

不同灌溉量对砂壤温室黄瓜土壤溶液氮浓度及氮淋洗的影响

陶虹蓉^{1,2}, 李银坤^{2,3}, 郭文忠^{2,3}, 李海平^{1*}, 李灵芝¹, 杨宜^{1,2}

(1. 山西农业大学园艺学院, 山西 太谷 030801; 2. 北京农业智能装备技术研究中心, 北京 100097; 3. 北京市农业物联网工程技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 为探讨不同灌水量下砂壤温室黄瓜土壤中氮浓度的变化特征, 借助温室内称重式蒸渗仪试验平台, 以直径 20 cm 蒸发皿的蒸发量 (E_p) 为灌水依据, 设置了 I1 (K_{ep1} : 0.8)、I2 (K_{ep2} : 1.0) 和 I3 (K_{ep3} : 1.2) 3 种灌水水平, 研究了黄瓜生育期内不同土层土壤溶液中氮浓度的动态变化及氮淋洗情况。结果表明, 减少灌溉量增加了 20 和 40 cm 土层中的硝态氮浓度, 降低了 60 cm 土层的硝态氮浓度。与处理 I3 相比, 处理 I2 在 20 和 40 cm 土层中的硝态氮生育期平均浓度增加了 75.59% 和 134.36%, 60 cm 土层的硝态氮生育期平均浓度降低了 18.88%。不同灌溉量处理在各土层中铵态氮最大浓度仅为 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 其中 20 cm 土层铵态氮浓度具有和硝态氮相似的变化规律, 而 40 和 60 cm 土层中各处理无明显差异。黄瓜季淋洗出 90 cm 土体的氮总量为 $56.08 \sim 203.13 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占总施氮量的 9.02% ~ 32.69%。相比处理 I3, I2 处理不仅具有最高的黄瓜产量, 而且氮淋洗总量降低了 49.16% ($P < 0.05$), 灌溉水利用效率和氮肥偏生产力分别提高了 39.24% ($P < 0.05$) 和 18.88% ($P < 0.05$)。综合考虑土壤中氮浓度、淋洗量及黄瓜产量等指标, I2 处理 (K_{ep2} : 1.0) 为供试条件下较优灌溉量。

关键词: 砂壤; 灌水量; 土壤溶液; 氮浓度; 氮淋洗

中图分类号: S153.5; S642.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257(2018)03-0175-06

我国是水资源十分短缺的国家, 水资源总量仅占世界径流资源总量的 6% 左右^[1]。农业是我国的耗水大户, 可占用水总量的 70%, 农业生产灌溉量大, 灌溉水有效利用系数仅为 0.4, 远低于发达国家 (0.7 ~ 0.8^[2-3])。氮是作物必需的营养元素, 对产量具有显著的增加作用^[4]。我国设施蔬菜生产中为追求高产而大量施用氮肥的现象仍普遍存在, 有调查显示, 北京设施蔬菜种植中氮肥用量为 $1732 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 为蔬菜需氮量的 4.5 倍, 是露天粮田的 3.8 倍^[5]; 而在山东寿光设施黄瓜生产中, 单季氮肥的施用量也高达 $1958 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[6], 为黄瓜生长实际需求量的 5.7 倍^[7]。氮肥的过量投入, 导致了氮素在土壤中的大量累积以及深层淋洗, 造成地下水污染、水体富营养化等环境问题^[8-9]。2010 年公布的全国污染源调查报告表明, 全国水体污染物中总氮的 57% 来自于农业^[10]。

氮素淋失是设施菜地氮素损失的主要途径之一。已有研究表明, 施入土壤中的氮肥仅有 30% ~ 40% 被作物吸收利用, 而以硝态氮的形式淋溶到地下水中的比例则高达 20% ~ 50%^[11]。孙媛等^[12]研究了不同水肥管理下黄瓜地的氮素损失, 结果显示, 黄瓜季的氮素淋失量为 $246 \sim 455 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占总施氮量的 40% 以上。随着灌水量的减小, 硝态氮的淋洗量也随之减少^[13]。刘世和^[14]研究了不同灌水量对土壤中硝态氮含量的影响, 结果表明, 土壤中硝态氮含量在灌水后 1 ~ 5 d 内迅速下降, 5 ~ 7 d 内趋于平缓下降; 且随着灌水量的增加, 0 ~ 20 cm 土层中硝态氮的累积量逐渐减小, 而 40 ~ 60 cm 土层中硝态氮的累积量却逐渐增加。曲继松等^[15]研究结果也表明, 随着灌水量的增加, 0 ~ 40 cm 土层中硝态氮质量分数逐渐减少, 40 ~ 160 cm 土层中硝态氮质量分数逐渐增加。以上研究表明, 灌水显著影响到土壤剖面中氮的分布与淋洗。但现有研究关于温室黄瓜土壤溶液中氮浓度和氮淋洗量的动态变化及其对不同灌溉量的响应规律尚不明确。因此, 本试验以温室黄瓜为研究对象, 借助温室内称式蒸渗仪试验平台研究不同灌溉量对不同土层中土壤溶液的氮浓度及氮淋洗的影响, 以明确剖面

收稿日期: 2017-10-30; 最后修订日期: 2018-02-07

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0201503); 国家自然科学基金 (41501312)。

作者简介: 陶虹蓉 (1993-), 女, 山西翼城人, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜栽培与生理。E-mail: th93520@163.com。

通讯作者: 李海平, E-mail: lih0205@163.com。

土壤中氮的运移过程及其对灌水的响应规律,为温室蔬菜生产的合理灌溉施肥提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2017年3月至6月在北京市农林科学院试验温室内进行。该地区位于东经116.29°,北纬39.94°。海拔56 m,属于温带大陆性季风气候,多年平均气温11.1°C。供试温室长38 m,宽11 m,南北走向,土质为砂壤土。试验前0~20 cm土壤理化性质为:土壤容重 $1.40 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,田间体积持水量28.0%,有机质含量 $15.89 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮含量 $0.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $0.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。温室中央安装有称重式蒸渗仪试验平台,蒸渗仪长100 cm,宽60 cm,土体深90 cm,在称重式蒸渗仪的20、40和60 cm分别安装有土壤溶液采集装置,90 cm处有渗漏液收集装置。

1.2 试验设计

试验根据冠层水面蒸发量设置3个灌水量水平:I1,累计水面蒸发量的80%;I2,累计水面蒸发量的100%;I3,累计水面蒸发量的120%。具体灌溉量(I , mm)由公式(1)计算:

$$I = K_{CP} \times \sum_{i=1}^n (Ep1i - Ep2i) \quad (1)$$

式中, $Ep1$ 为蒸发皿初始加入的水量(mm); $Ep2$ 为24 h后蒸发皿的剩余水量(mm)。 K_{CP} 为灌溉系数; n 为灌溉周期,本试验中为5~7 d。

各处理的化肥氮用量相同,为 $\text{N } 300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,于4月17日、5月5日和5月24日分3次施入。氮肥类型为水溶性肥料($\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 3:1:1$)。施肥时先将肥料在水中充分溶解,然后按照1/4-1/2-1/4的模式施入^[16],即前1/4时间灌清水,中间1/2时间施肥,最后1/4时间灌清水。在黄瓜定植前各处理均基施商品有机肥 $45\ 000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ($\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$ 含量分别为7.14、0.06、3.68 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$),折合 $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$ 用量分别为 321.3 、 2.7 、 $165.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。供试黄瓜品种为“中农26”,于2017年3月6日定植,定植时选取2叶1心的秧苗。栽培方式为畦栽,畦宽70 cm,采用双行错位定植法,行距40 cm,株距30 cm,其中蒸渗仪定植黄瓜4株。灌溉方式为膜下滴灌,在畦上铺设2条滴灌带(滴头间距10 cm),每行黄瓜布置一条滴灌带。试验中各处理的定植水与缓苗水分别为30和25 mm。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤溶液与渗漏液中氮含量

不同土层(20、40、60 cm)的土壤溶液通过蒸渗仪的负压泵抽取,取样周期为5~7 d,在灌水后第1 d和施肥后第1、3 d进行测定。

称重式蒸渗仪可自动记录淋洗出90 cm土体的渗漏液体积,当有渗漏液出现时,用注射器抽取渗漏液。

土壤溶液和渗漏液中氮(硝态氮和铵态氮)的质量浓度(ρ , $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)由流动分析仪测定,氮素淋洗量(L , $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)由以下公式计算:

$$L = \frac{\rho \times D \times 10\ 000}{10^6 \times S} \quad (2)$$

式中: D 为渗漏量(L); S 为蒸渗仪面积,为 0.6 m^2 。

1.3.2 氮淋洗量占施氮量的比例

氮淋洗量占化肥氮的比例 = 氮淋洗量/化肥氮量 $\times 100\%$ (3)

氮淋洗量占总施氮量的比例 = 氮淋洗量/(有机肥氮量 + 化肥氮量) $\times 100\%$ (4)

式中:有机肥氮量为 $321.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,化肥氮量为 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

1.3.3 黄瓜产量

进入结果期后,对蒸渗仪和栽培畦每次采收的黄瓜分别用精度为0.1 g的电子称进行称重计产,并折算成公顷产量(Y , $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

1.3.4 灌溉水利用效率

$$IWUE (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) = Y/I \quad (5)$$

式中: Y 为产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), I 为灌溉量(mm)。

1.3.5 氮肥偏生产力

氮肥偏生产力($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$) = 产量/氮总投入量 (6)

1.4 数据分析

试验数据采用Excel 2003软件进行处理和图表制作,并采用SPSS 23.0进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同土层土壤溶液中氮素浓度

2.1.1 20 cm土壤溶液中硝态氮和铵态氮浓度变化

从图1中可以看出,受基肥和追肥的影响,20 cm土层的硝态氮浓度在黄瓜定植90 d内的变化波动较大,土壤溶液中的硝态氮浓度峰值均在追肥后出现,尤其是第1次追肥后的硝态氮浓度峰值可达

1 300 mg · L⁻¹，峰值之后，硝态氮浓度下降趋势明显。而在黄瓜定植 90 d 后，土壤溶液中硝态氮浓度变化相对平稳。与硝态氮浓度相比，20 cm 土层土壤溶液中的铵态氮浓度明显偏低，最大浓度不足 0.4 mg · L⁻¹，且在生育期内变化波动幅度大，随着黄瓜生育期的推进呈下降趋势。

在整个黄瓜生育期内，处理 I1、I2 和 I3 在

20 cm 土层的土壤溶液中硝态氮平均浓度分别为 839.46、697.46 和 397.22 mg · L⁻¹，铵态氮的平均浓度分别为 0.121、0.115 和 0.101 mg · L⁻¹。与处理 I3 相比，处理 I1 和 I2 的硝态氮平均浓度分别增加了 111.33% 和 75.59%，铵态氮平均浓度分别增加了 19.80% 和 13.86%。表明 20 cm 土层中硝态氮和铵态氮的浓度均随着灌水量的减少而增大。

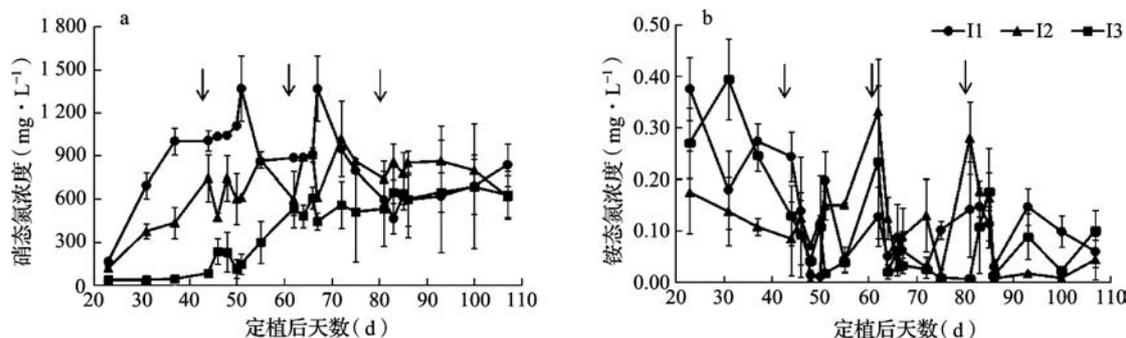


图 1 20 cm 土层中硝态氮和铵态氮浓度变化

注：图中箭头表示追施氮肥，下同。

2.1.2 40 cm 土壤溶液中硝态氮和铵态氮浓度变化

在整个黄瓜生育期内，各处理 40 cm 土层中硝态氮浓度呈波动上升趋势（图 2a）。硝态氮浓度在追肥后也出现峰值，特别是在第 1 次追肥后，处理 I1、I2 和 I3 的硝态氮浓度分别上升到 1 023.66、484.26 和 187.17 mg · L⁻¹。峰值后硝态氮浓度下降明显。40 cm 土层中铵态氮浓度在定植 45 d 内变化幅度较小（图 2b），45 ~ 90 d 期间，受追肥的影

响变化波动较大，而后波动幅度减小。

处理 I1、I2 和 I3 的硝态氮生育期平均浓度分别为 724.82、499.92 和 213.31 mg · L⁻¹，处理 I1 和 I2 的硝态氮浓度均值相比处理 I3 分别增加了 2.4 和 1.3 倍。40 cm 土层中的硝态氮浓度随着灌水量的减少而增大。I1、I2 和 I3 处理 40 cm 土层溶液中铵态氮浓度生育期均值分别为 0.088、0.087 和 0.068 mg · L⁻¹，各处理间差异不明显。

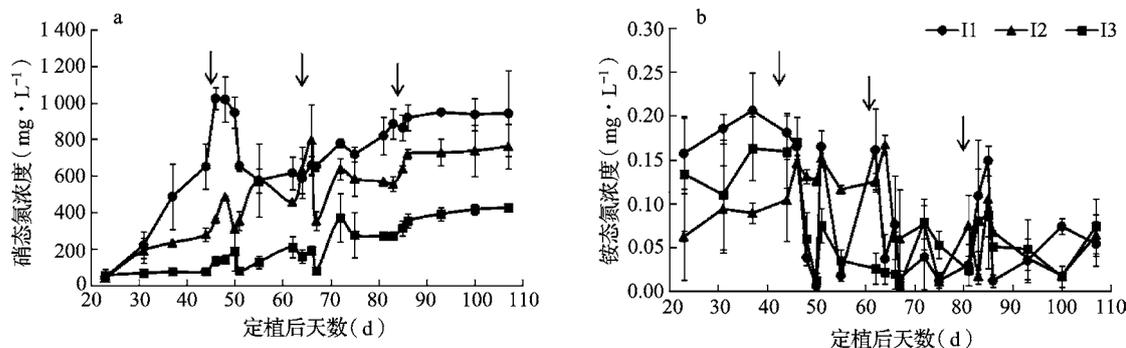


图 2 40 cm 土层中硝态氮和铵态氮浓度变化

2.1.3 60 cm 土壤溶液中硝态氮和铵态氮浓度变化

如图 3 所示，60 cm 土层的硝态氮浓度在黄瓜整个生育期内呈先波动上升而后下降的趋势，其中处理 I1 的硝态氮浓度在前 2 次追肥后均出现峰值，而处理 I2 和 I3 在 3 次追肥后都有峰值出现，峰值后硝态氮浓度下降明显，并趋于平稳。处理 I1、I2 和 I3 生育期内的硝态氮平均浓度分别为 120.99、

238.17 和 293.61 mg · L⁻¹，随着灌水量的增大而增大。与处理 I3 相比，处理 I1 和 I2 的硝态氮平均浓度分别下降了 58.79% 和 18.88%。

60 cm 土层的铵态氮浓度在第 1 次追肥后迅速下降，然后在 0.05 mg · L⁻¹ 上下波动。I1、I2 和 I3 处理下铵态氮的平均浓度都在 0.07 ~ 0.08 mg · L⁻¹ 之间，差异不明显。

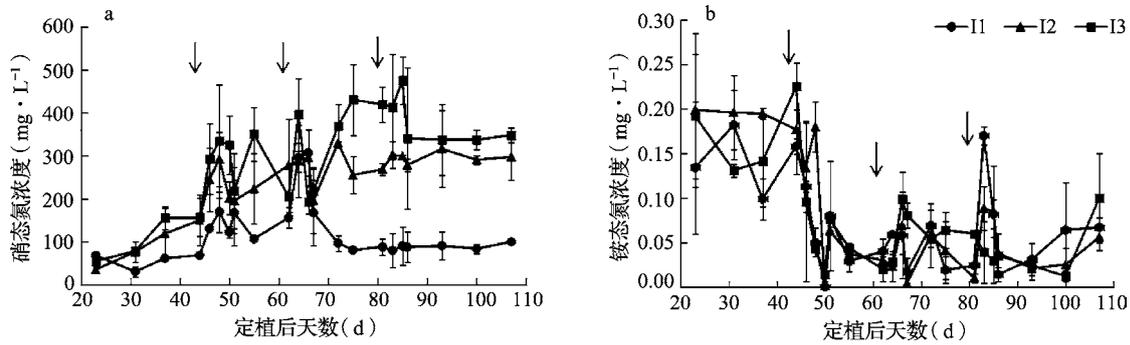


图3 60 cm 土层中硝态氮和铵态氮浓度变化

2.2 渗漏液中氮浓度变化

由图4可以看出,受追肥的影响,各处理渗漏液中的硝态氮浓度在定植后45 d出现峰值,峰值之后,处理I1硝态氮浓度明显下降,并逐渐稳定;处理I2和I3硝态氮浓度分别在200和400 mg·L⁻¹波动变化。在第1次追肥后,处理I3的硝态氮浓度从180 mg·L⁻¹增加到442.38 mg·L⁻¹,增加了1.5倍。整个生育期内,处理I3平均浓度为344.46 mg·L⁻¹,处理I1和I2渗漏液中硝态氮的平均浓度

相比处理I3分别降低了70.35%和40.19%。90 cm土体渗漏液中铵态氮浓度在定植40 d内呈上升趋势,最高为1 mg·L⁻¹,40~55 d迅速下降至0.2 mg·L⁻¹,60 d后呈波动性变化。整个生育期内,处理I1、I2和I3渗漏液中铵态氮的平均浓度分别为0.41、0.50和0.53 mg·L⁻¹。90 cm土体的渗漏液中硝态氮和铵态氮的浓度都是随着灌水量的增大而增大,表明灌水量越大,淋洗出土体的渗漏液中的氮浓度越大。

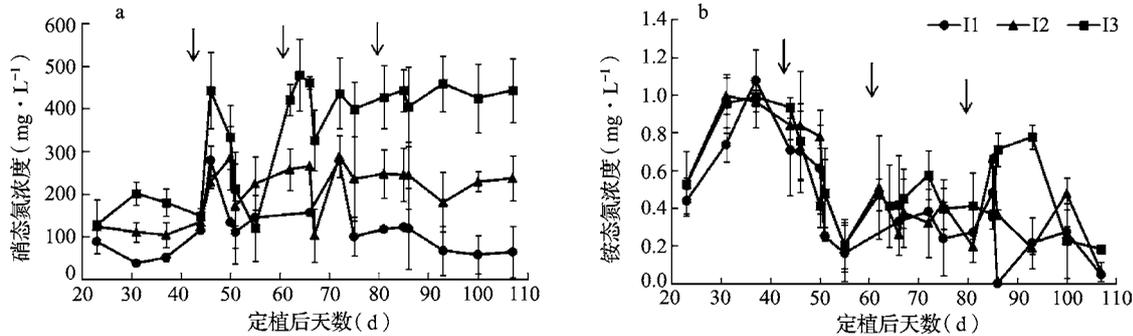


图4 渗漏液中硝态氮和铵态氮浓度变化

2.3 不同灌水量处理下氮素淋洗情况

由表1可以看出,90 cm土体的硝态氮淋洗量为55.80~202.35 kg·hm⁻²,占氮淋洗总量的99.5%,而铵态氮的淋洗量为0.28~0.78 kg·hm⁻²,仅占氮淋洗总量的0.5%,表明硝态氮是砂壤土中氮素淋溶的主要形态。不同灌水量处理下氮淋洗总量在0.05

水平下差异均显著,其中处理I3的氮淋洗总量最高,可占总施氮量的32.69%,占到化肥氮的67.71%。与处理I3相比,处理I1和I2的氮淋洗总量占总施氮量的比例分别减少了23.67和16.07个百分点。表明氮淋洗量随着灌水量的增大而显著增大,因此减少灌水量可以减小砂壤土中氮淋溶损失的风险。

表1 各处理下氮损失情况

处理	N淋洗量 (kg·hm ⁻²)		N淋洗总量 (kg·hm ⁻²)	占总施N量比例 (%)	占化肥N比例 (%)
	硝态氮	铵态氮			
I1	55.80c	0.28c	56.08c	9.02c	18.69c
I2	102.78b	0.50b	103.28b	16.62b	34.43b
I3	202.35a	0.78a	203.13a	32.69a	67.71a

注:不同小写字母表示在0.05水平上差异显著,下同。

2.4 不同灌水量处理下黄瓜的产量、灌溉水利用效率及氮肥偏生产力

各处理下黄瓜的产量和水分利用效率如表 2 所示,随着灌水量的增加,黄瓜的产量和灌溉水利用效率都是先增大后减小,处理 I2 的黄瓜产量、灌溉水利用效率和氮肥偏生产力均最高,相比处理 I1 和 I3,处理 I2 的黄瓜产量分别增加了 24.74% 和 18.88%,差异均显著;灌溉水利用效率分别增加了 3.36% 和 39.24%,I2 和 I3 处理差异显著;氮肥偏生产力分别增加了 24.74% 和 18.88%,处理间差异均显著。可见,适宜的灌水量能提高黄瓜的产量、灌溉水利用效率及氮肥偏生产力。

表 2 各处理的黄瓜产量、灌溉水利用效率及氮肥偏生产力

处理	灌水量 (mm)	产量 (kg·hm ⁻²)	灌溉水利用效率 (kg·m ⁻³)	氮肥偏生产力 (kg·kg ⁻¹)
I1	317.48	85 011.67b	26.78a	136.83b
I2	383.10	106 043.33a	27.68a	170.68a
I3	448.72	89 203.54b	19.88b	143.58b

3 讨论与结论

水分是氮素在土壤中运动的载体,灌水显著影响到土壤中氮的分布^[17]。贾丽华等^[18]研究表明,在 0~40 cm 硝态氮的含量随着灌溉量的增加而降低,而在 60 cm 及以下土层中恰好相反。本试验得到了相似的研究结果:减少灌溉量增加了 20 和 40 cm 土层中的硝态氮浓度,降低了 60 cm 土层的硝态氮浓度。与处理 I3 相比,处理 I2 在 20 和 40 cm 土层中的硝态氮在黄瓜生育期平均浓度分别增加了 75.59% 和 134.36%,60 cm 土层的硝态氮在黄瓜生育期平均浓度降低了 18.88%。有机肥也影响到土壤中的氮浓度变化,20 和 40 cm 土层的硝态氮浓度在追肥前呈逐渐增大趋势,这可能是由于试验前施入了大量的有机肥,且温室内温度较高,土壤湿度较大,促进了土壤有机氮的矿化^[19],导致土壤溶液中的硝态氮浓度随着黄瓜生育期的推进呈上升趋势变化。在每次追肥后,各土层中硝态氮浓度均有所增大,这是由于施入土壤中的氮大部分都经硝化作用转化成硝态氮,是土壤无机态氮的主要形态^[20]。

Song 等^[21]和 Zhao 等^[22]利用土壤渗漏计法测定的设施菜田土壤硝态氮淋洗量占到氮素总投入量的 20%~30%。氮淋洗量受灌水量的影响,减少灌溉量可以显著降低土壤氮素淋溶^[23]。在本试验中,处理 I3 的氮淋洗总量最高达 203.13 kg·hm⁻²,占总施氮量的 32.69%。处理 I1 和 I2 较处理 I3 灌水量分别

减少了 29.25% 和 14.62%,其氮淋洗总量分别减少了 72.39% 和 49.16%,可见,适当减少灌水可以显著减少砂壤土中氮的淋洗。硝态氮的淋洗量明显高于铵态氮淋洗量,可占氮淋洗总量的 99.5%,这是因为铵态氮带正电,易被土壤胶体吸附,而硝态氮带负电,不易被土壤胶体吸附,易随水分下移,是氮素淋洗的主要形态^[24]。韦高玲等^[25]研究结果也表明,硝态氮淋洗量最高可占氮淋洗总量的 99.3%。

黄瓜是我国温室栽培的主要蔬菜作物之一,属于浅根性蔬菜,主要根群分布在 25 cm 内,抗旱能力较弱,根系好气性较强,喜湿又怕涝,因此对土壤水分状况非常敏感。灌水影响土壤中水分和养分的分布,必然会对黄瓜的生长及产量产生影响。有研究表明,在灌水量满足黄瓜需求的情况下,随着灌水量的减少,黄瓜的产量增加^[13]。本试验中,黄瓜的产量随着灌水量的增加呈现先增大后减小的趋势。处理 I1 的灌水量最低,20 cm 土层土壤溶液中硝态氮浓度最高达 1 367 mg·L⁻¹,生育期平均浓度为 839 mg·L⁻¹。处理 I1 的产量较处理 I2 降低,可能是由于氮在土壤表层积累,超出作物的吸收能力,无法被作物更好的吸收利用,同时对作物的生长表现出抑制趋势从而使产量下降^[26]。处理 I3 灌水量最大,虽然降低了土壤上层的硝态氮含量,但过高的土壤水分会使土壤通气性变差,导致作物根系生长不良、活力降低^[27]。同时土壤中养分淋洗多,使植株对水分和养分的吸收受到一定的限制,进而影响产量,造成水分利用效率和氮肥偏生产力降低。相比处理 I3,处理 I2 的灌水量减少了 14.62%,氮淋洗总量减少了 49.16%,养分更多的存留在土壤中被黄瓜吸收利用,使其具有较高的产量和氮肥偏生产力,其产量和氮肥偏生产力分别为 106 043.33 kg·hm⁻² 和 170.68 kg·kg⁻¹。处理 I2 (K_{q2} : 1.0) 为该试验条件下较优灌溉量。

参考文献:

- [1] 王熹,王湛,杨文涛,等. 中国水资源现状及其未来发展方向展望 [J]. 环境工程, 2014, 32 (7): 1-5.
- [2] 张明生,王丰,张国平. 中国农业用水存在的问题及节水对策 [J]. 农业工程学报, 2005, 21 (S1): 1-6.
- [3] 胡占阳. 中国水资源贫乏与水资源浪费的矛盾分析 [J]. 辽宁工程技术大学学报 (社会科学版), 2013, (1): 74-77.
- [4] 孙杰,程晓慧,庞世兰. 氮肥对玉米杂交制种产量及其生长发育的生理作用 [J]. 种子, 2004, 23 (4): 60-62.
- [5] 张继宗,刘培财,左强,等. 北方设施菜地夏季不同填闲作物的吸氮效果比较研究 [J]. 农业环境科学学报, 2009, 28 (12): 2663-2667.
- [6] 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 (3): 207-211.
- [7] 董畔, 张成军, 彭正萍, 等. 京郊设施黄瓜氮素施用量的优化运筹研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22 (6): 1628-1635.
- [8] 叶灵, 巨晓棠, 刘楠, 等. 华北平原不同农田类型土壤硝态氮累积及其对地下水的影响 [J]. 水土保持学报, 2010, 24 (2): 165-168.
- [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.
- [10] 中华人民共和国环境保护部, 中华人民共和国国家统计局, 中华人民共和国农业部. 第一次全国污染源普查公报 [N]. 人民日报, 2010-02-10.
- [11] 刘光栋, 吴文良. 高产农田土壤硝态氮淋失与地下水污染动态研究 [J]. 中国生态农业学报, 2003, 11 (1): 91-93.
- [12] 孙媛, 胡克林, 邱建军, 等. 不同水肥管理下设施黄瓜地氮素损失及水氮利用效率模拟分析 [J]. 中国农业科学, 2013, 46 (8): 1635-1645.
- [13] 孙丽萍, 温永刚, 王树忠, 等. 灌水量对日光温室黄瓜水分分配及硝态氮运移的影响 [J]. 中国农业大学学报, 2012, 17 (1): 93-99.
- [14] 刘世和. 灌水量和滴灌系统水氮施用方式对番茄生长发育的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [15] 曲继松, 张丽娟, 冯海萍, 等. 节水控氮对黄河上游地区设施菜田氮素时空分布的影响 [J]. 北方园艺, 2012, (4): 37-40.
- [16] 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, 35 (9): 31-37.
- [17] 聂斌, 李文刚, 江丽华, 等. 不同灌溉方式对设施番茄土壤剖面硝态氮分布及灌溉水分效率的影响 [J]. 水土保持研究, 2012, 19 (3): 102-107.
- [18] 贾丽华, 费良军, 程东娟. 不同灌溉施肥方式的土壤硝态氮分布特性试验研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26 (2): 44-48.
- [19] Trindade H, Coutinho J, Jarvis S, et al. Nitrogen mineralization in sandy loam soils under an intensive double-cropping forage system with dairy-cattle slurry applications [J]. European Journal of Agronomy, 2001, 15 (4): 281-293.
- [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.
- [21] Song X Z, Zhao C X, Wang X L, et al. Study of nitrate leaching and nitrogen fate under intensive vegetable production pattern in Northern China [J]. Comptes Rendus Biologies, 2009, 332: 385-392.
- [22] Zhao C S, Hu C X, Huang W, et al. A lysimeter study of nitrate leaching and optimum nitrogen application rates for intensively irrigated vegetable production systems in Central China [J]. Soil Sediments Contamination, 2010, 10 (1): 9-17.
- [23] 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.
- [24] 商放泽, 杨培岭, 任树梅, 等. 施肥模式对日光温室土壤铵态氮和硝态氮的影响 [J]. 农业机械学报, 2012, 43 (7): 73-78.
- [25] 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.
- [26] 高丽, 李红岭, 王铁臣, 等. 水氮耦合对日光温室黄瓜根系生长的影响 [J]. 农业工程学报, 2012, 28 (8): 58-64.
- [27] 岳文俊, 张富仓, 李志军, 等. 水氮耦合对甜瓜氮素吸收与土壤硝态氮累积的影响 [J]. 农业机械学报, 2015, 46 (2): 88-96.

Effects of different irrigation amount on nitrogen concentration in soil solution and nitrogen leaching of sandy loam greenhouse cucumber

TAO Hong-rong^{1,2}, LI Yin-kun^{2,3}, GUO Wen-zhong^{2,3}, LI Hai-ping^{1*}, LI Ling-zhi¹, YANG Yi^{1,2} (1. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu Shanxi 030801; 2. National Research Center of Intelligent Equipment for Agriculture, Beijing 100097; 3. Beijing Engineering Technology Research Center of Agricultural Internet of Things, Beijing 100097)

Abstract: In order to investigate the variation characteristics of soil nitrogen concentration in sandy loam greenhouse cucumber under different irrigation levels, with the weighing lysimeter test platform, 3 treatments was set up according to the evaporation amount of the evaporator pan in diameter 20 cm in the greenhouse: I1 (K_{ep1} : 0.8), I2 (K_{ep2} : 1.0) and I3 (K_{ep3} : 1.2). The dynamic changes of nitrogen concentration and nitrogen leaching in different soils of cucumber were studied. The results showed that reducing the amount of irrigation, the concentration of nitrate nitrogen in the 20 and 40 cm increased, while in the 60 cm soil layer it decreased. Compared with treatment I3, the average concentration of nitrate nitrogen in the 20 cm and 40 cm increased by 75.59% and 134.36%, respectively, but decreased by 18.88% in 60 cm soil layer. Under different irrigation treatments, the maximum concentration of ammonium nitrogen in each soil layer was only 0.4 mg · L⁻¹. The change of ammonium nitrogen in 20 cm soil layer was similar to that of nitrate nitrogen, while in 40 and 60 cm soil layers the difference were not significant. The total amount of nitrogen leaching in the 90 cm was 56.08 ~ 203.13 kg · hm⁻², accounting for 9.02% ~ 32.69% of total nitrogen application. Compared with treatment I3, I2 not only had the highest yield of cucumber, but also decreased the total amount of nitrogen leaching by 49.16%, and the irrigation water use efficiency and nitrogen fertilizer productivity increased by 39.24% and 18.88%, respectively. Considering the nitrogen concentration in the soil, leaching amount and cucumber yield, I2 treatment (K_{ep2} : 1.0) was the best irrigation under the test conditions.

Key words: sandy loam; irrigation; soil solution; nitrogen concentration; nitrogen leaching