

不同施氮模式对日光温室番茄产量、品质及土壤肥力的影响

姜慧敏^{1,2}, 张建峰^{1,2}, 杨俊诚^{1,2*}, 刘兆辉³, 宋效宗³, 江丽华³, 张相松³

(1 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2 农业部作物营养与施肥重点开放实验室, 北京 100081;

3 山东省农业科学院土壤肥料研究所, 山东济南 250100)

摘要: 在日光温室栽培条件下, 研究了不同施氮模式对番茄产量、品质及土壤肥力的影响。结果表明, 与当地习惯施肥模式(N1)相比, 分别减施化肥氮 26%(N2)、减施化肥氮 26% 结合调节土壤 C/N(N3)、减施化肥氮 26% 结合调节土壤 C/N 和采用滴灌(N4)、减施化肥氮 45% 结合调节土壤 C/N 和采用滴灌(N5)的集成模式对产量和品质无显著影响; 减氮模式下植物吸收的总氮量、氮素利用率和氮肥农学效率均高于习惯施肥模式, 其中 N5 模式的氮素利用率和氮肥农学效率显著高于 N1 模式 ($P < 0.05$), 说明减少化肥氮的施用量结合调节土壤 C/N 和/或滴灌措施能够保证番茄的产量和品质, 达到减肥增效的目的。结果还看出, 番茄拉秧后 0—100 cm 土层累积的硝态氮含量低于习惯施肥模式, 对 0—20 cm 表层土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量和土壤脲酶和蔗糖酶活性的影响不显著; 减氮条件下, N3 和 N5 模式土壤细菌/真菌比值高于 N1 模式。综上研究结果表明, N3 和 N5 两个集成模式具有明显优势。

关键词: 番茄; 日光温室; 施氮模式; 土壤肥力

中图分类号: S625.5⁺4

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2010)01-0158-08

Effects of different models of applying nitrogen fertilizer on yield and quality of tomato and soil fertility in greenhouse

JIANG Hui-min^{1,2}, ZHANG Jian-feng^{1,2}, YANG Jun-cheng^{1,2*}, LIU Zhao-hui³,

SONG Xiao-zong³, JIANG Li-hua³, ZHANG Xiang-song³

(1 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2 Ministry of Agriculture Key Laboratory of Crop Nutrition and Fertilization, Beijing 100081, China;

3 Soil and Fertilizer Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract: Continuously excessive nitrogen (N) input in greenhouse is one of the major problems in China, especially in Shouguang, Shandong province, a famous vegetable production base, and this led to deteriorate fertilization profit, product quality and soil quality, etc. Aiming at those problems, a field experiment was conducted to study the effects of different models of applying N fertilizer on yield and quality of tomato and soil fertility in greenhouse in Shouguang to provide better approaches and models to develop the sustainable utilization of soil. Compared with the local farmer's conventional model of applying N fertilizer (N1), the treatments of reducing 26% chemical N fertilizer (N2), reducing 26% chemical N fertilizer combined to adjust soil C/N ratio (N3), reducing 26% chemical N fertilizer combined to adjust soil C/N ratio and adopting drip irrigation measure (N4) and reducing 45% chemical N fertilizer combined to adjust soil C/N ratio and adopting drip irrigation measure (N5) respectively, could ensure the yield and quality of tomato. Total N uptake by plant, N use efficiency and N agronomic efficiency of the models to reduce N fertilizer application were higher than those

收稿日期: 2009-02-18 接受日期: 2009-06-09

基金项目: 国家重点基础研究发展规划“973”项目(2007CB109308); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2008-14); 农业部公益性行业科研专项“核技术农业应用”(20083034)资助。

作者简介: 姜慧敏(1980—), 女, 黑龙江哈尔滨人, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事土壤环境研究。E-mail: hmjiang@caas.ac.cn

* 通讯作者 Tel: 010-82106203, E-mail: jcyang@caas.ac.cn

本研究得到中国农业科学院土壤质量重点开放实验室的条件支持, 特此致谢。

of local farmer's, N5 treatment was significant higher in N use efficiency and N agronomic efficiency than N1 ($P < 0.05$). The results showed that reducing N fertilizer combined with soil C/N ratio adjustment and/or drip irrigation can reduce chemical N application, increase the yield and quality of tomato. The nitrate accumulation of the treatment of N3, N4 and N5 were lower than that of N1. During winter-spring season, there were no significant difference in the contents of soil alkali-hydrolysable N, available phosphorus (P) and available potassium (K) and in soil urease activity and invertase activity, however, soil bacterium/fungi (B/F) ratio was higher under the integration models of N3 and N5. The results of all the above-mentioned indicated that reducing N fertilizer combined with agronomic measures can reduce the waste of fertilizer resource and remit degeneration of the soil quality, without loss of yield and quality compared to farmer's conventional fertilization approach. Above all the results showed that the integration models of N3 and N5 have a promising future and can provide the basis of the theory for studying the reduction of N fertilizer application, ensuring high grade and yield of the vegetable and soil sustainable utilization.

Key words: tomato; greenhouse; models of applying nitrogen fertilizer; soil fertility

山东省寿光市是我国重要的日光温室生产基地^[1]。但是,在日光温室生产上还基本沿用盲目的水肥管理,不仅造成水资源和肥料的浪费,而且造成地下水硝酸盐污染等一系列新问题^[2-5]。据调查,该地生产一季番茄的氮肥投入高达 $N 1800 \text{ kg/hm}^2$,远远超过植物地上部带走的氮量,加之不合理的灌溉,对地下水的质质量明显构成威胁^[6]。由于养分投入过大、肥料利用率低、盐害滋生、土壤生物活性下降,而引起蔬菜产量、品质下降和土壤可持续生产能力低^[7];过量施肥,氮肥的当季利用率不到 10%^[8]。因此,如何改变传统的水氮管理方式,在保证农产品和环境安全的前提下做到合理有效地施用氮肥,促进设施蔬菜优质生产和可持续发展是当前我国设施蔬菜发展过程中亟待解决的问题。

滴灌具有节水、灌溉均匀、增产等优点^[9-10]。近年来,国内外对农作物的水肥耦合技术的研究证明^[11-14],养分和水分结合能有效提高水肥资源的利用率,但研究多集中于肥料间的配施效果、水分灌溉指标和不同水氮管理对菜地土壤硝酸盐淋洗的影响^[15-20];针对设施农业条件下,土壤 C/N 比较低(7 左右)氮肥利用率低等问题,采用膜下滴灌的水肥耦合技术结合基于 C/N 调控的最佳养分管理(土壤增碳技术)的综合效应研究尚未见报道。另外土壤增碳技术(秸秆还田)研究多集中在大田作物^[21-23],在设施菜地的研究相对较少。

基于上述问题,以山东寿光冬春茬大棚番茄为研究对象,当地农民习惯施肥模式为对照,通过减施氮肥结合添加秸秆和/或滴灌措施,研究不同施氮模式对番茄产量、品质和土壤肥力的影响,以期达到设施菜地减肥增效、提升土壤质量和保障农田可持续利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验设在山东寿光市番茄集约化种植区的稻田镇官路村($N36^{\circ}49'57.7''$, $E118^{\circ}54'58.9''$)。土壤类型为褐土,质地为壤土。设施番茄一年种植两茬,连作制。试验大棚 0—20 cm 土壤耕层基础养分状况: pH 8.8,有机质 8.1 g/kg,碱解氮 37.8 mg/kg,硝态氮 15.13 mg/kg,速效磷 1.9 mg/kg,速效钾 107.8 mg/kg,电导率 334 $\mu\text{S/cm}$ 。

供试番茄为当地冬春茬普遍栽培的品种“好韦斯特”。2007 年 12 月中旬开始育苗,2008 年 1 月 10 日移栽定植。栽培方式均为传统的畦栽,行距 70 cm,株距 40 cm,每株留果 7 穗。

试验采用随机区组设计,6 个处理:不施氮对照(N0);当地习惯施肥模式(N1);减氮 26%,即习惯施氮量的 74%(N2);减氮 26%加施玉米秸秆(N3);减氮 26%加施玉米秸秆和滴灌(N4);减氮 45%(即习惯施氮量的 55%)加施玉米秸秆和滴灌(N5),重复 3 次。农民习惯施肥量参考 2007 年对寿光市集约化大棚蔬菜种植区 127 个有代表性农户施肥量的调查,统计分析取平均值。化肥磷和有机肥 100%作基施,化肥氮和化肥钾 40%基施,60%追施。化肥为尿素、过磷酸钙、硫酸钾。有机肥为腐熟鸭粪(N 1.16%、 P_2O_5 1.1%、 K_2O 1.1%),成品豆粕(N、 P_2O_5 、 $K_2O \geq 5\%$)。玉米鲜秸秆量为每小区 35 kg,其含水量为 67%、全 N 1.01%、全 P 1.07%、全 K 15.46%、C/N 83。秸秆风干粉碎后(1.5 cm 左右)堆制 2 个月,添加秸秆的处理同有机肥一起基施。各处理施肥量和灌溉量见表 1。

试验小区宽 2.8 m,长 11 m。小区之间用塑料

表 1 肥料施用量和灌溉量

Table 1 Application rate of fertilizers and irrigation

处理 Treatment	施肥量 Fertilizers rate(kg/hm ²)						灌溉方式 Irrigation methods	总灌溉量 Input of irri. (m ³)	灌溉量折算 Irri. conversion (mm)
	化肥 Chemical fertilizer			有机肥 Organic fertilizer					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
N0	0	800	885	0	0	0	沟灌 Furrow irri.	42	63
N1	1000	800	885	960	912	716	沟灌 Furrow irri.	42	63
N2	740	800	885	960	912	716	沟灌 Furrow irri.	42	63
N3	740	800	885	960	912	716	沟灌 Furrow irri.	42	63
N4	740	800	885	960	912	716	滴灌 Drip irri.	12	18
N5	555	800	885	960	912	716	滴灌 Drip irri.	12	18

注 (Note): N0—No N fertilizer; N1—当地习惯施肥 Local farmer's conventional model; N2—减氮 26% Reducing 26% N; N3—减氮 26% + 秸秆 Reducing 26% N + stalk; N4—减氮 26% + 秸秆并用滴灌 Reducing 26% N + stalk and adopting drip irrigation; N5—减氮 45% + 秸秆并用滴灌 Reducing 45% N + stalk and adopting drip irrigation. 以下图、表同 The same symbols was used for other figures and tables.

番茄整个生育期共灌溉 6 次,灌溉时间分别为 2008 年 1 月 13 日、3 月 24 日、4 月 12 日、5 月 1 日、5 月 15 日和 5 月 27 日。Six times irrigation water was applied during the whole growth stage. The irrigation time was in 13 Jan, 24 Mar, 12 Apr, 1 May, 15 May and 27 May, respectively.

薄膜纵向隔开(埋深 50 cm),防止处理间肥水侧渗。大棚东西两端设有保护行,常规管理。

1.2 样品采集及测定

番茄盛果期取果实样品,测定 Vc 含量、可溶性糖和酸度。番茄初果期、盛果期、盛果末期分别取果实测定全氮含量。番茄拉秧期取整株作物(地上部和根系)称重,然后烘干测定全氮含量;拉秧期取耕层土壤(0—20 cm)测定土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量,细菌、真菌数量和土壤脲酶、蔗糖酶活性;0—100 cm 土层(每 20 cm 一层)测定土壤硝态氮含量。田间每次采收时,每试验小区的番茄果实集中采收分类,用电子台秤称重后,记录每个小区的产量。

果实品质测定参考《植物生理生化实验原理和技术》^[24];果实和秸秆全氮用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,凯氏定氮仪测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;用酚二磺酸比色法测定土壤硝态氮含量;速效磷采用 0.5 mol/L 的 NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法测定;速效钾采用 1.0 mol/L 浸提—火焰分光光度计测定。土壤细菌、真菌数量采用稀释平板涂沫法^[25];土壤脲酶和蔗糖酶活性测定参照《土壤酶及其研究法》^[26]。

根据下列公式计算氮肥的利用率、氮肥农学效率和氮素收获指数:

氮肥利用率 = [(施肥处理作物吸氮量 - 对照处理作物吸氮量) / 施肥处理施氮量] × 100% ;

氮肥农学效率 = (N 处理果实产量 - CK 处理果实产量) / 氮肥施用量 ;

氮素收获指数 = (果实吸氮量 / 作物地上部吸氮量) × 100%

试验数据用 SAS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施氮模式对番茄产量和氮素吸收利用的影响

试验地番茄一共采收 19 次,果实累计产量(表 2)表明,N0 处理果实产量显著低于其他几个施氮处理(P < 0.05),说明氮肥对番茄生长具有不可或缺的作用。施用氮肥处理提高了番茄果实的产量,增产率为 20.1%~28.8%。然而,过量的氮肥投入并没有得到预期的产量。N1 处理化学氮肥的投入量最大,但产量并非最高;相反,N3 和 N5 处理番茄的产量分别比 N1 处理增产 1.2% 和 1.8%,说明减少化肥氮用量,结合调节土壤 C/N 和滴灌措施,能够保证番茄不减产并产量有所增加,既减少了肥料投入成本,又降低了过量施肥对环境的威胁。

在 5 个施用氮肥的处理中,N1 处理氮肥施用量最高,但植物体吸收的总氮含量和氮素利用率却最低,其氮素利用率显著低于 N4 和 N5 处理(P < 0.05),说明习惯施肥模式下,氮肥的过量投入会造成氮肥的大量损失,对环境造成不利的影晌。

不同施氮模式的氮肥农学效率差异明显,N1 处理比其他 5 个施氮处理分别低 5.6%、42.6%、2.7% 和 95.7%,显著低于 N5 处理(P < 0.05)。氮的收获指数以 N5 处理最高,说明番茄植株中积累的氮较多的分配到果实中,吸收的氮保留在茎叶中的较少,这样可以减少秸秆移走或焚烧损失的氮,提高氮的利用率。

表 2 不同施氮模式对番茄产量、氮素吸收和利用效率的影响

Table 2 Effects of different models of applying N fertilizer on tomato yield, N uptake and utilization efficiency

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm ²)	总吸氮量 Total N uptake (kg/hm ²)	氮肥利用率 NUE (%)	氮肥农学效率 ANUE (kg/kg)	氮素收获指数 NHI (%)
N0	84113.6 b	184.66 b			51.88 a
N1	106413.4 a	223.83 ab	3.92 b	22.32 b	50.75 a
N2	103401.5 ab	244.15 a	7.27 ab	23.56 b	50.82 a
N3	107654.8 a	246.28 a	8.33 ab	31.83 ab	48.10 a
N4	101057.9 ab	254.69 a	9.46 a	22.90 b	49.40 a
N5	108349.0 a	237.72 ab	9.56 a	43.67 a	53.84 a

注 (Note): 数值后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters means significant at 5% level.

2.2 不同施氮模式对番茄品质的影响

表 3 看出, 冬春茬番茄果实施氮处理中 N4 处理 Vc 含量最高, 为 92.1 mg/kg, FW, 但不同施肥模式间差异不显著。可溶性糖和酸度在不同处理间没有显著差异; 各处理果实的糖酸比均高于 6.0 (一般情况下, 果实糖酸比应在 6.0 以上^[27]), 以 N3 处理

果实糖酸比最高, 达 8.62, 显著高于 N2 处理 ($P < 0.05$); 而 N2、N3、N4、N5 与 N1 处理间差异不显著。

2.3 不同施氮模式对土壤肥力的影响

2.3.1 不同施氮模式对土壤养分含量的影响 施氮处理土壤碱解氮含量均显著高于不施氮处理 ($P < 0.05$)。不同施氮处理间没有显著差异 (图 1A)。

表 3 不同施氮模式对番茄果实 Vc 和糖酸含量的影响

Table 3 Effects of different models of applying N fertilizer on Vc content, sugar and acid content in tomato fruit

处理 Treatment	Vc 含量 (mg/kg) Vc content	可溶性糖 (%) Soluble sugar	酸度 (%) Acid	糖酸比 Sugar/Acid ratio
N0	73.2 a	2.44 a	0.32 a	7.63 ab
N1	90.7 a	2.51 a	0.34 a	7.38 ab
N2	72.4 a	2.34 a	0.35 a	6.69 b
N3	65.0 a	2.50 a	0.29 a	8.62 a
N4	92.1 a	2.53 a	0.35 a	7.23 ab
N5	71.0 a	2.42 a	0.34 a	7.12 ab

注 (Note): 数值后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters means significant at 5% level.

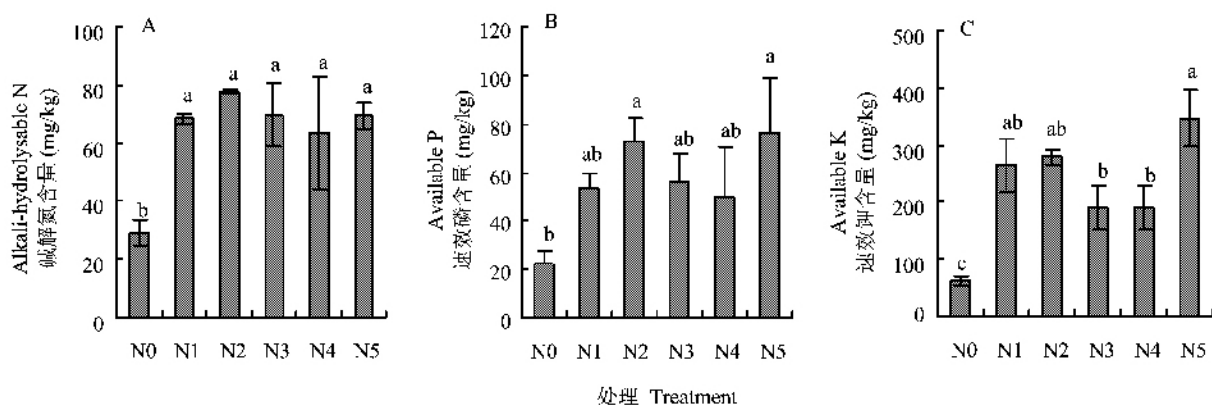


图 1 不同施氮模式对土壤养分含量的影响

Fig. 1 Effects of different models of applying N fertilizer on soil nutrient contents

[注 (Note): 柱上不同字母表示差异达 5% 显著水平, 下同 Different letters above bars means significant at 5% level.]

The same symbol is used for other figures.]

土壤速效磷含量由高到低依次为 N5 > N2 > N3 > N1 > N4 > N0, 施氮处理间差异不显著 (图 1B)。一些研究提出, 菜地土壤有效磷含量的丰缺指标为: < 33 mg/kg (严重缺乏), 33~60 mg/kg (缺乏), 60~90 mg/kg (适宜), > 90 mg/kg (偏高)^[6], 按照这一指标衡量, N2 和 N5 处理处在磷适宜的水平, N1、N3、N4 处理磷稍有缺乏, N0 处理严重缺乏。

施氮处理土壤速效钾含量显著高于不施氮处理 ($P < 0.05$, 图 1C)。一般认为, 菜地耕层土壤速效钾适宜量为 150~250 mg/kg, 当速效钾含量 > 350 mg/kg 时为过量^[28-29]。本试验结果可知, N3 和 N4 处理处于适宜的速效钾含量范围。

2.3.2 不同施氮模式对土层硝态氮累积的影响

图 2 可见, 不同处理硝态氮累积差别较大, N0 处理

经过一季作物的吸收, 0—100 cm 土壤剖面硝态氮残留量最少, 为 139.2 kg/hm²。随着氮肥用量的增加, 土壤剖面硝态氮累积量明显增加, N1 处理硝态氮的累积最大, 0—100 cm 剖面累积量高达 705 kg/hm², N2 处理略低于 N1 处理, 为 701.6 kg/hm², 而 N3、N4 和 N5 处理硝态氮的累积量分别比 N1 处理累积量减少 30%、35.6% 和 34.6%, 明显降低了土层中硝态氮累积。硝态氮主要累积在 0—40 cm 土层, 其中以 N2 处理累积的最多, 为 409 kg/hm², 其次是 N1 处理为 364 kg/hm²。

2.3.3 不同施氮模式对土壤酶活性的影响 由图 3A 可知, 施氮处理土壤脲酶活性显著高于不施氮处理 ($P < 0.05$)。N2 处理土壤的脲酶活性略高于 N1 处理, 说明在灌水量相同的情况下, 高量施用化肥氮有抑制土壤脲酶活性的趋势。N5 处理脲酶含量最高, 其次为 N3 处理, 其原因可能是由于施用秸秆, 使土壤含碳量增加, 为了达到微生物活动和繁殖所需的最适 C/N 比, 必然会提高土壤脲酶的活性来促进土壤含氮有机物的水解。

施氮处理土壤蔗糖酶活性显著高于不施氮处理 ($P < 0.05$); 施氮处理间土壤蔗糖酶活性没有显著差异 (图 3B)。N3 处理略高于 N1 处理, 说明减少氮肥施用或减少氮肥施用结合其他措施与农民习惯施肥相比较, 土壤蔗糖酶活性没有降低, 能够为生物体提供充足的能源。

2.3.4 不同施氮模式对土壤微生物数量的影响 不同处理土壤中微生物数量以细菌最多, 说明细菌是温室土壤微生物生命活动的主体。细菌/真菌 (B/F) 结果 (图 4) 表明, N3 和 N5 处理 B/F 的比值均高于 N1 处理, N4 处理 B/F 的比值很低, 具体原因还有待进一步分析。

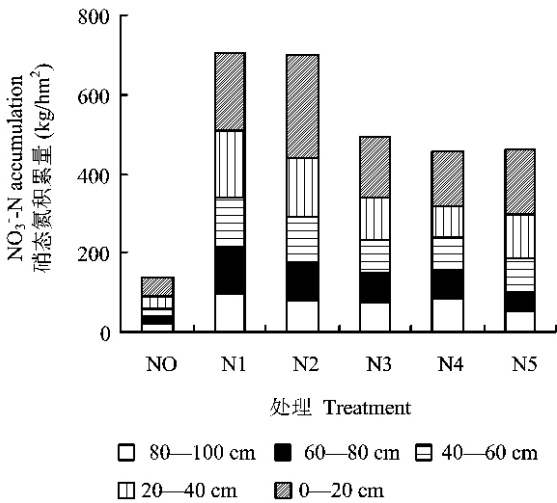


图 2 不同施氮模式对 0—100 cm 土层硝态氮累积量的影响

Fig.2 Effects of different models of applying N fertilizer on accumulation of NO₃⁻-N in soil profile

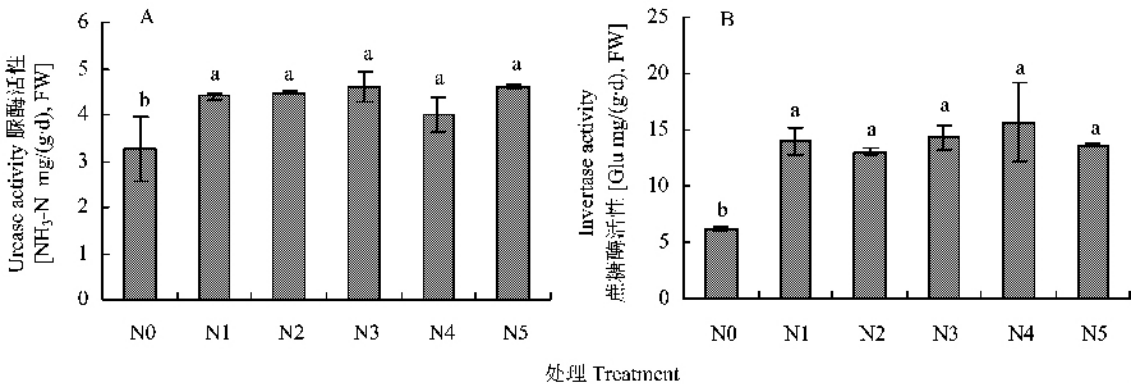


图 3 不同施氮模式对土壤脲酶和蔗糖酶活性的影响

Fig.3 Effects of different models of applying N fertilizer on soil urease and invertase activities

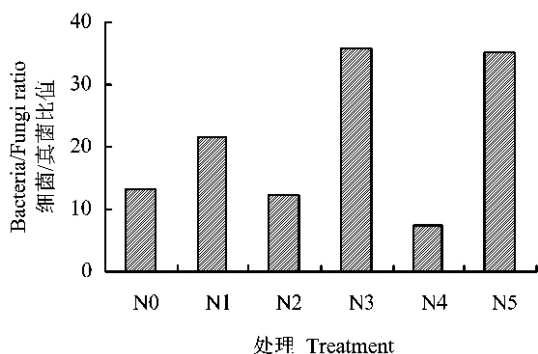


图4 不同施氮模式对土壤细菌/真菌比值的影响

Fig.4 Effects of different models of applying N fertilizer on B/F

3 讨论与结论

3.1 秸秆对作物产量、品质和土壤肥力的影响

作物秸秆富含各种养分和生理活性物质,能够改良土壤物理性状,提高土壤有效养分含量,改善土壤胶体组成。余延丰等^[22]研究表明,江汉平原地区秸秆还田能明显提高水稻和小麦的产量,尤其是与化肥配施可以显著提高作物产量,而且秸秆还田能改善土壤的供肥能力。试验证明,通过调节土壤 C/N 可使土壤速效钾和速效磷的供应量明显增加。宫亮等^[23]研究表明,与单施无机肥相比,施用秸秆可以改善土壤的理化性质,培肥地力,增加玉米产量,同时改善土壤的氮、磷、钾养分状况。在设施菜地,由于化肥氮的大量施用,造成土壤 C/N 比值降低。有研究表明^[30],与附近粮田相比,寿光菜田土壤 C/N 比下降了 2.4 个单位,菜田碳、氮投入比例低可能是菜田土壤 C/N 比下降的重要原因;而土壤 C/N 比的下降,伴随着菜田土壤明显的酸化和盐渍化。本试验结果表明,单独减施化肥氮(N2 处理)的增产率为 22.93%,低于 N1 处理(增产率为 26.51%),而减施化肥氮结合添加秸秆措施(N3 处理)番茄产量的增长率为 27.99%,高于 N1 处理,也高于 N2 处理。说明减施化肥氮 26% 结合添加秸秆的模式,不但没有造成番茄产量的下降,反而有所增加。对植物吸收的总氮量、氮素利用率和氮肥农学效率结果进行分析表明,N3 处理均高于 N1、N2 处理,说明减施化肥氮 26% 结合调节土壤 C/N 比能够提高当季氮肥的利用效率,减少其施入土壤后的损失。除产量外,番茄品质与氮肥供应之间也有很大的关系,生产上对于不同施肥处理对果实品质的影响也是评价施肥量合适与否的标准。本研究表明,N3 处理的果实 Vc 含量和果实糖酸比与 N1 没有显

著差异,果实糖酸比显著高于 N2 处理($P < 0.05$)。

大量的研究认为,施用有机肥能够降低土壤中的硝态氮含量,并能够改善土壤质量^[31-33]。刘杏认等^[34]研究了不同氮水平下秸秆 C/N 比对土壤硝态氮残留的影响表明,当 C/N 比值高时,只要不是过量施用氮肥,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氮量积累,甚至在一些情况下可以减少硝态氮的累积和淋失。本试验也验证了这一结果,即在减氮结合腐熟的秸秆处理,土壤 0—100 cm 土层累积的硝态氮含量低于农民习惯施氮处理,这样可以减少因土壤硝态氮的大量残留而对地下水造成的污染。

长期连作与秸秆还田条件下,土壤微生物状况趋于好转,生物多样性指数增加,细菌、放线菌数量增加,真菌数量降低,土壤蔗糖酶活性增加^[35]。本研究表明,N3 处理土壤脲酶和蔗糖酶活性高于 N1 和 N2 处理,土壤细菌/真菌比值(B/F 值)也高于上述处理,主要是因为秸秆含有微生物活动所必需的碳源和氮源,会影响土壤微生物的活性,改变土壤的生物学状况。

3.2 秸秆和滴灌措施对作物产量、品质和土壤肥力的影响

Pier 和 Doerge^[36]在滴灌试验中看出,氮素与水分互作可以使作物达到高产和使氮素损失最少。本试验在减氮结合调节 C/N 比基础上加入了滴灌措施,番茄产量增产率为 28.81%,比 N1 处理增产 1.8%。其原因一方面由于提高了土壤的 C/N 比;另一方面由于滴灌能够将水分和养分适时适量地输送到作物根部附近,使作物根部的土壤长期保持适宜于作物生长的水分、通气和营养状况,既可以较好满足作物的需水需肥要求,又可以避免水分和肥料在土壤里大范围残留,减少对环境的污染。

肥料的农学效率是单位面积施肥量对作物经济产量增加的反映,是农业生产中最重要也是最关心的经济指标之一。本试验表明,N5 处理显著高于 N1 处理($P < 0.05$),说明化肥氮减施 45% 结合调节土壤 C/N 比和采用滴灌措施,土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量的供应较明显,土壤能维持适宜的养分供应状况,保持稳定的产量,达到减肥增效的目的。这一结果也进一步验证了战洪成等^[37]和乔立文等^[38]对滴灌应用的研究结果。

据报道^[39],B/F 值降低可能是大棚设施土壤土传病害增加的原因之一,B/F 值越高,土壤生态系统的健康和稳定程度越高,这一指标可考虑作为施肥

后土壤微生物群落变化的指标。还有研究表明^[40],连作温室土壤环境恶化主要表现为土壤生物环境由“细菌型”向“真菌型”过渡。真菌型土壤是地力衰竭的标志,很多蔬菜病害的病原菌均为真菌,真菌数量的减少或抑制增加均有助于土壤微生物环境的改善。可见,从微生物数量的角度来看,真菌数量的减少或抑制增加均有助于土壤微生物环境的改善。本试验结果,N5处理B/F值均高于N1和N2处理,说明减氮结合调节土壤C/N比和采用滴灌措施,土壤生态系统的健康和稳定程度提高,有助于土壤微生物环境的改善,能够降低土壤质量的退化。

综上所述,在寿光设施蔬菜生产中,在农民习惯用量的基础上减少化肥氮施用量30%~50%是有可能的,但要结合施用秸秆调节土壤C/N比和采用滴灌的集成模式。综合分析农学效率、氮素利用率、果实产量和品质及土壤生物功能的基础上,试验筛选出N3(74%农民习惯施化肥氮+秸秆)和N5(55%农民习惯施化肥氮+秸秆+滴灌)两个集成模式具有明显优势。

参考文献:

- [1] 汤丽玲. 日光温室番茄的氮素追施调控技术及其效益评估[D]. 北京:中国农业大学博士论文,2004.
Tang L L. Studies on nitrogen topdressing techniques and profitable evaluation for greenhouse tomato production[D]. Beijing: PhD dissertation of China Agricultural University, 2004.
- [2] 赵凤艳,魏自民,陈翠玲. 氮肥用量对蔬菜产量和品质的影响[J]. 农业系统科学与综合研究,2001,17(1):43-44.
Zhao F Y, Wei Z M, Chen C L. The effect of N application rate on yield and quality of vegetable[J]. System Sci. Compreh. Stud. Agric., 2001, 17(1):43-44.
- [3] 赵小英,刘志敏,刘明月. 施肥对蔬菜硝酸盐积累的影响[J]. 长江蔬菜,2002,(10):29-30.
Zhao X Y, Liu Z M, Liu M Y. Effect of fertilization on the nitrate accumulation in vegetable[J]. J. Changjiang Veget., 2002,(10):29-30.
- [4] 蔡志远. 施氮与蔬菜硝酸盐[J]. 天津农业科技,2003,12(6):23-25.
Cai Z Y. Nitrogen application and vegetable nitrate[J]. Sci. Tech. Tianjin Agric. For., 2003, 12(6):23-25.
- [5] Holger H. The influence of nitrogen fertilization on the chemical composition of vegetables[J]. Plant Foods for Human Nutr., 2005, 28:45-63.
- [6] 闵炬,施卫明,王俊儒. 不同施氮水平对大棚蔬菜氮、磷、钾养分吸收及土壤养分含量的影响[J]. 土壤,2008,40(2):226-231.
Min J, Shi W M, Wang J R. Effects of N fertilizer application rate on vegetable N, P, K uptake and soil nutrient content in greenhouse[J]. Soils, 2008, 40(2):226-231.
- [7] 李俊良,崔德杰,孟祥霞,等. 山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究[J]. 土壤通报,2002,33(2):126-128.
Li J L, Cui D J, Meng X X *et al.* The study of fertilization condition and question in protectorate vegetable in Shouguang, Shandong[J]. Chin. J. Soil Sci., 2002, 33(2):126-128.
- [8] 李俊良. 莱阳、寿光两种不同种植模式中蔬菜施肥问题的研究[D]. 北京:中国农业大学博士论文,2001.
Li J L. Study on fertilization of vegetable with two different cultivated models in Laiyang and Shouguang[D]. Beijing: PhD dissertation of China Agricultural University, 2001.
- [9] 张学军,赵莹,陈晓群,等. 滴灌施肥中施氮量对两年蔬菜产量、氮素平衡及土壤硝态氮累积的影响[J]. 中国农业科学,2007,40(11):2535-2545.
Zhang X J, Zhao Y, Chen X Q *et al.* Effects of application of nitrogen on vegetable yield, nitrogen balance and soil nitrogen accumulation under two years' drip fertigation[J]. Sci. Agric. Sin., 2007, 40(11):2535-2545.
- [10] 栗岩峰,李久生,饶敏杰. 滴灌系统运行方式施肥频率对番茄产量和根系分布的影响[J]. 中国农业科学,2006,39(7):1419-1427.
Li Y F, Li J S, Rao M J. Effects of drip fertigation strategies and frequencies on yield and root distribution of tomato[J]. Sci. Agric. Sin., 2006, 39(7):1419-1427.
- [11] 陈碧华,郝庆炉,段爱旺,王广印. 水肥耦合对番茄产量和硝酸盐含量的影响[J]. 河南农业科学,2007,(5):87-90.
Chen B H, Gao Q L, Duan A W, Wang G Y. Coupling effect of water and fertilizer on tomato yield nitrate content[J]. J. Henan Agric. Sci., 2007,(5):87-90.
- [12] Phene C J, Huttmacher R B, Davisk R *et al.* Water fertilizer management of processing tomatoes[J]. Acta Hort, 1990, 277:137.
- [13] Baselga Yrisarry J J. Response of processing tomato to three different levels of water and nitrogen application[J]. Acta Hort, 1993, 335:149-153.
- [14] Thompson T L, Doerge T A, Godein R E. Nitrogen and water interactions in subsurface drip-irrigated cauliflower II. Agronomic, economic, and environmental outcomes[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2000, 64:412-418.
- [15] 贺超兴,张志斌,刘富中,等. 日光温室水钾氮耦合效应对番茄产量的影响[J]. 中国蔬菜,2001,(1):31-33.
He C X, Zhang Z B, Liu F Z *et al.* The mathematical model on effects among 3 factors of water, K₂O, N and yield of tomato in lean to solar greenhouse[J]. China Veget., 2001,(1):31-33.
- [16] 高艳明,李建设,田军仓,等. 日光温室滴灌辣椒水肥耦合效应研究[J]. 宁夏农学院学报,2000,21(3):39-45.
Gao Y M, Li J S, Tian J C *et al.* Study on the effects of water-fertilizer coupling on hot pepper under drip irrigating in greenhouse[J]. J. Ningxia Agric. Coll., 2000, 21(3):39-45.
- [17] 于红梅,李子忠,龚元石. 不同水氮管理对蔬菜地硝态氮淋洗的影响[J]. 中国农业科学,2005,38(9):1849-1855.
Yu H M, Li Z Z, Gong Y S. Leached nitrate in vegetable field under different water and nitrogen fertilizer management practices[J]. Sci. Agric. Sin., 2005, 38(9):1849-1855.
- [18] 汤丽玲,陈清,张宏彦,李晓林. 不同水氮处理对菠菜硝酸盐累积和土体硝态氮淋洗的影响[J]. 农业环境保护,2001,20(5):326-328.
Tang L L, Chen Q, Zhang H Y, Li X L. Effect of different water and nitrogen supply on accumulation nitrate in spinach and NO₃⁻-N leaching in soil[J]. Agro-Environ. Prot., 2001, 20(5):326-328.
- [19] 刘微,赵同科,王丽英. 不同水分、施氮量对土壤中硝态氮含

- 量分布的影响[J]. 华北农学报, 2006, 21(3): 27-30.
- Liu W, Zhao T K, Wang L Y. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on NO_3^- -N content and distribution in soil [J]. Acta Agric. Bor.-Sin., 2006, 21(3): 27-30.
- [20] 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 L L, Chen Q, Zhang H Y *et al.* Effects of different irrigation and fertilization strategies on soil inorganic N residues in open field of vegetable rotation system [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2002, 8(3): 282-287.
- [21] 赵鹏, 陈阜. 秸秆还田配施化学氮肥对冬小麦氮效率和产量的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(6): 1014-1018.
- Zhao P, Chen F. Effects of straw mulching plus nitrogen fertilizer on nitrogen efficiency and grain yield in winter wheat [J]. Acta Agron. Sin., 2008, 34(6): 1014-1018.
- [22] 余延丰, 熊桂云, 张继铭, 等. 秸秆还田对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 湖北农业科学, 2008, 47(2): 169-171.
- Yu Y F, Xiong G Y, Zhang J M *et al.* The effect of straw reapplication on yields of grain crops and soil fertility in Jiangnan Plain [J]. Hubei Agric. Sci., 2008, 47(2): 169-171.
- [23] 官亮, 孙文涛, 王聪翔, 等. 玉米秸秆还田对土壤肥力的影响[J]. 玉米科学, 2008, 16(2): 122-124.
- Gong L, Sun W T, Wang C X *et al.* Effects of application maize straw on soil physical characteristics and yield [J]. J. Maize Sci., 2008, 16(2): 122-124, 130.
- [24] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- Li H S. Principle and experimental technology of plant physiology and biochemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [25] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y *et al.* Soil microbial biomass-methods and application [M], Beijing: Meteorological Press, 2006.
- [26] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- Guan S Y. Research method on soil enzyme [M]. Beijing: Agricultural Press, 1986.
- [27] 张国红. 施肥水平对日光温室番茄生育和土壤环境的影响[D]. 北京: 中国农业大学博士论文, 2004.
- Zhang G H. Effect of fertilization levels on growth development of tomato and soil environment in Hello-Greenhouse [D]. Beijing: PhD dissertation of China Agricultural University, 2004.
- [28] Miller R W, Donahue R L. Soil in our environment [R]. 7th. New Jersey: Prentice, 1995.
- [29] 潘可可, 潘琇, 王亮, 等. 温州市设施菜地土壤主要障碍因子及防治措施[J]. 温州农业科技, 2006(3): 14-16.
- Pan K K, Pan X, Wang L *et al.* The obstacle and the control measurements in soil of Wenzhou [J]. Wenzhou Agric. Sci. Tech., 2006, (3): 14-16.
- [30] 雷宝坤, 陈清, 范明生, 等. 寿光设施菜田碳、氮演变及其对土壤性质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 914-922.
- Lei B K, Chen Q, Fan M S *et al.* Changes of soil carbon and nitrogen in Shouguang intensive vegetable production fields and their impacts on soil properties [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(5): 914-922.
- [31] 曹林奎, 陆贻通, 林玮. 生物有机肥料对温室蔬菜硝酸盐和土壤盐分累积的影响[J]. 农村生态环境, 2001, 17(3): 45-47.
- Cao L K, Lu Y T, Lin W. Effects of biological organic fertilizer on nitrate accumulation in greenhouse vegetable and salt accumulation in soil [J]. J. Ecol. Rur. Environ., 2001, 17(3): 45-47.
- [32] 徐福利, 梁银丽, 张成娥, 等. 施肥对日光温室土壤硝酸盐分布特征的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(10): 1762-1767.
- Xu F L, Liang Y L, Zhang C E *et al.* Nitrate distribution characteristics in soil at fertilization on cucumber at sunlight greenhouse in loess plateau [J]. Acta Bot. Boreali-Occid. Sin., 2003, 23(10): 1762-1767.
- [33] 李春九, 马国瑞, 石伟勇, 等. 新型有机无机复肥对土壤及蔬菜产量品质的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 1999, 25(4): 392-396.
- Li C J, Ma G R, Shi W Y *et al.* The effects of a new organic-mineral complex fertilizer on soil and vegetable yield and quality [J]. J. Zhejiang Univ., 1999, 25(4): 392-396.
- [34] 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的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(4): 30-32.
- Liu X R, Ren J Q, Liu J L. Effect of the manure with different C/N under different doses of N fertilizer on the content of soil NO_3^- [J]. Agric. Res. Arid Areas, 2006, 24(4): 30-32.
- [35] 刘建国, 卞新民, 李彦斌, 等. 长期连作和秸秆还田对棉田土壤生物活性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1027-1032.
- Liu J G, Bian X M, Li Y B *et al.* Effects of long-term continues cropping of cotton and returning cotton stalk into field on soil biological activities [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2008, 19(5): 1027-1032.
- [36] Pier J W, Doerge T A. Nitrogen and water interaction in trickle-irrigated watermelon [J]. Sci. Soc. Am. J. 1995, 59: 145-150.
- [37] 战洪成, 王德次, 王翠高. 大棚蔬菜滴灌与畦灌应用的对比研究[J]. 节水灌溉, 1999(5): 30-31.
- Zhan H C, Wang D C, Wang C G. Comparative study on drip irrigation and border irrigation [J]. Water Sav. Irrig., 1999, (5): 30-31.
- [38] 乔立文, 陈友, 齐红岩, 等. 温室大棚蔬菜生产中滴灌带灌溉应用效果分析[J]. 农业工程学报, 1996, 12(2): 34-39.
- Qiao L W, Chen Y, Qi H Y *et al.* Effect of drip tape irrigation on vegetable production in greenhouse [J]. Trans. CSAE, 1996, 12(2): 34-39.
- [39] 张乃明, 董艳. 施肥与设施栽培措施对土壤微生物区系的影响[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 61-62.
- Zhang N M, Dong Y. Effects of fertilizer and protected soil planting on soil microflora [J]. Ecol. Environ., 2004, 13(1): 61-62.
- [40] 李元, 司力珊, 张雪艳, 等. 填闲作物对日光温室土壤环境作用效果比较研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 224-229.
- Li Y, Si L S, Zhang X Y *et al.* Comparative study on the effects of catch crops on soil environment in solar greenhouse [J]. Trans. CSAE, 2008, 24(1): 224-229.