

氮肥用量对设施滴灌栽培番茄产量品质及土壤硝态氮累积的影响

毕晓庆, 山楠, 杜连凤, 安志装, 赵同科, 张成军*

(北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097)

摘要:为了明确滴灌条件下设施番茄适宜的氮肥施用量,选择北京市顺义区代表性日光温室进行田间试验,设置0、90、180、270、360、450 kg·hm⁻² 6个氮肥水平,研究不同氮肥用量对设施滴灌栽培番茄产量、品质及土壤硝态氮累积分布的影响。结果表明:氮肥施用量为0~360 kg·hm⁻²时,随氮肥施用量的增加番茄产量增高;当施氮量超过360 kg·hm⁻²时,番茄产量随施氮量增加却呈下降趋势。番茄品质随施氮量的增加而提高,当施氮量为450 kg·hm⁻²时,番茄果实的糖酸比最高,风味较佳。随着施N量的增加,各层土壤硝态氮含量明显增加,尤其当施氮量大于270 kg·hm⁻²时,土壤硝态氮含量显著增加。施氮量360 kg·hm⁻²为0~100 cm土壤硝态氮累积量增加的拐点,土壤硝态氮累积量与0~360 kg·hm⁻²施氮量呈线性相关。结合北京郊区土壤肥力状况,番茄氮肥推荐施用量为270~360 kg·hm⁻²,在当前农民习惯施氮量450 kg·hm⁻²条件下,减少氮肥用量20%~40%,可以达到设施番茄高产、优质,且环境风险较小的目的。

关键词:设施番茄;施氮量;土壤硝态氮;产量;品质

中图分类号:S143 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2013)11-2246-05 **doi:**10.11654/jaes.2013.11.020

Effects of Nitrogen Rates on Tomato Yield and Quality and Soil Nitrate Accumulation Under Drip Irrigation in Solar Greenhouse

BI Xiao-qing, SHAN Nan, DU Lian-feng, AN Zhi-zhuang, ZHAO Tong-ke, ZHANG Cheng-jun*

(Institute of Plant Nutrition and Natural Resources, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: Soil excessive nitrogen(N) causes nitrate pollution in water. Optimal N fertilizer would maintain plant yield and improve water quality. A field trial was carried out to examine the effects of six N application rates(0, 90, 180, 270, 360, 450 kg N·hm⁻²) on yield and quality of tomatoes and soil nitrate accumulation in solar greenhouses with drip irrigation in Shunyi District, Beijing. Tomato yield was highest at 360 kg N·hm⁻². The highest ratio of soluble sugar to titratable acid contents in tomato fruit was observed at 450 kg N·hm⁻². Soil nitrate concentration increased significantly with increasing N application rates, particularly when the rates exceeded 270 kg N·hm⁻². These results suggest that the N application rates of 270~360 kg·hm⁻², 60%~80% of the typical N application rate, would be optimal for tomato growth and soil nitrate control under drip irrigation in greenhouses. This represents a 20%~40% reduction of the typical N application rate of 450 kg·hm⁻², and a significant improvement in tomato yield and quality and a reduction in the risk of nitrate release into environment.

Keywords: tomato; nitrogen application rate; soil nitrate; yield; nutritional quality

设施农业的发展是都市化现代农业发展的必然趋势,2010年北京市设施农业播种面积达到了3.68

万hm²。与传统的大田农业相比,设施作物需水需肥量较大,设施菜田氮肥(折合纯氮)的平均用量为1741.0 kg·hm⁻²,是大田用量的4.5倍^[1-2]。大量施用氮肥虽然可一定程度上提高土壤肥力,但也会使各土层硝态氮含量显著增加,并增加其被水淋溶的可能,对土壤和地下水产生污染。刘宏斌等研究发现北京市平原区深层地下水硝态氮污染已不容乐观,浅层地下水污染尤为严重^[3-4]。近年来,随着氮肥使用量的不断加大,其对土壤地下水环境的影响和对土壤地下水污染

收稿日期:2013-05-21

基金项目:国际植物营养研究所 IPNI 中国项目;农业部农业生态环境保护项目:水体污染控制与治理科技重大专项“华北村镇地下饮用水安全保障技术与示范”课题(2008ZX07425-001)

作者简介:毕晓庆(1982—),女,山西运城人,研究实习员,主要从事农田土壤环境的研究。E-mail: xiaoqingbi@126.com

* 通信作者:张成军 E-mail: zhengcj68@163.com

的风险日益受到关注。如何维持设施菜田持续、高效、安全生产成为土壤工作者面临的新的任务。

国内外开展了大量关于施肥措施对作物产量、品质的影响等方面的工作,合理的有机无机肥料配比可以提高作物的产量与品质^[5],适当的减量施用氮肥可以有效降低蔬菜体内的硝酸盐含量^[6],且对产量无显著影响^[7]。也有大量学者研究了不同施肥处理下土壤硝态氮的累积规律,如施用缓控释肥可以提高氮肥利用率,减少土壤中硝态氮残留^[8];过量施用氮肥,降低了氮肥利用率和农学效率,氮肥表观损失显著增加,淋洗风险加大^[9];符合安全生产的氮肥用量研究,结合滴灌施肥技术可以有效减轻土壤和地下水硝态氮污染,有利于提高氮肥利用率^[10-11]。

目前国内关于施肥方面的研究主要是针对常规的施肥方式,针对滴灌随水施肥方式的研究较少。随着都市型现代农业发展的需求,滴灌成为目前设施农业主流的灌溉方式,开展滴灌随水施肥对设施作物和土壤硝态氮污染的影响研究变得日益重要。本文以设施番茄为研究对象,采用滴灌方式,施肥器随水施肥,统一土壤质地,设置不同的施肥处理这一单一因素,规避其他因素的影响,系统地了解不同氮肥用量对北京设施番茄及土壤硝态氮的影响,以控制硝态氮污染、提高果实产量为目的,提出设施番茄最适宜的氮肥施用量,为高产、优质蔬菜生产,防止土壤地下水氮污染提供理论与实践依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

本试验在顺义区农科所试验基地进行。当地土壤类型为壤土,表层土壤有机质 1.21%,碱解氮 52 mg·kg⁻¹,速效磷 36 mg·kg⁻¹,速效钾 58 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

设施蔬菜选择番茄,氮素用量设 0、90、180、270、360、450 kg·hm⁻² 6 个水平(表 1),各处理磷钾肥用量相同,均为 P₂O₅180 kg·hm⁻²、K₂O300 kg·hm⁻²。磷肥全部做基肥,20%的氮、钾肥做基肥,其余 80%做追肥施用,每次 20%,分 4 次施入。氮磷钾肥分别以尿素、过磷酸钙或磷酸二铵和硫酸钾形式施入。灌溉方式采用滴灌处理,根据番茄的生长发育状况确定灌水时间和灌溉量,肥料施用采用施肥器进行随水施肥。小区面积 20 m²,随机排列,重复 3 次。

1.3 测定方法

样品采集与分析:各采摘期对果实考种,测定其

表 1 试验处理						
Table 1 Experimental design in the study						
处理	施氮总量/ kg·hm ⁻²	施肥步骤/kg·hm ⁻²				
		基肥	第 1 次 追肥	第 2 次 追肥	第 3 次 追肥	第 4 次 追肥
N0	0	0	0	0	0	0
N90	90	18	18	18	18	18
N180	180	36	36	36	36	36
N270	270	54	54	54	54	54
N360	360	72	72	72	72	72
N450	450	90	90	90	90	90

产量、果实可溶性糖(蒽酮法)、可滴定酸(滴定法),并鉴定风味。对应于植物样品的采集,分别采集每个重复小区的 0~100 cm 土层样品,每 20 cm 取一层。将新鲜土壤样品及时提取或在冰箱中冷冻,测定硝态氮含量(流动注射分析)。

试验数据采用 Excel2003 和 SAS8.1 进行统计分析。

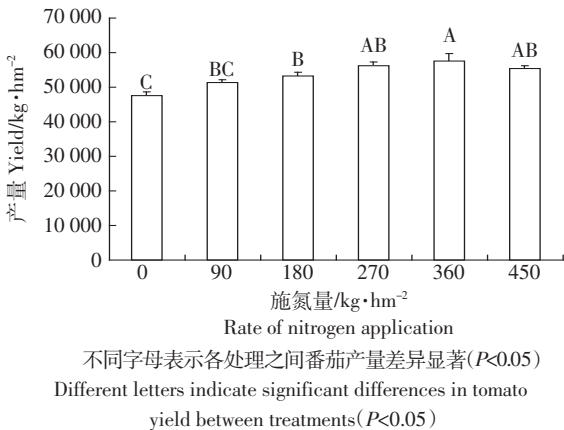
2 结果与分析

2.1 施氮量对番茄产量的影响

生产中合理施用氮肥已成为主要的农艺措施之一,在对氮肥施用量与大棚番茄产量间关系研究后发现(图 1),各施氮处理的番茄产量均显著地高于对照处理,施氮量为 90、180、270、360、450 kg·hm⁻²,番茄产量分别比对照增加 7.80%、11.98%、17.67%、20.85%、15.97%。其中施氮量为 360 kg·hm⁻² 的番茄产量最高,达 57 606 kg·hm⁻²。通过产量与施氮量拟合得到以下二次方程:

$$y=-0.0708x^2+50.749x+47406(R^2=0.962)$$

模拟得到最高产量为 56 500 kg·hm⁻²,相应施氮量为 358 kg·hm⁻²。当施氮量为 0~360 kg·hm⁻² 时,番茄产量随氮肥施用量的增加而增高,增产效果显著;



不同字母表示各处理之间番茄产量差异显著(P<0.05)
Different letters indicate significant differences in tomato yield between treatments(P<0.05)

图 1 不同施氮水平下番茄的产量
Figure 1 Yields of tomato at different nitrogen levels

但当施氮量超过 $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 施氮水平为 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 与菜农蔬菜种植常规施氮量相当时, 番茄产量并没有随施氮量增加而增加, 反而会引起产量的下降。处理 N450 与 N270 处理、N360 处理番茄产量差异不显著。

2.2 施氮量对番茄营养品质的影响

不同氮肥处理影响番茄品质如表 2 所示。除 N270 处理外, 在不同施氮水平条件下, 果实中可溶性糖含量随着施氮量的升高基本呈增高趋势, 处理 N180、N360、N450 之间差异不显著, N270 处理果实中可溶性糖明显高于 N0 处理, 但低于 N180 处理, 可能是因为番茄在施肥量为 $270 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理相比其他处理产量增长迅速, 果实生长较快对糖分的稀释作用造成的。有机酸的含量则随着施氮量呈先增高后减少的趋势, 即当施 N 量为 $270 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 有机酸的含量最高为 0.39% , 比对照处理高 8.33% ; 当施 N 量低于 $270 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 有机酸的含量随着施氮量增加而增高; 当施 N 量超过 $270 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 有机酸的含量随着施氮量增加而降低。糖酸比是衡量番茄果实风味的重要标准之一, 由于 N270 处理可溶性糖含量增幅小于有机酸的增幅, 导致该处理番茄果实的糖酸比相对于对照降低了 3.41% , 其余处理番茄果实的糖酸比随施 N 量呈先降低后增高的趋势, 当施氮量最高为 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 番茄果实的糖酸比最高, 比对照高 10.37% 。

有研究显示^[12-13]过量施用氮肥, 番茄果实可溶性蛋白含量升高, 但可溶性糖含量下降, 有机酸含量上升, 糖酸比下降, 严重影响了番茄的风味品质; 也有研究表明番茄风味品质是由番茄中的可溶性糖和可滴定酸的绝对量来决定的, 与糖酸比无关^[14-15], 适量施用氮肥有利于番茄果实风味品质的提高。

表 2 不同施氮处理对番茄果实品质的影响

Table 2 Effects of different N treatments on the quality of tomato fruits

处理	可溶性糖/%	比对照增减/%	可滴定酸/%	比对照增减/%	糖酸比	比对照增减/%
N0	2.63c		0.36c		7.31	
N90	2.69c	2.28	0.37b	2.78	7.27	-0.41
N180	2.79ab	6.08	0.38a	5.56	7.34	0.58
N270	2.75b	4.56	0.39a	8.33	7.05	-3.41
N360	2.81ab	6.84	0.37bc	2.78	7.59	4.04
N450	2.82a	7.22	0.35c	-2.78	8.06	10.37

注: 同列不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The different letters indicate significant difference at 0.05 level between each treatment.

2.3 施氮量对土壤硝态氮的影响

施肥是影响土壤硝态氮累积量最直接也是最重要的因素, 大量研究表明蔬菜生产中施入的氮肥一部分被蔬菜吸收利用, 另一部分残留在土壤剖面中^[16], 由于 NO_3^- -N 带负电荷, 很难被土壤胶体吸附而迁移活跃。故在反映大棚蔬菜土壤养分状况时, 必须考虑到土壤剖面的 NO_3^- -N 动态分布, 因此本试验对不同处理土壤剖面的硝态氮进行了分析。

2.3.1 对土壤剖面硝态氮分布的影响

从图 2 可以看出, 各处理土壤均为 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层硝态氮含量最高, $20 \sim 40 \text{ cm}$ 土层有明显降低, 这是由于施氮量过高会造成蔬菜收获后土壤 NO_3^- -N 累积量高, 而滴灌减少了水分向深层渗漏, 从而降低了硝态氮向深层淋洗风险; 40 cm 以下土层根系分布较少, 吸收较弱, 导致施 N 量高的处理硝态氮含量又逐渐增大, 形成了土壤剖面中第 2 个峰值。这说明土壤硝态氮淋溶强烈, 施入土壤中的氮肥若未被蔬菜吸收利用, 将被大量淋溶至土壤深层, 故合理地降低施氮量是减少 NO_3^- -N 残留的直接和有效途径。

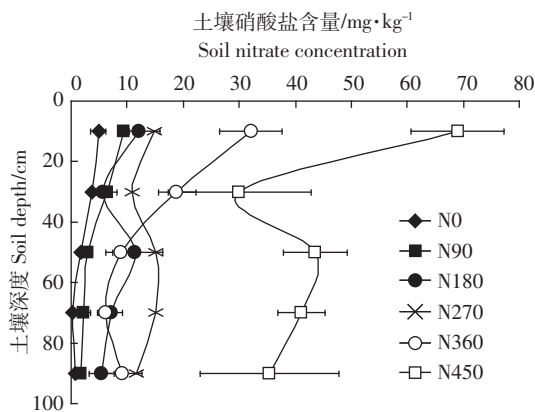


图 2 不同处理对各层土壤 NO_3^- -N 含量的影响

Figure 2 Effects of N rates on concentrations of NO_3^- -N in different soil depths

随着施 N 量的增加, 不同处理的各层土壤硝态氮含量均明显增加, 尤其当施氮量大于 $270 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 土壤表层硝态氮含量显著增加。N360 处理表层硝态氮为 N0 处理的 6.6 倍, 为 N270 处理的 2.2 倍; 当施氮量为 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 土壤各个层次硝态氮含量急剧增加, N450 处理表层硝态氮为 N0 处理的 14 倍, N270 处理的 4.7 倍。

2.3.2 对 $0 \sim 100 \text{ cm}$ 土壤硝态氮累积的影响

不同施氮量对土壤硝态氮累积作用如图 3 所示。随施氮量的增加, $0 \sim 100 \text{ cm}$ 土壤硝态氮累积量显著增

加,施氮量 $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 为 $0 \sim 100 \text{ cm}$ 土壤硝态氮累积量增加的拐点,当施氮量为 $0 \sim 360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, $0 \sim 100 \text{ cm}$ 土壤硝态氮累积量与施氮量呈明显的线性关系:

$$y=0.506x+24.609(R^2=0.975)$$

当施氮量为 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时 $0 \sim 100 \text{ cm}$ 土壤硝态氮累积量显著增加,达 $581 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,为 N0 处理的 19 倍, N270 处理的 3.2 倍, N360 处理的 2.9 倍。因此,大棚番茄氮肥施用量应严格控制在 $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以下,以减少施肥造成对地下水环境污染风险。

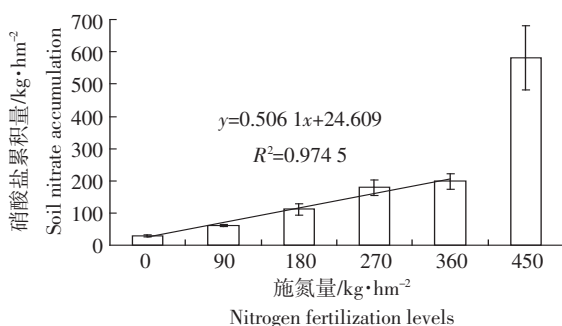


图3 不同处理对 $0 \sim 100 \text{ cm}$ 土壤 $\text{NO}_3^- \text{--N}$ 累积量的影响

Figure 3 Effects of different N rates on $\text{NO}_3^- \text{--N}$ accumulations in $0 \sim 100 \text{ cm}$ soil

3 讨论

设施农业是一种高投入、高产出的集约化农业生产类型,由于具有较高的经济效率和资金回报率,在我国北方地区得到较大发展。农民通常进行大水大肥以获得更高的收入,然而蔬菜生长中所需氮肥量有一个合理的范围,超过这个范围,不仅造成氮肥的浪费,而且造成蔬菜减产、环境污染等负面影响,采取减氮的氮素管理措施是解决上述问题的有效方法。

从本试验结果可以看出,北京地区设施氮肥施用量应控制在 $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以下,在这个范围内,适量的增施氮肥会提高番茄产量;当施氮量超过 $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,番茄产量并没有随施氮量增加而增加,过量施用氮肥不但没有起到积极的作用,反而会抑制番茄的生长,引起产量的下降,这与前人^[16]的研究结果一致。因此,在保证作物产量的基础上,对高施氮量进行下调是当今生产的一项必要措施。 N450 处理番茄产量与 N270 处理、 N360 处理的产量差异不显著,在当地设施蔬菜滴灌施肥条件下,将施氮水平由施氮 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 减少到 $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 甚至 $270 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,是可行的,相当于消减氮肥使用量的 20%~40%。这与张学军等^[17]提出的温室大棚冬春茬番茄推荐施氮量 $250 \sim 300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的结论一致。

增加氮肥施用,不仅影响番茄产量,不同的施 N 处理也会影响番茄果实的可溶性糖和可滴定酸含量,对番茄的口味有很大影响。番茄生长过程中氮素营养参与果实中糖类和氨基酸的形成过程,合理施氮有利于提高果实的风味品质。过量施用氮肥会引起植株旺长,造成番茄营养生长与生殖生长失调,番茄风味品质下降;氮肥施用过少则影响番茄芳香物质形成,也影响了其风味^[18-19],适量施用氮肥有利于番茄果实风味品质的提高。

大量施用氮肥,远远超出蔬菜的吸收量,造成土壤中硝态氮残留,引起环境污染风险。从本试验可以看出,过量施用氮肥,土壤残留的硝态氮主要集中在表层,但也有向下淋溶的风险。随着施氮量的增加,各层土壤硝态氮含量明显增加,尤其当施氮量大于 $270 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,土壤各个层次硝态氮含量均显著增加, $0 \sim 100 \text{ cm}$ 土壤硝态氮累积量增加显著,环境污染风险加大。因此,设施蔬菜滴灌施氮量应根据作物生长情况严格控制。结合北京郊区土壤肥力状况,在磷钾肥配施基础上,番茄氮肥推荐施用量在 $270 \sim 360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,这样既保证蔬菜获得一定的产量,满足其地上部对氮素需求,又不会造成对环境污染的潜在威胁,从而实现作物高产稳产和土壤的可持续利用。

4 结论

(1)氮肥施用量与番茄产量关系为: $y=-0.0708x^2+50.749x+47406$,模拟得到施氮量 $358 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 番茄产量最高,为 $56500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。当施氮量低于 $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,随氮肥施用量的增加而增高,当施氮量超过 $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,番茄产量随施氮量增加而下降。

(2)番茄可溶性糖含量随着施氮量的升高基本呈增高趋势,有机酸的含量则随着施氮量呈先增高后减少的趋势,施 N 量为 $270 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,有机酸的含量最高为 0.39%,当施氮量为最高 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,番茄果实的糖酸比最高,风味较佳。

(3)随着施氮量的增加,各层土壤硝态氮含量均明显增加。当施氮量为 $0 \sim 360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, $0 \sim 100 \text{ cm}$ 土壤硝态氮累积量与施氮量呈明显的线性关系: $y=0.506x+24.61(R^2=0.975)$ 。当施氮量为 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时 $0 \sim 100 \text{ cm}$ 土壤硝态氮累积量显著增加,达 $581 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,为 N0 处理 19 倍。

(4)结合北京郊区土壤肥力状况,番茄氮肥推荐施用量为 $270 \sim 360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,可以达到经济效益与环境效益双赢的目的。

参考文献:

- [1] 杜连凤, 吴琼, 赵同科, 等. 北京市郊典型农田施肥研究与分析[J]. 中国土壤与肥料, 2009(3): 75-78.
DU Lian-feng, WU Qiong, ZHAO Tong-ke, et al. Investigation of fertilizer application in different farmlands in suburbs of Beijing[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2009(3): 75-78.
- [2] 李文庆, 张民, 李海峰, 等. 大棚土壤硝酸盐状况研究[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 283-287.
LI Wen-qing, ZHANG Min, LI Hai-feng, et al. The study of soil nitrate status in fields under plastic house gardening[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(2): 283-287.
- [3] 刘宏斌, 李志宏, 张云贵, 等. 北京市农田土壤硝态氮的分布与累积特征[J]. 中国农业科学, 2004, 37(5): 692-698.
LIU Hong-bin, LI Zhi-hong, ZHANG Yun-gui, et al. Characteristics of nitrate distribution and accumulation in soil profiles under main agro-land use types in Beijing [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(5): 692-698.
- [4] 杜连凤, 赵同科, 张成军, 等. 京郊地区三种典型农田系统硝酸盐污染现状调查[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2837-2843.
DU Lian-feng, ZHAO Tong-ke, ZHANG Cheng-jun, et al. Investigation on nitrate pollution in soils, ground water and vegetables of three typical farmlands in Beijing Region[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(8): 2837-2843.
- [5] 张娜, 张天财, 张仲. 不同肥料配比对大棚番茄品质与产量的影响[J]. 浙江农业科学, 2010(2): 260-262.
ZHANG Na, ZHANG Tian-cai, ZHANG Zhong. Effects of different fertilizer ratio on the quality and yield of greenhouse tomato[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2010(2): 260-262.
- [6] 王安, 张兰英, 王虎, 等. 不同氮肥用量对蔬菜硝酸盐累积的影响研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2): 252-253.
WANG An, ZHANG Lan-ying, WANG Hu, et al. Influence of different nitrogen dosage on nitrate accumulation in vegetables[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(2): 252-253.
- [7] 姚春霞, 郭开秀, 赵志辉, 等. 减量施肥对三种蔬菜硝酸盐含量、营养品质和生理特性的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 153-156.
YAO Chun-xia, GUO Kai-xiu, ZHAO Zhi-hui, et al. Effects of fertilizing decreasing on nitrate contents, nutritional quality and biological characteristics of three vegetables[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(4): 153-156.
- [8] 于淑芳, 杨力, 张民, 等. 控释肥对小麦玉米生物学性状和土壤硝酸盐积累的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(1): 128-133.
YU Shu-fang, YANG Li, ZHANG Min, et al. Effect of controlled release fertilizers on the biological properties of wheat and corn and soil nitrate accumulation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(1), 29(1): 128-133.
- [9] 李若楠, 张彦才, 黄绍文, 等. 氮肥施用对露地秋季大白菜产量和硝酸盐积累及氮素利用的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(增刊2): 220-225.
LI Ruonan, ZHANG Yan-cai, HUANG Shao-wen, et al. Effect of nitrogen levels on yield, nitrate and nitrogen utilization of Chinese cabbage [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2010, 25(Suppl2): 220-225.
- [10] 罗涛, 王煌平, 张青, 等. 菠菜硝酸盐含量符合安全生产的氮肥用量研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1282-1287.
LUO Tao, WANG Huang-ping, ZHANG Qing, et al. Effects of nitrogen fertilization on nitrate content of spinach under the production safety standard[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(5): 1282-1287.
- [11] 隋方功, 王运华, 长友诚, 等. 滴灌施肥技术对大棚甜椒产量与土壤硝酸盐的影响[J]. 华中农业大学学报, 2001, 20(4): 358-362.
SUN Fang-gong, WANG Yun-hua, ZHANG You-cheng, et al. The effect of fertigation system on yield of sweet pepper (*Capsicum annul. L.*) and soil nitrate in greenhouse culture[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2001, 20(4): 358-362.
- [12] 党菊香, 郭文龙, 郭俊伟, 等. 不同种植年限蔬菜大棚土壤盐分累积及硝态氮迁移规律[J]. 中国农学通报, 2004(6): 65-67.
DANG Ju-xiang, GUO Wen-long, GUO Jun-wei, et al. Study of the regularity of the salt accumulation of topsoil and NO_3^- -N migration in greenhouse soil and years of vegetables cultivation[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2004(6): 65-67.
- [13] 齐红岩, 李天来, 周璇, 等. 不同氮钾水平对番茄产量、品质及蔗糖代谢的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 251-255.
QI Hong-yan, LI Tian-lai, ZHOU Xuan, et al. Effects of different nitrogen and potassium levels on yield, quality and sucrose metabolism of tomato[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(11): 251-255.
- [14] 袁野, 周新刚, 吴凤芝. 光氮及其互作对番茄产量及品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2008(8): 11-14.
YUAN Ye, ZHOU Xin-gang, WU Feng-zhi. The interactive effects of light condition and nitrogen supply on yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) [J]. *China Vegetables*, 2008(8): 11-14.
- [15] 乐素菊, 刘厚诚, 翟英芬, 等. 樱桃番茄果实风味分析[J]. 中国蔬菜, 2003(3): 17-19.
YUE Su-ju, LIU Hou-cheng, ZHAI Ying-fen, et al. Studies on flavor of cherry tomato fruit[J]. *China Vegetables*, 2003(3): 17-19.
- [16] 张立新, 柏延芳, 张海. 氮肥对黄土高原大棚蔬菜及土壤硝酸盐累积的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 555-559.
ZHANG Li-xin, BAI Yan-fang, ZHANG Hai. Effect of nitrogen fertilization on nitrate accumulation in greenhouse vegetable and soil in the Loess Plateau[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(3): 555-559.
- [17] 张学军, 赵营, 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 Xue-jun, ZHAO Ying, CHEN Xiao-qun, et al. Effects of application of nitrogen on vegetable yield, nitrogen balance and soil nitrogen accumulation under two years' drip fertigation[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(11): 2535-2545.
- [18] 李吉进, 张青, 邹国元, 等. 施肥对番茄风味成分影响的 GC-MS 分析[J]. 中国农学通报, 2009, 25(24): 244-248.
LI Ji-jin, ZHANG Qing, ZOU Guo-yuan, et al. Study on influence of organic manure and chemical fertilizers on the flavor ingredients of tomatoes using GC-MS analysis[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(24): 244-248.
- [19] 潜宗伟, 陈海丽, 刘明池. 不同氮素水平对甜瓜芳香物质和营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1451-1458.
QIAN Zong-wei, CHEN Hai-li, LIU Ming-chi. Effects of nitrogen fertilization on aromatic compounds and nutritional quality of melon fruits [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(6): 1451-1458.