

华北地区日光温室番茄膜下滴灌水肥耦合技术研究

陈碧华¹, 郜庆炉¹, 杨和连¹, 张玉河²

(1. 河南科技学院, 河南 新乡 453003; 2. 延津县第一职业高级中学, 河南 延津 453200)

摘要: 在日光温室膜下滴灌条件下, 采用二因素二次通用旋转组合设计方法, 以番茄为试验材料, 研究了日光温室膜下滴灌水肥耦合技术对番茄生长发育的影响。结果表明: 灌水定额、施肥定额二因素与番茄生长发育之间存在极显著的回归关系; 有利于华北地区日光温室番茄生长发育的最佳水肥耦合方案为: 灌水量 $2\ 722.5 \sim 2\ 836.9\ \text{m}^3/\text{hm}^2$, 施肥量 $265.5 \sim 294.4\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。

关键词: 日光温室; 番茄; 水肥耦合; 膜下滴灌; 生长发育

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)05-0080-04

日光温室蔬菜生产自 90 年代初从东北、山东传入华北地区以来, 发展面积不断扩大。伴随着加入 WTO 及各地市场实施准入制, 日光温室生产绿色、无公害蔬菜成为必经之路。在日光温室种植的蔬菜中, 番茄种植以其高产、高效而深受广大菜农的欢迎, 而如何生产出绿色、无公害的番茄成为摆在广大菜农面前的一大难题。目前日光温室生产上还基本沿用历史上传下来的“粪大水勤, 不用问人”盲目的水肥管理办法, 不仅造成水资源和肥料的浪费, 而且造成地下水的硝酸盐污染等一系列新问题的产生^[1-3]。滴灌具有节水、灌水均匀、增产等优点^[4,5]。近年来, 国内外对农作物的水肥耦合技术进行了大量研究^[6-8], 养分和水分结合能有效提高水肥资源的利用率, 研究多集中于肥料间的配施效果和水分灌溉指标方面^[9-11], 综合考虑水、肥等多因子的、设施农业条件下的水肥耦合效应研究却很少, 而在日光温室膜下滴灌条件下, 有关番茄的水肥耦合效应的研究尚未见报道。

本试验以番茄为试验材料, 在日光温室膜下滴灌条件下, 研究水肥耦合技术对番茄的生长发育各项指标的影响, 其目的在于从蔬菜的生长发育方面, 探讨蔬菜生长过程中水分与养分供应上的耦合关系。以期为华北地区日光温室生产提供技术支持和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用的番茄品种为“东方一号”, 由西安常丰园种业有限公司提供; 所用化肥种类为尿素

($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, 纯度 99%)、磷酸一铵($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, 纯度 98%)。

1.2 试验设计方法

试验采用二因素(灌水定额、施肥定额)二次通用旋转组合设计, 根据试验因素的个数及通用旋转组合的要求, $m_c = 4$, $p = 2$, $m_0 = 5$, 全部试验设置 13 个处理组合, 拟定出的番茄水、肥二因素通用旋转组合设计试验方案见表 1。

试验于 2004 年 12 月~2005 年 7 月在中国水利部农田灌溉研究所 1 号日光温室中进行。根据上述设计方案, 全部试验在日光温室内共设置 13 个小区, 每小区栽植两畦, 每畦宽 1 m, 栽两行, 行距 0.55 m, 株距 0.4 m, 将滴灌带铺放在栽植行上, 使滴灌带上的滴头与番茄植株根部保持 10 cm 距离, 铺地膜, 形成膜下滴灌方式, 两畦间留有 0.6 m 宽的过道, 便于进行观测记载。整地时施用腐熟有机肥(75 000 kg/hm²)和磷酸一铵(按照试验设计)作底肥, 番茄于 2004 年 12 月 15 日播种, 2005 年 3 月 19 日定植, 定植时浇灌定植水。3 月 23 日铺地膜, 形成膜下滴灌方式, 然后进入各个水肥试验处理。尿素按照试验设计在番茄第一穗果实膨大期、第二穗果实膨大期、第三穗果实膨大期分三次随水滴灌追施, 三次追肥肥料的分配比例为 2:2:1。7 月 13 日拉秧试验结束。

2 结果与分析

根据二因素二次通用旋转组合设计原理, 以测得的有关番茄生长发育的各项指标(株高、茎粗、叶片数、叶宽)为目标函数, 以二元二次多项式拟合灌水量(X_1)、施肥量(X_2)与番茄株高、茎粗、叶片数、

收稿日期: 2008-05-06

基金项目: 河南省高校杰出科研创新人才工程项目(2004KYCX012); 河南省高校创新人才培养工程项目(豫教高[2005]126号)

作者简介: 陈碧华(1972-), 女, 河南延津人, 讲师, 硕士, 主要从事设施蔬菜栽培研究。E-mail: chenbht@hist.edu.cn.

叶宽(Y)的关系,得出灌水量、施肥量与番茄各项生长发育指标之间的相关数学回归模型见表 2。

表 1 番茄水、肥二因素二次通用旋转组合设计方案

Table 1 Two factors of water and fertilizer on tomato in common use to rotate association design

处理号 Treatment	X ₁ 灌水量(m ³ /hm ²) Irrigation quota	X ₂ 施肥定额(kg/hm ²) Fertilization quota
1	1(3150)	1(尿素 405 + 磷酸一铵 405) 1(CO(NH ₂) ₂ 405 + NH ₄ H ₂ PO 405)
2	1(3150)	-1(尿素 195 + 磷酸一铵 195) -1(CO(NH ₂) ₂ 195 + NH ₄ H ₂ PO 195)
3	-1(2400)	1(尿素 405 + 磷酸一铵 405) 1(CO(NH ₂) ₂ 405 + NH ₄ H ₂ PO 405)
4	-1(2400)	-1(尿素 195 + 磷酸一铵 195) -1(CO(NH ₂) ₂ 195 + NH ₄ H ₂ PO 195)
5	1.414(3300)	0(尿素 300 + 磷酸一铵 300) 0(CO(NH ₂) ₂ 300 + NH ₄ H ₂ PO 300)
6	-1.414(2250)	0(尿素 300 + 磷酸一铵 300) 0(CO(NH ₂) ₂ 300 + NH ₄ H ₂ PO 300)
7	0(2775)	1.414(尿素 450 + 磷酸一铵 450) 1.414(CO(NH ₂) ₂ 450 + NH ₄ H ₂ PO 450)
8	0(2775)	-1.414(尿素 150 + 磷酸一铵 150) -1.414(CO(NH ₂) ₂ 150 + NH ₄ H ₂ PO 150)
9	0(2775)	0(尿素 300 + 磷酸一铵 300) 0(CO(NH ₂) ₂ 300 + NH ₄ H ₂ PO 300)
10	0(2775)	0(尿素 300 + 磷酸一铵 300) 0(CO(NH ₂) ₂ 300 + NH ₄ H ₂ PO 300)
11	0(2775)	0(尿素 300 + 磷酸一铵 300) 0(CO(NH ₂) ₂ 300 + NH ₄ H ₂ PO 300)
12	0(2775)	0(尿素 300 + 磷酸一铵 300) 0(CO(NH ₂) ₂ 300 + NH ₄ H ₂ PO 300)
13	0(2775)	0(尿素 300 + 磷酸一铵 300) 0(CO(NH ₂) ₂ 300 + NH ₄ H ₂ PO 300)

注:表中 X₁、X₂ 分别代表灌水量和施肥定额的因素编码值。

Note: The X₁ and X₂ represent respectively the coded value of irrigation quotas and fertilizer quotas.

表 2 水肥耦合与番茄生长发育的相关数学模型^[13]

Table 2 Related mathematical model of water - fertilizer coupling and growth of tomato

生长发育指标 Growth and development index	数学回归模型 Mathematical regression model
株高 Plant height (cm)	$Y = 77.49 - 2.08X_1 + 3.22X_2 + 2.29X_1X_2 + 6.59X_1^2 + 3.13X_2^2$ (1)
茎粗 Stem diameter(mm)	$Y = 0.87 + 8.17X_1 + 1.53X_2 + 2.50X_1X_2 + 4.24X_1^2 + 2.99X_2^2$ (2)
叶片数 Leaf number(片)	$Y = 14.66 + 8.03X_1 + 0.22X_2 + 1.25X_1X_2 + 0.26X_1^2 + 0.21X_2^2$ (3)
叶宽 Leaf width(cm)	$Y = 34.01 - 1.61X_1 + 2.08X_2 + 0.47X_1X_2 + 2.90X_1^2 + 1.05X_2^2$ (4)

注: X₁、X₂ 分别代表灌水、施肥二因素编码值, Y 代表番茄生长发育指标。

Note: The X₁ and X₂ represent the coded value of irrigation and fertilizer, while the Y represents tomato's various growth indexes.

2.1 试验因素对番茄株高的影响效应分析

从图 1 可以看出随着施肥量的增大,其株高随之增大。而随着灌水量(X₁)的增加番茄的株高增大不明显。

通过对数学模型(1)进行模拟分析可知:最适试验水平值:灌水量为 2 836.9 m³/hm²,施肥量(X₂) 294.4 kg/hm²。试验因数的重要性数值为:施肥量 1.81,灌水量 1.49。水肥二因素对番茄株高的影响大小顺序为:施肥(X₂) > 灌水(X₁)。

2.2 试验因素对番茄茎粗的影响效应分析

从图 2 可知,随着灌水量(X₁)的增大番茄的茎粗也随之增大,而随着施肥量(X₂)的增加茎粗在小于 1 水平时随施肥量的增加而逐渐增加,在大于 1 水平时随施肥量的增加变化不明显。

根据已建的水肥耦合优化数学模型,取 5 个水平(-1.414, -1, 0, +1, +1.414)上机进行不同

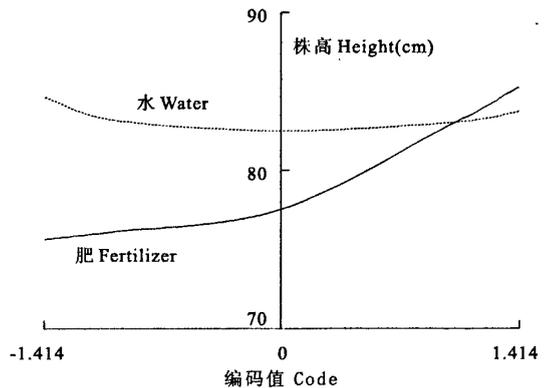


图 1 水、肥二因素对番茄株高影响的效应分析
Fig.1 Analysis of influential factors of water and fertilizer on plant height of tomato

目标生长发育下的最优组合方案模拟,通过模拟求

得:番茄茎粗的最适回归值为 $Y = 0.87$ 。试验因数的重要性数值:灌水量的为 1.96,施肥量的为 1.35。水肥二因素对番茄茎粗的影响顺序为:灌水(X_1) > 施肥(X_2)。

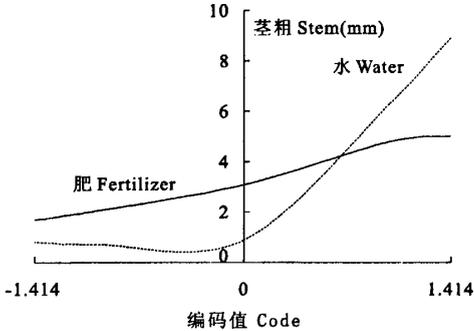


图 2 水、肥二因素对番茄茎粗的效应分析

Fig.2 Analysis of influential factors of water and fertilizer on stem width of tomato

2.3 试验因素对番茄叶片数的影响效应分析

由图 3 可以看出,随着灌水量的增大番茄的叶片数也增大。而施肥量(X_2)对番茄叶片数的影响相对较小,其主效应曲线比较平坦,但随着施肥量的增大叶片数也呈现缓慢增加趋势。

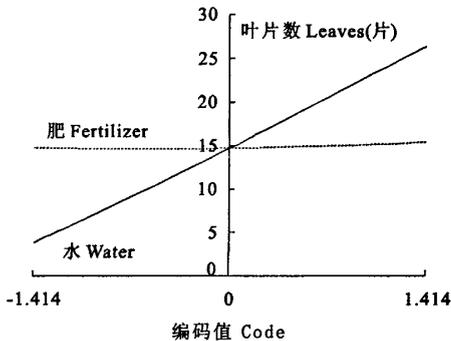


图 3 水、肥二因素对番茄叶片数的效应分析

Fig.3 Analysis of influential factors of water and fertilizer on leaf number of tomato

根据已建的水肥耦合优化数学模型,通过计算机模拟处理,取 5 个水平(-1.414, -1, 0, +1, +1.414)上机进行不同目标生长发育指标下的最优组合方案模拟,通过模拟求得:番茄叶片数的最适回归值为 $Y = 14.56$ 。试验因数的重要性数值为:灌水量的为 1.92,施肥量的为 1.40。水肥二因素对番茄叶片数的影响顺序为:灌水量(X_1) > 施肥量(X_2)。

2.4 试验因素对番茄叶宽影响的效应分析

由图 4 可以看出,随着施肥量(X_2)的增加番茄

的叶宽也随之增大,而灌水量(X_1)的影响比较小,其主效应曲线比较平坦,变化不太明显。

根据已建的水肥耦合优化数学模型,通过计算机进行模拟分析得:番茄叶宽的最适回归值为 $Y = 33.66$ 。试验因数的重要性数值为:施肥量 1.91,灌水量 1.86。水肥二因素对番茄叶宽的影响顺序为:灌水量(X_1) > 施肥量(X_2)。

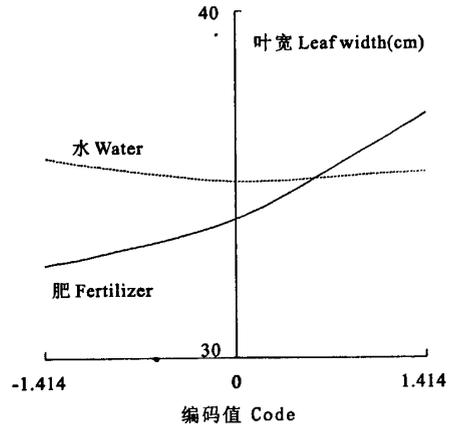


图 4 水、肥二因素对番茄叶宽的效应分析

Fig.4 Analysis of influential factors of water and fertilizer on leaf width of tomato

3 结论与讨论

1) 在本试验条件下设计的灌水量(X_1)和施肥量(X_2)指标对番茄各项生长发育的影响都达到了显著水平,通过对各个生长发育指标的数学回归模型进行显著性检验, $F_{\text{回}} > F_{0.01(5,7)} = 6.1088$,回归可靠,说明灌水定额、施肥定额二因素与番茄生长发育之间存在极显著的回归关系,可用于生产预报和指导生产,并且具有较高的可靠性。这一结论与姚静研究结论一致^[12]。

2) 在本试验条件下,番茄植株的株高、茎粗、叶宽、叶片数与施肥量(X_2)和灌水量(X_1)之间呈正相关,其中施肥量(X_2)的影响大于灌水量(X_1)。说明在施肥量一定的情况下,适当的灌水有利于番茄植株株高、茎粗、叶片数和叶宽的增加。实验证明,灌水定额、施肥定额二因素对番茄生长发育的影响重要性顺序为:施肥定额大于灌水定额,说明施肥效应大于灌水效应,施肥是影响番茄生长发育的第一主导因子,灌水量是影响番茄生长发育的第二主导因子,这一结论与前人研究相吻合^[13]。

3) 本试验通过模拟分析得到最佳水肥耦合方案分别为:灌水定额在 $2\ 722.5 \sim 2\ 836.9\ \text{m}^3/\text{hm}^2$,

施肥定额在 265.5~294.4 kg/hm² 之间为宜。与韩建会^[14] 研究结果(滴灌的灌水定额在 3 000~3 300 m³/hm² 之间)相比较则节水 277.5~463.05 m³/hm²;与虞娜^[15] 研究结果(最佳纯 N 施用量为 337.5 kg/hm²)相比较节约氮肥 72.0~43.05 kg/hm²。这一研究结论对于水资源日益紧缺的华北菜区来说显得尤其重要。灌水量的减少既可以缓解北方水分的短缺,还可以降低室内湿度,减少病害发生几率,降低生产成本,利于高产高效。施肥量的减少既避免了肥料的浪费,又降低了土壤盐分积累、酸化、土壤板结、蔬菜体内硝酸盐富集等。

膜下滴灌可使作物根系层的水分条件始终处在最优状态下,同时能够保持土壤具有良好的透气性,能调节土壤水、气、热,有利于作物生长发育,使作物缓苗快,上市早品质高。膜下滴灌能改变农田生态环境,使番茄病毒危害减轻,是增产,增值,防止病害的有效途径,其经济效益显著。

参考文献:

- [1] 范双喜,张春花.我国设施蔬菜的发展现状及展望[J].北京农学院学报,2001,(3):71-74.
- [2] 陈碧华,罗庆熙,张政.我国设施蔬菜的生产现状、存在问题及对策[J].河南职业技术学院学报,2003,(1):29-32.
- [3] 刘祖贵,段爱旺.水肥调配施用对温室滴灌番茄产量及水分利用效率的影响[J].中国农村水利水电,2003,(1):10-12.
- [4] 李道西,罗金耀.地下滴灌技术的研究及其进展[J].中国农村水利水电,2003,(7):15-17.
- [5] 安向东.日光温室番茄不同灌溉方式节水效应研究[J].甘肃农业科技,2006,(2):3-5.
- [6] 冯绍元,王广兴.滴灌棉花水肥耦合效应的田间试验研究[J].中国农业大学学报,1998,3(6):59-62.
- [7] Phene C J, Hutmacher R B, Davisk R, et al. Water fertilizer management of processing tomatoes[J]. Acta Hort, 1990, 277: 137.
- [8] Baselga Yrisarry J J. Response of processing tomato to three different levels of water and nitrogen application[J]. Acta Hort, 1993, 335:149-153.
- [9] 曾向辉,王慧峰,戴建平,等.温室西红柿滴灌水制度试验研究[J].灌溉排水,1999,18(4):23-26.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 姚静,邹志荣,杨猛,等.日光温室水肥耦合对甜瓜产量影响研究初探[J].西北植物学报,2004,24(5):890-894.
- [13] 葛晓光.菜田土壤与施肥[M].北京:中国农业出版社,2002. 194-195.
- [14] 韩建会,徐淑贞.日光温室番茄滴灌节水效果及灌溉制度的评价[J].西南农业大学学报,2003,25(1):77-79.
- [15] 虞娜,张玉龙,邹洪涛,等.温室内膜下滴灌不同水肥处理对番茄产量和品质的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):60-64.

Studies on water and fertilizer coupling under mulch drip fertilization on tomato in solar-greenhouse in North China

CHEN Bi-hua¹, GAO Qing-lu¹, YANG He-lian¹, ZHANG Yu-he²

(1. Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, Henan 453003, China;

2. The 1st Vocational School of Yanjin County, Yanjin, Henan 453200, China)

Abstract: Under the condition of solar greenhouses drip irrigation, this test is conducted to study effects of water-fertilizer coupling techniques on growth and development of tomato under mulch drip fertilization in solar-greenhouse. The results show that regression analysis is reliable ($F_{\text{回}} > F_{0.01(5,7)} = 6.1088$), and that a very significant regression relationship is found between irrigation ration and fertilizer ration. Therefore, it is proposed that the optimal scheme of water-fertilizer coupling is irrigation quantity ranging between 2 722.5~2 836.9 m³/hm² and fertilization amount ranging between 265.5~294.4 kg/hm² in North China, which may be applied to commercial tomato production.

Keywords: greenhouse; tomato; water-fertilizer interaction; mulch drip irrigation; growth and development