

## 施肥模式对温室番茄生长和土壤硝态氮时空分布的影响

王激清, 李占台, 刘社平

(河北北方学院 农林科技学院/土壤与环境生物修复研究中心, 河北 张家口 075000)

**摘要:**【目的】寻求保证番茄产量和减少硝态氮淋失的最佳施肥模式。【方法】采用温室小区试验,设农户习惯施肥、优化施肥、70%氮肥优化施肥、70%氮肥优化施肥+地福来生物肥、不施氮肥共5个处理,研究了施肥模式对温室番茄生长和土壤硝态氮时空分布的影响。【结果】与农户习惯施肥(含N量320 kg/hm<sup>2</sup>,含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>量200 kg/hm<sup>2</sup>,含K<sub>2</sub>O量320 kg/hm<sup>2</sup>)处理相比,70%氮肥优化施肥+地福来生物肥(含N量168 kg/hm<sup>2</sup>,含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>量120 kg/hm<sup>2</sup>,含K<sub>2</sub>O量240 kg/hm<sup>2</sup>,番茄定植前土壤灌溉6 L/hm<sup>2</sup>地福来生物肥)处理能增加番茄的株高和茎粗,并可增加番茄产量12.7%。农户习惯施肥处理在第1穗果膨大期60~80 cm土层和拉秧后80~100 cm土层出现硝态氮累积峰,硝态氮量分别为61.4、46.5 mg/kg,显著高于其他处理( $P<0.05$ );和农户习惯施肥相比,70%氮肥优化施肥+地福来生物肥处理番茄开花初期和第1穗果膨大期0~100 cm硝态氮累积总量减少47.9、70.1 kg/hm<sup>2</sup>,拉秧后60~100 cm土层硝态氮累积量减少35.6%。【结论】温室番茄在氮肥减量优化施用(含N量168 kg/hm<sup>2</sup>,含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>量120 kg/hm<sup>2</sup>,含K<sub>2</sub>O量240 kg/hm<sup>2</sup>)的基础上配施地福来生物肥(定植前土壤灌溉6 L/hm<sup>2</sup>)是协调高产与环境保护较好的技术选择。

**关键词:**温室;番茄;产量;土壤硝态氮;淋溶

中图分类号:S641.2; S606

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggpps.20180040

王激清,李占台,刘社平. 施肥模式对温室番茄生长和土壤硝态氮时空分布的影响[J]. 灌溉排水学报,2018,37(11):31-36.

### 0 引言

高肥力土壤是温室蔬菜获得优质高产的重要保证,近年来,由于菜农盲目追求高产,造成温室蔬菜施氮量过高,氮磷钾比例失调,引起了土壤养分流失,直接导致蔬菜产量和品质的下降,给生产者和消费者带来很大的损失<sup>[1-3]</sup>。硝态氮是土壤无机态氮的主要形态,处于氮素流动、损失和被利用的中心环节,在农田土壤各种形态的氮素中,由于硝态氮不易被土壤胶体吸附,在降雨和灌溉时随水运移淋失,很容易从上层土壤向下淋溶,造成肥料浪费,乃至污染地下水源,因而,硝态氮在土壤中的累积及淋溶特征研究已成为全球关注的热点,认识蔬菜种植对地下水硝态氮的影响和土壤剖面硝酸盐迁移分布特征,对减控地下水硝酸盐污染具有重要的实践意义<sup>[4-6]</sup>。合理施肥、优化施肥等养分合理投入策略是降低土壤硝态氮累积、减轻地下水硝酸盐污染的主要措施,通过优化施肥<sup>[7]</sup>、施用微生物肥料<sup>[8]</sup>等措施减少化肥施用量,降低硝态氮对环境污染的做法也越来越受到关注。

冀西北张家口地区气候冷凉、无霜期短、光照充足、昼夜温差大,所产的无公害错季蔬菜具有营养价值高、口感好、品质优良等特点,是环京津地区重要的蔬菜生产基地<sup>[9]</sup>。番茄作为冀西北张家口地区蔬菜主要栽培品种,因其适口的风味和较高的营养价值而被人们喜爱<sup>[10]</sup>,因此番茄在温室蔬菜栽培中占有很大比例,合理施肥(尤其是氮肥)也直接关系到其高产优质和养分利用率的高低,并可明显减少硝态氮在土壤中的积累。地福来藻类活性细胞生物肥是农业部2015年主推肥料,该肥料单细胞藻体量 $\geq 1.0 \times 10^6$  mL,可实现固氮;肥料中所含的固氮蓝藻可以从空气中固定氮素;溶磷:小球藻通过自身分泌的有机酸(如乳酸、柠檬酸)和一些酶类(如植酸酶),使土壤中的难溶性磷素如磷酸钙、磷酸镁、磷酸铁溶解为作物能够吸收利用的可溶性磷;解钾:土壤中存在大量的网格状难溶钾,藻类微生物分泌物可浸入网格内活化钾离子;活化难溶性

收稿日期:2018-01-11

基金项目:农业部优势农产品重大技术推广项目(54-01);河北省科学技术研究与发展计划项目(14227001D-1)

作者简介:王激清(1972-),男,河北怀安人。教授,博士,主要从事作物高产栽培和养分高效利用研究。E-mail: wjq-72@126.com

钙、镁、锌、铁、锰等矿质元素,提供给作物利用。为此,通过研究不同施肥处理对番茄生长发育性状和土壤硝态氮时空分布的影响,分析减量施肥、优化施肥并配施地福来生物肥对保证番茄产量和减少硝态氮淋失的可行性,为正确合理的施用肥料提供理论依据,并为相关科学研究和生产实践提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验于2016年在河北北方学院试验基地进行,该试验区位于40°40'N、114°55'E,海拔624 m,年平均降水量为400 mm,无霜期为140 d,日照时间为2 881 h,年均气温为7.7 °C,属温带半干旱大陆性季风气候。试验在日光温室内进行,该日光温室坐北朝南,长50 m,跨度7.5 m,脊高3 m。试验地土壤类型为灌淤土,土壤表层(0~20 cm)有机质质量分数为21.4 g/kg,全氮量为1.18 g/kg,碱解氮、速效磷、速效钾质量分数分别为45.9、31.6、340.4 mg/kg,pH值为8.13,土壤体积质量为1.25 g/cm<sup>3</sup>。

供试番茄品种为合作918;氮肥为尿素(含N量46%),磷肥为过磷酸钙(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>量12%),钾肥为硫酸钾(含K<sub>2</sub>O量50%),生物肥为地福来藻类活性细胞生物肥,由北京地福来科技发展有限公司提供。

### 1.2 试验方法

试验设5个处理,分别为:农户习惯施肥(T1,含N量320 kg/hm<sup>2</sup>、含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>量200 kg/hm<sup>2</sup>、含K<sub>2</sub>O量320 kg/hm<sup>2</sup>);优化施肥(T2,含N量240 kg/hm<sup>2</sup>、含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>量120 kg/hm<sup>2</sup>、含K<sub>2</sub>O量240 kg/hm<sup>2</sup>);70%氮肥优化施肥(T3,含N量168 kg/hm<sup>2</sup>、含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>量120 kg/hm<sup>2</sup>、含K<sub>2</sub>O量240 kg/hm<sup>2</sup>);70%氮肥优化施肥+地福来生物肥(T4,含N量168 kg/hm<sup>2</sup>、含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>量120 kg/hm<sup>2</sup>、含K<sub>2</sub>O量240 kg/hm<sup>2</sup>),番茄定植前土壤灌溉6 L/hm<sup>2</sup>地福来生物肥;不施氮肥(T5,含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>量120 kg/hm<sup>2</sup>、含K<sub>2</sub>O量240 kg/hm<sup>2</sup>)。其中氮肥折合成尿素分基肥和3次追肥施用(追肥时间为定植后的45、75、105 d,随滴灌水施入),基肥用量为总量的1/4,每次追肥用量分别为总量的1/4;磷肥折合成过磷酸钙一次性作基肥施用;钾肥折合成硫酸钾分基肥和3次追肥施用(施肥时间和施用方法同氮肥),其中基肥用量为总量的1/4,每次追肥用量分别为总量的1/4。

采用小区试验,小区长4.5 m,宽1.6 m,供试肥料按小区面积折合施用,试验小区重复3次,随机区组排列。番茄幼苗于2016年5月1日定植,定植密度为5×10<sup>4</sup>株/hm<sup>2</sup>,株行距为35 cm×50 cm,10月1日拉秧,每个种植小区周围设保护行。灌溉施肥采用文丘里滴灌水肥一体化施肥灌溉系统,滴灌管直径12 mm,壁厚0.6 mm,每处理小区首部安装水表精确控制灌水量,对各小区实行等量灌溉。根据番茄的需水规律,采用测墒补灌法进行滴灌,以0~20 cm土层田间持水率的70%和100%为灌水下限和上限,每小区灌溉总量为300 mm,分别在定植时和定植后的第20、45、60、75、90、105、120天灌水。各处理种植的番茄采取相同的田间管理措施。

### 1.3 测定指标和方法

分别于番茄开花初期(定植22 d)、第1穗果膨大期(定植52 d)、第3穗果膨大期(定植82 d)测定番茄株高、茎粗、SPAD值,每小区取5株。株高和茎粗分别用直尺和游标卡尺测量,其中株高测量至植株最高生长点,茎粗测量点为植株距土面约3 cm处,用叶绿素仪(SPAD-502)测定最新完全展开叶的SPAD值。从番茄成熟期开始采摘,累积记录小区果实总鲜质量。

在番茄定植前、开花初期、第1穗果膨大期、第3穗果膨大期和番茄拉秧后(定植154 d)取土样,每小区土壤样品采5个取样点,取样深度分别为0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm共5层,新鲜土样带回实验室立即测定土壤含水率。用0.01 mol/L的CaCl<sub>2</sub>浸提,紫外分光光度法测定土壤硝态氮量,并于番茄拉秧后采用环刀分层取土的方法测定土壤体积质量,计算硝态氮累积量,土壤剖面硝态氮累积量(kg/hm<sup>2</sup>)=土壤硝态氮量(mg/kg)×土层厚度(cm)×土壤体积质量(g/cm<sup>3</sup>)/10。

### 1.4 数据处理

所有试验数据均采用Excel软件进行计算和绘图,用SAS统计软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理番茄株高、茎粗、叶绿素量变化

从表1可以看出,开花初期不同施肥处理番茄的株高为25.6~29.5 cm,第1穗果膨大期不同施肥处理番茄的株高增加到96.0~111.0 cm,第3穗果膨大期番茄的株高增加到152.0~164.0 cm,同一生育期均为T4处理

番茄株高最高,T5处理最低,T1、T2、T3、T4处理间差异不显著。和番茄的株高变化相似,开花初期到第1穗果膨大期为番茄茎粗迅速增长期,茎粗从0.87~1.00 cm增加到1.62~1.76 cm,但从第1穗果膨大期到第3穗果膨大期,番茄茎粗变化不大,同一生育期也是T4处理的番茄茎粗最大,T5处理最小,T1、T2、T3、T4处理间差异也不显著。

表1 不同施肥处理番茄的株高、茎粗、叶片SPAD值的变化

处理	株高/cm			茎粗/cm			叶片SPAD值		
	22 d	52 d	82 d	22 d	52 d	82 d	22 d	52 d	82 d
T1	26.2 a	99.3 ab	156.7 ab	0.93 a	1.67 a	1.67 ab	50.5 a	53.1 b	51.5 ab
T2	28.3 a	105.0 ab	162.0 ab	0.99 a	1.68 a	1.69 ab	52.1 a	54.5 b	52.8 a
T3	26.7 a	101.7 ab	160.7 ab	0.92 a	1.63 a	1.67 ab	52.2 a	53.4 b	49.8 b
T4	29.5 a	111.0 a	164.0 a	1.00 a	1.76 a	1.81 a	52.3 a	58.8 a	53.3 a
T5	25.6 a	96.0 b	152.0 b	0.87 a	1.62 a	1.64 b	49.1 a	48.8 c	46.3 c

注 同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

叶绿素作为主要吸收光能的物质,直接影响植物光合作用的光能利用率,是植物光合作用中最重要的色素,叶片单位面积的叶绿素量更是植物总体生长状况的一个重要指标<sup>[11]</sup>。从表1可以看出,T5处理随着生育期的延长,叶片的叶绿素量逐渐降低,SPAD值从49.1降低到46.3,而对于T1、T2、T3和T4处理,和开花初期相比,叶片SPAD值在第1穗果膨大期逐渐提高,随着生育期间的延长,叶片SPAD值在第3穗果膨大期又逐渐降低;在这3个生育期,T2和T4处理叶片SPAD值均高于T1处理,在第1穗果膨大期时,T4处理达到最高,为58.8,显著高于其他处理,这表明70%氮肥优化施肥配施地福来生物肥可明显提高叶片的光合能力。

## 2.2 不同施肥处理番茄产量的变化

从图1可以看出,T5处理的产量最低,为76.7 t/hm<sup>2</sup>,T4处理的产量最高,为94.7 t/hm<sup>2</sup>,T4处理显著( $P<0.05$ )高于T1、T3和T5处理。与T1处理相比,T2、T3、T4处理的番茄产量分别增加9.51%、1.82%、12.7%。因此,与农户习惯施肥相比,优化施肥可提高番茄的产量,如配施地福来生物肥,70%氮肥优化施肥(T3)处理增产效果更加显著。

## 2.3 不同施肥处理番茄生长季土壤硝态氮量时空变化

硝态氮在不同土层及其空间分布特征是表征硝态氮淋失风险的重要指标<sup>[12]</sup>。番茄开花初期、第1穗果膨大期、第3穗果膨大期和拉秧后0~100 cm各土层硝态氮量的空间变化情况见图2。

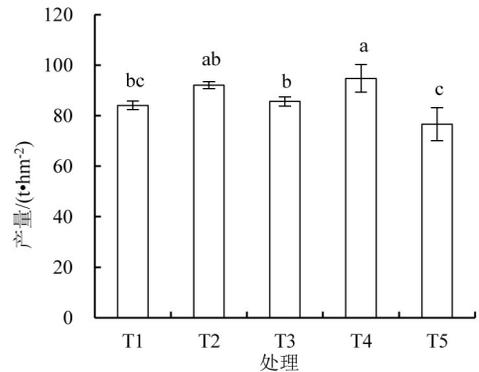


图1 不同施肥处理番茄产量的变化

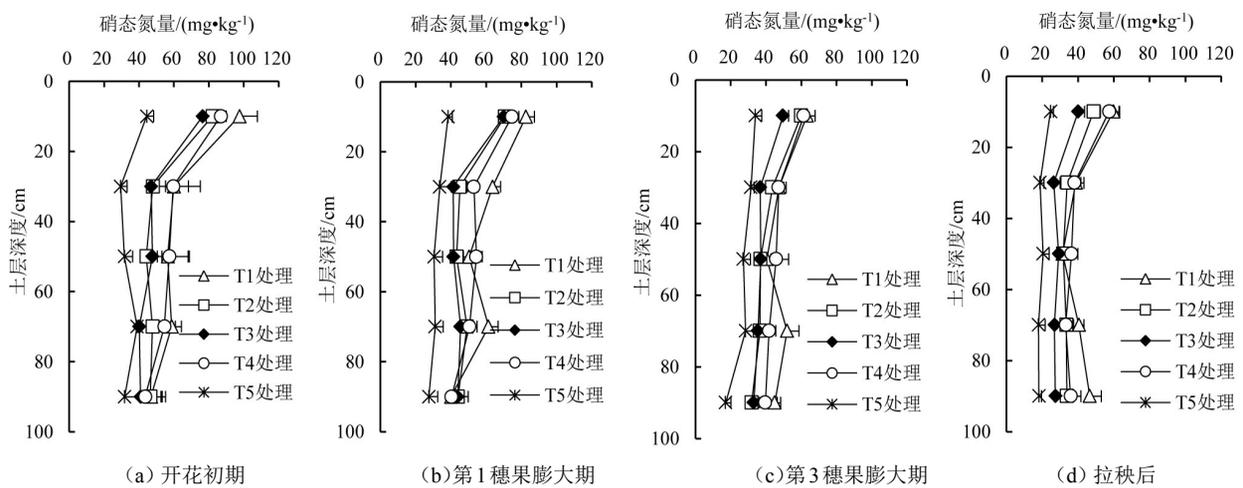


图2 不同生育期0~100 cm土层硝态氮量的变化

由图2可知,从番茄开花初期直到拉秧后,所有施肥处理0~100 cm各土层硝态氮量均呈降低趋势,即随着番茄的生长发育,各土层硝态氮处于不断消耗过程;0~20 cm土层硝态氮量最高,20~40 cm土层迅速降低,随着土壤深度的增加,60~100 cm土层降低趋势平缓。番茄开花初期、第1穗果膨大期、第3穗果膨大期和拉

秧后 0~20、20~40 cm 土层深度的硝态氮量均为 T1 处理最高,其次为 T4、T2、T3 处理, T5 处理最低;番茄第 1 穗果膨大期 T1 处理硝态氮量在 60~80 cm 出现另一个峰值,为 61.4 mg/kg,比同土层优化施肥 T2、T3、T4 处理增加了 25.2%、35.2%、21.4%,且硝态氮出现向下淋溶的趋势,在番茄拉秧后峰值出现在 80~100 cm 土层,为 46.5 mg/kg,显著高于其他处理( $P<0.05$ ),这表明农户习惯施肥过量施氮可造成硝态氮的累积并淋溶迁移,存在潜在污染风险。

#### 2.4 不同施肥处理番茄生长季土壤硝态氮累积量时空变化

表 2 为不同施肥处理和不同生育时期 0~100 cm 土层硝态氮累积总量的变化。从表 2 可以看出,0~100 cm 土层施氮 T1、T2、T3 和 T4 处理硝态氮累积量在整个生长季均显著高于 T5 处理, T5 处理番茄从定植前到拉秧后,0~100 cm 土层硝态氮累积量不断降低,从 549.2 kg/hm<sup>2</sup>降低到 282.4 kg/hm<sup>2</sup>。T1、T2、T3、T4 处理定植前到开花初期,0~100 cm 土层硝态氮累积量均呈增加趋势,从开花初期一直到番茄拉秧后,0~100 cm 土层硝态氮累积量呈逐渐降低的趋势,番茄开花初期到第 1 穗果膨大期 0~100 cm 土壤硝态氮出现一个明显的累积峰。番茄开花初期到第 1 穗果膨大期是番茄生长的关键时期,此时硝态氮过量累积为番茄的快速生长提供基础,如 T4 处理在番茄开花初期、第 1 穗果膨大期累积量达到 849.4、770.4 kg/hm<sup>2</sup>;但累积量太高,如 T1 处理的开花初期、第 1 穗果膨大期累积量达到 897.3、840.5 kg/hm<sup>2</sup>,遇到过量的灌水,存在着向下淋溶的趋势。

表 2 不同生育时期 0~100 cm 土层硝态氮累积总量的变化

处理	定植前	开花初期	第 1 穗果膨大期	第 3 穗果膨大期	拉秧后
T1	549.2 C	897.3 aA	840.5 aA	704.1 aB	600.2 aC
T2	549.2 B	754.8 bA	712.2 bcA	587.7 bB	452.1 bC
T3	549.2 B	708.0 bA	683.6 cA	543.3 bB	381.9 cC
T4	549.2 D	849.4 aA	770.4 bB	666.7 aC	564.9 aD
T5	549.2 A	500.6 cA	410.3 dB	391.6 cB	282.4 dC

注 同列中不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),同行中不同大写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

从表 2 还可以看出,从番茄开花初期一直到拉秧后,0~100 cm 土层硝态氮累积总量 T3 处理均低于 T2 处理,在番茄拉秧后达显著水平;T4 处理 0~100 cm 土层硝态氮累积总量均高于 T2 和 T3 处理,在番茄第 3 穗果膨大期和拉秧后达到显著水平,表明和优化施肥处理相比,70%的优化施肥(T3)处理降低了土层土壤硝态氮累积量。配施地福来生物肥可实现土壤生物固氮,显著增加土壤剖面的硝态氮累积量,为番茄的生长提供了氮素养分。

硝态氮的淋失量是以根层为依据的,根据番茄的生长发育特性,温室番茄根系主要集中在 60 cm 以上的土层,随着土层深度的增加,根长密度呈指数下降<sup>[13-14]</sup>。因此设定 60 cm 为番茄生育期硝态氮淋溶损失的下边界,即超过 60 cm 土层的硝态氮存在着更大的淋溶损失风险。从表 3 可以看出,番茄开花初期、第 1 穗果膨大期、第 3 穗果膨大期和拉秧后,T1 处理 60~100 cm 土层硝态氮累积量在所有处理中最高,分别为 321.9、309.6、295.8、326.4 kg/hm<sup>2</sup>,其中第 3 穗果膨大期、拉秧后显著高于其他处理,存在更大的淋溶风险。因此与农户习惯施肥相比,70%氮肥优化施肥配施地福来肥料可降低硝态氮淋溶风险。

表 3 也表明,番茄开花初期、第 1 穗果膨大期、第 3 穗果膨大期和拉秧后,60~100 cm 土层硝态氮累积量占 0~100 cm 土壤剖面累积总量的比例为 34.9%~42.7%、32.0%~39.9%、35.5%~46.5%、32.1%~54.3%。因此,不同施肥处理下 0~100 cm 土壤剖面硝态氮累积总量的 32%~54% 都存在着淋溶风险,累积总量越高,存在淋溶风险硝态氮的量就越大。

表 3 不同生育时期 60~100 cm 土层硝态氮累积量及占总累积量的比例

处理	开花初期		第 1 穗果膨大期		第 3 穗果膨大期		拉秧后	
	硝态氮量/(kg·hm <sup>2</sup> )	占比/%						
T1	321.9 a	36.0 b	309.6 a	36.8 ab	295.8 a	42.0 ab	326.4 a	54.3 a
T2	287.3 ab	38.2 ab	284.0 a	39.9 a	208.8 bc	35.5 c	204.7 b	45.3 b
T3	247.1 bc	34.9 b	272.5 a	39.9 a	208.6 bc	38.4 bc	123.3 c	32.1 d
T4	298.9 ab	35.1 b	277.4 a	36.0 b	248.2 b	37.2 bc	210.3 b	37.3 cd
T5	215.3 c	42.7 a	131.3 b	32.0 c	182.2 c	46.5 a	109.6 c	38.9 c

### 3 讨论

番茄株高和茎粗均随着施氮量的增加而增加,但过度地投入氮会造成番茄徒长而引起遮阴,不利于光合产物向果实的转运,因此氮肥适宜施用水平研究成为日光温室番茄栽培中迫切需要解决的问题<sup>[15]</sup>。本研究表明,同一生育期,和不施氮肥处理相比,70%氮肥优化施肥配施地福来生物肥能明显增加番茄的株高和茎粗,但不同施氮处理间差异不显著,因此水肥一体化条件下只要施肥比例和施肥时间与番茄的生长需求一致,减量滴灌施肥也能满足番茄生产的需要<sup>[16]</sup>。本试验结果也表明,与农户习惯施肥处理相比,优化施肥可明显提高叶片SPAD值,如配施地福来生物肥,在氮肥优化基础上减少30%用量仍能显著提高番茄叶片叶绿素量,增加叶片的光合能力,这与于晶等<sup>[17]</sup>研究结果一致。温室番茄属于集约化的生产模式,生长发育过程中需消耗大量养分,农户为获得更高的产量,施肥量一般比露地栽培的番茄要多,超过番茄养分需求量的很多倍,因此过量施肥、盲目投肥并不会提高产量还会引起环境的污染,针对设施番茄合理施肥、优化施肥等养分合理投入策略研究十分必要<sup>[3, 18]</sup>。本研究结果表明,70%氮肥优化施肥配施地福来生物肥处理番茄产量最高,达到94.7 t/hm<sup>2</sup>,和农户习惯施肥处理相比可显著增产12.7%。

硝态氮是农田氮素淋失的主要形式,作物生育期内过量施用氮肥会导致大量硝态氮未被当季作物吸收利用而富集在土壤中,极易随土壤水向下迁移<sup>[19]</sup>。本研究表明,农户习惯施肥处理加大了土壤中硝态氮残留,不仅番茄生育期0~20、20~40 cm土层硝态氮量明显高于其他处理,第1穗果膨大期在60~80 cm土层还出现一个峰值,硝态氮量为61.4 mg/kg,显著高于其他处理,且硝态氮出现向下淋溶的趋势,在番茄拉秧后峰值出现在80~100 cm土层,为46.5 mg/kg,显著高于其他处理。因此,只有优化施氮才能有效阻控硝态氮淋洗风险。

综合考虑环保、资源高效利用和作物高产,确定合理施氮量下保持适宜的土壤硝态氮累积量是必要的<sup>[2]</sup>。番茄开花初期到第1穗果膨大期是番茄生长的关键时期,因此土层保持适量的硝态氮是番茄高产的保证,但过量的硝态氮又容易发生淋洗损失<sup>[20-21]</sup>。本研究表明,70%氮肥优化施肥配施地福来生物肥处理开花初期和第1穗果膨大期硝态氮累积量分别为849.4、770.4 kg/hm<sup>2</sup>,既为番茄的快速生长提供了保证,又避免了农户习惯施肥过量的硝态氮带来的淋溶风险。根系在土层中的发育与分布决定了作物对土壤中水分和养分的吸收与利用能力,因此在很大程度上也决定了土壤中硝态氮的移动、累积和淋失<sup>[22]</sup>。本研究以60 cm为番茄生育期硝态氮淋溶损失的下边界进行番茄生育期硝态氮淋溶损失的估算,结果表明番茄拉秧后和农户习惯施肥相比,70%氮肥优化施肥配施地福来生物肥处理60~100 cm土层硝态氮累积量减少35.6%,占0~100 cm土壤剖面累积总量的比例也仅为37.3%,显著降低硝态氮淋溶风险。

### 4 结论

1)优化施肥可改善番茄的生长,提高番茄的产量。与农户习惯施肥相比,70%氮肥优化施肥配施地福来生物肥能增加番茄的株高和茎粗,并可增加番茄产量12.7%。

2)农户习惯施肥第1穗果膨大期在60~80 cm土层和拉秧后80~100 cm土层出现硝态氮累积峰,硝态氮量分别为61.4、46.5 mg/kg,显著高于其他处理;与农户习惯施肥相比,70%氮肥优化施肥配施地福来生物肥处理开花初期和第1穗果膨大期0~100 cm硝态氮累积总量减少47.9、70.1 kg/hm<sup>2</sup>,番茄拉秧后60~100 cm土层硝态氮累积量减少35.6%。

3)优化施肥可降低氮肥用量,减少硝态氮的淋洗,地福来生物肥可实现土壤固氮,保证作物每个阶段氮营养需要,因此,设施番茄在氮肥减量优化施用的基础上配施地福来生物肥是协调高产与环境保护较好的技术选择。

#### 参考文献:

- [ 1 ] ZHOU Jianbin, CHEN Zhujun, LIU Xiaojun, et al. Nitrate accumulation in soil profiles under seasonally open 'sunlight greenhouses' in northwest China and potential for leaching loss during summer fallow[J]. *Soil Use and Manage*, 2010, 26(3): 332-339.
- [ 2 ] 于红梅, 王志刚, 葛建军, 等. 适量施肥提高土壤残留硝态氮利用率及菠菜产量[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(16): 121-128.
- [ 3 ] 贾宋楠, 范凤翠, 刘胜尧, 等. 施肥量对温室滴灌番茄干物质累积、产量及水肥利用的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2017, 36(5): 21-29.
- [ 4 ] ZHAO Muqiu, SHI Yi, CHEN Xin, et al. Soil nitrogen accumulation in different ages of vegetable greenhouses[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, 8: 21-25.

- [ 5 ] JIANG Huimin, ZHANG Jianfeng, SONG Xiaozong, et al. Responses of agronomic benefit and soil quality to better management of nitrogen fertilizer application in greenhouse vegetable land[J]. *Pedosphere*, 2012, 22(5): 650-660.
- [ 6 ] 李静, 张富仓, 江明杰, 等. 水氮供应对温室黄瓜氮素吸收及土壤硝态氮分布的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2017, 36(3): 52-58.
- [ 7 ] 张春霞, 文宏达, 刘宏斌, 等. 优化施肥对大棚番茄氮素利用和氮素淋溶的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(5): 1 139-1 145.
- [ 8 ] 吴家森, 许开平, 叶晶, 等. 不同施肥条件下雷竹林水溶性有机碳氮的流失特征[J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33(1): 128-133.
- [ 9 ] 乔颖丽, 孙芳, 刘金花, 等. 蔬菜产业链模式选择影响因素实证分析: 基于冀西北地区实地调查[J]. *农业经济与管理*, 2010(2): 12-18.
- [ 10 ] 梁斌, 陈清, 董静, 等. 设施番茄绿色增产潜力及技术体系建设[J]. *中国蔬菜*, 2017(1): 27-31.
- [ 11 ] 殷紫, 常庆瑞, 刘淼, 等. 基于光谱指数的不同生育期油菜叶片 SPAD 估测[J]. *西北农林科技大学学报*, 2017, 45(5): 1-7.
- [ 12 ] 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): 2 651-2 656.
- [ 13 ] 石小虎, 曹红霞, 杜太生, 等. 膜下沟灌水氮耦合对温室番茄根系分布和水分利用效率的影响[J]. *西北农林科技大学学报*, 2013, 41(2): 89-93, 100.
- [ 14 ] 范凤翠, 张立峰, 李志宏, 等. 日光温室番茄根系分布对不同灌溉方式的响应[J]. *河北农业科学*, 2012, 16(8): 36-40, 44.
- [ 15 ] 沙海宁, 孙权, 李建设, 等. 不同施氮量对设施番茄生长与产量的影响及最佳用量[J]. *西北农业学报*, 2010, 19(3): 104-108.
- [ 16 ] 张兰勤, 唐新莲, 黎晓峰, 等. 水肥一体化减量施肥对樱桃番茄产质量的影响[J]. *南方农业学报*, 2015, 46(7): 1 270-1 274.
- [ 17 ] 于晶, 纪立东, 孙权, 等. 酵素菌肥不同施用量对露地番茄产量和品质的影响[J]. *北方园艺*, 2013(16): 42-45.
- [ 18 ] 樊兆博, 林杉, 陈清, 等. 滴灌施肥对设施番茄水氮利用效率及土壤硝态氮残留的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2015, 20(1): 135-143.
- [ 19 ] 黄吴进, 邓利梅, 夏建国, 等. 温室滴灌施肥条件下土壤硝态氮的运移及分布特征[J]. *灌溉排水学报*, 2017, 36(12): 42-48.
- [ 20 ] 杨俊刚, 张冬雷, 徐凯, 等. 控释肥与普通肥料混施对设施番茄生长和土壤硝态氮残留的影响[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(18): 3 782-3 791.
- [ 21 ] ZHAO Ying, LUO Jianghang, CHEN Xiaoqun, et al. Greenhouse tomato-cucumber yield and soil N leaching as affected by reducing N rate and adding manure: A case study in the Yellow River Irrigation Region China[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2012, 94(2/3): 221-235.
- [ 22 ] 杨合法, 范聚芳, 梁丽娜, 等. 长期不同施肥模式对日光温室土壤硝态氮时空分布[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(2): 246-252.

## Effects of Different Fertilizations on Spatiotemporal Nitrate Distribution in Soil and Yield of Greenhouse Tomato

WANG Jiqing, LI Zhantai, LIU Sheping

(College of Agriculture and Forestry/Soil and Environment Bioremediation Research Center, Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China)

**Abstract:**【Objective】Reducing fertilizer application has been mandated in agricultural production in China and the objective of this paper is to explore optimal fertilization for greenhouse tomato by increasing the fruit yield while in the meantime reducing nitrate leaching.【Method】Plot experiments were conducted in a greenhouse to investigate the growth of tomato and the spatiotemporal distribution of nitrate in soil. We considered five fertilizer applications: traditional fertilization used by farmer (T1), optimal fertilization (T2), 70% of N used in the optimal fertilization (T3), 70% of N used in the optimal fertilization plus application of the Difulai biological fertilizer (T4), no N.【Result】Compared to T1 (N 320 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 200 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 320 kg/hm<sup>2</sup>), T4 (N 168 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 240 kg/hm<sup>2</sup>, Difulai biological fertilizer 6 L/hm<sup>2</sup>) increased the plant height and the stem diameter, leading to an increase in yield by 12.7%. In T1, the concentration of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in soil peaked in 60~80 cm when the tomato was at the first ear fruit expansion stage and in the depth of 80~100 cm after harvest. The nitrate content associated with the two stages was 61.4 mg/kg and 46.5 mg/kg respectively, considerably higher than that in other treatments. Compared with T1, T4 reduced the nitrate in 0~100 cm by 47.9 kg/hm<sup>2</sup> and 70.1 kg/hm<sup>2</sup> at early blooming and the first ear fruit expansion respectively, and reduced 35.6% of nitrate in 60~100 cm soil after harvest.【Conclusion】Using 70% of N used in the optimal fertilization (N 168 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 240 kg/hm<sup>2</sup>) plus Difulai biological fertilizer (6 L/hm<sup>2</sup>) is the most effective for achieving high yield and reducing nitrate leaching in greenhouse tomato production.

**Key words:** greenhouse; tomato; yield; nitrate nitrogen; leaching

责任编辑:白芳芳