

# 引黄灌区设施菜田硝态氮淋失的季节性特征

张学军<sup>1</sup>, 任发春<sup>2</sup>, 赵营<sup>1</sup>, 罗健航<sup>1</sup>, 陈晓群<sup>1</sup>

(1.宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 银川 750002; 2.银川市永宁县杨和镇农业技术服务中心, 宁夏 永宁 750199)

**摘要:**以宁夏引黄灌区设施菜田番茄-黄瓜轮作体系为研究对象,采用田间定位试验与实地观测相结合的研究方法,对设施菜田硝态氮淋洗的季节特征及其环境因子和施肥管理对硝态氮淋洗的影响进行研究。研究表明:硝态氮淋失呈现明显的季节变化,峰值出现在7月夏季休闲期,黄瓜季(秋冬茬)淋洗显著高于番茄季(冬春季),常规施肥周年硝态氮淋洗量平均为185.7 kg·hm<sup>-2</sup>,优化施肥和调节碳氮比两处理硝态氮淋洗量比常规处理分别降低了10.6%和8.3%。设施菜田硝态氮淋失与浅层地下水位、土壤温度、土壤水分等环境因子季节性变化关系密切,浅层地下水位与硝态氮的淋失量呈极显著负相关,浅层地下水位埋深越浅,硝态氮淋失量越大;土壤水分和温度与硝态氮的淋失量呈显著正相关,随着土壤表层温度和含水量升高,硝态氮淋失增多。

**关键词:**硝态氮;淋失;浅层地下水位;土壤水分;土壤温度

中图分类号:S143.1 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2014)10-1964-09 doi:10.11654/jaes.2014.10.013

## Seasonal Changes of Nitrate Leaching in Greenhouse Vegetable Field in Yellow River Irrigation Region of Ningxia, China

ZHANG Xue-jun<sup>1</sup>, REN Fa-chun<sup>2</sup>, ZHAO Ying<sup>1</sup>, LUO Jian-hang<sup>1</sup>, CHEN Xiao-qun<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China; 2. Yanghe Service Center for Agricultural Technologies in Yongning County of Yinchuan, Yongning 750199, China)

**Abstract:** Extensive use of nitrogen fertilizers has caused nitrate leaching in greenhouse vegetable fields. A field experiment was carried out to investigate the seasonal changes of nitrate leaching and the effects of environmental factors and fertilization practices in a greenhouse tomato and cucumber rotation system in the Yellow River Irrigation Region of Ningxia. Nitrate leaching showed obvious seasonal changes. The leaching peak occurred during summer fallow period in July. Nitrate leaching losses were significantly higher in cucumber (autumn-winter season) than in tomato season (winter-spring season). The nitrate leaching for the whole year was about 185.7 kg·hm<sup>-2</sup> in the conventional fertilization, while the amount of nitrate leaching decreased by 10.6% and 8.3% in optimal fertilization and optimal fertilization plus regulating soil C/N ratios, respectively. Losses of nitrate leaching were significantly negatively correlated with shallow groundwater depth, but significantly positively with soil moisture and soil temperature. These findings would be useful for reducing nitrate leaching from greenhouse vegetable systems.

**Keywords:** nitrate; leaching losses; shallow groundwater depth; soil moisture; soil temperature

目前,我国农田氮肥消费量占全球总消费量的31%,设施蔬菜消耗了约5%的化学氮肥,据He等<sup>[1]</sup>调查,我国山东寿光设施番茄地的年施氮量每公顷高

达4342 kg,据Chen等<sup>[2]</sup>调查北京市设施菜田年施氮量每公顷超过1000 kg,张学军等<sup>[3]</sup>文献表明宁夏设施蔬菜年每公顷平均投入的化肥氮为1550 kg。此外,设施菜田有机肥施用量也很高,会带入几乎同样量的氮素。设施蔬菜施氮量如此之高,但氮肥利用率却仅为20%<sup>[4]</sup>,大部分氮肥均损失,而硝酸盐淋失是在氮素损失的主要途径,约占氮素总损失量的30%左右<sup>[5]</sup>。文献中关于施肥、灌水和降雨对硝态氮淋失影响的研究报道很多<sup>[6-9]</sup>,氮肥的大量施用是造成设施菜田土壤剖

收稿日期:2014-03-12

基金项目:国家自然科学基金项目(41361062);公益性行业(农业)科研专项(20100314-5-1)

作者简介:张学军(1965—),男,博士,研究员,主要研究方向为不合理农业措施对环境影响及土壤氮素流失。

E-mail:zhxjun2002@163.com

面中  $\text{NO}_3^-$ -N 深层积累的主要原因之一<sup>[10]</sup>,设施菜田剖面土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 累积远远高于粮田<sup>[11]</sup>。接水盘式采样器是测定农田土壤氮素淋失常用的一种研究方法,该方法养分淋失量的计算是基于淋溶液养分质量浓度和淋溶体积的乘积而得<sup>[12]</sup>。近年来研究发现,宁夏引黄灌区滴灌施肥条件下,设施番茄硝态氮淋失主要发生在 0~90 cm 以上土层,表层累积的硝态氮依然有向下淋洗的趋势<sup>[3]</sup>,而传统灌溉管理能造成不同施氮处理下土壤氮素的淋洗损失,淋洗土层深度达到 150~180 cm<sup>[14]</sup>。但目前关于设施菜田浅层地下水位变化、土壤耕作层温度和水分等环境因子的变化,对土壤氮素淋洗影响和土壤氮素淋洗季节性变化特征方面研究未见报道。

本文以宁夏引黄灌区设施菜田番茄-黄瓜轮作体系为研究对象,采用田间定位试验与实地观测相结合的研究方法,探讨分析引黄灌区设施菜田的浅层地下水位、土壤耕作层温度和水分等环境因子季节性变化对土壤氮素淋洗的影响,以期找到这些环境因子对硝态氮淋失的影响,为有效控制设施菜田硝态氮淋失提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验点设在宁夏引黄灌区银川市兴庆区掌政乡杨家寨五队(东经 106°21'27",北纬 38°26'51")。该地区干旱少雨,年平均降水量不足 200 mm,蒸发强烈、光照充足、热量丰富、无霜期短、温差大;6—9 月在作物生长期受黄河水灌溉的影响,引黄灌区浅层地下水位季节性变化较大,每年夏秋灌溉期间浅层地下水位大幅度回升,平均水位在 1.1 m 左右<sup>[13]</sup>;供试土壤类型为灌淤土,质地为砂壤土,有机质含量为 23.97  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,全氮和全磷含量分别为 1.89  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和 1.65  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效钾含量为 241.08  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

### 1.2 试验方案

试验设 4 个处理,不施任何肥料(CK)、习惯施肥(CF)、优化化肥(OF)、优化化肥+调节 C/N(OC,有机碳 161.3  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,C/N 比值为 17~36),各处理施肥量及氮肥基追施用量见表 1,每个处理重复 3 次,各小区面积为 23.4  $\text{m}^2$ (6 m×3.9 m),随机区组排列。

蔬菜栽培方式为番茄-黄瓜轮作,冬春茬为番茄,每年 11 月下旬至 12 月上旬移栽,4 月至 6 月中旬采摘,6 月下旬至 8 月上旬为夏休闲期;秋冬茬为黄瓜,8 月上旬至中旬移栽,9 月下旬至 11 月上旬为采摘期。灌溉方式为畦灌,番茄季灌水 8~9 次,分别在 3 月下旬至 5 月上旬追肥 3~4 次;黄瓜季灌水 3~4 次,分别在 9 月中旬至 10 月中旬追肥 2~3 次。氮肥为尿素、磷肥为含  $\text{P}_2\text{O}_5$  46%的重过磷酸钙(全部基施),钾肥为含  $\text{K}_2\text{O}$  50%的硫酸钾(40%基施,60%追施)。

### 1.3 田间观测项目及淋溶水样的采集

#### 1.3.1 淋溶水样的采集

采用田间淋溶液原位管式收集装置(图 1),每个小区安装 2 套淋溶盘。试验开始前,以两个小区交接线为中线,挖掘一个长 270 cm、宽 120 cm、深 160 cm 的土壤剖面,在每个剖面的两端距地表 90 cm 处安装两套淋溶装置,淋溶盘规格 50 cm×40 cm×5 cm(PVC 盘)。淋溶盘装满用清水反复洗净的粗沙后(粒径 1 mm 左右),用 100 目尼龙网覆盖、粘贴在淋溶盘上表面,并用取自 90 cm 深处的土壤调制的粗泥浆铺在纱网上,将淋溶盘放入挖好的水平方洞中使泥浆尽量与洞的上平面紧密接触,以模拟原土壤基质势,最后将洞口回填压实。在水平洞口覆盖一层比洞口大的塑料薄膜,并用粗厚泥浆封严洞口,只将连在淋溶盘底部的出液管露出,短管另一端接在一个管口直径 16 cm、长 180 cm 的 PVC 管中用以盛装收集淋溶液。然后分层回填土壤,逐层压实,并多次灌溉使土壤尽量恢复原状,回填后粗 PVC 管露出地面 20 cm。

表 1 番茄-黄瓜生育期各处理施肥量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )

Table 1 Fertilizers of each treatment during tomato and cucumber growth period

处理 Treatment	化肥 Fertilizers										鸡粪 Poultry manure	秸秆 Crop straw	牛粪 Dairy manure
	番茄季 Tomato season					黄瓜季 Cucumber season							
	总施氮量	基施氮量	追施氮量	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$	总施氮量	基施氮量	追施氮量	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$			
CK	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CF	900	270	630	750	600	600	180	420	300	450	18 000	—	—
OF	525	157.5	367.5	450	750	450	135	367.5	225	525	18 000	—	—
OC	525	157.5	367.5	450	750	450	135	367.5	225	525	18 000	7500	7500

注:番茄季:鸡粪全氮含量为 8.62  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,牛粪全氮含量为 10.8  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;黄瓜季:鸡粪全氮含量为 12.8  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,牛粪全氮含量为 8.33  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

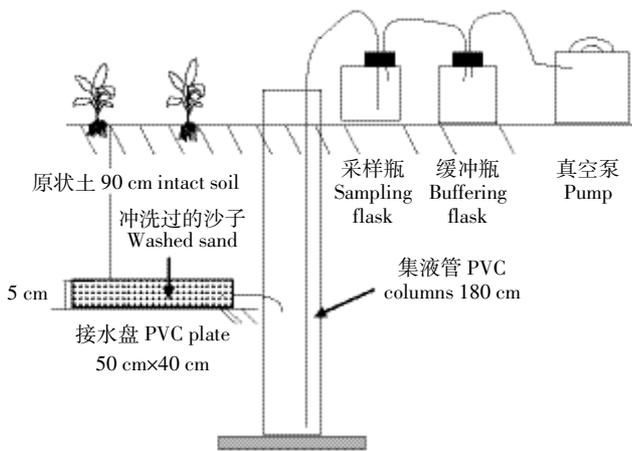


图1 田间淋溶液原位管式收集装置

Figure 1 Device for *in situ* soil leachate collection

每次灌溉后的第2~4 d取淋溶水样,每个处理提取2小瓶,每瓶约250 mL。同时测算每次淋溶水量,样品于-20℃冰柜中保存待测,测定前解冻,测试硝态氮含量。

### 1.3.2 浅层地下水位监测

在试验区两侧保护区内埋置长3.9 m、直径10 cm的PVC管,监测地下水位动态变化。在蔬菜生长期间,每15 d观测1次浅层地下水位并记录;在灌溉期间(包括温室休闲期间),灌溉前观测1次浅层地下水位,灌水后连续观测5 d。

### 1.3.3 土壤耕作层温度的测定

采用地温计测定土壤温度。在处理CF和处理OC埋设地温计,各3次重复,每组地温计埋置深度为5、10、15、20、25 cm,均匀分布在试验区。在蔬菜生长期间,每15 d观测1次土壤温度;在灌溉期间,灌溉

前后每天观测1次土壤温度,连续观测6 d。

同时用温度计观测气温变化,在日光温室内定点安置2个气温计,气温计观测频率同土壤温度观测。遇到特殊天气,增加观测次数。

### 1.3.4 土壤水分动态的测定

采用张力计测定土壤水分。分别在土壤深度30 cm和60 cm处埋置张力计,灌溉后连续观测5 d。

## 1.4 分析测试

水样中硝态氮含量用流动注射分析仪(Alliance FuturaII)测定<sup>[15]</sup>。

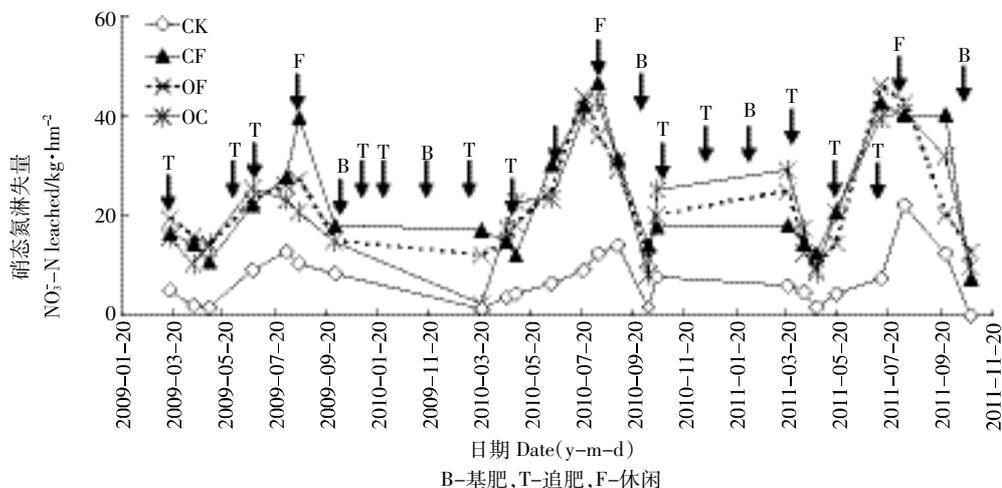
## 1.5 数据分析

采用Excel 2003和SPSS 13.0进行方差、相关性分析和制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 硝态氮淋洗季节性变化特征

从图2可看出,氮素淋失高峰主要出现在黄瓜移栽后第一次灌水和休闲期漫灌。2009—2011年休闲期(6月末至7月底)进行伏泡田,产生大量淋溶水,CF、OF、OC各处理 $\text{NO}_3^-$ -N分别为19.4~49.9、9.1~43.8、7.3~46.1  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。在秋冬茬黄瓜季(8月上旬至11月中旬)氮素平均淋失量比较高,2009—2011年黄瓜移栽后,单次灌水造成各个施肥处理 $\text{NO}_3^-$ -N分别为10.5~39.4、12.4~46.6、22.0~42.7  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。这是由于基肥施用全部有机肥和30%的化学氮肥,此时黄瓜对养分和水分的需求比较少,畦灌会引起大量的淋溶水。而在冬春茬番茄季(11月下旬至转年6月上旬)灌水氮素淋失较少。以上数据说明硝态氮淋洗季节性



B-base fertilization, applied organic manure and chemical fertilizers; T-chemical fertilizers as topdressing; F-fallow

图2 不同施肥处理下各个时期 $\text{NO}_3^-$ -N淋失动态Figure 2 Dynamics of  $\text{NO}_3^-$ -N leached in different treatments over time

明显,秋冬季淋失较多,冬春季淋失较少,从种植季节来看,夏季休闲期>黄瓜季>番茄季。另外,灌溉量也是影响淋溶水产生的重要因素,但淋溶水量的产生与蔬菜生育时期关系更为密切,番茄盛果期(4—5月)需水量大,其淋溶水产生体积并不高,黄瓜季在8月和9月两次灌水产生大量淋溶水,是由于周边作物种植期灌水引起的地下水位上升(图3),造成浅层地下水侧渗进入淋溶盘,增加了各处理的淋溶水量。

从图2还可看出,各施肥处理 $\text{NO}_3^-$ -N淋失量均高于对照CK处理( $1.2\sim 22.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ),硝态氮的淋失量顺序为 $\text{CF}>\text{OF}>\text{OC}>\text{CK}$ ,并存在显著性差异;各个时期CK与CF、OF处理相比,冬春季 $\text{NO}_3^-$ -N淋失量较少,秋冬季CK与CF、OC淋失量相当;OC优化施肥处理降低氮肥用量25%~40%,因而减少了硝态氮的淋失。本试验OC调节碳氮比处理,用C/N为(19~35):1的牛粪来调节土壤C/N,对设施菜田 $\text{NO}_3^-$ -N淋失控制起到良好效果,由于提高土壤C/N,大量土壤微生物进行活动,矿质氮可被固持,并且秸秆本身具有保水作用,可以防止硝态氮随水大量下渗,即调节C/N减少了硝态氮的淋失,与张相松等<sup>[16]</sup>、王永生等<sup>[17]</sup>的研究结果一致。

## 2.2 不同施肥处理对硝态氮淋失量的影响

从表2可以看出,与CK相比,CF、OF、OC处理都能显著增加 $\text{NO}_3^-$ -N淋失量,但这三个处理间差异不明显。CF处理氮素淋失量最高,其年硝态氮淋洗量平均为 $185.7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,OF和OC两处理硝态氮淋洗量比CF分别降低了10.6%和8.3%。以上数据表明,通过OF和OC处理,都可达到降低番茄-黄瓜轮作体系氮素淋失的目的。沈灵凤等<sup>[9]</sup>研究表明,设施菜田有机肥与化肥配施容易造成硝态氮淋溶,而刘杏认等<sup>[18]</sup>、赵营<sup>[9]</sup>等研究表明,减量施氮和调节C/N,均可控制氮素流失尤其是硝态氮的流失。

## 2.3 硝态氮淋洗季节性变化的环境因素

### 2.3.1 浅层地下水位

从图3可以看出,该试验地浅层地下水埋深也呈明显的季节性变化,变幅范围在64.5~301 cm,2010年和2011年度间变化趋势基本一致,在冬春季的1—3月,地下水埋深呈不断降低趋势,从150 cm左右降低到约280 cm,而后趋于平稳;夏秋季4—9月,随着灌区春灌和水稻种植开始,地下水埋深快速提升,至9月上旬达到100 cm左右;在冬季11—12月,随着11月上旬冬灌进行,埋深迅速从250 cm上升到

表2 2009—2011年番茄-黄瓜轮作体系不同施肥处理下硝态氮淋失量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )

Table 2 Amount of  $\text{NO}_3^-$ -N leaching losses in tomato-cucumber rotation system under different fertilization treatments from 2009 to 2011 ( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )

处理 Treatment	施氮量 $\text{N}/\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	2009年	2010年	2011年	平均 Average
CK	0	45.8±4.6b	59.3±5.3c	52.9±9.0b	52.6±2.2b
CF	1663~1885	149.1±22.0a	214.3±17.1a	193.7±33.4a	185.7±13.6a
OF	1226~1360	123.8±45.2a	200.8±16.4a	173.5±46.7a	166.0±35.3a
OC	1362~1504	119.3±15.3a	212.8±16.3a	178.9±70.5a	170.3±32.2a

注: 同列不同字母表示处理间差异显著,  $P<0.05$ 。

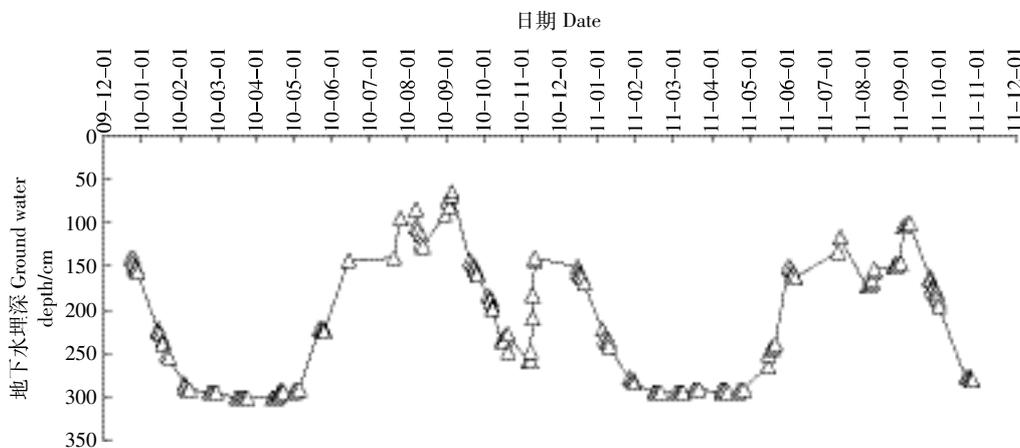


图3 2009年12月—2011年11月设施菜田地下水埋深变化

Figure 3 Variation of groundwater depth in greenhouse field from Dec 2009 to Nov 2011

约 150 cm; 在休闲期过后的秋冬茬黄瓜季(8月上旬至11月中旬), 浅层地下水水位变化更明显, 当地下水埋深小于 90 cm 会引起浅层地下水进入淋溶装置。

从图 4 可以看出, CK、CF、OF、OC 处理 的硝态氮淋失量均与浅层地下水水位呈负相关, 决定系数  $R^2$  分别为 0.770 5、0.817 6、0.776、0.809 3, 均达极显著水平 ( $P < 0.01$ )。这说明浅层地下水水位越浅, 硝态氮淋失量越大, 反之亦然。以上数据表明地下水水位埋深越浅, 土壤剖面氮被溶解淋失到下层越多, 与 Bengtson 等<sup>[20]</sup>、向万胜等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。因此, 浅层地下水水位是

硝态氮淋失的重要影响因子。

### 2.3.2 土壤温度

从图 5 可以看出, 土壤温度与温室气温变化规律一致, 冬春季较低, 秋冬季稍高。两个处理的土壤温度稍有差异, 气温较低时, OC 处理的土壤温度较 CF 处理略低, 气温较高时, OC 处理的土壤温度较 CF 处理略高, 由于 OC 处理添加了秸秆和牛粪, 提高了土壤通透性, 空气流通较顺畅, 所以其温度总是与气温较接近。

由图 6 可以看出, CF、OC 处理硝态氮淋失量均与

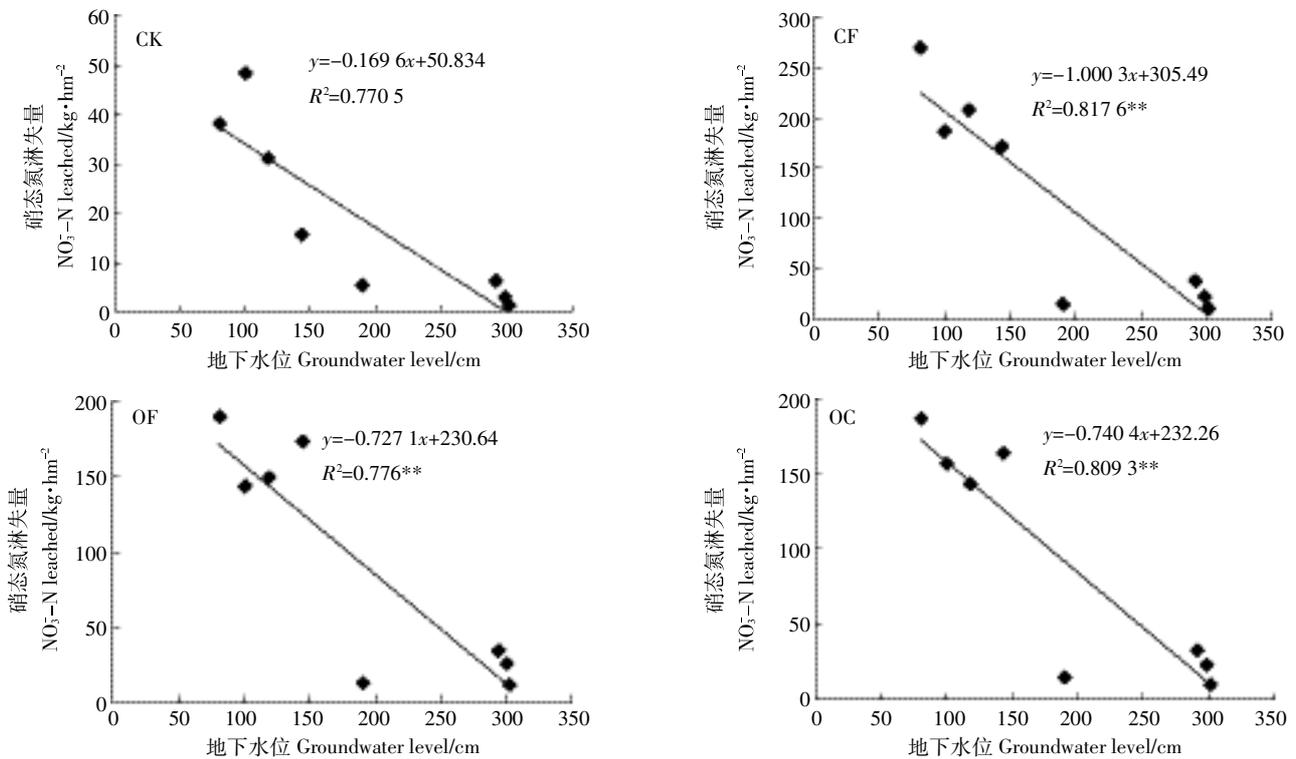


图 4 各处理硝态氮淋失量与浅层地下水水位的相关性

Figure 4 Relationship between leached nitrate and groundwater level in different treatments

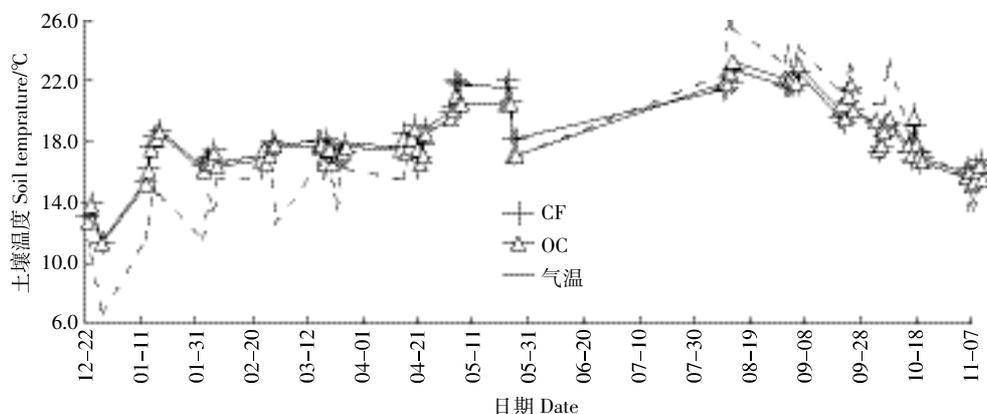


图 5 番茄-黄瓜生育期内土壤温度观测

Figure 5 Soil temperature in tomato-cucumber system

土壤温度呈正相关, 决定系数为 0.855 6 和 0.867 5, 分别达显著水平 ( $P<0.05$ ) 和极显著水平 ( $P<0.01$ ), 说明土壤温度越高, 硝态氮淋失越多。以上数据表明土壤温度也是影响硝态氮淋失的主要因素之一。

### 2.3.3 土壤水分

从图 7 可以看出, 自灌水后第 2 d 开始无论是 30 cm 还是 60 cm 埋深的张力计读数都逐渐升高, 即土壤水分含量逐渐降低, 并且 30 cm 处张力计的读数均大于 60 cm 处张力计的读数。这是沙壤质土壤透水性较高, 水分下渗较快的缘故。其中 8 月 31 日至 9 月 4 日张力计读数很小, 是由于这时期浅层地下水位较高, 上层水分下渗较慢, 30 cm 处的张力计读数也较其他观测时期的读数小。由于秸秆本身具有保水作用, OC 处理 30 cm 埋深张力计读数较其他处理有减小的趋势。

从图 8 可看出, CK、CF、OF、OC 处理硝态氮淋失量均与 30 cm 埋深张力计读数存在负相关, 决定系

数分别为 0.862 9、0.957 8、0.923 5、0.917 2, 均达到了极显著水平 ( $P<0.01$ ); 与 60 cm 埋深张力计读数也存在负相关, 决定系数分别为 0.891 3、0.831 8、0.869 2、0.885 6, 均达到了极显著水平 ( $P<0.01$ )。说明土壤水分含量越高, 硝态氮淋失越多。土壤水分渗漏、 $\text{NO}_3^-$ -N 的分布及其淋溶损失存在着明显的时空变异性, 土壤水分的深层渗漏和  $\text{NO}_3^-$ -N 的淋溶损失发生在施肥灌水之后<sup>[2]</sup>。

### 3 讨论

设施菜田由于灌水频繁和施氮量高, 造成土壤硝态氮累积和淋失严重, 本试验结果表明, 宁夏引黄灌区设施菜田硝态氮淋洗季节性特征明显, 在秋冬季淋失较多, 冬春季淋失较少, 峰值出现在 7—8 月夏季休闲期, 黄瓜季 (秋冬茬) 淋失显著高于番茄季 (冬春季)。这主要由于夏季休闲期和秋冬茬黄瓜季灌水量较大, 灌溉是影响农田硝态氮淋洗的主要元素之一,

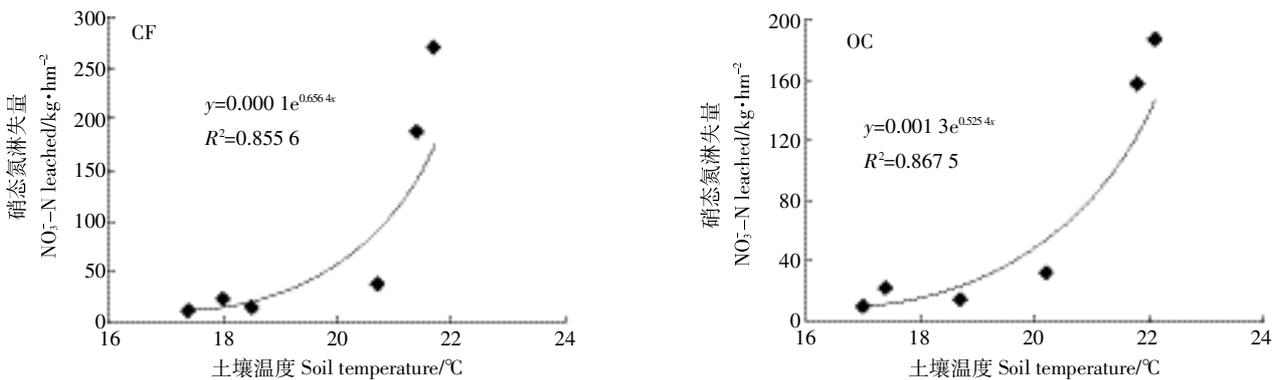


图 6 CF、OC 处理硝态氮淋失量与土壤温度的相关性

Figure 6 Relationship between leached nitrate and soil temperature in CF and OC treatments

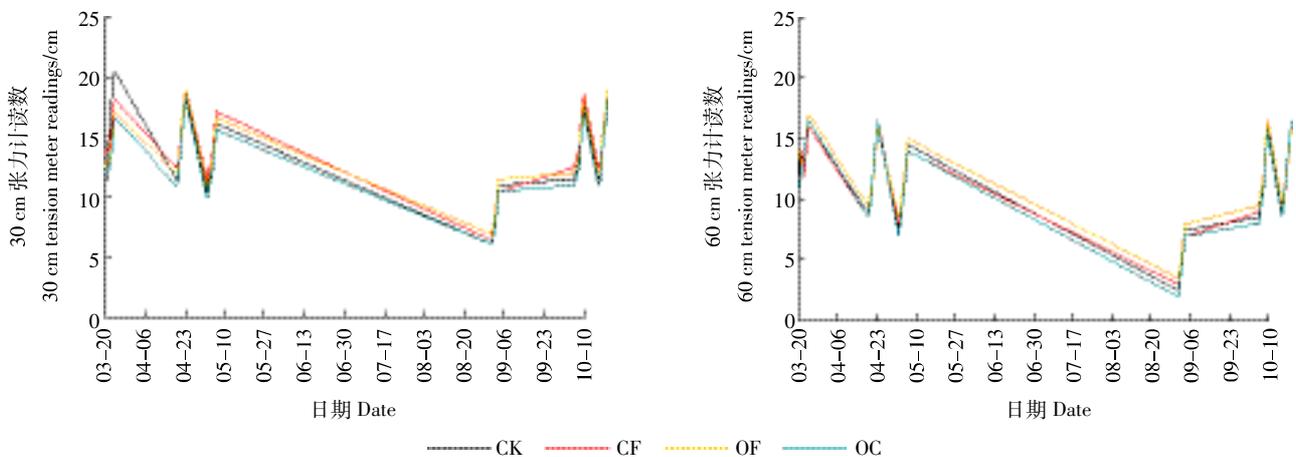


图 7 番茄-黄瓜生育期土壤水分观测

Figure 7 Soil moisture in tomato-cucumber system

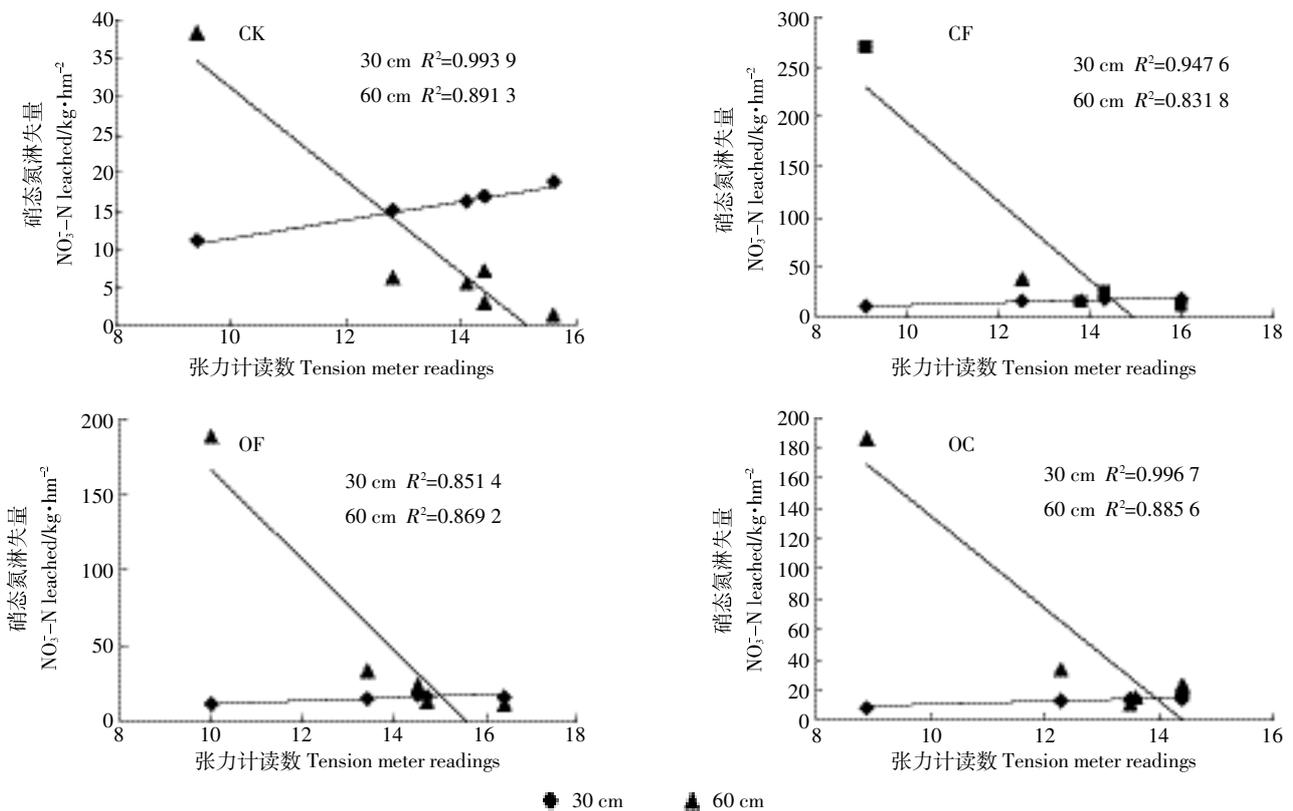


图8 各处理硝态氮淋失量与土壤水分的相关性

Figure 8 Relationship between leached nitrate and soil moisture in each treatment

陈晓歌等<sup>[8]</sup>研究表明,施氮量一定时,土壤剖面  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量随灌水量增大而减小,随土层深度增加呈显著增加趋势,与本试验研究结果一致;另外由于宁夏引黄灌区浅层地下水位季节性变化较大的特点,每年夏秋灌溉期间浅层地下水位大幅度回升<sup>[13]</sup>,有可能造成浅层地下水进入淋溶装置,本试验研究结果还表明,设施菜田地下水位埋深越浅,土壤剖面氮被溶解淋失到下层越多。Bengtson 等<sup>[20]</sup>研究结果表明,控制不同地下水位时对  $\text{NO}_3\text{-N}$  流失量影响较明显,地下水埋深越小,土壤剖面上不同深度的  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量越低;向万胜等<sup>[21]</sup>研究也表明,地下水位的变化能明显影响土壤养分的有效性,随着地下水位的升高,土壤有效氮含量下降,也验证了本试验的结果。本研究结果表明,优化施肥和调节碳氮比两处理比常规施肥硝态氮淋洗量有所减少,尤其是调节 C/N 处理对设施菜田  $\text{NO}_3\text{-N}$  淋失控制起到良好效果。刘杏认等<sup>[18]</sup>研究结果表明,随着有机肥 C/N 的增加,有机肥对土壤硝态氮含量的降低效果趋于明显。在施用高量氮肥时,高 C/N 下能够降低土壤  $\text{NO}_3\text{-N}$  的含量。当 C/N 比值高时,只要不是过量施用,由于大量土壤微生物的活动,矿质氮可被固持,一般不会产生硝态氮的大量积累,甚至在一

些情况下可以减少硝态氮的积累和淋失。

设施菜田硝态氮季节性变化与土壤水分和温度密切相关,本研究结果表明,随着土壤表层温度和含水量升高,硝态氮淋失增多。很多学者研究发现,土壤温度是影响氮转化及利用的主要因素<sup>[23-24]</sup>,非干旱条件下的土壤温度升高,土壤溶液浓度上升,因温度升高促进了矿物质分解和有机质矿质化作用及  $\text{NH}_4\text{-N}$  的硝化作用,增加了速效养分<sup>[25]</sup>。Mathan<sup>[26]</sup>研究也表明有效氮与 15 cm 土壤温度相关,土壤温度高,氮的有效性高,则淋失多,支持本试验研究结果。易军等<sup>[27]</sup>认为,硝态氮运移与水分迁移具有很好的一致性,随着硝态氮运移距离增加,硝态氮浓度增高,并在湿润峰处累积;硝态氮浓度随含水量的增加而减少,并呈幂函数关系,与本研究结果一致。

本试验研究揭示了设施菜田土壤硝态氮季节性变化特征及其环境因子浅层地下水位、温度和土壤水分对其的影响。针对宁夏引黄灌区农田浅层地下水位季节性变化大的特点,在夏秋季灌溉期间水位上升,对设施菜田土壤硝态氮有多大影响及其向下运移数量还有待于进一步研究;另外,设施菜田不同施氮处理对不同层次土壤温度、水分季节性变化规律及其对

硝态氮淋洗影响也尚需深入系统研究。

#### 4 结论

(1)硝态氮淋失呈现明显的季节变化。在秋冬季淋失较多,冬春季淋失较少,峰值出现在7—8月夏季休闲期,黄瓜季(秋冬茬)淋失显著高于番茄季(冬春季)。

(2)优化施肥和调节碳氮比可有效控制硝态氮淋洗量。常规施肥周年硝态氮淋洗量平均为 $185.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,优化施肥和调节碳氮比两处理硝态氮淋洗量比常规处理分别降低了10.6%和8.3%。

(3)硝态氮淋失的季节变化与土壤温度、土壤水分和浅层地下水等环境因子密切相关。硝态氮的淋洗与表层土壤温度和表层土壤含水量呈显著正相关,说明随着土壤表层温度和含水量升高,硝态氮淋失增多;与浅层地下水位呈极显著负相关,说明浅层地下水位埋深越浅,硝态氮淋失量越大。

#### 参考文献:

- [1] He F F, Chen Q, Jiang R F, et al. Yield and nitrogen balance of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) with conventional and site-specific nitrogen management in Northern China[J]. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 2007, 77(1):1-14. DOI 10. 1007/s10705-006-6275-7
- [2] Chen Q, Zhang X S, Zhang H Y, et al. Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region[J]. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 2004, 69(1):51-58.
- [3] 张学军, 赵 营, 陈晓群, 等. 氮肥施用量对设施番茄氮素利用及土壤 $\text{NO}_3^-$ -N累积的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(9):3761-3768.  
ZHANG Xue-jun, ZHAO Ying, CHEN Xiao-qun, et al. Nitrogen fertilizer effects on N recovery and residual soil  $\text{NO}_3^-$ -N for greenhouse grown tomato[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9):3761-3768.
- [4] Ren T, Christie P, Wang J G, et al. Root zone soil nitrogen management to maintain high tomato yields and minimum nitrogen losses to the environment[J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 125(1):22-33.
- [5] Ju X T, Lu X, Gao Z L, et al. Processes and controlling factors of  $\text{N}_2\text{O}$  production in an intensively managed low carbon calcareous soil under sub-humid monsoon climate[J]. *Environmental Pollution*, 2010, 159(4):1007-1016.
- [6] 淮贺举, 张海林, 蔡万涛, 等. 不同施氮水平对春玉米氮素利用及土壤硝态氮残留的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12):2651-2656.  
HUAI He-ju, ZHANG Hai-lin, CAI Wan-tao, et al. Effect of different rates on nitrogen utilization and residual soil nitrate of spring maize[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(12):2651-2656.
- [7] 李宗新, 董树亭, 王空军, 等. 不同施肥条件下玉米田土壤养分淋溶规律的原位研究[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1):65-70.  
LI Zong-xin, DONG Shu-ting, WANG Kong-jun, et al. Soil nutrient leaching patterns in maize field under different fertilizations: An *in situ* study[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1):65-70.
- [8] 陈晓歌, 马耀光. 不同灌水和施氮对黄土性土壤中 $\text{NO}_3^-$ -N迁移和淋失的影响[J]. 水土保持研究, 2008, 15(5):109-115.  
CHEN Xiao-ge, MA Yao-guang. Effect of different irrigation water and nitrogen rate on transfer and leach soil  $\text{NO}_3^-$ -N in Loess Soil[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2008, 15(5):109-115.
- [9] 沈灵凤, 白玲玉, 曾希柏, 等. 施肥对设施菜地土壤硝态氮累积及pH的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(7):1350-1356.  
SHEN Ling-feng, BAI Ling-yu, ZENG Xi-bai, et al. Effect of fertilization on  $\text{NO}_3^-$ -N accumulation in greenhouse soils[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(7):1350-1356.
- [10] 姜惠敏, 张建峰, 杨俊诚, 等. 施肥模式对番茄氮素吸收利用及土壤硝态氮累积的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12):2623-2630.  
JIANG Hui-min, ZHANG Jian-feng, YANG Jun-cheng, et al. Effect of models of N application on greenhouse tomato N uptake and soils  $\text{NO}_3^-$ -N accumulation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(12):2623-2630.
- [11] 袁新民, 李晓林, 张福锁, 等. 粮田改种蔬菜后土壤剖面硝态氮的变化[J]. 生态农业研究, 2000, 8(2):31-33.  
YUAN Xin-min, LI Xiao-lin, ZHANG Fu-suo, et al. Changes of nitrate-N accumulated in soil profile after changeing grain crop land into vegetables land[J]. *Eco-agriculture Research*, 2000, 8(2):31-33.
- [12] Kazuo S. Estimation of nitrate leaching in vegetable fields in relation to precipitation[J]. *JARO*, 1988, 22(3):189-194.
- [13] 姜秀芳, 张 霞, 张钦武, 等. 青铜峡灌区引黄用水与地下水位响应关系分析[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(4):148-150.  
JIANG Xiu-fang, ZHANG Xia, ZHANG Qin-wu, et al. Analysis of response correlation between the Yellow River water and groundwater level in Qingtongxia irrigation district[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2012, 23(4):148-150.
- [14] 汤丽玲, 陈 清, 张宏彦, 等. 不同灌溉与施氮措施对露地菜田土壤无机氮残留的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(3):282-287.  
TANG Li-ling, CHEN Qing, ZHANG Hong-yan, et al. Effects of different irrigation and fertilization strategies on soil inorganic N residues in open field of vegetable rotation system[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(3):282-287.
- [15] 陈凤凰, 袁 菊, 郭道俊, 等. 水杨酸钠-次氯酸钠流动注射分析法测定水中的氨氮含量[J]. 分析仪器, 2008(2):28-30.  
Chen F H, Yuan J, Guo D L, et al. Determination of ammonia-N in water by sodium salicylate-sodium hypochlorite flow injection analysis[J]. *Anal Instr*, 2008(2):28-30.
- [16] 张相松, 刘兆辉, 江丽华, 等. 设施菜地土壤硝态氮淋溶防控技术的研究[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2009, 26(2):207-211.  
ZHANG Xiang-song, LIU Zhao-hui, JIANG Li-hua, et al. Study on the technology of soil nitrate nitrogen leaching preventive and control in mushroom house[J]. *Journal of Qingdao Agricultural University(Natural Science)*, 2009, 26(2):207-211.
- [17] 王永生, 黄 剑, 杨世琦. 宁夏引黄灌区秸秆还田对硝态氮流失量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(4):697-703.

- WANG Yong-sheng, HUANG Jian, YANG Shi-qi. The Influence of rice straw returning on the leaching losses of the nitrogen in Ningxia Irrigator District, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(4):697-703.
- [18] 刘杏认, 任建强, 刘建玲. 不同氮水平下有机肥碳氮比对土壤硝态氮残留量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(4):30-32.  
LIU Xing-ren, REN Jian-qiang, LIU Jian-ling. Effect of the manure with different C under different doses of N fertilizer on the content of soil NO<sub>3</sub>[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(4):30-32.
- [19] 赵营, 张学军, 罗健航, 等. 施肥对设施番茄-黄瓜养分利用与土壤氮素淋失的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2):374-383.  
ZHAO Ying, ZHANG Xue-jun, LUO Jian-hang, et al. Effect of fertilization on nitrogen leaching loss from soil and nutrient utilization by tomato and cucumber in greenhouse[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(2):374-383.
- [20] Bergston L, Kirchmann H. Leaching of total nitrogen from nitrogen-15-labelled poultry manure and inorganic nitrogen fertilizer[J]. *Environ Qual*, 1999, 28(4):1283-1290.
- [21] 向万胜, 李卫红, 童成立, 等. 丘岗稻田地下水动态及对土壤氮磷有效性的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(4):513-519.  
XIANG Wan-sheng, LI Wei-hong, TONG Cheng-li, et al. Dynamic change of groundwater level in waterlogged gleyed paddy soils in hilly red soil region and its effects on availability of soil nitrogen and phosphorus[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4):513-519.
- [22] 张玉铭, 张佳宝, 胡春胜, 等. 华北太行山前平原农田土壤水分动态与氮素的淋溶损失[J]. 土壤学报, 2006, 43(1):17-24.  
ZHANG Yu-ming, ZHANG Jia-bao, HU Chun-sheng, et al. Nitrate leaching in wheat-maize rotation field in the North China Plain[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(1):17-24.
- [23] Agehara S, Warncke D D. Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2005, 69(6):1844-1855.
- [24] Efmia M P, George P S, Anna G. Response of soil chemical and biological variables to small and large scale changes in climatic factors[J]. *Pedobiologia*, 2004, 48(4):329-338.
- [25] 刘瑞文, 陈世庆, 董振国, 等. 温度条件对麦田土壤溶液养分浓度的影响[J]. 生态学报, 1993, 13(2):164-170.  
LIU Rui-wen, CHEN Shi-qing, DONG Zhen-guo, et al. The effects of temperature on the nutrient concentrations in soil solution[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1993, 13(2):164-170.
- [26] Mathan K K. The impacts of soil temperature on soil available nitrogen and growth of sorghum[J]. *Agro Crop Sci*, 1989, 162:121-126.
- [27] 易军, 张晴雯, 王明, 等. 宁夏黄灌区灌淤土硝态氮运移规律研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(10):2046-2053.  
YI Jun, ZHANG Qin-wen, WANG Ming, et al. Nitrate-nitrogen transport in an Anthropogenic-alluvial soil of Ningxia Irrigation Area, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(10):2046-2053.



## 新书推荐



### 废水生物处理技术

王文东主编。本书采用问答的形式,从实用的角度着手,汇总了废水生物处理的各项技术内容,包括基本知识、氧化沟生物处理技术、SBR 生物处理技术、生物膜和生物滤池处理技术、活性污泥处理技术、厌氧生物处理技术、稳定塘和人工湿地处理技术。在介绍每一种生物处理技术时,既包括工艺的产生与发展,工艺的原理、类型、特点及适用范围,又涵盖了工艺的设计计算。

※书号:9787122207524

※定 价:48.0 元

※开本:16

※出版日期:2014 年 10 月

如需更多图书信息,请登录 [www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)

服务电话:010-64518888,64518800(销售中心)

网上购书可登录化学工业出版社天猫旗舰店:<http://hxgyCBS.tmall.com>

邮购地址:(100011)北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社

如要出版新著,请与编辑联系,联系电话:010-64519525。