

# 不同施氮量对加工番茄生长及土壤氮素平衡的影响

景博<sup>1,2</sup>, 牛宁<sup>1,2</sup>, 张文龙<sup>1</sup>, 刁明<sup>1</sup>

(1. 石河子大学农学院, 新疆石河子 832003; 2. 特色果蔬栽培生理与种质资源利用兵团重点实验室, 新疆石河子 832003)

**摘要:**【目的】研究不同施氮量对加工番茄生长及土壤氮素平衡的影响。【方法】基于临界氮浓度模型的施肥方案, 设置不施氮( $N_0$ )、施氮  $200\text{ kg/hm}^2$  ( $N_1$ )、施氮  $300\text{ kg/hm}^2$  ( $N_2$ ) 和施氮  $400\text{ kg/hm}^2$  ( $N_3$ ) 4 个处理, 测定加工番茄各生育期的生长、产量和土壤氮素等指标。【结果】(1) 在苗期阶段, 各处理对加工番茄的生长无显著差异; 坐果期后,  $N_2$  处理较其他处理可有效促进加工番茄的生长。2018 年, 红熟期  $N_2$  处理下的加工番茄株高为  $85.5\text{ cm}$ , 显著高于其他处理, 同期  $N_2$  处理下的茎粗为  $18.40\text{ mm}$ , 显著高于  $N_0$  处理, 但与其他施氮处理无显著差异, 且 2019 年有同样变化趋势。(2) 各处理土壤硝态氮主要分布在  $20\sim40\text{ cm}$  土层中, 各土层中硝态氮含量随施氮量的增加而增加; 2018 年在拉秧期  $N_3$  处理下的硝态氮含量主要残留在  $40\text{ cm}$  以下土层中, 占总硝态氮含量的  $54.72\%$ , 且 2019 年有同样趋势, 淋洗风险较大;  $N_2$  处理下的土壤硝态氮分布较均衡, 可以有效降低土壤氮素的残留, 提高氮肥利用率。(3) 土壤剖面中硝态氮盈余量随施氮量的增加呈增加趋势;  $N_0$ 、 $N_1$ 、 $N_2$  处理下的氮素主要以作物吸收的方式带出土壤,  $N_3$  处理下的氮素主要残留在土壤中;  $N_1$  处理可降低氮素在土壤中的残留量, 但也降低了氮素的利用率,  $N_2$  处理有利于提高氮肥表观利用率, 降低氮肥表观残留率,  $N_3$  处理促进了作物对氮素的吸收, 但加大了氮素在土壤中的残留, 降低了氮素利用率。【结论】在基于加工番茄临界氮浓度模型的氮素运筹方案下, 加工番茄苗期阶段, 按  $N_1$  处理施  $44\text{ kg/hm}^2$  减氮施肥, 在开花期以后, 施氮按  $N_2$  处理施  $234\text{ kg/hm}^2$  的氮运筹可促进植株生长, 且土壤氮素残留相对较少, 保证了较高的氮肥利用率和经济效益。

**关键词:** 加工番茄; 氮运筹; 氮素积累量; 土壤硝态氮; 土壤氮素平衡

中图分类号: S641.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4330(2020)10-1830-09

## 0 引言

【研究意义】加工番茄是我国北方干旱地区种植的特色经济作物<sup>[1]</sup>。氮肥施入土壤后, 经过微生物作用迅速转变为硝酸盐, 除部分被农作物利用外, 大部分通过  $\text{NO}_3^-$  淋失、反硝化、 $\text{NH}_3$  挥发等途径从土壤中损失, 保持土壤氮含量是土地持续利用和作物高产稳产的重要条件<sup>[2]</sup>。不合理的施肥方案对作物的产量和品质产生了不利影响<sup>[3]</sup>, 还引发了一系列的环境问题, 包括温室气体排放和土壤酸化等<sup>[4]</sup>。综合研究氮肥产量效

应、氮肥的吸收利用效率以及土壤-植物体系中的氮素平衡, 始终是评价氮肥合理施用与否的关键所在<sup>[5]</sup>。【前人研究进展】李若楠等<sup>[5]</sup>针对日光温室蔬菜生产中肥水超量施用问题, 研究了节水减氮在温室蔬菜生产中的增效潜力, 推荐较习惯施肥减氮  $50\%$  能有效降低氮素损失, 提高氮肥利用率, 保持较高经济效益。侯云鹏等<sup>[6]</sup>为解决吉林省半干旱区滴灌施肥条件下氮肥合理施用问题, 研究了覆膜滴灌条件下施氮量对土壤剖面无机氮含量变化及氮素平衡的影响, 结果表明, 玉米成熟期  $0\sim200\text{ cm}$  剖面土壤硝态氮和铵态氮含量

收稿日期(Received): 2020-01-14

基金项目: 国家星火计划重点(2015GA891008); 石河子大学科研计划(CGZH201803)

作者简介: 景博(1992-), 男, 甘肃通渭人, 硕士研究生, 研究方向为作物生理生态, (E-mail) 1415033152@qq.com

通信作者: 刁明(1968-), 男, 新疆吐鲁番人, 教授, 硕士生导师, 研究方向为园艺作物生理生态与信息农业, (E-mail) diaoming@shzu.edu.cn

随土层深度增加呈逐渐下降的趋势,且施氮提高了 0~200 cm 土壤硝态氮和铵态氮含量。苏继霞等<sup>[7]</sup>研究了氮素运筹对滴灌甜菜氮素平衡的影响,结果表明,适当降低叶丛快速生长期的氮素施用比例,有利于提高氮肥表观利用率和氮肥表观残留率,降低氮肥表观损失率。【本研究切入点】以往对大田作物的氮肥产量效应、氮肥的吸收利用效率以及土壤氮素平衡的研究主要集中在小麦<sup>[8-11]</sup>、玉米<sup>[12-14]</sup>等作物上,试验基于前人临界氮浓度模型<sup>[15]</sup>,根据干物质质量推算各生育期的施氮比例,立足当地光温条件、天气过程,利用节水滴灌施肥技术,结合最佳灌水方案<sup>[17]</sup>在各生育期滴灌追肥,研究在基于临界氮浓度模型的施氮比例下,不同施氮量对加工番茄各生育期氮素吸收

和土壤氮素运移的影响。【拟解决的关键问题】基于临界氮浓度模型的施肥方案,设置不施氮( $N_0$ )、施氮 200 kg/hm<sup>2</sup> ( $N_1$ )、施氮 300 kg/hm<sup>2</sup> ( $N_2$ )和施氮 400 kg/hm<sup>2</sup> ( $N_3$ )4 个处理,测定加工番茄各生育期的生长、产量和土壤氮素等指标。为提高氮素的有效利用、维持土壤氮素平衡和加工番茄持续高产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2018~2019 年在石河子大学农学院试验站进行,列出试验地土壤理化性质。表 1

表 1 试验地理化性质

Table 1 Physicochemical of the soil layers the experimental fields

年份 Year	pH 值 pH value	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total nitrogen (g/kg)	碱解氮 Available nitrogen (mg/kg)	速效磷 Available phosphorus (mg/kg)	速效钾 Available kaliu (mg/kg)
2018	7.7	10.12	0.85	65.13	15.95	342
2019	7.5	12.35	0.76	54.96	17.47	256

供试加工番茄品种为里格尔 87-5,用穴盘育苗,4 叶 1 心时移栽大田。2018 年 4 月 29 日定植,2019 年 4 月 26 日定植。试验小区采用 1.2 m 宽薄膜覆盖,一膜铺设两条滴灌带,1 管 2 行的种植方式,株距 30 cm,行距 60 cm,滴灌带滴头间距为 30 cm。灌水量按照 75% ET0<sup>[16]</sup>,通过水表控制灌溉,灌水周期设定为 7~10 d,全生育期总灌水量为 4 700 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

试验设置不施氮( $N_0$ )、施氮 200 kg/hm<sup>2</sup> ( $N_1$ )、施氮 300 kg/hm<sup>2</sup> ( $N_2$ )和施氮 400 kg/hm<sup>2</sup> ( $N_3$ )4 个处理,小区面积为 7.2 m×12 m,各重复 3 次,共 12 小区,各试验小区随机排列。

在施纯氮量 300 kg/hm<sup>2</sup> 条件下,加工番茄各生长阶段追肥比例是由该生长阶段临界氮吸收量  $N_{uptc}$  所占比例确定,而临界氮吸收量  $N_{uptc}$  是基于临界氮浓度稀释曲线模型所得,其加工番茄临界氮浓度稀释曲线模型和临界氮吸收模型<sup>[16]</sup>可用公式表示:

临界氮浓度稀释曲线模型:  $N_c = 4.352DW^{-0.274}$ 。

临界氮吸收模型:  $N_{uptc} = 43.521DW_{max}^{0.726}$ 。

式中, $N_c$  为临界氮浓度值,%; $N_{uptc}$  为临界氮吸收量,kg/hm<sup>2</sup>;  $DW_{max}$  为加工番茄地上部生物量的最大值。根据加工番茄干物质增长量获得  $N_{uptc}$  在各生育期所占比例,得出各处理在不同生育期的施氮量。施肥时氮肥全部用作追肥按比例在各生育期随水滴施,磷肥和钾肥全部一次性施入土壤做基肥,施入纯养分量为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 210 kg/hm<sup>2</sup>,K<sub>2</sub>O 150 kg/hm<sup>2</sup>。表 2

1.2.2 测定指标

1.2.2.1 植株全氮

将植株样烘干后粉碎,采用浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 碳化,H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 高温消煮,用全自动凯氏定氮仪(K-375)测定各器官含氮量,并计算植株全氮量。

1.2.2.2 土壤硝态氮

用的 2 mol/L KCl 溶液 50 mL 浸提鲜土样 1 h,然后用双波长分光光度法(UV-2401 紫外分光光度计)测定。

表 2 基于临界氮浓度模型的各处理施氮量

Table 2 Nitrogen application rate of each treatment based on critical nitrogen concentration model

处理 Treatment	施氮量 Nitrogen application rate(kg/hm <sup>2</sup> )			
	定植 - 开花 Seedling - flowering stage	坐果期 Fruiting period	红熟期 Red maturity period	拉秧期 Harvest period
N <sub>0</sub>	0	0	0	0
N <sub>1</sub>	44	48	90	18
N <sub>2</sub>	66	72	135	27
N <sub>3</sub>	88	96	180	36

## 1.2.2.3 数据处理

参考巨晓棠<sup>[17]</sup>、苏继霞<sup>[7]</sup>和姜慧敏<sup>[4]</sup>的方法计算以下参数:

生育期土壤氮素净矿化量(kg/hm<sup>2</sup>) = 不施氮区作物吸氮量(kg/hm<sup>2</sup>) + 不施氮区土壤无机氮残留量(kg/hm<sup>2</sup>) - 不施氮区土壤起始无机氮累积量(kg/hm<sup>2</sup>)。

土壤无机氮累积量(kg/hm<sup>2</sup>) = 土层厚度(cm) × 土壤容重(g/cm<sup>3</sup>) × 土壤无机氮含量(mg/kg)/10。

生育期土壤氮素表观损失量(kg/hm<sup>2</sup>) = 生育期施氮量(kg/hm<sup>2</sup>) + 土壤起始无机氮累积量(kg/hm<sup>2</sup>) + 生育期土壤氮素净矿化量(kg/hm<sup>2</sup>) - 作物携出量(kg/hm<sup>2</sup>) - 收获后土壤无机氮残留量(kg/hm<sup>2</sup>)。

氮素盈余量(kg/hm<sup>2</sup>) = 氮素表观损失量(kg/hm<sup>2</sup>) + 收获后土壤无机氮残留量(kg/hm<sup>2</sup>)。

氮肥表观利用率(%) = [施氮区作物吸氮量(kg/hm<sup>2</sup>) - 不施氮区作物吸氮量(kg/hm<sup>2</sup>)] / 施氮量(kg/hm<sup>2</sup>) × 100。

氮肥表观残留率(%) = [施氮区土壤无机氮

残留量(kg/hm<sup>2</sup>) - 不施氮区土壤无机氮残留量(kg/hm<sup>2</sup>)] / 施氮量(kg/hm<sup>2</sup>) × 100。

## 1.3 数据处理

采用 Excell 2007 进行数据处理, SPSS 17.0 统计分析软件进行方差分析, Origin9.0 软件绘图。

## 2 结果与分析

## 2.1 不同施氮量对加工番茄株高茎粗的影响

研究表明, 2 年间不同施氮量下加工番茄株高和茎粗的变化趋势基本一致。在加工番茄苗期阶段, 各处理下的株高和茎粗无显著差异; 在开花期和坐果期, 植株生长速度加快, 各施氮处理的加工番茄株高和茎粗均大于不施氮处理, 到红熟期, N<sub>2</sub> 处理下的株高显著大于其他处理, 2018 年 N<sub>2</sub> 处理下的株高为 85.5 cm, 较 N<sub>1</sub>、N<sub>3</sub> 和 N<sub>0</sub> 处理分别提高了 23.02%、24.68% 和 29.47%, 同期 N<sub>2</sub> 处理下的茎粗为 18.40 mm, 较 N<sub>0</sub> 处理提高了 27.17%, 与其他施氮处理无显著差异, 且 2019 年有同样变化趋势。拉秧期各处理下株高和茎粗的变化趋势与红熟期基本一致。图 1

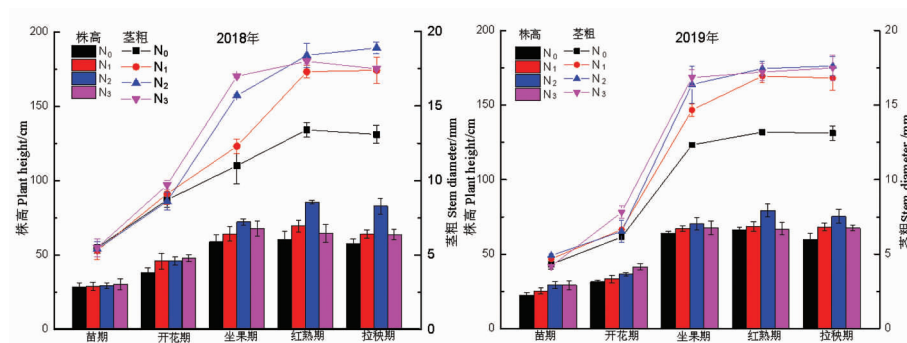


图 1 不同施氮量下加工番茄株高茎粗变化

Fig. 1 Effects of different nitrogen application on plant height and stem diameter of processing tomatoes

## 2.2 不同施氮量对加工番茄各生育期土壤硝态氮运移的影响

研究表明,2年间在0~80 cm土层内的运移规律基本相同,各生育期土层中的硝态氮含量均随着施肥量的增加而增加,在20~40 cm的土层中分布最多。

在加工番茄苗期阶段,各处理下的土壤硝态氮主要分布在20~40 cm土层中,40~80 cm土层中硝态氮含量逐渐降低,各处理间在60~80 cm土层中无显著差异;在开花期和坐果期,由于氮素随水下移,硝态氮在各土层中的分布较均衡;在红熟期和拉秧期, $N_0$ 、 $N_1$ 和 $N_2$ 处理下的硝态氮含量在各土层中的分布较均一, $N_3$ 处理下的硝态氮含量主要分布在20~60 cm土层中,且30~80 cm土层中的硝态氮含量显著大于其他处理,有较大的淋洗风险;在拉秧期,2018年 $N_0$ 、 $N_1$ 、 $N_2$ 和

$N_3$ 处理下的土壤硝态氮残留量分别为69.87、148.73、183.51和297.61 kg/hm<sup>2</sup>, $N_3$ 处理显著大于其他处理,残留在40 cm以下土层中的硝态氮占54.72%,且2019年有同样趋势, $N_0$ 、 $N_1$ 、 $N_2$ 和 $N_3$ 处理下的土壤硝态氮残留量分别为69.65、126.38、232.40和318.08 kg/hm<sup>2</sup>, $N_3$ 处理的土壤氮素淋洗风险较大。

2018年,根据施氮处理下土壤硝态氮残留量与不施氮处理下土壤硝态氮残留量的差值可知 $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 在0~80 cm土层来源于当季肥料硝态氮残留量分别为96.40、114.37和245.16 kg/hm<sup>2</sup>,与施氮量对比,则硝态氮占各个施氮量的48.20%、38.12%和61.29%,且2019年有同样趋势。 $N_2$ 处理可以降低加工番茄对氮素的残留,提高氮肥利用率。图2

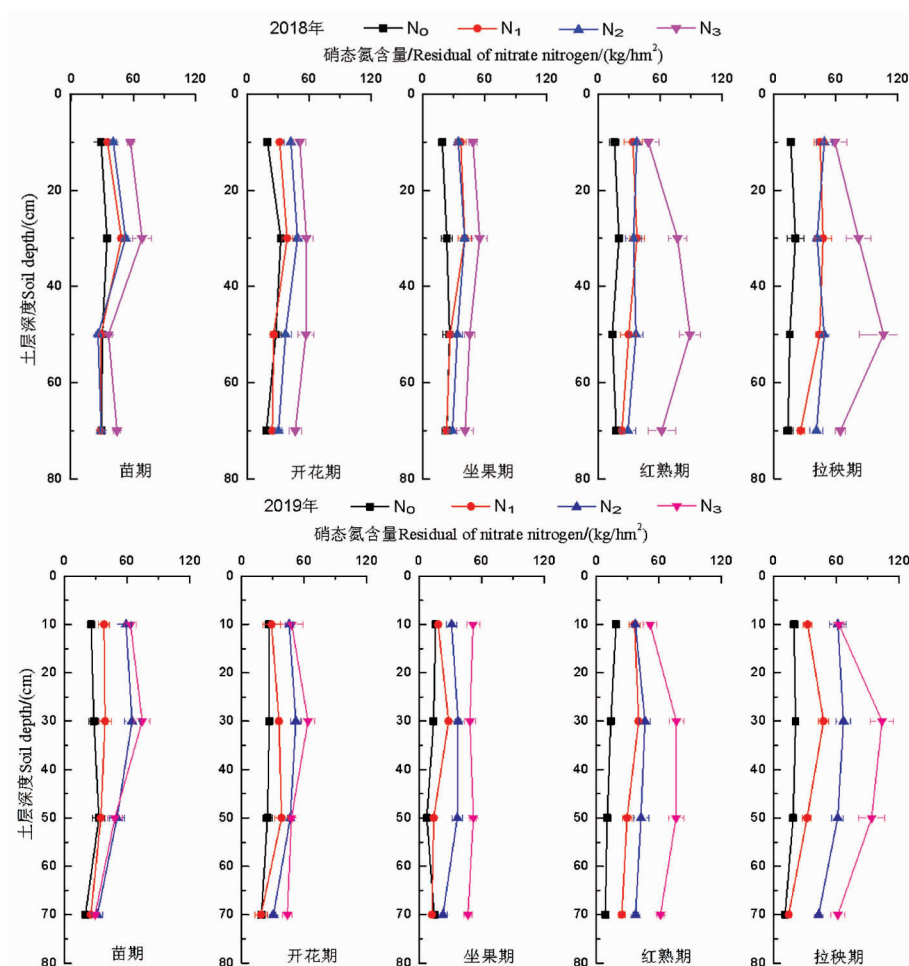


图2 不同施氮量下加工番茄全生长季土壤硝态氮运移

Fig.2 Effects of different nitrogen application rates on the transport of soil nitrate nitrogen in the whole growth season of processing tomatoes



### 2.3 不同施氮量对加工番茄土壤氮素平衡的影响

研究表明,2年间不同施氮量对土壤-作物系统氮素平衡的分析,且2年的氮素平衡规律基本相同。氮素的输入主要以尿素、播前土壤无机氮和氮的矿化量组成,氮的总输入量随着施氮量的增加而增加。2018年在氮素输出中, $N_0$ 、 $N_1$ 、 $N_2$ 处理下的氮素主要以作物吸收的方式带出土壤,分别占总氮输入的65.92%、42.64%、46.46%, $N_3$ 处理下的氮素主要残留在土壤中,占总氮输入的47.36%,且2019年有同样变化趋势。随施氮量的增加,土壤剖面中的硝态氮盈余量增加。

各处理间氮肥表观利用率表现为 $N_2$ 处理最大, $N_1$ 处理最小,2018年 $N_1$ 处理的表观利用率与 $N_2$ 处理相比降低了49.27%,2019年降低了

46.39%。表观残留率表现为 $N_3$ 处理最大, $N_1$ 处理最小,2018年 $N_3$ 比 $N_2$ 处理高50.32%,2019年高14.49%。在基于临界氮浓度模型的氮运筹下, $N_1$ 处理可降低氮素在土壤中的残留量,但也降低了氮素的利用率; $N_3$ 处理不但降低了利用率,且增加了土壤的残留量, $N_2$ 处理有利于提高氮肥表观利用率,降低氮肥表观残留率。

氮肥的使用量会影响作物对氮素的吸收以及产量,合理施氮可显著提高加工番茄的产量, $N_2$ 处理下的产量可达到120 t/hm<sup>2</sup>以上,2018年 $N_1$ 和 $N_3$ 处理相比 $N_2$ 处理分别减产了21.61%和12%,且2019年有同样趋势, $N_1$ 和 $N_3$ 处理均会抑制产量的提高。表3

表3 基于临界氮浓度模型的施氮量在0~80 cm土壤剖面的氮素平衡

Table 3 Nitrogen balance of 0-80 cm soil profile based on critical nitrogen concentration model (kg/hm<sup>2</sup>)

年份 Year	处理 Control	氮输入			氮输出				表观 利用率 Apparent utilization rate of nitrogen/ (%)	表观 残留率 Apparent residual rate of nitrogen/ (%)	产量 Yield/(t/hm <sup>2</sup> )
		播前土壤 无机氮 Soil Inorganic nitrogen before sowing	氮矿化量 Nitrogen minerali- zation	总输入量 Total nitrogen input	作物 吸收量 Crop nitrogen uptake	无机氮 残留量 Inorganic nitrogen residue	表观 损失量 Apparent loss of nitrogen	氮素 盈余量 Nitrogen surplus			
2018	$N_0$	106.54	121.88	228.42	150.58	69.87					69.25 + 5.65 <sup>c</sup>
	$N_1$	106.54	121.88	428.42	182.67	148.73	60.35	209.08	16.05	39.43	105.09 + 9.14 <sup>b</sup>
	$N_2$	106.54	121.88	528.42	245.50	183.51	62.74	246.25	31.64	37.88	134.06 + 14.31 <sup>a</sup>
	$N_3$	106.54	121.88	628.42	260.61	297.61	33.54	331.15	27.51	56.94	117.97 + 7.47 <sup>b</sup>
2019	$N_0$	80.86	123.68	204.54	129.35	69.65					63.78 + 7.18 <sup>c</sup>
	$N_1$	80.86	123.68	404.54	164.85	126.38	102.1	228.48	17.75	28.36	89.38 + 5.42 <sup>b</sup>
	$N_2$	80.86	123.68	504.54	228.69	232.40	32.24	264.64	33.11	54.25	120.72 + 6.89 <sup>a</sup>
	$N_3$	80.86	123.68	604.54	240.26	318.08	34.99	353.07	27.73	62.11	108.95 + 3.02 <sup>a</sup>

## 3 讨论

### 3.1 不同施氮量对加工番茄生长的影响

加工番茄的株高和茎粗是植株生长的重要指标,影响着产量和果实的商品性<sup>[18]</sup>。

Michela Farneselli 等<sup>[19]</sup>研究表明,低氮不足以满足加工番茄的生长,适宜的施氮量可以对加工番茄的生长有促进作用;李振华、张筱茜等<sup>[20-22]</sup>研究表明,施氮量对番茄株高、茎粗的影响呈不同的变化规律,大量施入氮肥不利于番茄茎粗的增加,在生育前期适当的减少氮肥施入量,

有利于植株的生长。研究表明,在加工番茄苗期阶段,各处理下的株高和茎粗无显著差异;在开花期后,施氮300 kg/hm<sup>2</sup>的处理有利于促进加工番茄株高与茎粗的增加,保证了加工番茄的营养生长和产量的形成。

### 3.2 不同施氮量对加工番茄土壤氮素运移的影响

灌水与施氮均影响硝态氮的运移,试验灌水根据蒸发蒸腾量以及前人试验结果<sup>[16]</sup>为依据。水氮试验<sup>[23-26]</sup>表明,在田间定额灌水下,施氮量对硝态氮在土体中的移动深度没有显著影响,对

硝态氮在土壤剖面的累积量均随施氮量的增加而增大,并随土层深度的增加而减少,且高氮在深层土壤中的淋洗风险较大。试验结果表明,随着生育期的推进,增氮施肥下的土壤硝态氮含量大于其他处理的趋势越发明显,在加工番茄拉秧期主要分布在 20 cm 以下的土层中,土壤氮素可能会随着农闲期的降雨量运移到深层土壤,来年被作物根系吸收的可能性比较小。

黄吴进等<sup>[27]</sup>研究表明温室土壤硝态氮主要分布在 0~40 cm 土层;薛亮等<sup>[28]</sup>结果表明甜瓜收获后各处理土壤硝态氮含量在 0~40 cm 土层最高,且施氮量越大,硝态氮在 80~120 cm 土层大量累积的趋势越明显。试验结果表明,在基于临界氮浓度模型的施氮比例下,加工番茄红熟期之前土壤氮素主要分布在 0~40 cm 土层中,在红熟期和拉秧期,土壤氮素主要分布在 20~60 cm 土层中,且往 60~80 cm 土层中运移的趋势明显。

### 3.3 不同施氮量对加工番茄土壤氮素平衡影响

有研究表明秸秆还田和生物炭可有效减少土壤氮素的损失<sup>[28,29]</sup>,董强等<sup>[30]</sup>研究表明,连续 3 年减少 20% 的施氮量可提高氮肥的农学利用效率和偏生产力,显著减少土壤剖面硝态氮残留量;杜军<sup>[31]</sup>等研究表明化肥使用量的降低,将有效的减少农田系统中氮素的输入量。研究表明,土壤氮素的输入量和拉秧期土壤硝态氮的残留量随着施氮量的增加而增加,施氮 200 kg/hm<sup>2</sup> 处理下的土壤硝态氮残留量与施氮 300 kg/hm<sup>2</sup> 处理相比降低了 32.29%。王士红等<sup>[32]</sup>提出棉花施氮量从常规的 300 kg/hm<sup>2</sup> 第 1 年减少为 105 kg/hm<sup>2</sup>,第 2 年减少为 210 kg/hm<sup>2</sup>。Asif Ameen 等<sup>[33]</sup>研究表明氮盈余随着施氮量的增加而增加,且促进了硝态氮的淋溶。试验结果表明,施氮 200 kg/hm<sup>2</sup> 的处理与其他处理相比,减少了土壤氮素的盈余量。张彬等<sup>[34]</sup>研究表明水稻土壤无机氮吸收量随着氮浓度的增加呈先增加后降低趋势,水稻土壤无机氮残留量呈相反的变化趋势。研究结果与其有所差别,加工番茄对氮素的吸收和对土壤无机氮的残留量均随着施氮量的增加而增加。

## 4 结 论

4.1 在基于加工番茄临界氮浓度模型的氮素运筹方案下,在加工番茄苗期阶段,各处理下的株高

和茎粗无显著差异;在开花期后,施氮 300 kg/hm<sup>2</sup> 的处理有利于促进加工番茄株高与茎粗的增加,保证了加工番茄的营养生长和产量的形成。

4.2 在基于加工番茄临界氮浓度模型的氮素运筹方案下,各土层中硝态氮含量随施氮量的增加而增加,且主要分布在 20~40 cm 土层中;在拉秧期施氮 400 kg/hm<sup>2</sup> 处理下的土壤硝态氮含量主要残留在 40 cm 以下土层中,淋洗风险较大,施氮 300 kg/hm<sup>2</sup> 处理下的土壤硝态氮含量在土壤剖面分布较均衡,降低了氮素对土壤环境的污染。

4.3 在基于加工番茄临界氮浓度模型的氮素运筹方案下,施氮 200 kg/hm<sup>2</sup> 的处理可降低氮素在土壤中的残留量,但也降低了氮素的利用率,施氮 300 kg/hm<sup>2</sup> 的处理有利于提高氮肥表观利用率,降低氮肥表观残留率,施氮 400 kg/hm<sup>2</sup> 的处理促进了作物对氮素的吸收,但加大了氮素在土壤中的残留,降低了利用率。

4.4 在基于加工番茄临界氮浓度模型的氮素运筹方案下,在加工番茄苗期阶段,各施氮量基本不会影响植株的正常生长,在生产中可按 N<sub>1</sub> 处理施 44 kg/hm<sup>2</sup> 减氮施肥,在开花期后,按 N<sub>2</sub> 处理施 234 kg/hm<sup>2</sup> 的氮运筹可促进植株的生长,且土壤氮素残留相对较少,保证了较高的氮肥利用率和经济效益。

## 参考文献 (References)

- [1] 武继承,王志勇,郑惠玲. 土壤氮素的变化特征研究[J]. 土壤肥料, 2001, (2): 14-17.  
WU Jicheng, WANG Zhiyong, ZHENG Huiling. Study on the change characteristics of soil nitrogen [J]. *Soil Fertilizer*, 2001, (2): 14-17.
- [2] Virginia Hernández, Pilar Hellín, José Fenoll, et al. Interaction of nitrogen and shading on tomato yield and quality [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 255: 255-259.
- [3] Wentian Hea, Rong Jianga, Ping He, et al. Estimating soil nitrogen balance at regional scale in China's croplands from 1984 to 2014 [J]. *Agricultural Systems*, 2018, 167: 125-135.
- [4] 姜慧敏, 张建峰, 杨俊诚, 等. 施氮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 Huiming, ZHANG Jianfeng, YANG Juncheng, et al. Effect of nitrogen application mode on nitrogen absorption and utilization of tomato and accumulation of soil nitrate nitrogen [J]. *Journal of Agricultural Environmental Sciences*, 2009, 28 (12): 2623-2630.
- [5] 李若楠, 武雪萍, 张彦才, 等. 节水减氮对温室土壤硝态氮与氮

- 素平衡的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(4): 695-704.
- LI Ruonan, WU Xueping, ZHANG Yancai, et al. Effect of water saving and nitrogen reduction on nitrate nitrogen and nitrogen balance in greenhouse soil [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(4): 695-704.
- [6] 侯云鹏, 孔丽丽, 李前, 等. 滴灌施氮对春玉米氮素吸收、土壤无机氮含量及氮素平衡的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(1): 238-245.
- HOU Yunpeng, KONG Lili, LI Qian, et al. Effect of drip irrigation on nitrogen absorption, soil inorganic nitrogen content and nitrogen balance of spring maize [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32(1): 238-245.
- [7] 苏继霞, 王开勇, 费聪, 等. 氮肥运筹对滴灌甜菜产量、氮素吸收和氮素平衡的影响[J]. 土壤通报, 2016, 47(6): 1404-1408.
- SU Jixia, WANG Kaiyong, FEI Cong, et al. Effect of Nitrogen Application on yield, nitrogen absorption and nitrogen balance of drip irrigation beet [J]. *Soil bulletin*, 2016, 47(6): 1404-1408.
- [8] Zuliang Shi, Dandan Li, Qi Jing, et al. Effects of nitrogen applications on soil nitrogen balance and nitrogen utilization of winter wheat in a rice - wheat rotation [J]. *Field Crops Research*, 2012, 127: 241-247.
- [9] Yu Shi, Zhenwen Yu. Effects of nitrogen fertilizer rates and ratios of base and topdressing on wheat yield, soil nitrate content and nitrogen balance [J]. *Frontiers of Agriculture in China*, 2008, 2(2): 181-189.
- [10] Xiao Qia Yang, Hui Ling Mi, Han Yu Gao, et al. Effects of different cultivation patterns on yield, nitrate accumulation and nitrogen balance in winter wheat and summer maize rotation system [J]. *The journal of applied ecology*, 2016, 27(6): 1935-1941.
- [11] Jian Dai, Zhaoxue Wang, Fucui Li, et al. Optimizing nitrogen input by balancing winter wheat yield and residual nitrate - N in soil in a long - term dryland field experiment in the Loess Plateau of China [J]. *Field Crops Research*, 2015, 181: 32-41.
- [12] 张鹏飞, 张翼飞, 王玉凤, 等. 膜下滴灌氮肥分期追施量对玉米氮效率及土壤氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(4): 915-926.
- ZHANG Pengfei, ZHANG Yifei, WANG Yufen, et al. The effect of stage application amount of nitrogen fertilizer under mulch drip irrigation on nitrogen efficiency of maize and nitrogen balance of soil [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2018, 24(4): 915-926.
- [13] 石德杨, 张海艳, 董树亭. 土壤高残留氮条件下施氮对夏玉米氮素平衡、利用及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 37-44.
- SHI Deyang, ZHANG Heiyan, DONG Shuting. Effect of Nitrogen Application on nitrogen balance, utilization and yield of summer maize under the condition of high residual nitrogen in soil [J]. *Journal of plant nutrition and fertilizer*, 2013, 19(1): 37-44.
- [14] Kihara J, Bationo A. Mugendi D N, et al. Conservation tillage, local organic resources and nitrogen fertilizer combinations affect maize productivity, soil structure and nutrient balances in semi - arid Kenya [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2011, 90(2): 155-167.
- [15] 王新, 马富裕, 刁明, 等. 滴灌番茄临界氮浓度、氮素吸收和氮营养指数模拟[J]. 农业工程学报, 2013, 29(18): 99-108.
- WANG Xin, MA Fuyu, DIAO Ming, et al. Simulation of critical nitrogen concentration, nitrogen absorption and nitrogen nutrition index of drip irrigation tomato [J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2013, 29(18): 99-108.
- [16] 张坤, 刁明, 景博, 等. 不同灌水量和灌水频率对加工番茄根系生长和产量的影响[J/OL]. 排灌机械工程学报, 2018: 1-13.
- ZHANG Kun, DIAO Ming, JING Bo, et al. Effect of different irrigation amount and frequency on root growth and yield of processing tomato [J/OL]. *Journal of Drainage and Irrigation Mechanical Engineering*, 2018: 1-13.
- [17] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 冬小麦与夏玉米轮作体系中氮肥效应及氮素平衡研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1361-1368.
- JU Xiaotang, LIU Xuejun, ZHANG Fusuo. Nitrogen fertilizer effect and nitrogen balance in winter wheat and summer maize rotation system [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(11): 1361-1368.
- [18] Katsumi Ohta, Rintaro Makino. Stem direction affects the fruit yield, plant growth, and physiological characteristics of a determinate - type processing tomato (*Solanum lycopersicum* L.) [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 244(26): 102-108.
- [19] Michela Farneselli, Giacomo Tosti, Andrea Onofri, et al. Effects of N sources and management strategies on crop growth, yield and potential N leaching in processing tomato [J]. *European Journal of Agronomy*, 2018, 98: 46-54.
- [20] 李振华, 姜熙, 孟维忠, 等. 基于温室番茄生长、产量和品质确定适宜滴灌灌水下限与氮肥、钾肥施用量[J]. 中国农村水利水电, 2018, (2): 15-19.
- LI Zhenhua, JIANG Xi, MENG Weizhong, et al. Based on the growth, yield and quality of greenhouse tomato, determine the appropriate lower limit of drip irrigation and the application amount of nitrogen and potassium fertilizer [J]. *China Rural Water Conservancy and Hydropower*, 2018, (2): 15-19.
- [21] 张筱茜, 郭鹏飞, 张坤, 等. 滴灌频率和施氮量对番茄生长及硝酸还原酶的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2018, 36(1): 57-62.
- ZHANG Xiaolian, GUO Pengfei, ZHANG Kun, et al. Effects of drip irrigation frequency and nitrogen application on Tomato

- Growth and nitrate reductase [J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science Ed.)*, 2018, 36 (1): 57–62.
- [22] 王激清, 刘社平. 施氮量对番茄生长发育和氮肥利用率的影响[J]. *河南农业科学*, 2015, 44 (2): 94–97.
- WANG Jiqing, LIU Sheping. Effect of Nitrogen Application on Tomato Growth and nitrogen utilization [J]. *Henan Agricultural Sciences*, 2015, 44 (2): 94–97.
- [23] 郭鹏飞, 张筱茜, 韩文, 等. 滴灌频率和施氮量对温室西葫芦土壤水分、硝态氮分布及产量的影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32 (4): 109–114, 121.
- GUO Pengfei, ZHANG Xiaoqian, HAN Wen, et al. Effects of drip irrigation frequency and nitrogen application on soil moisture, nitrate nitrogen distribution and yield of Zucchini in greenhouse [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32 (4): 109–114, 121.
- [24] 张忠学, 陈鹏, 聂堂哲, 等. 不同水氮调控模式对稻田土壤氮素分布与有效性的影响[J]. *农业机械学报*, 2018, 49 (11): 210–219.
- ZHANG Zhongxue, CHEN Peng, NIE Tangzhe, et al. Effect of different water and nitrogen regulation modes on nitrogen distribution and availability in paddy soil [J]. *Journal of Agricultural Machinery*, 2018, 49 (11): 210–219.
- [25] 王小燕, 褚鹏飞, 于振文. 水氮互作对小麦土壤硝态氮运移及水、氮利用效率的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15 (5): 992–1002.
- WANG Xiaoyan, CHU Peifei, YU Zhenwen. The effect of water nitrogen interaction on the transport of nitrate nitrogen and the utilization efficiency of water and nitrogen in wheat soil [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2009, 15 (5): 992–1002.
- [26] 梁运江, 依艳丽, 许广波, 等. 水肥耦合效应对保护地土壤硝态氮运移的影响[J]. *农村生态环境*, 2004, (3): 32–36.
- LIANG Yunjiang, YI Yanli, XU Guangbo, et al. Effect of water and fertilizer coupling on Nitrate–N transport in protected soil [J]. *Rural Ecological Environment*, 2004, (3): 32–36.
- [27] 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.
- HUANG Wujing, DENG Limei, XIA Jianguo, et al. Transport and distribution characteristics of soil nitrate nitrogen under drip irrigation and fertilization in greenhouse [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2017, 36 (12): 42–48.
- [28] 薛亮, 马忠明, 杜少平. 水氮耦合对绿洲灌区土壤硝态氮运移及甜瓜氮素吸收的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20 (1): 139–147.
- XUE Liang, MA Zhongming, DU Shaoping. Effect of water nitrogen coupling on soil nitrate transport and melon nitrogen absorption in Oasis Irrigation Area [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20 (1): 139–147.
- [29] Shuailin Li, Shuo Wang, Zhouping Shangguan. Combined biochar and nitrogen fertilization at appropriate rates could balance the leaching and availability soil inorganic nitrogen [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2019, 276: 21–30.
- [30] 董强, 吴得峰, 党廷辉, 等. 黄土高原南部不同减氮模式对春玉米产量及土壤硝态氮残留的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23 (4): 856–863.
- DONG Qiang, WU Defeng, DANG Tinghui, et al. Effects of different nitrogen reduction models on Spring Maize Yield and soil nitrate nitrogen residue in the south of the Loess Plateau [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23 (4): 856–863.
- [31] 杜军, 杨培岭, 李云开, 等. 基于水量平衡下灌区农田系统中氮素迁移及平衡的分析[J]. *生态学报*, 2011, 31 (16): 4549–4559.
- DU Jun, YANG Peiling, LI Yunkai, et al. Analysis of nitrogen transfer and balance in irrigation system based on water balance [J]. *Journal of Ecology*, 2011, 31 (16): 4549–4559.
- [32] 王士红, 杨中旭, 史加亮, 等. 增密减氮对棉花干物质和氮素积累分配及产量的影响[J/OL]. *作物学报*: 1–14.
- WANG Shihong, YANG Zhongxu, SHI Jialiang, et al. Effects of density and nitrogen reduction on dry matter, nitrogen accumulation, distribution and yield of cotton [J/OL]. *Acta Crop*: 1–14.
- [33] Asif Ameen, Jintong Liu, Lipu Han, et al. Effects of nitrogen rate and harvest time on biomass yield and nutrient cycling of switchgrass and soil nitrogen balance in a semiarid sandy wasteland [J]. *Industrial Crops & Products*, 2019, 136: 1–10.
- [34] 张彬, 魏文武. 不同供氮量对水稻土壤无机氮残留、氮平衡及产量的影响[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2019, 50 (4): 566–570, 660.
- ZHANG Bin, WEI Wenwu. Effect of different nitrogen supply on inorganic nitrogen residue, nitrogen balance and yield of rice soil [J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science EL.)*, 2019, 50 (4): 566–570, 660.



## Effects of Different Nitrogen Application Rates on the Growth of Processing Tomato and Nitrogen Balance in Soil

JING Bo<sup>1,2</sup>, NIU Ning<sup>1,2</sup>, ZHANG Wenlong<sup>1</sup>, DIAO Ming<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi Xinjiang 832003, China; 2. Key Laboratory of Cultivation Physiology and Germplasm Resources Utilization of Featured Fruits and Vegetables of Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi Xinjiang 832003, China )

**Abstract:** **[Objective]** To study the effects of different nitrogen application on growth and soil nitrogen balance of processed tomato. **[Methods]** Based on the critical nitrogen concentration model, four treatments, no nitrogen ( $N_0$ ), 200 kg / hm<sup>2</sup> ( $N_1$ ), 300 kg / hm<sup>2</sup> ( $N_2$ ) and 400 kg / hm<sup>2</sup> ( $N_3$ ), were used to study the effects of different nitrogen application rates on the growth of processing tomato and the transport and balance of soil nitrogen. **[Results]** The results showed that: (1) in the seedling stage, there was no significant difference in the growth of processing tomato between the treatments; after fruit setting stage,  $N_2$  treatment could effectively promote the growth of processing tomato compared with other treatments. In 2018, the plant height of processing tomato under  $N_2$  treatment in red ripening stage was 85.5 cm, significantly higher than that of other treatments. In the same period, the stem diameter under  $N_2$  treatment was 18.40 mm, significantly higher than that under  $N_0$  treatment, but there was no significant difference with other nitrogen treatment, and the same trend was observed in 2019. (2) The soil nitrate nitrogen of each treatment mainly distributed in 20–40 cm soil layer, and the content of nitrate nitrogen in each soil layer with the increase of nitrogen application amount; in 2018, the nitrate nitrogen content of  $N_3$  treatment in seedling pulling period mainly remained in the soil layer below 40 cm, accounting for 54.72% of the total nitrate nitrogen content, and there the same trend in 2019, with a high risk of leaching; the distribution of soil nitrate nitrogen under  $N_2$  treatment relatively balanced, which effectively reduce the residual nitrogen in the soil and improve the utilization rate of nitrogen. (3) The surplus of nitrate nitrogen in the soil profile increased with the increase of nitrogen application amount; the nitrogen in  $N_0$ ,  $N_1$  and  $N_2$  treatment mainly brought out of the soil by the way of crop absorption, and the nitrogen in  $N_3$  treatment was mainly left in the soil;  $N_1$  treatment could reduce the residual amount of nitrogen in the soil, but also reduce the utilization rate of nitrogen.  $N_2$  treatment was conducive to improving the apparent utilization rate of nitrogen and reducing the nitrogen surface  $N_3$  treatment promoted the absorption of nitrogen, but increased the residue of nitrogen in the soil and reduced the nitrogen utilization rate. **[Conclusion]** Under the nitrogen operation plan based on the critical nitrogen concentration model of processing tomato, during the seedling stage of processing tomato, 44 kg / hm<sup>2</sup> nitrogen reduction and fertilization can be applied according to  $N_1$  treatment in production. After the flowering stage, 234 kg / hm<sup>2</sup> nitrogen operation plan can promote plant growth, and the nitrogen residue in soil is relatively small, which ensures high nitrogen utilization rate and economic benefit.

**Key words:** process tomato; nitrogen management; nitrogen accumulation; soil nitrate – nitrogen; soil nitrogen balance

**Fund project:** Supported by the Key Project of National Spark Program (2015GA891008); S & T Research Project of Shihezi University (CGZH201803)

**Correspondence author:** DIAO Ming (1968 –), male, born in Turpan, Xinjiang, Professor, mainly engaged in the research of physiological ecology and information agriculture of horticultural crops, (E-mail) diaoming@shzu.edu.cn