

减量灌溉下番茄施控释肥的水氮耦合效应研究

李艳梅^{1,2}, 廖上强^{1,2}, 薛高峰^{1,2}, 陈延华^{1,2}, 孙焱鑫^{1,2*}

(1. 北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097; 2. 农业部都市农业(北方)重点实验室, 北京 100097)

摘要:为考察减量灌溉下控释氮肥的施用效果,在温室大棚开展试验研究控释氮肥(P600)和减氮控释氮肥(P400)与两个不同减水量水平相耦合对番茄产量、品质及土壤硝态氮累积的影响。结果表明:与常规氮肥 U600 相比,P600 处理番茄的单果重、产量、可溶性糖、糖酸比和番茄红素含量分别增加 8.05%~36.1%、9.02%~36.1%、15.3%~27.2%、24.0%~24.4% 和 26.4%~81.9%,番茄硝酸盐及土壤硝态氮累积量分别减少 5.80%~8.41%、20.5%~70.2%。P400 与 P600 相比未显著降低番茄可溶性糖、Vc 和番茄红素含量,在减少水量 49%(F49)时的产量显著降低 17.2%。增大减水幅度使 P600 和 P400 处理的番茄红素含量分别显著增加 40.6%、18.2%,硝酸盐含量分别降低 10.5%、14.6%,但 P400 处理番茄的 Vc 含量显著降低 10.1%。综合考虑,F33P600、F49P600、F33P400 处理具有较好的应用价值,有助于推进节水农业的发展。

关键词:番茄;控释氮肥;减量灌溉;水氮耦合效应

中图分类号:S274 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2014)01-0134-07 doi:10.11654/jaes.2014.01.017

Coupling Effects of Controlled-release Urea and Water on Tomato Yield and Soil Nitrate Under Reduced Irrigation

LI Yan-mei^{1,2}, LIAO Shang-qiang^{1,2}, XUE Gao-feng^{1,2}, CHEN Yan-hua^{1,2}, SUN Yan-xin^{1,2*}

(1. Institute of Plant Nutrition and Resource, Beijing Academy of Agricultural and Forest Science, Beijing 100097, China; 2. Key Laboratory of Urban Agriculture(North), Ministry of Agriculture, P.R.China, Beijing 100097, China)

Abstract: In greenhouse tomato production, excessive applications of nitrogen and water have aroused increasing concerns over food safety and groundwater quality. An experiment was conducted in greenhouse to investigate how controlled-release urea at two rates coupled with two levels of irrigation influenced tomato growth, yield and quality as well as soil nitrate contents. The results showed that there was no significant difference in leaf chlorophyll content, stem diameter and fruit width among treatments. Compared with the routine nitrogen application, applying controlled-release urea at normal amount (600 kg N·hm⁻²) increased single fruit weight, yield, soluble sugar content, sugar to acid ratio and Lycopene by 8.05%~36.1%, 9.02%~36.1%, 15.3%~27.2%, 24.0%~24.4% and 26.4%~81.9%, respectively, but decreased fruit nitrate contents by 5.80%~8.41% and soil nitrate by 20.5%~70.2%. Reducing N supply by 33% (to 400 kg N·hm⁻²) decreased tomato yield by 17.2% ($P<0.05$) at 800 m³·hm⁻² of irrigation level (51% of the normal irrigation level). At the two rates of controlled-release urea, reducing irrigation level from 1000 m³·hm⁻² to 800 m³·hm⁻² improved tomato lycopene content by 18.2%~40.6% ($P<0.05$) and reduced tomato nitrate content by 10.1%~10.9%. However, irrigation at 800 m³·hm⁻² lead to a reduction (10.1%) of Vc content in tomato at 400 kg N·hm⁻² of controlled-release urea. It is recommended that controlled-release urea at 600 kg N·hm⁻² with 800 m³·hm⁻² or 1000 m³·hm⁻² irrigation or at 400 kg N·hm⁻² with 1000 m³·hm⁻² irrigation could all be used for tomato production. Future research is necessary on effectively reducing soil nitrate.

Keywords: tomato; controlled-release urea; reduced irrigation level; coupling effect of water and nitrogen

收稿日期:2013-06-05

基金项目:北京市农林科学院科技创新能力建设(KJ CX201104004, KJ CX201204002);北京市缓控释肥料工程中心建设(z111105055311092);首都安全投入品科技服务绿色通道建设(d131100000813001);北京市农业科技项目"番茄、芹菜高产高效水肥一体化技术集成与示范(20130108)

作者简介:李艳梅(1983—),女,陕西志丹人,助理研究员,主要从事废弃生物质资源化利用和新型肥料研究。E-mail: liyanmei0101@163.com

* 通信作者:孙焱鑫 E-mail: Sunyanxin@sohu.com

番茄是京郊设施蔬菜栽培面积最大的茄果类蔬菜,是京郊农民经济收入的重要来源^[1],但设施番茄生产一直以来存在严重水氮资源浪费、环境污染和品质下降的问题^[2],解决番茄栽培中存在的粗放水氮管理问题尤为迫切。近年来,控释氮肥及减氮技术的研究和应用实践证明,氮素控释技术在实现作物增产的同时有助于减少人力和成本投入,减轻氮素对生态环境的污染^[3-5],氮素减量技术在改善番茄品质的同时,可提高氮肥利用效率,减少土壤硝态氮残留^[6-7]。有关减量灌水的研究结果表明,增加减水幅度提高了水分利用率,因而总体改善了番茄品质,但同时也导致番茄产量普遍降低^[8]。迫于严峻的水资源紧缺形势,如何在节水灌溉条件下,保证番茄品质提高的同时,使产量降幅尽可能减小,是当前节水农业领域的研究重点^[8]。

水分和氮肥是作物生长不可缺少的两个组成部分,二者在进入作物根际土壤后会产生相互协同、叠加及拮抗 3 种不同方式的互作效应,因此农田水氮管理的初衷就在于建立作物与水氮的和谐统一关系,以达到协同效应,进而实现作物高产优质。目前,蔬菜的水氮互作效应研究已经证实水氮因子的相互协同有助于节水节氮、增产保质并避免环境污染^[9-11],但这类研究重点关注常规氮肥与水分的互作效应,而对近年较常采用的控释氮肥如何与水分互作研究却鲜见报道。与常规氮肥遇水速溶的特点不同,在土壤含水量小于田间最大持水量的 30% 时,控释氮肥中氮素的溶出率呈随含水量降低而明显减小的趋势^[12],且控释氮肥氮素溶出量也受控释氮肥用量的影响。因此,减量灌溉条件下,减水幅度增大对常规氮肥、控释氮肥及减氮控释氮肥处理番茄产量、品质及土壤硝态氮累积的影响可能会有很大不同。

基于上述问题,本研究以京郊秋冬茬设施番茄为研究对象,设置调亏灌溉结合不同氮肥的水氮组合处理,通过对比不同措施对番茄生长、产量、品质及土壤硝态氮含量和累积量的影响,验证上述假设并阐明减量灌溉条件下控释氮肥及减氮控释氮肥在番茄上应用的水氮互作效应,以期使番茄生产在节水并提高品质的同时产量保持在较高水平。氮肥用量减少,由此引发的环境污染减轻,进而为优化设施番茄水氮耦合措施提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验设在房山区窦店镇的泰华卢村蔬菜基地。标准化日光温室中土壤类型为褐土,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 土壤耕层养分状况:pH 值 7.28,有机质 24.6 g·kg⁻¹,全氮 1.6 g·kg⁻¹,硝态氮 161 mg·kg⁻¹,速效磷 170 mg·kg⁻¹,速效钾 212 mg·kg⁻¹。供试番茄为当地秋冬茬普遍栽培的品种“佳丽 F1”。2011 年 7 月 10 日开始育苗,9 月 1 日移栽定植。栽培方式均为传统的畦栽,行距 60 cm,株距 40 cm,过道 80 cm,每株留果 3 穗。

试验采用随机区组设计。以灌溉量为主处理,设置灌水量减少 33% 和 49% 两个减量灌溉(与常规灌水量 0.15 m³·m⁻² 相比)处理。以施氮量为副处理,设置不施氮、常规氮肥、控释氮肥及减氮 33% 控释氮肥处理。试验共 8 个水氮组合处理(表 1),每个处理重复 3 次。试验用控释尿素采用聚合物包膜工艺制造,包衣材料为聚烯烃高分子树脂聚合物,添加剂为滑石粉,包衣材料与添加剂比例为 9:1,控释尿素包衣率 5.6%,含氮量 43%,释放期 30 d(25 ℃,静水)。磷肥

表 1 水氮组合试验设计

Table 1 Design for water and nitrogen coupling experiment

处理编号 Treatments	氮肥处理 Nitrogen fertilizer treatment	施氮量 Nitrogen fertilizer rate/kg·hm ⁻²	灌溉处理 Irrigation treatment	灌溉量 Irrigation rate/m ³ ·m ⁻²	灌水量折算 Irrigation conversion/mm
T1 F33U0	不施氮	0	减量 33% 沟灌	0.10	0.15
T2 F33U600	常规氮肥	600	减量 33% 沟灌	0.10	0.15
T3 F33P600	控释氮肥	600	减量 33% 沟灌	0.10	0.15
T4 F33P400	减氮 33% 控释氮肥	400	减量 33% 沟灌	0.10	0.15
T5 F49U0	不施氮	0	减量 49% 沟灌	0.08	0.12
T6 F49U600	常规氮肥	600	减量 49% 沟灌	0.08	0.12
T7 F49P600	控释氮肥	600	减量 49% 沟灌	0.08	0.12
T8 F49P400	减氮 33% 控释氮肥	400	减量 49% 沟灌	0.08	0.12

注:其他图表中的编号同此表。番茄整个生育期共灌溉 4 次,灌溉时间分别为 2011 年 9 月 12 日、10 月 6 日、10 月 24 日和 11 月 15 日。

Note: The same symbols were used for other tables and figures. Four irrigations were applied during the while growth period on 12 Sep, 6 Oct, 24 Oct and 15 Nov, 2011.

(含 P_2O_5 12% 的普钙, $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 和有机肥 ($150\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 全部作基施。氮肥和钾肥 (含 K_2O 52% 的硫酸钾, $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) $1/3$ 基施, $2/3$ 追施 (注: 氮肥基施处理不同, 追施均为常规尿素)。有机肥为腐熟牛粪 (N 0.36%、 P_2O_5 0.22%、 K_2O 0.11%)。试验小区规格为 $1.4 \text{ m} \times 7 \text{ m}$, 小区之间用塑料薄膜 (埋深 40 cm) 纵向隔开, 防止处理之间相互影响。试验区两端设有保护行, 与试验区的管理相同。

1.2 样品采集和测定

番茄第三穗果实膨大期测定叶片叶绿素含量与植株茎粗。番茄盛果期随机选取 6 个果实样品, 测定果径、单果重和品质指标。拉秧期挖 0~100 cm 土壤剖面, 用环刀分别取 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 的原状土体, 测得土壤容重值分别为 1.28、1.55、1.56、1.58、 $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。同时用土钻分 5 层 (每层 20 cm) 采集土壤样品, 测定硝态氮含量。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。

参考《土壤农化分析》^[13] 分析土壤样品: 采用重铬酸钾外加热法测定有机质, 半微量凯氏法测定全氮, 酚二磺酸比色法测定硝态氮, $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaHCO_3 浸提、钼锑抗比色法测定速效磷, $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 中性 NH_4OAc 浸提、火焰分光光度法测定速效钾。参考《植物生理生化实验原理和技术》^[14] 分析果实品质: 采用阿贝折射仪测定固形物, 蒽酮比色法测定可溶性糖, 指示剂滴定法测定可滴定酸, 比色法测定 V_c , 紫外分光光度法测定硝酸盐和番茄红素含量。

1.3 数据处理与计算

数据整理及作图采用 Excel 2003 软件完成, 统计分析采用 SPSS 13.0 中单因素方差分析法 (One Way

Anova), 用新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同水氮组合对番茄生长及产量的影响

分析结果 (表 2) 表明, T1~T8 处理之间的叶绿素和茎粗差异均未达显著水平 ($P>0.05$), 说明水氮耦合调控对番茄叶绿素和茎粗的影响均不显著。T1、T5 处理的果径和单果重低于其他 6 个处理, 且在 T1 与 T2、T1 与 T3、T1 与 T4 以及 T5 与 T7、T5 与 T8 之间均存在显著差异, 说明控释氮肥及减氮 33% 控释氮肥与不施氮处理相比在减少水量 33% 及 49% 条件下均显著增加番茄果径和单果重, 常规氮肥与不施氮处理相比仅在减少水量 33% 条件下显著增加番茄果径和单果重。

试验地番茄共采收了 16 次, 果实累计产量表明, T2~T4 和 T6~T8 处理番茄产量显著高于 T1 和 T5 处理, 增产率为 13.5%~68.7%, 说明减少水量 33% 及 49% 条件下施氮与不施氮相比显著增加番茄产量。T3 和 T4 分别较 T2 提高 9.01%、2.36%, 处理间差异均不显著; T7 和 T8 分别较 T6 提高 36.1%、12.7%, 处理间均存在显著差异。说明与常规氮肥相比, 控释氮肥及减氮 33% 控释氮肥均实现番茄增产, 且在减水 49% 时的产量增幅均达显著水平。

T3、T4 和 T7 处理之间的单果重、总产量差异均不显著, 但均显著高于 T8 处理, 说明减水幅度由 33% 增至 49% 或控释氮肥用量减少 33% 未降低单果重和总产量, 但减氮 33% 控释氮肥结合增加减水幅度显著降低了单果重和总产量。总之, 控释氮肥结合减水 33%、控释氮肥结合减水 49% 及减氮 33% 控释氮肥结合减水 33% 这 3 个组合处理番茄的生长状况较

表 2 不同水氮组合对番茄生长和产量的影响

Table 2 Effects of water and nitrogen on growth and yield of tomato

处理编号 Treatments	叶绿素 Chlorophyll (SPAD)	茎粗 Stem diameter/mm	果径 Fruit diameter/mm	单果重 Fruit weight/g	产量 Yield/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$
T1 F33U0	41.2a	8.02a	74.5b	196c	56 963d
T2 F33U600	41.7a	8.22a	86.9a	275a	88 185ab
T3 F33P600	43.9a	8.56a	88.0a	298a	96 135a
T4 F33P400	42.4a	8.35a	87.6a	283a	90 263a
T5 F49U0	40.3a	7.94a	75.0b	190c	58 635d
T6 F49U600	42.0a	8.18a	77.2b	211bc	66 548c
T7 F49P600	42.3a	8.25a	88.6a	287a	90 570a
T8 F49P400	43.3a	8.63a	87.1a	238b	75 023b

注: 数值后不同字母表示差异达 5% 显著水平。下同。

Notes: Values followed by different letters mean significant difference at 5% level. The same below.

好,产量较高。

2.2 不同水氮组合对番茄品质的影响

从表 3 看出,番茄果实固形物含量在不同处理间无显著差异。T3 和 T4 处理的可溶性糖含量分别比 T2 处理高 15.3%、2.2%,T7 和 T8 处理分别比 T6 处理高 27.7%、9.4%,T3 与 T4、T7 与 T8 间差异均不显著,说明控释氮肥和减氮 33%控释氮肥与常规氮肥相比在减水 33%及 49%条件下均增加可溶性糖含量,且在减水 49%时的增幅更大;控释氮肥用量减少 33%未显著降低番茄可溶性糖含量。糖酸比表现为:T3>T2 ($P<0.05$),T7>T6 ($P<0.05$),T4<T3 ($P>0.05$),T8<T7 ($P<0.05$),说明控释氮肥与等氮量常规氮肥相比显著增加了番茄糖酸比,控释氮肥用量减少 33%降低了番茄糖酸比,但在减水 49%时的降幅未达显著水平。

Vc 含量在 12.1~15.3 mg·g⁻¹, 表现为 T1<T2<T4<T3、T5<T6<T8<T7。T2、T3 和 T4 处理间以及 T6、T7 和 T8 处理间的 Vc 含量差异均不显著,说明两个减水条件下 3 个氮肥处理均增加了番茄 Vc 含量,但增幅差异不大。硝酸盐含量表现为 T2、T3 和 T4 大于 T1 处理,T6、T7 和 T8 大于 T5 处理,T3 比 T2 处理降低 8.41%,T7 比 T6 处理降低 5.80%,说明施氮导致番茄硝酸盐累积,但控释氮肥与等氮量常规氮肥相比降低了硝酸盐累积量;此外,T4<T2 ($P<0.05$),T8<T6 ($P<0.05$),说明与常规氮肥相比,采用控释氮肥且减氮 33%的处理显著降低了硝酸盐累积量。从表 3 可见,与减水 33%相比,减水 49%时 3 个施氮处理番茄的硝酸盐含量均降低,说明亏缺灌溉条件下减少灌水量降低了番茄硝酸盐累积。

番茄红素含量分析结果显示:T2 与 T1、T6 与 T5 处理相比分别显著降低 20.9%和 33.1%,说明与不施氮相比,施用常规氮肥显著降低番茄红素含量,且在

减水 49%时的降幅更大。T3、T4 相对于 T1 处理分别增加 4.77% ($P>0.05$) 和 8.69% ($P>0.05$),T7、T8 相对于 T5 处理分别增加 29.2% ($P<0.05$) 和 12.7% ($P<0.05$),说明控释氮肥与不施氮相比增加了番茄红素含量,且在减水 49%时的增幅显著。T3 与 T4、T7 与 T8 处理间的差异均不显著,说明控释氮肥用量减少 33%未显著降低番茄红素含量。数据还显示,T5>T1、T6>T2、T7>T3、T8>T4,T7 与 T3、T8 与 T4 处理间差异显著,说明亏缺灌溉条件下减少灌水量增加了施氮处理番茄红素含量,其中,控释氮肥及减氮 33%控释氮肥的增幅均达显著水平。

2.3 不同水氮组合对土壤硝态氮累积和分布的影响

采用公式 $An=p \times h \times n$ 将硝态氮含量换算为硝态氮累积量(式中 An 为土层中硝态氮累积量,kg·hm⁻²; p 为土壤容重,g·cm⁻³; h 为土层深度,cm; n 为硝态氮含量,mg·kg⁻¹)。由计算结果(图 1)看出,在减水 33%及 49%条件下,控释氮肥和减氮 33%控释氮肥土壤硝态氮累积量明显小于常规氮肥处理,控释氮肥 P600 与等氮量常规氮肥 U600 处理相比土壤硝态氮累积量减少 20.5%~70.2%,减氮 33%控释氮肥在减水 33%

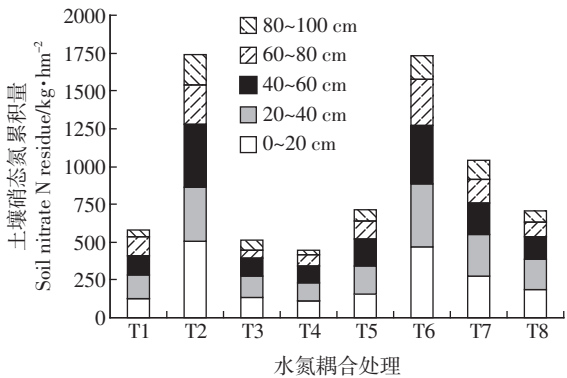


图 1 不同水氮组合对土壤硝态氮残留的影响

Figure 1 Effects of water and nitrogen on soil nitrate contents

表 3 不同水氮组合对番茄品质的影响

Table 3 Effects of water and nitrogen on fruit quality of tomato

处理编号 Treatments	固形物 Solids content/%	可溶性糖 Soluble sugar/%	糖酸比 Sugar/acid ratio	维生素 c Vc/mg·100 g ⁻¹	硝酸盐 Nitrate/mg·kg ⁻¹	番茄红素 Lycopene/μg·g ⁻¹
T1 F33U0	5.42ab	3.77c	5.39b	12.1c	335b	7.13c
T2 F33U600	5.58ab	4.05ab	4.71d	14.4ab	387a	5.64d
T3 F33P600	6.42a	4.67a	5.86b	15.3a	354b	7.47c
T4 F33P400	5.75ab	4.14ab	5.59b	14.9a	329b	7.75c
T5 F49U0	5.25ab	3.46c	4.42d	12.3c	262c	8.13b
T6 F49U600	5.32ab	3.61c	5.16c	13.1b	336b	5.77d
T7 F49P600	5.42ab	4.61a	6.40a	14.2ab	317b	10.5a
T8 F49P400	5.62ab	3.95ab	5.00c	13.4b	281c	9.16a

时的硝态氮累积量最小,为 $446 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。增加减水幅度大幅增加了土壤硝态氮累积量,减水幅度由 33%增至 49%时,控释氮肥和减氮 33%控释氮肥处理土壤硝态氮累积量分别显著增加 $0.73 \sim 1.98$ 、 $0.35 \sim 1.73$ 倍。0~100 cm 土层硝态氮累积量大小顺序为 $T2 \approx T6 > T7 > T8 \approx T5 > T1 \approx T3 \approx T4$,说明施氮是土体中硝态氮累积量较大的一个重要原因。

3 讨论

本研究表明,控释氮肥和减氮 33%控释氮肥与常规氮肥相比使番茄增产提质,且明显减少了土壤硝态氮累积;控释氮肥处理在减少水量幅度由 33%增至 49%时能在保持番茄品质的同时不降低番茄产量,因而有利于推进节水农业发展。

两个减量灌水下,控释氮肥处理番茄的产量显著高于常规氮肥处理,减氮 33%控释氮肥处理番茄的果径、单果重和产量也较常规氮肥有显著增加(表 2)。这主要是因为控释氮肥氮素养分释放在氮肥施入土壤一定时间后才达到高峰,有利于番茄生殖生长对养分的需求,进而有助于番茄生长状况的改善和产量增加^[15]。这与王鑫等^[3]和张玉华等^[16]报道的控释氮肥及减氮控释氮肥相对于常规氮肥在增加番茄单果重和产量方面具有明显优势的研究结论基本一致。另外,减水幅度由 33%增至 49%时,常规氮肥处理番茄产量显著降低(表 2),可能主要是因为水分亏缺程度过大会影响番茄植株叶片的生长,进而影响番茄光合作用,造成番茄减产^[8];减氮 33%控释氮肥处理番茄产量显著降低的原因可能是低氮在减水幅度增大时氮素溶出率较低,因此不足以满足番茄植株对氮素的利用需求。对比发现,控释氮肥减水 49%时的产量较常规氮肥减水 33%处理有大幅增加,减氮 33%控释氮肥在减水 49%时的产量与常规氮肥在减水 33%时的产量相比未明显降低,说明亏缺灌溉条件下选用控释氮肥能在节水的同时保证番茄的产量。

控释氮肥及减氮 33%控释氮肥处理与常规氮肥相比,在两个亏缺灌溉水量下的番茄各项品质均得到显著改善(表 3),硝酸盐含量大幅降低,番茄红素含量显著增加($P < 0.05$)。这与吴正景等^[17]、王鑫等^[3]和朱余清等^[18]报道的常规灌水量条件下控释氮肥及减氮 15%控释氮肥相对于常规氮肥增加了番茄 Vc、可溶性糖和番茄红素含量,且降低了番茄硝酸盐累积量的研究结论大体一致。控释氮肥氮素缓慢释放的特点使番茄整个生育期都能有效利用氮素,有利于增加番茄

糖分、Vc 和番茄红素含量,选用控释氮肥能减轻土壤中氮素向硝酸盐的转化程度,因此有助于减少番茄对硝酸盐的吸收^[18]。与前期亏缺灌溉条件下增大减水幅度使常规氮肥处理番茄可溶性固形物、可溶性糖含量和 Vc 含量增大的报道^[8]不同,本研究(表 3)发现增大减水幅度对常规氮肥处理番茄固形物含量的影响不大,番茄红素含量的增加也不显著,并且番茄可溶性糖和 Vc 含量均降低。研究结论的不同可能与供试土壤肥力、番茄品种或水肥用量不同有关,后期还需通过增加番茄品种和采用不同肥力土壤试验对此做进一步深入研究。试验同时还发现,与常规氮肥减水 33%组合处理相比,控释氮肥减水 49%组合处理番茄红素含量和糖酸比分别显著增加 86%和 35%、硝酸盐含量显著降低 18%;减氮 33%控释氮肥减水 49%组合处理番茄红素含量和糖酸比分别显著增加 62%和 6.2%、硝酸盐含量显著降低 27%,说明亏缺灌溉条件下选用控释氮肥能在节水节氮的同时明显改善番茄品质。

控释氮肥减少土壤硝态氮残留的作用已被前人研究^[19]证实。本研究表明,与常规氮肥相比,控释氮肥及减氮 33%控释氮肥在两个亏缺灌水下条件下均显著减少了 0~100 cm 各土层土壤硝态氮含量和累积量。这主要是控释氮肥中添加了脲酶及硝化抑制剂能延缓铵态氮向硝态氮转化,因而能提高氮素利用率,减少土壤硝态氮残留。增大减水幅度对常规氮肥和控释氮肥处理土壤硝态氮累积量的影响不同,减水幅度由 33%增至 49%后,常规氮肥处理番茄地土壤硝态氮含量和累积量无明显变化,控释氮肥及减氮 33%控释氮肥处理土壤硝态氮含量和累积量则显著增加(图 1),原因可能在于较低的水分含量阻碍了控释氮肥氮素释放及硝态氮向深层迁移^[20],因而增加了土壤硝态氮累积量。但两个减量灌溉条件下常规氮肥处理土壤硝态氮累积量在各施氮处理中仍然是较高的,与常规氮肥减水 33%组合处理相比,控释氮肥减水 49%组合处理土壤硝态氮累积量明显降低 40%;减氮 33%控释氮肥减水 49%组合处理土壤硝态氮累积量明显降低 59%。本试验 4 个控释氮肥水氮组合处理中,除 T7 处理外,其他处理土壤硝态氮累积量与不施氮处理相比均无明显差异,证实控释氮肥在减少土壤硝态氮残留方面的积极作用。总体来看,本试验各处理番茄地土壤硝态氮累积量(图 1)均处于相对较高水平。这可能主要由设施地土壤氮素本底值较高(见 1.1)及番茄根系较浅所致,也说明目前设施番茄地土壤仍存在氮

素高残留问题,后期还需对控释氮肥用量、施用方式、灌水时期、灌水量及水氮组合措施等继续开展探索优化研究。

4 结论

(1)在沟灌水量减少 33%及 49%的条件下,控释氮肥 P600 与等氮量常规氮肥 U600 处理相比,不仅促进番茄生长、增加番茄产量,还明显改善了番茄品质,大幅降低了土壤硝态氮累积量。

(2)两个减水条件下,控释氮肥 P400 处理与 P600 处理相比对番茄主要品质指标的影响均不显著;但在沟灌水量减少 49%的条件下,控释氮肥用量减少 33%,使番茄产量显著降低了 17.2%。

(3)沟灌水量的减水幅度由 33%增至 49%增加了两个控释氮肥处理番茄的番茄红素含量,降低了其硝酸盐累积量;对番茄产量和 Vc 含量的影响则因控释氮肥用量不同而异,增加减水幅度对控释氮肥 P600 处理番茄的产量和 Vc 含量的影响均不显著,但显著降低了控释氮肥 P400 处理番茄的产量和 Vc 含量。

(4)本试验条件下,综合考虑番茄产量、品质及土壤硝态氮累积,适宜的水氮耦合模式为:减水 33%结合控释氮肥 P600 处理、减水 49%结合控释氮肥 P600 处理和减水 33%结合控释氮肥 P400 处理。

参考文献:

- [1] 王克武. 蔬菜水肥一体化节水技术研究与应用[M]. 北京:中国农业出版社, 2010.
WANG Ke-wu. Technology and application of water saving of integral control of water and fertilization in vegetable production[M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2010.
- [2] 郭全忠, 张建平, 陈竹君, 等. 肥水调控对日光温室番茄土壤养分和盐分累积的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(7): 111-117.
GUO Quan-zhong, ZHANG Jian-ping, CHEN Zhu-jun, et al. Effect of different fertilizer and water managements on the accumulation of nutrients and salts in soils under sunlight greenhouses with tomato[J]. *Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed)*, 2008, 36(7): 111-117.
- [3] 王鑫, 刘建新, 徐秋明, 等. 包膜控释尿素对大棚番茄的增产与品质提高效应[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(6): 137-140.
WANG Xin, LIU Jian-xin, XU Qiu-ming, et al. Effects of coated urea on yield and quality of greenhouse tomato[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(6): 137-140.
- [4] 杨俊刚, 曹兵, 徐秋明, 等. 包膜控释肥料在旱地农田的应用研究进展与展望[J]. 土壤通报, 2010, 41(2): 494-500.
YANG Jun-gang, CAO Bing, XU Qiu-ming, et al. Progress and prospect in the application of controlled-release fertilizer in upland field[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(2): 494-500.

- nese *Journal of Soil Science*, 2010, 41(2): 494-500.
- [5] 王德汉, 朱兆华, 彭俊杰, 等. 含氮木质素作为尿素控释材料提高水稻、玉米氮肥利用率研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(5): 574-577.
WANG De-han, ZHU Zhao-hua, PENG Jun-jie, et al. N-lignin used as a controlled-release material of urea in improving nitrogen-utilized efficiency for rice and maize crops[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(5): 574-577.
- [6] 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.
SHA Hai-ning, SUN Quan, LI Jian-she, et al. Effect of N fertilizer on growth, yield, quality of tomato and optimum application rate of N in greenhouse[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2010, 19(3): 104-108.
- [7] 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 Hui-min, ZHANG Jian-feng, YANG Jun-cheng, et al. Effects of models of N application on greenhouse tomato N uptake, utilization and soil NO₃-N accumulation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(12): 2623-2630.
- [8] 殷韶梅, 胡笑涛, 康绍忠, 等. 温室番茄结果期产量和品质对水分亏缺的响应[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(3): 39-42, 81.
YIN Shao-mei, HU Xiao-tao, KANG Shao-zhong, et al. Effects of deficit irrigation on yields and quality of tomato in green house at maturing stage[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2011, 30(3): 39-42, 81.
- [9] 于红梅, 李子忠, 龚元石. 传统和优化水氮管理对蔬菜地土壤氮素损失与利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 54-59.
YU Hong-mei, LI Zi-zhong, GONG Yuan-shi. Comparison of nitrogen loss and use efficiency of vegetable in vegetable field under traditional and improved water and N-fertilizer management[J]. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(2): 54-59.
- [10] 袁丽萍, 米国全, 赵灵芝, 等. 水氮耦合供应对日光温室番茄产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008(2): 69-73.
YUAN Li-ping, MI Guo-quan, ZHAO Ling-zhi, et al. Concurrent influences of different water and nitrogen supplement on yields and quality of tomato in solar-greenhouse[J]. *Soil and Fertilizer Sciences*, 2008(2): 69-73.
- [11] 高兵, 任涛, 李俊良, 等. 灌溉策略及氮肥施用对设施番茄产量及氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(6): 1104-1109.
GAO Bing, REN Tao, LI Jun-liang, et al. Effect of irrigation strategies and N sidedressing on the yield and N utilization of greenhouse tomato[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(6): 1104-1109.
- [12] 陈延华, 孙焱鑫, 薛高峰, 等. 基于 SUGIHARA 模型的树脂包衣控释肥在土壤中释放规律的研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(3): 637-641.
CHEN Yan-hua, SUN Yan-xin, XUE Gao-feng, et al. Study on releasing mechanics of resin-coated controlled-release fertilizer in soil based on SUGIHARA Model[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(3): 637-641.

- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- LU Ru-kun. Analysis method of soil agrichemistry[M]. Beijing: China Agricultural Technology Publishing House, 2000.
- [14] 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, 1999.
- LI He-sheng. Principal and technique of physiological-biochemical experiments of plant[M]. Beijing: Higher Education Press, 1999.
- [15] 王 艳, 王小波, 王小晶, 等. 包膜缓释肥料(CSFs)增产机理与氮肥利用率示踪研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(5): 109-111.
- WANG Yan, WANG Xiao-bo, WANG Xiao-jing, et al. Research on increase yield mechanisms of coated slow-release fertilizers and N utilization ratio by tracing[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(5): 109-111.
- [16] 张玉华. 控释掺混肥对番茄生长发育、产量及品质的影响[D]. 山东: 山东农业大学, 2009.
- ZHANG Yu-hua. Effects of controlled-release bulk blending fertilizer on the growth, yield and quality of tomato[D]. Shandong: Shandong Agricultural University, 2009.
- [17] 吴正景, 邹志荣. 树脂包膜尿素对日光温室番茄产量及品质的影响[J]. 西北农业学报, 2004, 13(3): 107-109.
- WU Zheng-jing, ZOU Zhi-rong. Effect of resin-coated urea on yield and quality of tomato fruits in sunlight greenhouse[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2004, 13(3): 107-109.
- [18] 朱余清, 王 军. 控释肥料对中蔬4号番茄产量和品质的影响[J]. 长江蔬菜(学术版), 2011(12): 60-63.
- ZHU Yu-qing, WANG Jun. Effect of application rate of controlled release fertilizers on yield and quality of tomato cultivar Zhongshu No. 4 [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2011(12): 60-63.
- [19] 张文新, 张成军, 赵同科, 等. 缓释氮肥减少菜田土壤硝酸盐淋溶研究[J]. 华北农学报, 2010, 25(5): 166-170.
- ZHANG Wen-xin, ZHANG Cheng-jun, ZHAO Tong-ke, et al. Research on controlled release nitrogen fertilizer reducing nitrate leaching in vegetable fields[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2010, 25(5): 166-170.
- [20] 杜建军, 王新爱, 廖宗文, 等. 不同浸提条件对包膜控/缓释肥水中溶出率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 71-78.
- DU Jian-jun, WANG Xin-ai, LIAO Zong-wen, et al. Effects of different extract conditions on water distribution rate of coated controlled/slowed-release fertilizer[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(1): 71-78.



废物填埋手册

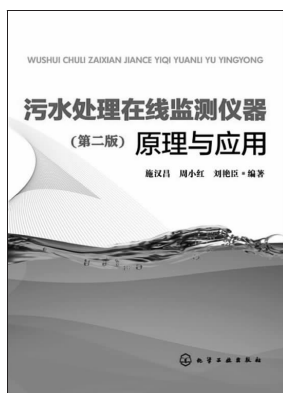
本书主要介绍了从危险废物填埋场选址需要注意的事项, 涉及选址的各项指标评价和填埋场前期建设的人员设施准备要点; 在具体设计建造过程中的基建、渗水、填埋气和封盖等方面的管理事项; 填埋场自建设完毕到封场开始前的运营时期内的管理事项, 包括报告制度、许可证制度、人事制度、水气监测和安全管理等要点; 危险废物填埋场监测的整体体系和具体监测记录要点等; 填埋场封场后的后期管理等内容。

※书号: 9787122168726

※定 价: 138.0 元

※开本: 16

※出版日期: 2014 年 1 月



污水处理在线监测仪器原理与应用(第二版)

本书介绍了污水处理中常用的在线监测仪器及其基本原理, 内容包括仪器仪表的基本知识、污水处理的常用监测指标、污水处理在线监测仪器、数据采集与通信、仪器仪表的日常维护与管理, 和在线监测仪器的应用及实例。在此基础上, 根据国内外最新发展, 增加了溶解氧的荧光检测技术、COD 的光谱检测技术、基于人工嗅觉原理的氨氮检测技术、生物毒性检测和管网的液位检测等新技术。

※书号: 9787122182852

※定 价: 49.0 元

※开本: 16

※出版日期: 2013 年 11 月

如需更多图书信息, 请登录 www.cip.com.cn

服务电话: 010-64518888, 64518800(销售中心)

网上购书可登录化学工业出版社

天猫旗舰店: <http://hxgycbs.tmall.com>

邮购地址: (100011) 北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社

如要出版新著, 请与编辑联系。联系电话: 010-64519525