

负水头灌溉施肥对日光温室番茄生长及产量的影响

姜红娜^{1,2}, 李银坤², 陈菲², 张芳^{2,3}, 郭文忠², 薛绪掌², 陈青云^{1*}

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193; 2. 北京农业智能装备技术研究中心, 北京 100097; 3. 西安理工大学水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 通过日光温室番茄栽培试验, 研究了3种负水头灌溉施肥模式对日光温室番茄生长及产量的影响。结果表明, 基于负水头灌溉的常规基追施肥处理(CK)、按EC值调配的常规肥料处理(T1)和山崎番茄大量元素配方施肥处理(T2)的株高、叶片数和品质均无显著差异, 但T2处理的茎粗显著高于CK处理和T1处理。叶片净光合速率、单果重和产量均以T2处理的最高, 与CK和T1处理相比, T2处理可分别增产13%和11%。番茄生育期内, T2处理的氮素利用效率最高, 比CK和T1处理分别提高了12%和10%。综合番茄生长、产量以及氮素利用等指标, 采用基于负水头的营养液管理施肥模式能有效地控制水分和肥料适时供应, 满足作物对养分的全面需求, 是日光温室蔬菜生产中值得推广应用的一种灌溉施肥新模式。

关键词: 负水头; 灌溉施肥; 番茄; 产量

中图分类号: S275; S147.2; S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6257(2015)06-0065-06

近年来, 设施园艺产业发展较快, 2011年设施园艺面积已超过400万 hm^2 , 居世界前列, 蔬菜是设施园艺中的主要栽培作物, 其面积可占设施园艺面积的90%^[1]。番茄是设施蔬菜栽培中较为普遍的品种之一, 由于其具有水果和蔬菜的双重身份, 且营养价值较高, 备受人们青睐^[2]。大量研究表明, 合理的水肥管理是促进番茄生长和产量形成的重要保证^[3-6]。我国传统的施肥方式是将肥料的60%作为基肥施入土壤中, 在蔬菜的生育期内将剩余的40%肥料以追肥的形式施入土壤中^[7], 由于水肥不同步, 肥料一次性投入量高, 灌水量大且频繁, 造成水肥利用效率低、土壤盐渍化等问题^[8]。

水肥一体化是将灌溉和施肥相结合, 在灌溉的同时进行施肥。实现水、肥的一体化管理^[9], 是国际上公认的一项高效节水节肥农业新技术。国内外大量研究表明, 水肥一体化技术相比传统灌溉施肥方式, 能显著增加产量、改善品质和提高水肥利用效率^[10-11]。同时还具有减少土壤中盐分累积、改善土壤微生物结构和促进作物根系生长的显著效果^[12]。

目前水肥一体化所用肥料多为可溶性肥, 可溶性肥虽然易溶解、养分含量高, 但价格昂贵, 在实际蔬菜生产中应用较少。近年来, 一种新的水肥管理技术(营养液土壤栽培技术)在我国得到应用, 其主要是利用灌溉设施充分激活土壤的良好物理性能(缓冲能力), 根据作物不同生长阶段, 给作物提供必要、适量的营养液的栽培方式^[13]。高艳明等^[14]研究表明, 与传统施肥处理相比, 营养液土壤栽培处理的番茄总产量提高了8.2%~22.8%, 施肥量却减少了23.2%~73%, 且番茄品质得到改善。

负水头灌溉属于一种亚表层灌溉技术, 是基于盘式负压入渗原理, 将供水压力设定为负压, 利用土壤水分基质吸力向土壤供水, 可以实现土壤含水率的精确控制^[15-16]。如今, 有关负水头灌溉对日光温室蔬菜生长的研究较多^[17-19], 而关于日光温室蔬菜生长对负水头灌溉施肥模式响应的研究尚未见到。本研究利用负水头灌溉技术为日光温室番茄提供适宜的土壤水分条件, 继而研究不同施肥模式对番茄生长及产量的影响, 以探讨日光温室蔬菜生产合理的灌溉施肥管理模式, 并为进一步建立日光温室蔬菜生产科学的灌溉施肥体系提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于2014年3月至7月在北京市国家精准

收稿日期: 2014-09-24; 最后修订日期: 2014-11-30

基金项目: 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20140415); 北京市农林科学院青年基金(QNJJ201421)。

作者简介: 姜红娜(1990-), 女, 河北衡水人, 在读硕士, 研究方向为水肥一体化灌溉施肥。E-mail: jhn9009@163.com。

通讯作者: 陈青云, E-mail: caucqy@163.com。

农业研究示范基地日光温室内进行。供试温室长 29 m, 宽 8 m, 试验前 0~20 cm 土壤有机质为 23.3 g/kg, 全氮为 1.57 mg/kg, 土壤容重为 1.39 g/cm³, pH 值为 6.75。

试验采用负水头供液。负水头灌溉系统是一个密封系统, 主要由浮球装置和控压管组成的控压装置、集气罐、供水器组成(图 1), 三者由管道进行连接, 盘式供水器(多孔陶瓷盘)竖埋于土壤中, 番茄植株栽种在陶瓷盘两侧。系统运行前, 整个装置充满水, 排除装置内的空气。当盘式供水器周围的土壤比较干燥时, 土壤便从盘式供水器中吸水, 集气罐中的水位开始下降, 此时集气罐中的真空度开始增加, 控压管中的空气通过连接的管道进入集气罐中, 以弥补集气罐中变化的真空度。由于

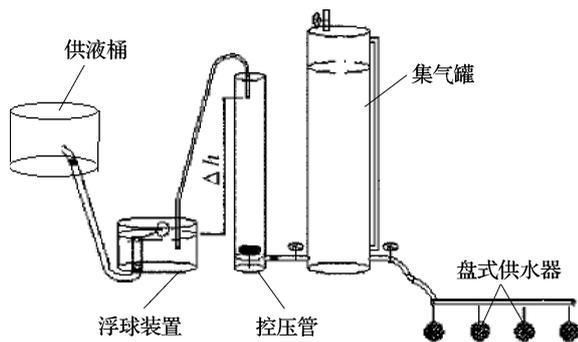


图 1 负水头灌溉系统工作原理^[15,20]

控压管中真空度增加, 与外界大气压强形成一个气压差, 此时, 浮球装置中的灌溉水会随着导管进入控压管中, 由于浮球装置起到控制水位的作用, 装置中水位下降, 浮球装置的阀门打开, 供液桶中的水由导管进入浮球装置, 这样整个装置就可以正常运作^[15,20]。

根据已有研究结果^[16], 本试验采用适宜于温室番茄生长的负水头灌溉吸力值为 5 kpa。基于负水头灌溉条件下设 3 种施肥模式(表 1): 常规基追施肥处理(CK)、按 EC 值调配的常规肥料处理(T1) 和山崎番茄大量元素配方施肥处理(T2)。其中, 处理 CK 的施肥量根据目标产量为 7 000 kg/hm²进行计算^[21-22], 分基施(1 次)和追施(4 次); 处理 T1 的氮、磷、钾施肥比例根据番茄生育期的变化进行调配^[21-23]; 处理 T2 按照山崎大量元素的番茄配方进行施肥。其中处理 T1 和 T2 按照番茄苗期、结果期和收获期的 EC 值分别为 1.0、1.8 和 2.5 mS/cm 进行管理。处理 CK 和 T1 选用具有可溶性的肥料, 尿素(N, 46.7%)、磷酸二氢铵(N:P=1:2.2)、硫酸钾(K₂O, 54%)。肥料均先溶于水, 然后添加至供液桶内, 以肥液的形式施入土壤。各处理的有机肥(鸡粪)用量相同, 为 30 000 kg/hm², 均以底肥的形式施入土壤。详细施肥管理及用量如表 1 所示。

表 1 各处理不同阶段施肥量和施肥总量

(kg/hm²)

肥料	CK			T1				T2			
	底肥	追肥量	总量	苗期	花期	盛果期	总量	苗期	花期	结果期	总量
N	120.0	195.0	315.0	129.4	126.3	123.2	378.9	77.7	141.2	197.7	416.6
P ₂ O ₅	135.0	115.5	250.5	66.3	39.2	48.2	153.7	24.9	45.2	63.3	133.4
K ₂ O	120.0	271.7	391.7	145.3	166.5	164.5	476.3	113.1	205.7	287.9	606.7

试验小区长 5.0 m, 宽 1.4 m。小区之间用 PVC 板隔离, 深度为 50 cm, 每个小区使用一套负压灌溉设施, 每套 14 个陶瓷供水盘, 共 9 套。供试番茄品种为仙客 8 号。试验于 2014 年 3 月 21 日定植, 此时幼苗为 5~6 片叶, 6 月 8 日打顶, 每株留 4 穗果, 7 月 18 日拉秧, 栽培方式为畦栽, 畦宽 60 cm, 种植番茄 2 行, 株距 35 cm。

1.2 测定项目及方法

在番茄花期(5 月 15 日至 18 日)选择晴朗天气进行叶片光合速率的测定, 测定叶片选择从番茄生长点往下数第 5 片真叶, 仪器为 CI-340 便携式光合仪, 具体测定时间为 9:00 至 12:00; 打顶

前, 番茄株高由直尺测定, 茎粗用游标卡尺测定, 同时记录叶片数。

在番茄收获期, 每处理随机取 3 株番茄植株, 105℃杀青 30 min, 然后在 75℃烘至恒重, 测定干物质量。烘干植物样经粉碎、过 0.25 mm 筛, 用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 凯氏定氮仪测定植株全氮含量^[24]。相关指标计算公式如下:

氮素利用效率(kg/kg) = 植株氮吸收量/产量

土壤硝态氮累积量(kg/hm²) = 土壤容重 × 土层厚度 × 土壤硝态氮含量/10

用精度为 0.01 g 的电子天平记录每次采摘产量, 最终汇总为各小区产量, 并计算其单果重。每

处理随机选择9个果实,采用阿贝折射仪测定其可溶性糖含量,采用考马斯亮蓝G-250染色法测定可溶性蛋白质含量。番茄植株拉秧后,用土钻取0~100 cm土样,每20 cm为一层。取部分鲜样用烘干法测定含水量,另取10 g鲜样用50 mL 2 mol/L的KCl溶液浸提,用流动分析仪测定土壤中硝态氮含量。

1.3 数据统计与分析

采用软件SPSS 19对试验数据进行统计分析,Excel 2007软件绘图。

2 结果与分析

2.1 负水头灌溉施肥对日光温室番茄生长的影响

2.1.1 番茄净光合速率

作物叶片的净光合速率的大小反应了植株的生长状况。由图2可知,各处理在番茄花期的叶片净光合速率无显著差异。但可明显看出,处理T2的净光合速率最高,与处理CK和T1相比分别提高了13%和11%。

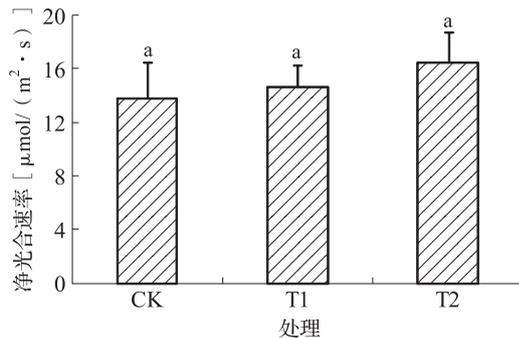


图2 不同施肥模式对番茄净光合速率的影响

注:图柱上小写字母表示0.05水平的差异显著性。下同。

2.1.2 番茄生长量

由图3知,番茄株高、茎粗和叶片数的变化规律一致,均随着时间的延长而增加。其中株高、茎粗和叶片数在番茄生长前期变化缓慢,而在番茄定植14 d后增长幅度快,其中茎粗在42 d后已无明显增加。处理间的株高和叶片数均无显著差异。茎粗在42 d表现出显著差异($P < 0.05$),与处理CK和T1相比,T2处理的茎粗增加幅度分别达17%和9%。

2.2 土壤不同层次硝态氮累积量

由图4知,0~20 cm土层的硝态氮累积量最高,可占0~100 cm土层硝态氮累积量的36%~53%。而0~40 cm土层的硝态氮累积量可占0~100 cm土层硝态氮累积量的50%~78%。说明土

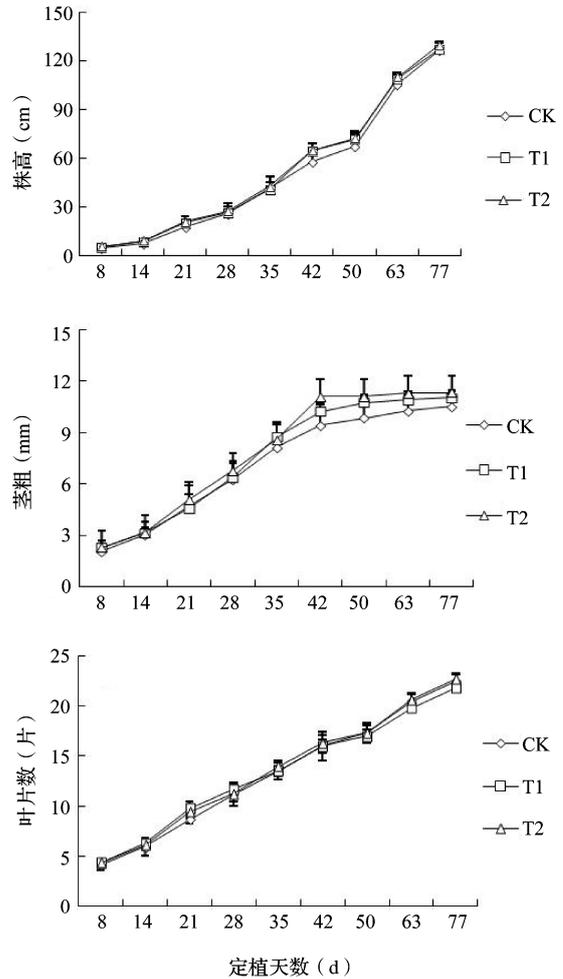


图3 不同施肥模式对番茄株高、茎粗和叶片数的影响

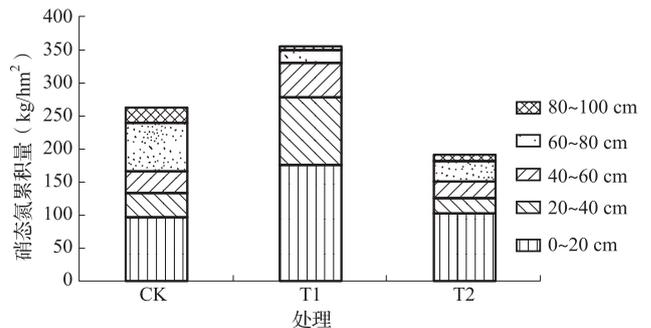


图4 不同施肥模式对土壤硝态氮累积量的影响

壤硝态氮主要集中于0~40 cm土层。处理T1的0~100 cm的硝态氮累积量最高,达357.2 kg/hm²,显著高于处理CK。处理T2的0~100 cm的硝态氮累积量最低,仅为192.3 kg/hm²。

2.3 番茄植株氮吸收

不同灌溉施肥模式下的番茄植株氮素利用效率为66~74 kg/kg,处理间无显著差异(图5)。其中处理T2的氮素利用效率最高,与CK和T1处理相比,分别提高了12%和10%。说明采用山崎番茄

大量元素配方的处理 (T2) 更有利于促进番茄植株对氮素的吸收利用。

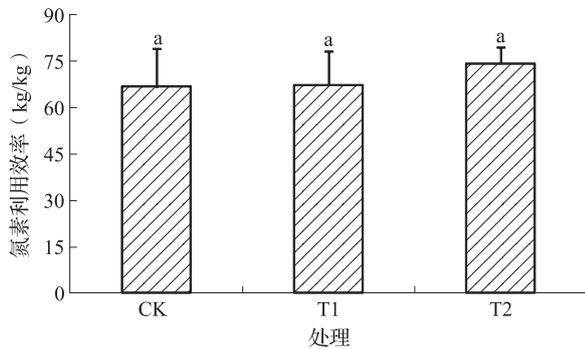


图5 不同施肥模式对植株氮素利用效率的影响

2.4 番茄产量及品质

由表2知, T2处理的单果重最大, 达219.3g, 与处理CK相比提高16%, 与T1处理相比, 增加了17%。番茄产量以T2处理的最高, 为79551.7kg/hm², 与处理CK和T1相比, 增加幅度分别为13%和11%。可溶性糖含量和可溶性蛋白质含量是评价番茄果实营养品质的重要指标, 其中可溶性糖含量的高低决定着番茄果实的口味和营养价值。各处理间的可溶性糖含量和可溶性蛋白质含量虽然均未表现显著差异, 但可以看出, T2处理的可溶性糖和可溶性蛋白质含量最高。由此可见, 采用山崎番茄大量元素配方的施肥处理 (T2) 具有最高的单果重和产量以及较好的果实品质。

表2 不同施肥模式对番茄单果重、产量及品质的影响

处理	单果重 (g)	产量 (kg/hm ²)	可溶性糖含量 (%)	可溶性蛋白质含量 (mg/kg)
CK	188.4a	70261.3a	4.7a	77.1a
T1	187.9ab	71595.3a	4.5a	81.2a
T2	219.3b	79551.7a	4.9a	84.3a

注: 不同小写字母表示处理间差异达0.05显著水平。

3 讨论与结论

合理施肥是提高蔬菜产量的一种有效途径, 在农业生产中, 合理使用氮肥、磷肥、钾肥是科学施肥的关键^[2]。番茄是喜水喜肥的蔬菜, 科学合理灌水、施肥是番茄生长发育和提高产量的重要手段。水肥一体化技术近年来在国内得到广泛推广, 所使用的肥料多为可溶性的氮、磷、钾肥料, 由于温室蔬菜生产中水分管理的盲目性, 频繁出现土壤干湿交替, 土壤含水量过高导致土壤内部缺氧, 土壤干

燥又易导致植物缺水, 且土壤含水率的波动还易引起病虫害和硝态氮淋洗等问题, 进而导致养分供应的比例失衡, 肥效差, 单产比较低^[25-27]。负水头灌溉技术通过调整供水吸力值达到对土壤水分的精确控制, 而且可以保持各层土壤水分值与土壤结构持续稳定的状态^[28], 避免了土壤干湿交替的影响, 具有良好的生产效果^[29]。

本试验基于负水头灌溉下研究了不同施肥模式对日光温室番茄生长和产量的影响, 结果表明, 采用山崎番茄大量元素配方的施肥处理 (T2), 番茄植株的光合作用强度、茎粗、单果重、产量及果实品质均优于按EC值调配的常规肥料处理 (T1) 和常规基追施肥处理 (CK)。氮素是作物生长需求量最多、对作物增产贡献最大的营养元素。番茄植株所吸收的养分主要来自土壤和施肥, 施氮量不同引起植株对氮素吸收利用的差异。本试验中, 各处理0~100cm的土层硝态氮累积量为192.3~357.2kg/hm², 低于姜慧敏等^[30-31]、毕晓庆^[32], 郝小雨等^[33]等研究得出的日光温室番茄0~100cm土壤硝态氮含量为453.7~705.2kg/hm²的结果, 这与本试验采用负水头灌溉施肥模式, 整个生育期的养分投入量远低于传统施肥量等有关。由于本试验中负水头供水器的土壤埋藏深度为30cm, 导致土壤硝态氮主要分布于0~40cm。处理T2的0~100cm土层硝态氮累积量最低, 与处理CK和T1相比, 分别降低了37%和86%, 可见, 处理T2虽然在番茄生育期的氮素投入量最大, 但0~100cm土壤硝态氮累积量最低, 这对于降低日光温室菜地土壤硝态氮淋洗、减少地下水污染风险等方面具有积极的作用。从番茄植株的氮素吸收效率来看, 处理T2的氮素吸收效率最高, 达74kg/kg, 比处理CK和T1分别提高了12%和10%。这进一步说明, 采用山崎番茄大量元素配方的施肥处理 (T2) 在降低土壤硝态氮累积、提高氮素吸收利用等方面的效果显著。

综上所述, 采用基于负水头的营养液管理施肥模式能有效地控制水分和肥料适时供应, 满足作物对养分的全面需求, 是日光温室蔬菜生产中值得推广应用的一种灌溉施肥新模式。

参考文献:

- [1] 郭世荣, 孙锦, 束胜, 等. 我国设施园艺概况及发展趋势[J]. 中国蔬菜, 2012, (18): 1-14.

- [2] 侯伟娜, 刘旭, 何翠, 等. 不同水肥处理对日光温室番茄品质及产量的影响 [J]. 河南农业大学学报, 2014, (1): 25-28.
- [3] 姜慧敏, 张建峰, 杨俊诚, 等. 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 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (1): 158-165.
- [4] 虞娜, 张玉龙, 张玉玲, 等. 灌溉和施肥对温室番茄产量和品质影响效应的研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2009, (4): 31-35.
- [5] 安顺伟, 王永泉, 李红岭, 等. 灌水量对日光温室番茄生长、产量和品质的影响 [J]. 西北农业学报, 2010, 19 (3): 188-192.
- [6] Kavvadias V, Daggas T, Paschalidia C, et al. Seasonal variation in yield fruit quality and nutritional status of greenhouse tomato under different fertilization management plans [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2012, 43: 197-208.
- [7] 朱建华. 蔬菜保护地氮素去向及其利用研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2002.
- [8] 郭文忠, 刘声锋, 李丁仁, 等. 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望 [J]. 土壤, 2004, 36 (1): 25-29.
- [9] 郑育锁. 蔬菜水肥一体化技术模式下肥料的选择与施用 [J]. 天津农林科技, 2012, (1): 21-23.
- [10] 于舜章. 山东省设施黄瓜水肥一体化滴灌技术应用研究 [J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20 (6): 173-176.
- [11] 李铮, 王晋民, 王海景, 等. 蔬菜日光温室问题调查与水肥一体化技术探讨 [J]. 土壤, 2006, 38 (2): 223-227.
- [12] Ham T K. Water management in drip-irrigated vegetable production [A]. Using plasticulture technology for the intensive production of vegetable crops [C]. Lexington, KY: American Society for Horticultural Science Seminar, 1994.
- [13] 曹云娥, 李建设, 高艳明. 营养液滴灌土壤栽培技术 [J]. 西北园艺, 2005, (1): 7-8.
- [14] 高艳明, 李建设, 曹云娥. 日光温室番茄滴灌营养液土培试验研究 [J]. 西北农业学报, 2006, 15 (6): 121-126.
- [15] 邹朝望, 薛绪掌, 张仁铎, 等. 负水头灌溉原理与装置 [J]. 农业工程学报, 2007, 23 (11): 17-22.
- [16] 耿伟. 负水头灌溉技术在番茄栽培上的应用 [D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
- [17] 李邵, 薛绪掌, 郭文善. 硅藻土基质配方对盆栽观赏辣椒生长的影响 [J]. 北方园艺, 2008, (11): 1-4.
- [18] 毛思帅, 李豫宁, 胡跃高, 等. 负水头供给营养液对不同番茄品种生长特性的影响 [J]. 北方园艺, 2012, (10): 28-32.
- [19] 李邵, 薛绪掌, 郭文善, 等. 负水头灌溉对温室番茄生长、产量及品质的影响 [J]. 农业工程学报, 2008, 24 (S2): 225-229.
- [20] 李邵, 薛绪掌, 郭文善, 等. 负水头灌溉系统供水规律研究 [J]. 灌溉排水学报, 2008, 27 (5): 55-58.
- [21] 薛林, 田丽萍, 王进. 滴灌覆膜条件下加工番茄的养分吸收与分配规律的研究 [J]. 石河子大学学报 (自然科学版), 2004, 22 (5): 389-392.
- [22] 杨竹青, 黄灵胜, 叶宏平. 大棚番茄养分吸收及其分布规律的研究 [J]. 华中农业大学学报, 1993, 12 (2): 160-165.
- [23] 刘军, 高丽红, 黄延楠. 日光温室不同温光环境下番茄对氮磷钾吸收规律的研究 [J]. 中国农业大学学报, 2004, 9 (2): 27-30.
- [24] 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. 302-316.
- [25] 齐红岩, 李天来, 富宏丹, 等. 不同氮钾施用水平对番茄营养吸收和土壤养分变化的影响 [J]. 土壤通报, 2006, 37 (2): 268-272.
- [26] 张国红, 袁丽萍, 郭英华, 等. 不同施肥水平对日光温室番茄生长发育的影响 [J]. 农业工程学报, 2005, 21 (S2): 151-154.
- [27] 路永莉. 苹果园水肥一体化和钾肥肥效研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [28] 辛琛, 王全九, 樊军. 负水头条件下的水平一维土壤吸渗特征 [J]. 农业工程学报, 2007, 23 (9): 20-26.
- [29] 唐新莲. 水肥一体化对樱桃番茄产质量及肥料利用率的影响研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2013.
- [30] 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.
- [31] 姜慧敏, 张建峰, 杨俊诚, 等. 不同氮肥用量对设施番茄产量、品质和土壤硝态氮累积的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2010, 29 (12): 2338-2345.
- [32] 毕晓庆, 山楠, 杜连凤, 等. 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 [J]. 农业环境科学学报, 2013, 32 (11): 2246-2250.
- [33] 郝小雨, 高伟, 王玉军, 等. 有机无机肥料配合施用对设施番茄产量、品质及土壤硝态氮淋失的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2012, 31 (3): 538-547.

Effects of negative pressure fertigation on tomato growth and yield in solar greenhouse

JIANG Hong-na^{1,2}, LI Yin-kun², CHEN Fei², ZHANG Fang^{2,3}, GUO Wen-zhong², XUE Xu-zhang², CHEN Qing-yun^{1*} (1. College of Agriculture and Biotechnology, China Agriculture University, Beijing 100193; 2. Beijing Research Centre of Intelligent Equipment for Agriculture, Beijing 100097; 3. Institute of Water Resources and Hydro-electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an Shaanxi 710048)

Abstract: Effects of three fertilization patterns using negative pressure irrigation device on tomato growth and yield were studied by greenhouse tomato cultivation. Three treatments were set up: CK (negative pressure irrigation with conventional

[下转第 107 页]

- [15] 朱菜红, 董彩霞, 沈其荣, 等. 配施有机肥提高化肥氮利用效率的微生物作用机制研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (2): 282 - 288.
- [16] 邓飞, 王丽, 刘利, 等. 不同生态条件下栽培方式对水稻干物质生产和产量的影响 [J]. 作物学报, 2012, 38 (10): 1930 - 1942.
- [17] 陈明, 黄庆海, 余喜初, 等. 肥料运筹对晚稻产量及根系和叶片衰老进程的影响 [J]. 中国农学通报, 2012, 28 (33): 139 - 143.

Effects of organic-inorganic mixed fertilizers on yield formation of machine-transplanted rice

LI Yong¹, QIU Shu-fen¹, ZHU Rong-song¹, SHEN Jia-he¹, CHU Ya-yun¹, WEI Guang-bin², CHEN Gui³ (1. Soil and Fertilizer Technical Guidance Station of Jintan City, Jintan Jiangsu 213200; 2. Culturing Technical Guidance Station of Jintan City, Jintan Jiangsu 213200; 3. Development of Agricultural Ecological Environment, Jiaxing Academy of Agricultural Science, Jiaxing Jiangsu 314016)

Abstract: Machine-transplanted rice was chose as study material to compare the effects of three fertilization treatments on rice yield formation from the perspectives of source, translocation and sink. In the three fertilization treatments, chemical fertilizer and two organic-inorganic mixed fertilizers were applied. For treatment 1 (Tr1), chemical fertilizer was applied by three times as basal, tillering and panicle fertilizations respectively. In treatment 2 (Tr2), organic-inorganic mixed fertilizer was applied twice as basal and panicle fertilization, and the organic-inorganic mixed fertilizer was applied for three times as basal, promoting flower and saving flowering fertilization respectively for treatment 3 (Tr3). The results showed two kinds of organic-inorganic mixed fertilization treatments, especially for Tr3, could not only enhance the SPAD values in top second and third leaves of canopy 20 days after flower but also significant increased leaf area of three top leaves compared with chemical fertilization treatment. In addition, organic-inorganic mixed fertilization inhibited accumulation of dry matter before flower, but made it increased faster after flower. However, all the three fertilization treatments attained similar level of dry matter accumulations at mature stage. Compared with Tr2, thousand kernel weight in Tr3 and Tr4 was lower but their actual grain amount was increased greatly. The yield in Tr4 was the highest, which was 7.5% and 6.0% higher than Tr3 and Tr2. It is concluded that organic-inorganic mixed fertilizers with twice application during whole rice growth stage could substitute three-fertilization of chemical fertilization. In addition, panicle fertilization divided into promoting flower fertilization and saving flower fertilization shall significantly increase rice grain yield.

Key words: machine-transplanted rice; managements of organic-inorganic mixed fertilizer; yield formation

[上接第 69 页]

dressing fertilization), T1 (EC adjusted with conventional fertilizer treatment), T2 (a large number of elements Yamazaki tomato fertilization treatment). The results showed that there was no significant difference on plant height, leaf number and quality among the three treatments, but stem diameter of T2 was significantly greater than CK and T1. The maximum net photosynthetic rate, weight, yield and fruits' quality of T2 were all highest, and increased by 13% and 11% than those of CK and T1. During the growth period, nitrogen use efficiency of T2 was the highest, and increased by 12% and 10% than those of CK and T1. Integrated tomato growth, yield and nitrogen use efficiency, T2 effectively controlled water and fertilizer supply to meet the full nutrients demand for crop, and should be recommended as a new mode of fertigation in greenhouse vegetable production.

Key words: negative pressure irrigation device; fertigation; tomato; yield