture Water Conservation, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi Xinjiang 830091; 3. Key Laboratory of Northwest Oasis Agricultural Environment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Urumqi Xinjiang 830091)

**Abstract:** The leachate was used to collect the leaching solution from the surface soil of cotton field under different fertilization methods, and the content of total nitrogen, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen was measured, so as to study the leaching characteristics of nitrogen in the surface soil of cotton field under different fertilization methods. The site-specific test for 5 consecutive years showed that under the conventional surface irrigation system of cotton field in Xinjiang, the total nitrogen content which leached from the 90 cm soil profiles and the nitrogen loss coefficients were 5.35, 5.34, 5.52 kg · hm<sup>-2</sup> · year<sup>-1</sup>, and 5.49%, 4.92%, 7.79%, respectively, for there treatments, i.e. farmers' conventional fertilization, optimized fertilization by soil testing formula, optimized fertilization by soil testing formula plus 50% nitrogen content. Nitrogen leaching was dominated by nitrate nitrogen, accounting for 26.30%~27.85% of the total nitrogen loss, while ammonium nitrogen loss was less, only 2.18%~2.54%. Each irrigation with fertilization will cause nitrogen leaching, but the amount of leaching caused by spring irrigation was 3~5 times higher than other irrigations during the growth period. The nitrogen leaching loss can be reduced by reducing the application amount of nitrogen fertilizer or optimizing the amount of topdressing per time according to the needs of crops.

**Key words:** optimized fertilization; cotton field soil; nitrogen; leaching