

氮肥施用量对设施番茄氮素利用 及土壤 NO_3^- -N 累积的影响

张学军^{1,2}, 赵 营², 陈晓群², 吴礼树¹, 胡承孝¹

(1. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070; 2. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 宁夏 750002)

摘要 在宁夏引黄灌区滴灌条件下,以温棚番茄为研究对象,采用田间试验与室内分析的方法,研究不同施氮量对番茄产量、氮素利用率及土壤 NO_3^- -N 残留的影响,并对土壤-番茄体系的氮平衡进行了表观评估。试验结果表明 2004 年秋冬茬番茄,施用氮肥显著增加了当茬番茄果实、植株产量(增产幅度 19.9% ~ 29.6%)及地上部总吸氮量(204 ~ 232.6 kg/hm²)。2005 年冬春茬番茄,与空白处理产量相比(106 kg/hm²)只有 N₂₀₀ 处理的果实增产达显著水平(120 kg/hm²)。两季番茄的氮肥利用率都随氮肥施用量的增加而明显降低(3.3% ~ 10.9%)。2004 年秋冬茬番茄收获后,表层 0 ~ 30 cm 的 NO_3^- -N 大量累积(200 ~ 650 kg/hm²),其累积量随施氮量增加呈增加的趋势。经过 2005 年冬春茬番茄种植后,上茬 0 ~ 30 cm 土层 NO_3^- -N 向下有淋失的趋势,淋失层次主要在 90 cm 以上的土体(250 ~ 380 kg/hm²)。综合考虑番茄果实产量、氮肥利用率及土壤 NO_3^- -N 残留等因素,秋冬茬番茄推荐氮肥用量在 100 ~ 200 kg/hm² 和适量的磷钾肥配施作为当茬氮肥优化管理处理。而冬春茬番茄氮肥推荐在 200 ~ 400 kg/hm² 范围可以满足当茬番茄对氮肥的需求。

关键词 滴灌; 番茄; 氮素利用; NO_3^- -N 累积

文章编号: 1000-0933 (2007) 09-3761-08 中图分类号: Q142 S154.1 文献标识码: A

Nitrogen fertilizer effects on N recovery and residual soil NO_3^- -N for greenhouse-grown tomato

ZHANG Xue-Jun^{1,2}, ZHAO Ying², CHEN Xiao-Qun², WU Li-Shu¹, HU Cheng-Xiao¹

1 College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

2 Institute of Agricultural Resources and Environment of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (9) 3761 ~ 3768.

Abstract : A greenhouse experiment for double-cropping tomato was carried out with drip irrigation in the Yellow River irrigation area of Ningxia to determine the effects of N fertilizer rate on tomato yield, apparent N recovery and soil NO_3^- -N accumulation, and to analyze N balance in the tomato crop-soil system. Both yields (fruits + stems) and the aboveground N uptake increased significantly (204 — 232.6 kg/hm²) with N application for autumn-winter tomato in 2004, but only the treatment at N₂₀₀ showed higher fruit yields (120 kg/hm²) for winter-spring tomato in 2005, as compared with the control treatment (106 kg/hm²). The apparent N recovery by tomato plants decreased (3.3% — 10.9%) with increasing N rate for both seasons. The residual NO_3^- -N in the topsoil (0 — 30 cm) was high (200 — 650 kg/hm²) after autumn-winter

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (40261007); 宁夏回族自治区自然科学基金资助项目 (ZD3)

收稿日期 2007-01-23; 修订日期 2007-06-19

作者简介 张学军 (1965 ~), 男, 宁夏银川人, 博士生, 副研究员, 主要从事土壤养分高效利用与土壤-植物系统中氮素行为研究. E-mail: zhxjun2002@163.com

Foundation item The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40261007)

Received date 2007-01-23; **Accepted date** 2007-06-19

Biography ZHANG Xue-Jun, Ph. D. candidate, Associate professor, mainly engaged in utilizing efficiency of soil nutrition technology and behavior of nitrogen in the soil-plant system. E-mail zhxjun2002@163.com.

tomato harvest in 2004 , especially increased with increasing N rate. The $\text{NO}_3^- \text{-N}$ in the top 30 cm layer tended to move downward to the above 90 cm layer (250 — 380 kg/hm^2) after winter-spring tomato harvest in 2005. The fertilizer N rates for getting high tomato fruit yield and N recovery , but low residual soil $\text{NO}_3^- \text{-N}$ should be optimized at a range of 100 — 200 kg N/hm^2 for the autumn-winter tomato and 200 — 400 kg N/hm^2 for the winter-spring tomato , respectively.

Key Words : drip irrigation ; tomato ; apparent N recovery ; $\text{NO}_3^- \text{-N}$ accumulation

宁夏大棚蔬菜的研究与推广应用已有 20 多年的历史 , 2005 年蔬菜种植面积增加到 $6.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 其中设施蔬菜将达到 $2.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 日光温室面积 $6.67 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。目前 , 宁夏在施肥中存在的主要问题包括肥料施用量超过了蔬菜生长需要、施肥结构不合理、追肥方式不合理等 ; 不合理施肥带来了巨大的经济损失和环境风险^[1]。

滴灌是 20 世纪 70 年代起逐步发展起来的一项先进的灌溉技术 , 而滴灌施肥技术是将滴灌和施肥结合在一起 , 方便地实现分次施肥 , 不仅达到了良好的节水节肥效果 , 也适合控制根层土壤中的无机氮含量^[2] , 滴灌施肥还可以控制灌溉强度的入渗速度 , 减轻氮肥淋洗对环境污染^[3]。国内外利用滴灌系统在作物施肥方面做了很多研究 , Bresler , Bar 和 Haynes 等^[4~6]人研究指出水肥同步可以达到高产、优质和提高水肥利用率的功效。与沟灌施肥方式相比 , 滴灌具有明显的节水作用 , 但土壤基础肥力高时 , 滴灌施肥并没有表现出显著的增产效应^[7]。滴灌施肥条件下不同种类氮肥的淋失程度不同 , 通常硝态氮肥 > 尿素 > 铵态氮肥^[8]。在合理灌溉的基础上进行氮素推荐^[9] , 可有效地降低菠菜地土壤无机氮残留量 , 减少其淋失的可能。

蔬菜是应用滴灌面积较广泛一类作物 , 约占世界滴灌面积的 16%^[10]。番茄是温棚蔬菜中最具代表性的一种 , 研究其在滴灌条件下的施肥量具有十分重要的意义。Padopouldousl 等对蕃茄进行了滴灌施肥试验 , 得到了作物根部营养物浓度和吸收率之间的关系和黄瓜和蕃茄高产的最优施氮浓度^[2, 11]。本文在宁夏引黄灌区温棚滴灌条件下 , 选择具有代表性的番茄为研究对象 , 通过采用田间试验与室内分析的方法 , 从氮素管理的角度 , 研究不同施氮量中的氮素利用及其对土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 残留的影响 , 为滴灌施肥中的氮肥推荐提供科学的施肥依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2004 年 8 月至 2005 年 5 月在宁夏银川市郊区扬家寨三队的温棚进行。该地土壤类型为灌淤土 , 0 ~ 30 cm 土壤有机质平均含量为 19.23 g/kg , 全氮含量为 1.52 g/kg , 硝态氮、速效磷和速效钾含量分别为 4.04、184.04、265.58 mg/kg 。

秋冬茬番茄试验 , 设置 6 个处理 : CK (不施肥) 、OM (有机肥) 、 $\text{N}_0 + \text{OM}$ 、 $\text{N}_1 + \text{OM}$ 、 $\text{N}_2 + \text{OM}$ 、 $\text{N}_3 + \text{OM}$ 。根据调查资料^[1] , OM 处理有机肥用量以农户习惯施肥的 18000 kg/hm^2 为准 ; 其中 N_2 为农民的传统施氮量 , 而 N_3 为增氮处理 , 评价增施氮量对番茄产量和对环境有无影响 ; N_1 为减氮处理 , 评价减少施氮量对番茄产量和对环境有无影响 ; 氮肥 10% 基施 , 90% 在番茄生育期间分数次追施 (见表 1) 。各施氮肥处理的磷、钾肥用量相同 , 分别为 P_2O_5 300 kg/hm^2 和 K_2O 750 kg/hm^2 , 全部磷肥和有机肥基施 , 30% 钾肥基施 , 70% 钾肥于生育期间数次追施 , 追施时间与氮肥一致。氮肥品种为尿素 (N 46%) , 磷肥品种为普通过磷酸钙 (P_2O_5 12%) , 钾肥为硫酸钾 (基施 K_2O 33%) 和硝酸钾 (追施 K_2O 37% , N 含量很低仅 0.82% 忽略不计) 。

2005 年冬春茬番茄试验是在 2004 年试验的基础上定点继续进行连作 , 根据当地冬春茬不施有机肥的习惯 , 有机肥处理作为参比对照以观察有机肥的后效及其对土壤氮磷钾和番茄产量的影响 ; 在 2004 年试验结果基础上设置 6 个处理 : CK (不施肥) 、OM、0.5 N_1 、 N_1 、1.5 N_1 、 N_2 。其中 N_2 为农民的传统施氮量 , 评价传统施氮量对产量和环境的影响 ; 0.5 N_1 、 N_1 、1.5 N_1 用以评价降低传统施氮量的可能性 , 评价减少施氮量对番茄产量和对环境有无影响 ; 氮磷、钾肥施用量、施用方式和品种同 2004 年试验相同。

每个小区面积 4 m × 6.5 m = 26 m² ,重复 3 次 ,随机区组排列。

表 1 2004 ~ 2005 年番茄试验氮肥基追肥量和追肥时间

Table 1 Time and amount of N fertilizer for basal and topdressing fertilizer in 2004 and 2005 tomato experiments

处理 Tereatment	基肥 Basal N (N kg/hm ²)	追肥日期与追肥量 (月-日 ,N kg/hm ²) Time and amount of topdressing (month-day , kg/hm ²)						总追肥
								Total topdressing
		09-21	10-04	10-10	10-15	11-05	11-19	(N kg/hm ²)
2004 年秋冬茬番茄 Autumn-winter tomato 2004								
N ₀ + OM	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₁ + OM	40	60	60	60	60	60	60	360
N ₂ + OM	80	120	120	120	120	120	120	720
N ₃ + OM	120	180	180	180	180	180	180	1080
处理 Tereatment	基肥 Basal N (N kg/hm ²)	追肥日期与追肥量 (月-日 ,N kg/hm ²) Time and amount of topdressing (month-day , kg/hm ²)						总追肥
								Total topdressing
		03-08	03-23	04-01	04-12	04-20	05-02	(N kg/hm ²)
2005 年冬春茬番茄 Winter-Spring tomato 2005								
0.5N ₁	20	30	30	30	30	30	30	180
N ₁	40	60	60	60	60	60	60	360
1.5N ₁	60	90	90	90	90	90	90	540
N ₂	80	120	120	120	120	120	120	720

有机肥干基折 The dry content of organic manure N 1.28%、P₂O₅ 1.62%、K₂O 2.42%

1.2 样品采集与测定

1.2.1 样品采集、样品测定方法

土样采用土钻法 ,在试验前取基础土样 ,采样测定不同土层的土壤 N_{min} 含量 (分 0 ~ 30cm ,30 ~ 60cm 和 60 ~ 90cm、90 ~ 120cm、120 ~ 150cm、150 ~ 180cm 的土层) ,以及 0 ~ 30cm 土壤表层有机质、全磷、全钾、速效磷、速效钾等土壤基本理化性状。分别在每茬番茄种植前和收获后 ,按 0 ~ 30 cm、30 ~ 60 cm、60 ~ 90 cm、90 ~ 120 cm、120 ~ 150 cm 和 150 ~ 180 cm 不同土层取 0 ~ 180 cm 土层土样 ,每小区取 3 ~ 5 个样点。土壤无机氮 (N_{min} ,包括 NH₄⁺ -N 和 NO₃⁻ -N)采用 0.1mol/L CaCl₂ 浸提 ,浸提液冰冻然后上连续流动分析仪 (TRAACS2000)测定。土壤有机质采用 -重铬酸钾法、土壤全氮采用 H₂SO₄ -H₂O₂ 消煮 ,凯式定氮法测定、土壤水分含量采用重量 -烘干法、土壤全磷、速效磷采用 -钼锑抗比色法 ,土壤全钾、速效钾采用火焰光度法测定。种植前用重量法测定 0 ~ 180 cm 土层的土壤容重 ,以土壤容重折算土壤 NH₄⁺ -N 和 NO₃⁻ -N 的累积量 ,二者之和即为 N_{min} 值。

番茄挂果成熟至收获期间 ,详细记录各次收获的果实鲜重 ,所有收获果实产量之和为最终产量 (鲜重) 。于生育后期取果实样品 ,测定果实含水量以折算果实干生物量。果实样品烘干后磨碎 ,混合均匀并过 0.5 mm 筛 ,阴凉干燥处密封保存。地上部茎、叶部分于蔬菜收获期 ,分成茎、叶柄和叶片三部分取样 ,每小区 8 株 ,切碎烘干后粉碎 ,并混合均匀 ,过 0.5 mm 筛 ,阴凉干燥处密封保存。所有植物样品均测定其鲜重和烘干重 ,并计算其水分含量以折算地上生物量。植株样用浓 H₂SO₄ -H₂O₂ 消解 ,然后用凯氏法测定全 N 含量。

番茄生长期间 ,每隔 1 个月左右取一次灌溉水样 ,过滤后于 - 20℃ 保存 ,用连续流动分析仪 (TRAACS2000)测定其无机氮含量。同时记录每次灌溉时间和灌溉量 ,并计算通过灌溉形式的氮素携入量。

2004 年秋冬茬和 2005 年冬春茬 ,番茄全生育期的滴灌水量分别为 222.4、266.5mm 各生育期的滴灌量动态如图 1 所示。

1.2.2 有关指标计算方法

氮肥利用率 (%) = (施氮区吸氮量 - 无氮区吸氮量) / 施氮量 × 100

表观残留 N_{min} (kg/hm²) = 土层厚度 (cm) × 土壤容重 (g/cm³) × N_{min} 浓度 (mg/kg) / 10

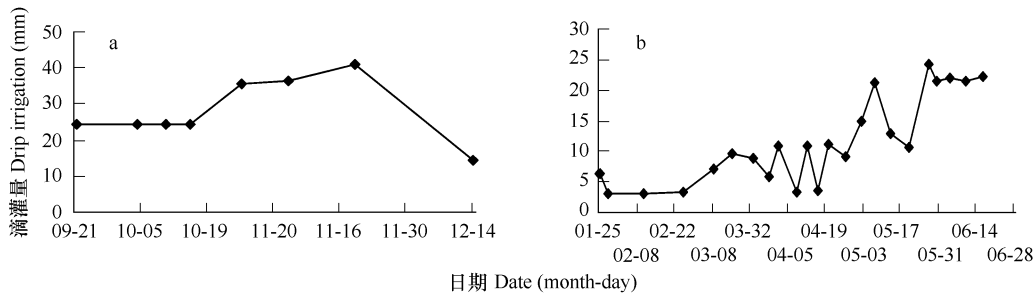


图1 番茄全生育期滴灌量动态

Fig. 1 Drip irrigation amount during tomato growing stage

左、右图分别为 2004 年秋冬茬和 2005 年冬春茬番茄,下同 Left and right figures represented for autumn-winter season tomato in 2004 and winter-spring season tomato in 2005 , respectively. the same below

氮表观损失 = (有机肥氮输入 + 氮肥输入 + 土壤初始无机氮) - (作物吸收 + 土壤残留无机氮)

植株吸氮量包括果实、茎秆和叶片 3 部分 氮素的矿化是根据不施氮区作物吸氮量与试验前后土壤无机氮的净变化来加以估计的 ,不考虑氮肥的激发效应 ,假定施肥处理的土壤氮矿化量与不施氮区相同。文中数据均采用 Excel 和 DPS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 滴灌条件下不同施氮量对番茄产量及氮肥利用率的影响

从表 2 可看出 ,单施有机肥时 ,番茄果实产量并没有明显增加 ,当茬不施氮处理 ($N_0 + OM$) ,果实产量依然能保持很高的水平 ,比 CK 增产 27.4% ;传统施氮处理并没有大幅度提高果实产量 ,与 $N_0 + OM$ 处理相比仅增产 1.9% ,而减氮各处理与传统施氮处理产量相当 ,增产幅度在 19.9% ~ 29.6% ; $N_1 + OM$ 、 $N_2 + OM$ 和 $N_3 + OM$ 处理相对于 CK ,茎叶产量都显著增加 1 倍左右。这说明在温室蔬菜中每年每茬大量施用氮肥和有机肥 ,造成土壤基础肥力很高 ,氮肥的增产效应很低。化肥和有机肥的配施也显著增加了番茄地上部总吸氮量 ,以 $N_0 + OM$ 最高 ,达 232.6 kg/hm²。氮肥利用率随施氮量的增加而降低。有研究表明^[12] ,氮肥施用也会影响硝态氮在番茄果实的累积 ,适量有机肥与无机肥配合施用大多数可等量无机肥的蔬菜硝盐含量下降 ,单独施有机肥用量 ,会使蔬菜的硝酸盐含量超标。因此 ,综合考虑果实产量、氮肥利用率及硝酸盐污染等因素 ,减量施氮是切实可行的。

表 2 2004 年秋冬茬番茄产量、吸氮量及氮肥利用率

Table 2 The yield , total N uptake and apparent N recovery of autumn-winter season tomato in 2004

处理 Treatment	果实产量 Fruit yield (t/hm ²)	茎叶产量 Stem and leaf yield (t/hm ²)	总吸氮量 Total N uptake (kg/hm ²)	氮肥利用率 N use efficiency (%)
CK	97.28 b	1.21 d	138.1 b	
OM	98.51 b	2.07 c	169.4 b	
$N_0 + OM$	123.95 a	2.69 ab	232.6 a	
$N_1 + OM$	116.65 a	2.30 bc	204.0 a	16.5
$N_2 + OM$	126.12 a	2.86 a	225.5 a	10.9
$N_3 + OM$	125.83 a	2.90 a	213.7 a	6.3

同一列数据不同字母代表差异达 5% 显著水平 ,下同 The values in the same line without same letter show significant difference at 5% level , the same below

在保证果实产量的情况下 ,为了验证减量施氮的可能 ,对 2005 年冬春茬番茄高氮处理进行了减氮 (表 3) 。结果表明 ,单施有机肥的处理后效也表现较明显 ,果实产量与地上部总吸氮量与 CK 差异显著 ,番茄果实产量比 CK 增产 7.5% ,而茎叶产量之间均没有显著差异 ;减量施氮的各处理中只有 0.5 N_1 处理的果实增产达

显著水平 ,茎叶产量之间均没有显著差异 ,地上部总吸氮量和氮肥利用率也以 0.5N₁ 处理最高 ,分别为 251 kg/hm²和 17.3%。氮肥用量在 400 kg/hm²以上时 ,番茄地上部对当茬氮肥的吸收利用率都在 8.8% 以下 ,且随氮肥施用量的增加而明显降低。以上数据进一步说明 ,当季大量施用氮肥对番茄产量、总吸氮量和氮肥利用率影响不大 ,施肥效果不明显 ,番茄土壤自身供氮量 (参见本文氮平衡部分)已经远远超出其地上部对氮素的需求 ,因此土壤自身仍有很强的缓冲能力 ,氮肥的增产效应不能表现出来。这也说明在滴灌条件下 ,只有在单施有机肥或少量氮肥 (<100 kg N/hm²) 情况下 ,就能够满足蔬菜的正常生长和保证一定的产量。因此在当地的土壤肥力条件下 ,减少施氮量并不影响产量 ,而且是切实可行的。

表 3 2005 年冬春茬番茄产量、吸氮量及氮肥利用率

Table 3 The yield , total N uptake and apparent N recovery of winter-spring season tomato in 2005

处理 Treatment	果实产量 Fruit yield (t/hm ²)	茎叶产量 Stem and leaf yield (t/hm ²)	总吸氮量 Total N uptake (kg/hm ²)	氮肥利用率 N use efficiency (%)
CK	106 b	2.85 a	187 b	
OM	114 ab	3.32 a	216 ab	
0.5N ₁	120 a	3.64 a	251 a	32.0
N ₁	109 ab	3.43 a	222 ab	8.8
1.5N ₁	117 ab	2.58 a	207 ab	3.3
N ₂	105 b	2.48 a	180 b	-0.9

2.2 滴灌条件下不同施氮量对番茄氮平衡的影响

土壤-作物氮平衡是评价氮肥合理施用与否的关键 ,也是氮肥优化管理技术的重要手段。因此 ,根据 2004 年秋冬茬和 2005 年冬春茬番茄的氮输入和输出项 ,评估了两茬土壤-作物体系下的氮平衡 (表 4 和表 5)。在评估氮表观平衡时 ,将土层定义在 0~60 cm 范围内 ,即番茄地上部吸收利用的主要土层范围。

表 4 不同施氮处理对 2004 年秋冬茬番茄氮平衡的影响 (0~60 cm)

Table 4 Effect of N rate on N balance of autumn-winter season tomato in 2004

项目 Item	处理 Treatment					
	CK	OM	N ₀ + OM	N ₁ + OM	N ₂ + OM	N ₃ + OM
A 氮输入 Nitrogen input (kg/hm ²)						
(1)施氮量 Nitrogen fertilizer ratio	0	230.4	230.4	630.4	1030.4	1430.4
(2)播前 N _{min} N _{min} before sowing	69.6	69.6	69.6	69.6	69.6	69.6
(3)矿化 Net mineralization	283.9	283.9	283.9	283.9	283.9	283.9
(4)灌溉水 Irrigation	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2
总投入 Total input (1)+(2)+(3)+(4)	431.7	662.1	662.1	1062.1	1462.1	1862.1
B 氮输出 Nitrogen output (kg/hm ²)						
(5)果实吸收 Fruit uptake	110.1	122.3	168.4	149.6	153.4	134.9
(6)植株吸收 Stems uptake	28.0	47.1	64.1	54.5	72.1	78.8
(7)残留 N _{min} Reside N _{min}	293.6	454.1	291.2	954.7	633.9	792.6
(8)表观损失 Apparent losses		38.6	138.4	-96.7	602.7	855.8
氮赢余 Nitrogen Surplus (7)+(8)	293.6	492.7	429.6	858.0	1236.6	1648.4

从表 4 可以看出 ,施氮量和土壤净矿化氮量在氮输入项中起重要作用 ,当茬土壤净矿化氮量可达 283.9 kg/hm² ,2004 年秋冬茬番茄的总输入氮量随着氮肥施用量的增加而增加。播前土壤 N_{min} 与生育期内氮素净矿化量之和就高达 353.5 kg/hm² ,已经远远超过了当茬番茄地上部对氮素的需求 (138.1~232.6 kg/hm²) ,施肥的增产效应并不能显著地显现出来。而施肥造成的氮素盈余在 293.6~1648.4 kg/hm² 之间 ,尤其是硝态氮的大量残留 ,增加了其向下淋洗或硝化-反硝化损失的可能 ,对环境产生污染。有机肥对土壤硝态氮累积的影响和对地下水的潜在威胁不容忽视^[3] ,而增施磷肥促进了作物对氮素的吸收和对水分的利用 ,有效地降低了

土壤中 NO_3^- -N 的累积^[14]。因此可以考虑在当地土壤肥力条件下,在有机肥和磷钾肥配施基础上,减少氮肥的施用是完全切实可行的,可以保证番茄较高产量的同时,同时减少氮素损失的可能。

表 5 不同施氮处理对 2005 年冬春茬番茄氮平衡的影响 (0~60 cm)
Table 5 Effect of N rate on N balance of winter-spring season tomato in 2005

项目 Item	处理 Treatment					
	CK	OM	0.5N ₁	N ₁	1.5N ₁	N ₂
A 氮输入 Nitrogen input (kg/hm ²)						
(1)施氮量 Nitrogen fertilizer ratio	0	0	200	400	600	800
(2)播前 N _{min} N _{min} before sowing	293.6	454.1	291.2	954.7	633.9	792.6
(3)矿化 Net mineralization	-158.7	-158.7	-158.7	-158.7	-158.7	-158.7
(4)灌溉水 Irrigation	97.7	97.7	97.7	97.7	97.7	97.7
总投入 Total input (1)+(2)+(3)+(4)	232.6	393.1	430.2	1293.7	1172.9	1531.6
B 氮输出 Nitrogen output (kg/hm ²)						
(5)果实吸收 Fruit uptake	119.1	141.2	163.8	140.5	142.0	112.3
(6)植株吸收 Stems uptake	68.0	75.0	86.9	81.8	65.0	67.3
(7)残留 N _{min} Reside N _{min}	45.5	61.5	130.0	498.2	442.1	728.5
(8)表观损失 Apparent losses		115.4	49.5	573.2	523.8	623.5
氮盈余 Nitrogen Surplus (7)+(8)	45.5	176.9	179.5	1071.4	965.9	1352

由于 2004 年冬春茬番茄收后,硝态氮在土壤中的大量残留,为减少氮素损失,对 2005 年冬春茬番茄的施肥量进行了下调,同时根据当地施肥习惯和考虑到有机肥的后效,冬春茬番茄不再施用有机肥。由表 5 可看出,在氮输入项中,施氮量和播前土壤 N_{min} 残留起重要作用,总输入氮量随着氮肥施用量的增加而增加。值得注意的是,番茄土壤氮素的净矿化量为负值,说明当茬以土壤氮素的固定为主。日光温室番茄生产系统中,表观氮素损失随施氮量增加而增加,在总氮素供应水平在 200~800 kg/hm² 之间时,氮素表观损失量与总氮素供应水平正相关^[15],本试验有类似的研究结果,尽管本茬番茄施氮量都有所下调,但其当茬番茄地上部对氮素的需求并没有降低 (187.1~249.7 kg/hm²)。因此,在前茬高 N 量的条件下,减少氮肥用量有利于提高作物的氮肥利用率、减少 N 残留与表观损失^[16]。0.5N₁ 处理的地上部果实和植株的吸氮量很高,而且果实增产达显著水平,但其 0~60 cm 土壤硝态氮残留量依然高达 130 kg/hm²,仍存在减量施氮的可能,所以氮肥施用量应控制在 200 kg/hm² 以下为宜。

2.3 不同施氮处理对土壤 NO₃⁻-N 含量的影响

从图 2 看出,2004 年秋冬茬番茄收获后,不同施氮量对土壤 NO₃⁻-N 的残留量在 0~180 cm 土层范围内均有不同程度影响,总体随土层深度增加而呈降低的趋势。滴灌条件下水分从点水源进入土壤,然后向各个方向扩散,土壤类型、滴头流量和每次灌溉的水量等均会影响水分在土壤中的分布,而土壤 NO₃⁻-N 的分布与水分有很大关系^[17]。结合图 1、表 1 秋冬茬番茄施肥量和滴灌量,秋冬茬番茄收获后,土壤表层 0~30cm 土壤 NO₃⁻-N 残留最为明显,NO₃⁻-N 残留量在 200 kg/hm² 以上,施氮量越高残留量越高,最高达 650 kg/hm² 以上,这与李久生的研究结果相似^[18]。经过 2005 年冬春茬番茄种植后,0~30 cm 土层 NO₃⁻-N 残留量有所降低,但在土壤 60~90cm 层次中土壤 NO₃⁻-N 残留量比秋冬茬的有所增加,传统施氮量和部分减氮处理的土壤 NO₃⁻-N 残留在 250~380 kg/hm²,而 0.5N₁ 处理土壤 NO₃⁻-N 残留低于 100 kg/hm²。滴灌减少 NO₃⁻-N 向土壤中淋洗的机制是利用滴灌施肥技术创造适宜植物营养条件和土壤供水条件,依靠地上部良好的生长和地下部庞大的根系吸收 NO₃⁻-N。但在同一剖面土层内,施氮量高,其硝态氮残留量越高,随着冬春茬滴灌量的增加,尤其是在 5 月末和 6 月中旬,有两次很强的滴灌量 (图 1),使表层 NO₃⁻-N 向下淋洗,在滴灌条件下,氮素淋溶随滴灌量的增加而增加,尤其是以尿素-N 为主^[8]。其次,冬春茬日光温室温度与秋冬茬相比较,尿素-N 硝化速率高,也加速了土壤表层 NO₃⁻-N 向下淋洗,但由于滴灌量使表层 NO₃⁻-N 向下淋移有限的,因此土壤 NO₃⁻-N 淋

洗主要集中在 60 ~ 90 cm 范围内 ,但如果每年继续高量的施用化肥 ,滴灌量与施肥量不一致 ,将会进一步造成土壤 NO_3^- -N90 cm 以下土层淋失。

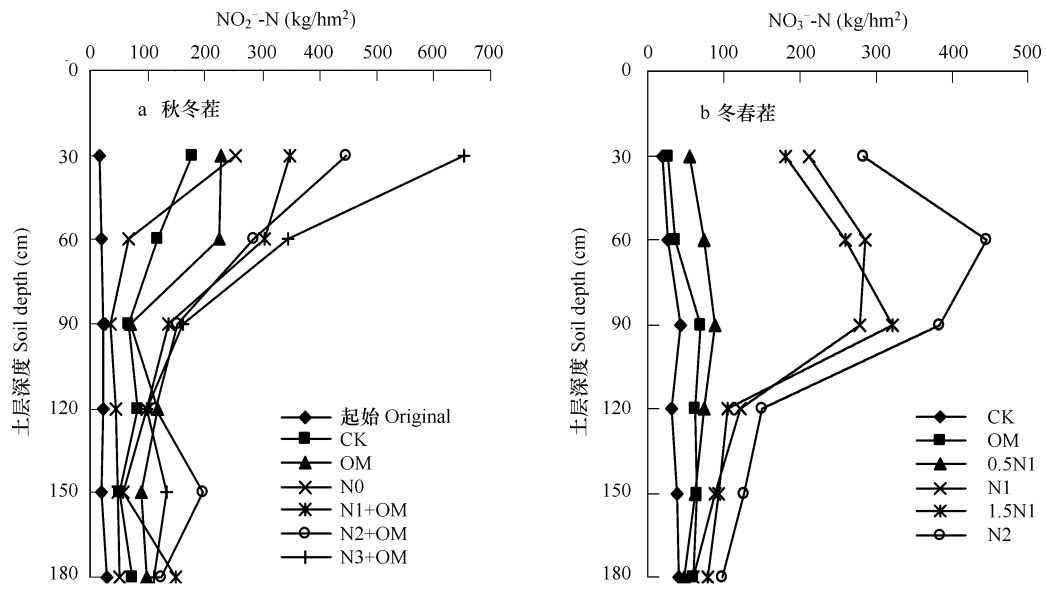


图2 不同施氮量对不同土层土壤 NO_3^- -N 残留的影响
Fig.2 Effect of N rate on NO_3^- -N accumulation with soil depth

3 结论

本文在宁夏引黄灌区滴灌条件下 ,采用田间试验和室内分析化验方法 ,通过氮素管理的方法 ,评价传统施氮量对产量和环境的影响 ,并结合当地土壤肥力条件 ,从蔬菜产量和土壤环境相结合的方法 ,得出以下结论 :

3.1 当地的土壤肥力条件下 ,2004 年秋冬茬番茄 ,施用氮肥显著增加了当茬番茄果实、植株产量 (增产幅度 19.9% ~ 29.6%)及地上部总吸氮量 (204 ~ 232.6 kg/hm^2)。2005 年冬春茬番茄 ,与空白处理产量相比 (106 kg/hm^2)只有 N_{200} 处理的果实增产达显著水平 (120 kg/hm^2)。两季番茄的氮肥利用率都随氮肥施用量的增加而明显降低 (3.3% ~ 10.9%)这说明减量施氮是切实可行的。

3.2 2004 年秋冬茬番茄收获后 ,表层 0 ~ 30 cm 的 NO_3^- -N 大量累积 (200 ~ 650 kg/hm^2) ,其累积量随施氮量增加呈增加的趋势 ,经过 2005 年冬春茬番茄种植后 ,上茬 0 ~ 30 cm 土层 NO_3^- -N 向下有淋失的趋势 ,淋失层次主要在 90 cm 以上的土体 (250 ~ 380 kg/hm^2)。

3.3 以氮平衡为主要手段 ,综合考虑番茄果实产量、氮肥利用率及土壤 NO_3^- -N 残留等因素 ,在磷钾肥的基础上 ,2004 年秋冬茬番茄推荐施氮量在 100 ~ 200 kg/hm^2 。2005 年冬春茬番茄氮肥施用量应控制在 200 ~ 400 kg/hm^2 范围内。

References :

[1] Zhang X J , Chen X Q , Wang L M , *et al.* Production of greenhouse vegetables and the policies and problems for fertilization in Ningxia . Ningxia Agriculture and Forestry Science , 2004 , 2 : 44 — 47.

[2] Papadopoulos I. Nitrogen fertigation of trickle irrigated potato. Fert. Res , 1988 , 16 : 157 — 167.

[3] Alva A , Parauasium S. Impact of nitrogen management practices on nutritional status and yield of Valencia groundwater nitrate , J. Environ. Qual. , 1998 , 27 (4) : 904 — 910.

[4] Bresler E. Tickle-drip irrigation , principle and application to soil-water management. Advances in Agronomy , 1977 , 29 : 343 — 393.

[5] Bar Y B. Advances in fertigation. Advances in Agronomy , 1999 , 65 : 1 — 77.

[6] Haynes R J. Principles of fertilizer use for trickle irrigated crops. Fertilizer Research , 1985 , 6 : 235 — 255.

[7] Bai Y A. Studies on nutrient uptake and nitrogen balance in protected-field tomato in Beijing suburb. Master Dissertation of China Agricultural

University ,2003 :25 — 35.

[8] Xi J G ,Zhou J B ,Zhao M X , *et al.* Leaching and transforming characteristics of different nitrogen fertilizers added by fertigation. Plant Nutrition and Fertilizer Science ,2004 ,10 (4) :337 — 342.

[9] Zhang H Y ,Chen Q ,Tang L L , *et al.* Comparison of conventional and recommended water and nitrogen practices on spinach growth and water and nitrogen usage , Plant Nutrition and Fertilizer Science ,2002 ,8 (1) :48 — 53.

[10] Zhou J B ,Chen Z J ,Li S X. Fertigation —— an efficient way to apply water and fertilizer . Agricultural Research in the Arid Area ,2001 ,19 (4) :16 — 21.

[11] Shrestha R K ,Ladha J K. Nitrate in groundwater and integration of nitrogen-catch crop in rice-sweet pepper cropping system ,Soil Science Society of America Journal ,1998 ,62 (6) :1610 — 1619.

[12] Li S Y ,Zheng H D ,Liao X R , *et al.* Relationship between the application rate of organic manure and content nitrate and heavy metals in vegetable. Ecology and Environment ,2005 ,14 (6) 307 — 311.

[13] Yuan X M ,Tong Y N ,Yang X Y , *et al.* Effect of organic manure on nitrate nitrogen accumulation. Soil and Environmental Sciences ,2000 ,9 (3) :197 — 200.

[14] Yuan X M ,Tong Y N ,Yang X Y , *et al.* Effect of phosphate application on soil nitrate nitrogen accumulation. Plant Nutrition and Fertilizer Science ,2000 ,6 (4) :397 — 403.

[15] Tang L L ,Chen Q ,Zhang F S , *et al.* Nitrogen topdressing and feedback control in greenhouse tomato . Plant Nutrition and Fertilizer Science ,2004 ,10 (4) :391 — 397.

[16] Liu X J ,Ju X T ,Zhang F S. Effect of reduced N application on N utilization and balance in winter wheat-summer maize cropping system ,Chinese Journal of Applied Ecology ,2004 ,15 (3) :458 — 462.

[17] Sharmasarkar F C ,Sharmasarkar S ,Zhang R ,Vance G F ,Miller S D ,Reddy M J. Modeling nitrate movement in sugar beet soils under flood and dirp irrigation. ICID Journal ,2000 ,49 (1) :43 — 54.

[18] Li J S ,Zhang J J ,Ren L. Nitrogen Distribution in Soil under Fertigation From a Point Source. Transaction of CSAE 2002 ,18 (5) :61 — 66.

参考文献：

[1] 张学军,陈晓群,王黎民,等. 宁夏大棚蔬菜生产现状及施肥中存在的问题和对策. 宁夏农林科技,2004 ,2 :44 ~ 47.

[7] 白优爱. 京郊保护地番茄养分吸收和氮素调控研究. 中国农业大学硕士论文 ,2003 25 ~ 35.

[8] 习金根,周建斌,赵满兴,等. 滴灌施肥条件下不同种类氮肥在土壤中迁移转化特性的研究. 植物营养与肥料学报 ,2004 ,10 (4) :337 ~ 342.

[9] 张宏彦,陈清,汤丽玲,等. 不同水氮管理对菠菜生长和水氮利用的影响. 植物营养与肥料学报 ,2002 ,8 (1) :48 ~ 53.

[10] 周建斌,陈竹君,李生秀. Fertigation——水肥调控的有效措施. 干旱地区农业研究 ,2001 ,19 (4) :16 ~ 21.

[12] 李淑仪,郑惠典,廖新荣,等. 有机肥施用量与蔬菜硝酸盐和重金属关系初探. 生态环境 ,2005 ,14 (6) 307 ~ 311.

[13] 袁新民,同延安,杨学云,等. 有机肥对土壤 NO₃⁻-N 累积的影响. 土壤与环境 ,2000 ,9 (3) :197 ~ 200.

[14] 袁新民,同延安,杨学云,等. 施用磷肥对土壤 NO₃⁻-N 累积的影响. 植物营养与肥料学报 ,2000 ,6 (4) :397 ~ 403.

[15] 汤丽玲,陈清,张福锁,等. 日光温室番茄的氮素追施与反馈调控. 植物营养与肥料学报 ,2004 ,10 (4) :391 ~ 397.

[16] 刘学军,巨晓棠,张福锁. 减量施肥对冬小麦-夏玉米种植体系中氮利用与平衡的影响. 应用生态学报 ,2004 ,15 (3) :458 ~ 462.

[18] 李久生,张建君,任理,灌溉点源施肥对土壤氮素分布影响的试验研究. 农业工程学报 ,2002 ,18 (5) :61 ~ 66.