

滴灌施肥灌水下限和施肥量对温室番茄生长、 产量和生理特性的影响

袁宇霞,张富仓,张 燕,索岩松

(西北农林科技大学 旱区农业水土工程教育部重点实验室,中国旱区节水农业研究院,陕西 杨凌 712100)

摘 要:为探索有利于提高番茄生长和产量的温室滴灌施肥有效模式,试验设置了3个灌水下限[W1(65% θ_F)、W2(75% θ_F)和W3(85% θ_F)]和3个施肥水平[F1(低肥)、F2(中肥)和F3(高肥)],在设施栽培条件下研究了滴灌施肥不同灌水下限和施肥量对番茄植株生长、生理特性和产量的影响。结果表明:滴灌施肥条件下不同的灌水下限和施肥量对温室番茄生长、产量和生理特性都有一定的影响。在同一灌水下限条件下,增加施肥量可以显著提高番茄株高、叶面积、光合和蒸腾速率、干物质质量和产量,但过高的施肥量反而不利于其生长、干物质累积和产量的提高;在同一施肥水平下,适当上调灌水下限可以显著增加番茄株高、叶面积和干物质质量,过高的灌水下限不利于番茄的生长、光合速率和产量的提高。在试验的砂壤土中,W2F2处理最有利于番茄的生长、干物质的形成、产量和水分利用效率的提高。研究还表明,不同水肥处理条件下,番茄的产量与干物质质量和叶片的净光合速率均呈显著的线性相关,番茄叶片的水分利用效率与净光合速率的变化关系均呈二次抛物线相关。

关键词:灌水下限;滴灌施肥;生长;产量;生理特性;水分利用效率

中图分类号: S275.6;S157.4⁺1;S641.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0076-08

Effects of irrigation threshold and fertilization on growth, yield and physiological properties of fertigated tomato in greenhouse

YUAN Yu-xia, ZHANG Fu-cang, ZHANG Yan, SUO Yan-song

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education/ Institute of Water-saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: For the purpose of exploring the effective mode of fertigation in greenhouse, the experiment was conducted to analyze the effects of different irrigation threshold and fertilization on growth, physiological properties and yield of tomato. There were three irrigation threshold treatments including W1 (65% θ_F), W2 (75% θ_F) and W3 (85% θ_F), and three fertilization treatments including F1 (low), F2 (middle) and F3 (high). The results showed that the growth, yield and physiological properties of tomato could be modified by different irrigation threshold and fertilization. Under certain irrigation threshold, the plant height, leaf area, photosynthesis and transpiration rate, dry matter production and yield of tomato could be significantly increased along with the increase of fertilization amount, while excessive fertilization was detrimental to the growth, dry matter accumulation and yield improvement of tomato. Under certain fertilization amount, the plant height, leaf area and dry weight of tomato could be improved by rational increase of irrigation threshold, while excessive irrigation threshold was not conducive to the growth, photosynthetic rate and yield improvement of tomato. The treatment of W2F2 was most conducive to the growth, dry matter accumulation, yield and water use efficiency of tomato. The experiment also showed that, under different water and fertilization treatments, there was a significant linear correlation between the yield and dry matter weight as well as leaf net photosynthetic rate, and there was a significant quadratic parabola correlation between the leaf water use efficiency and net photosynthetic rate.

Keywords: irrigation threshold; fertigation; growth; yield; photosynthetic characteristic; water use efficiency (WUE)

收稿日期:2012-09-10

基金项目:国家“十二五”863计划项目(2011AA100504);高等学校学科创制引智计划(B12007)

作者简介:袁宇霞(1986—),女,山西忻州人,硕士研究生,研究方向为节水灌溉理论与技术。E-mail:yuanyuxia919@163.com。

通信作者:张富仓(1962—),陕西武功人,教授,博士,博士生导师,主要从事节水灌溉理论与技术的研究。

灌溉施肥(Fertigation)是借助新型微灌和施肥系统,在灌溉的同时将肥料配兑成肥液同步输入到农作物根部土壤,精确控制灌水量和施肥量,将灌溉和施肥相结合的灌溉施肥新技术^[1]。该技术不仅显著提高水分和肥料的利用效率,还可以减少肥料的损失,减轻施肥对环境的污染^[2-3]。

在设施栽培条件下如何实施有效的灌溉和施肥制度、提高水肥利用效率、优化水肥管理,对作物的产量和品质的提高以及改善土壤水肥环境有重要的意义。番茄是一种重要的蔬菜作物,近年来,国内外学者对设施栽培条件下土壤灌水下限、灌水量和施肥量及配比对番茄的生长、产量和生理特性的影响等进行了大量的研究,特别是国外,对控制番茄作物的灌溉土壤水分下限以及灌溉施肥制度的研究取得了不少的研究成果^[4-10]。较多的学者研究认为,番茄的灌水下限为田间持水量的68%时,有利于番茄的生长发育和产量的提高^[4-5]。Michelakis等^[6]用张力计控制滴灌,发现当番茄开花期灌水下限为-60 kPa,其他生育期为-20 kPa时,水分利用效率较高。有关滴灌施肥条件下,氮素和肥料用量、灌水频率以及灌溉和施肥制度对番茄的生长、产量和水肥利用效率也进行了较多的研究^[7-10]。

近些年,国内就土壤水分下限和滴灌施肥量对蔬菜生长的影响也进行了一些研究。诸葛玉平^[11]用张力计监测土壤水分吸力的变化,研究了灌水下限为10、16、25、40 kPa和63 kPa时对塑料大棚番茄生长和产量的影响,研究表明在粘壤土中,灌水下限在25~33 kPa时,番茄植株生长健壮,根冠比例协调,产量大,水分利用率高。马世林^[12]研究表明,青椒苗期、开花着果期及结果期的水分下限分别控制在田间持水量的50%~60%、50%~60%、70%~80%时产量最高、品质最佳、灌溉水利用效率最高。裴芸^[13]研究表明,以田间持水量的70%作为灌水量下限条件下生菜鲜重、叶面积均最大,灌水量下限为70%田间持水量处理下生菜的产量最高,但60%田间持水量的灌水量下限处理是适合生菜生长的灌水处理。有关滴灌施肥条件下,灌溉和施肥制度对温室蔬菜作物生长和产量的影响也有一些研究^[14-18]。目前,关于水、肥对番茄生长的研究主要集中在水分和肥料单因子上,同时涉及水、氮、磷、钾多因子的研究甚少。因此为了深入探讨水分、N、P、K四因素对温室番茄生长、生理和产量的影响,本试验在国内外研究的基础上,在杨凌温室大棚中采用滴灌施肥系统研究了不同灌水下限和氮磷钾的施用量和比对番茄的生长、产量和生理特性的影响进

行了研究,以期得到最利于节水节肥增产的番茄生长的最适灌水下限和施肥量,为番茄的水肥一体化灌水施肥制度提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2012年2—7月在陕西杨凌节水示范园日光温室大棚内进行,试验区土壤为砂壤土,0~20 cm土层含有机质 $14.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤容重为 $1.43 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,田间持水量为21.67%,土壤pH值为7.8,碱解氮 $63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $58.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $146.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。试验设灌水下限和施肥量2个因素,灌水下限设W1(65% θ_F),W2(75% θ_F),W3(85% θ_F)3个水平,灌水上限统一设定为田间持水率 θ_F ,当土壤含水率降到灌水下限时进行灌水。NPK施肥量及配比设3个水平,分别为F1:N($120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、P₂O₅($60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、K₂O($75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),F2:N($180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、P₂O₅($90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、K₂O($112.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),F3:N($240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、P₂O₅($120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、K₂O($150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。氮磷钾肥均用可溶性肥料,灌溉时利用施肥器(比例施肥泵)按量与配比分别在苗期、开花期、第一穗果膨大期、第二穗果膨大期随灌溉水施入,各生育期施肥量比为1:1:2:2。

试验番茄品种为金鹏十号。于2011年11月20日进行育苗,2012年2月27日移栽到温室大棚中。温室大棚试验区面积 $32.4 \times 6.3 \text{ m}^2$,共设9个小区,每小区3个重复,各小区之间随机排列,小区与小区之间埋设50 cm深的塑料薄膜进行隔离以防止小区之间水肥渗漏。番茄采用覆膜双行种植,株距33 cm(与滴头间距对应),行距70 cm。温室内安有自动气象站进行气温、湿度、日照、太阳辐射、水面蒸发、气压和地温以及土壤含水量的观测,在每个小区中间垄埋设一根1.0 m的Treme管用以观测土壤含水率。

1.2 测定项目和方法

自番茄缓苗后每7天测一次各小区番茄的株高和叶面积至打顶(5月23日),每小区选择长势一致的5株植株标记进行测定,株高用直尺测量,叶面积为选取大小均匀的3个叶片用叶子的最大长度乘以最大宽度,再乘以叶片数即为叶面积。干物质量包括地上和地下干物质量,分别为茎、叶、果和根,根系要用清水冲洗干净,并用卫生纸将根表面的水分吸干,保持105℃杀青30 min后调温至75℃烘为恒重,用百分之一天平称重。在整个结果期对各处理番茄鲜果进行累计测产,包括果实的数量和重量。用美

国 LI 公司生产的 LI-6400 光合测定仪,在不同生育期测定玉米的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率等光合生理指标,叶片的水分利用效率(WUE) = 净光合速率/蒸腾速率。滴灌灌水定额用如下公式计算:

$$M = 100(\theta_F - \theta_i)\gamma Hp \quad (1)$$

式中, M 为一次灌水量($m^3 \cdot hm^{-2}$); θ_F 为土壤田间持水量; θ_i 为 H 土层内的平均含水率(重量含水率); γ 为土壤容重($g \cdot cm^{-3}$); H 为计划湿润层深度(m); p 为土壤湿润比(滴灌取 $p = 1.0$)。土壤计划湿润层深度在苗期、开花结果期、结果采收期分别取 20、40、40 cm。灌水量通过水表控制。

1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 2003 做图和 DPS 软件中的 Duncan 多重比较法比较数据差异的显著性,各图表中的数据均为平均值。

2 结果与分析

2.1 滴灌施肥水肥耦合对温室番茄生长的影响

2.1.1 株高 图 1 为滴灌施肥不同灌水下限和施肥量对番茄株高的影响。由图 1 可知,随着番茄植株的生长,各处理番茄株高都在增加,处理间的差异随着时间的推移逐渐增大。3 月 23 日为生长初期,各处理番茄株高没有明显差异,从 3 月 30 日开始各处理株高差异逐渐显现,到打顶前(5 月 23 日)差异达到最大,同时各处理株高也达到最大。在同一灌

水下限条件下,施肥量对番茄株高的影响呈现不同的变化规律。低灌水下限处理(W1),F2 和 F3 的番茄生育期平均株高分别比 F1 高 16.63%和 26.43%,施肥量对番茄株高的影响达到了显著水平;中灌水下限处理(W2),F2 和 F3 的番茄生育期平均株高分别比 F1 高 9.06%和 4.03%,表现为适中的施肥量(F2)对番茄株高影响显著,过高的施肥(F3)在番茄生长旺盛期,株高反而有所下降;高灌水下限处理(W3),F2 和 F3 的番茄生育期平均株高分别比 F1 高 1.30%和 3.05%,表现为施肥量对株高的影响没有显著差异。

在同一施肥量下,灌水下限对番茄株高的影响表现为随灌水下限的增大呈先增大而后又略降低的趋势。低施肥量处理(F1),W2 和 W3 的番茄生育期平均株高分别比 W1 高 19.95%和 21.45%,灌水下限对番茄株高的影响达到了显著水平;中施肥量处理(F2),W2 和 W3 的番茄生育期平均株高分别比 W1 高 12.16%和 5.48%,表现为适中的灌水下限(W2)对番茄株高影响显著,过高的灌水下限(W3)在番茄生长旺盛期,株高反而有所下降;高施肥量处理(F3),灌水下限在番茄整个生育期对株高的影响均不显著,尤其在番茄生长旺盛期,株高反而有所下降。从灌水下限和施肥量的耦合效应看,W2F2 处理番茄的株高最高,为 172.5 cm,其次为 W3F3 和 W1F3,分别为 166.5 cm 和 164.5 cm,W1F1 处理的株高最低,为 138.2 cm。

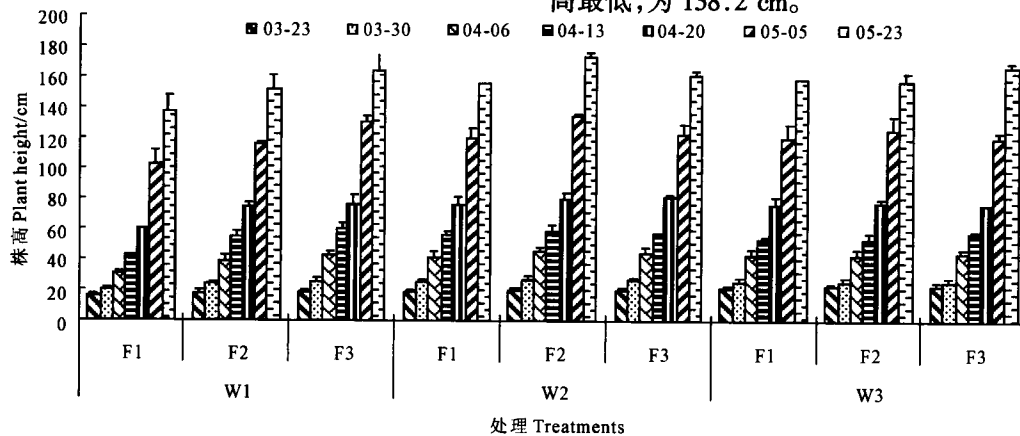


图 1 不同水肥处理对番茄株高的影响

Fig. 1 Effects of different water and fertilization treatments on plant height of tomato

2.1.2 叶面积 图 2 为滴灌施肥不同灌水下限和施肥量对番茄叶面积的影响。由图 2 可知,随着番茄植株的生长,各处理番茄叶面积都在增加,处理间的差异随着时间的推移逐渐增大。3 月 23 日为生长初期,各处理番茄叶面积没有明显差异,从 3 月 30 日开始各处理叶面积差异逐渐显现,到打顶前(5

月 23 日)差异达到最大,同时各处理叶面积也达到最大。在同一灌水下限条件下,施肥量对番茄叶面积的影响呈现不同的变化规律。低灌水下限处理(W1),F2 和 F3 的番茄生育期平均叶面积分别比 F1 高 14.14%和 36.99%,施肥量对番茄叶面积的影响达到了显著水平;中灌水下限处理(W2),F2 和 F3

的番茄生育期平均叶面积分别比 F1 高 30.89% 和 21.82%, 表现为适中的施肥量(F2)对番茄叶面积影响显著, 过高的施肥(F3)在番茄生长旺盛期, 叶面积反而有所下降; 高灌水下限处理(W3), F2 和 F3 的

番茄生育期平均叶面积分别比 F1 高 3.57% 和 13.89%, 表现为施肥量对叶面积的影响没有显著差异。

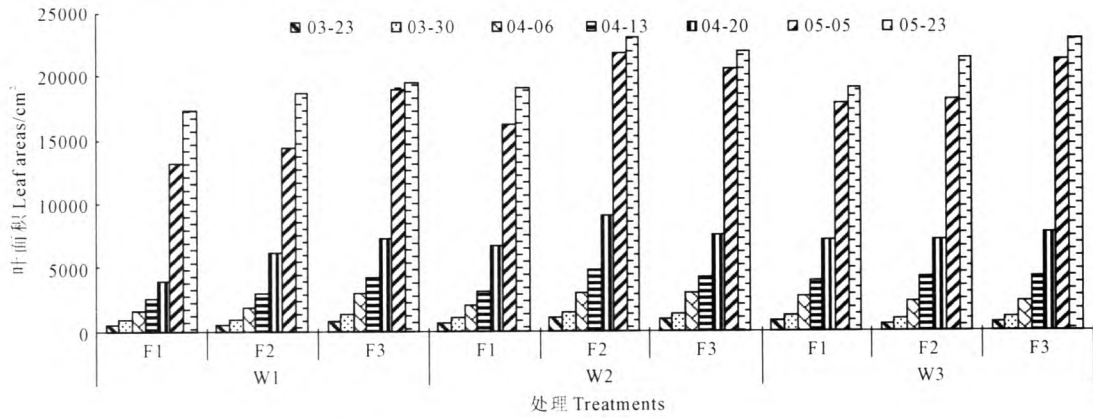


图 2 不同水肥处理对番茄叶面积的影响

Fig.2 Effects of different water and fertilization treatments on leaf area of tomato

在同一施肥量下, 灌水下限对番茄叶面积的影响表现为随灌水下限的增大呈先增大而后又略降低的趋势。低施肥量处理(F1), W2 和 W3 的番茄生育期平均叶面积分别比 W1 高 21.93% 和 31.69%, 灌水下限对番茄叶面积的影响达到了显著水平; 中施肥量处理(F2), W2 和 W3 的番茄生育期平均叶面积分别比 W1 高 39.83% 和 19.50%, 表现为适中的灌水下限(W2)对番茄叶面积影响显著, 过高的灌水下限(W3)在番茄生长旺盛期, 叶面积反而有所下降; 高施肥量处理(F3), W2 和 W3 的番茄生育期平均叶面积分别比 F1 高 8.43% 和 9.48%, 表现为施肥量对叶面积的影响没有显著差异。从灌水下限和施肥量的耦合效应看, W2F2 处理番茄的叶面积最高, 为 23 013.82 cm², 其次为 W3F3 和 W2F3, 分别为 22 882.02 cm² 和 20 754.45 cm², W1F1 处理的叶面积最低, 为 17 326.82 cm²。

F1 高 7.05% 和 2.15%, 表现为施肥量对干物质量的影响没有显著差异。

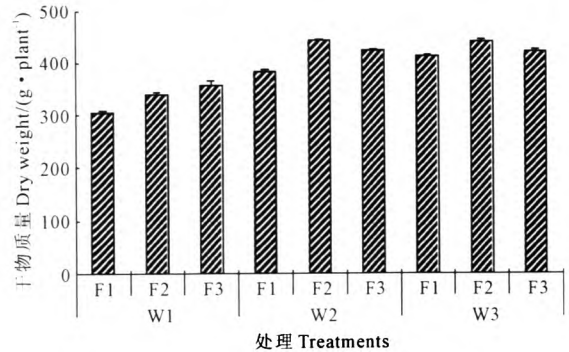


图 3 不同水肥处理对番茄干物质量的影响

Fig.3 Effects of different water and fertilization treatments on plant dry weight of tomato

2.1.3 干物质量 图 3 为滴灌施肥不同灌水下限和施肥量对番茄干物质量的影响。由图 3 可以看出, 在同一灌水下限条件下, 施肥量对番茄干物质量的影响呈现不同的变化规律。低灌水下限处理(W1), F2 和 F3 的番茄生育期平均干物质量分别比 F1 高 11.80% 和 17.30%, 施肥量对番茄干物质量的影响达到了显著水平; 中灌水下限处理(W2), F2 和 F3 的番茄生育期平均干物质量分别比 F1 高 15.48% 和 10.59%, 表现为适中的施肥量(F2)对番茄干物质量影响显著, 过高的施肥(F3)在番茄生长旺盛期, 干物质量反而有所下降; 高灌水下限处理(W3), F2 和 F3 的番茄生育期平均干物质量分别比

在同一施肥量下, 灌水下限对番茄干物质量的影响表现为随灌水下限的增大呈先增大而后又略降低的趋势。低施肥量处理(F1), W2 和 W3 的番茄生育期平均干物质量分别比 W1 高 26.12% 和 35.57%, 灌水下限对番茄干物质量的影响达到了显著水平; 中施肥量处理(F2), W2 和 W3 的番茄生育期平均干物质量分别比 W1 高 30.28% 和 29.81%, 表现为适中的灌水下限(W2)对番茄干物质量影响最显著, 过高的灌水下限(W3)在番茄生长旺盛期, 干物质量反而有所下降; 高施肥量处理(F3), W2 和 W3 的番茄生育期平均干物质量分别比 F1 高 18.90% 和 18.06%, 同样也表现为过高的灌水下限(W3), 干物质量反而有所下降。从灌水下限和施肥量的耦合效应看, W2F2 处理番茄的干物质量最高,

为 $442.61 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, 其次为 W3F2 和 W2F3, 分别为 $441.03 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 和 $423.85 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, W1F1 处理的干物质量最低, 为 $303.90 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 。

2.2 滴灌施肥水肥耦合对番茄生理特性的影响

灌水下限和施肥处理对番茄光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率的影响见表 1 所示。结果表明, 除 6 月 7 日(多云天气)灌水下限对光合速率、蒸腾速率、气孔导度以及灌水下限 \times 施肥互作效应不显著外, 其余各处理均达到显著水平。在不

同施肥处理下, 与灌水下限 W1 处理相比, W2 和 W3 处理的平均光合速率、蒸腾速率和气孔导度分别增加了 34.61% 和 26.07%、35.12% 和 27.36%、83.67% 和 51.54%, 而 W2 处理的叶片水分利用效率提高了 6.32%, W3 处理的叶片水分利用效率反而降低了 7.10%, 可见, W2 处理的光合速率的增加量超过蒸腾速率的增加量, 从而使得叶片水分利用效率大大提高。

表 1 不同水肥处理对光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率的影响

Table 1 Effects of different water and fertilization treatments on leaf photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r), stomatal conductance (G_s) and leaf water use efficiency (WUE)

灌水下限 Irrigation threshold	施肥水平 Fertilization level	光合速率 Photosynthetic rate (P_n) / $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$			蒸腾速率 Transpiration rate (T_r) / $(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$			气孔导度 Stomatal conductance (G_s) / $(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$			叶片水分利用效率 Leaf water use efficiency (WUE) / $(\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1})$		
		04-13	05-10	06-07	04-13	05-10	06-07	04-13	05-10	06-07	04-13	05-10	06-07
		W1	F1	15.80de	16.28d	5.29c	7.56cd	7.02e	1.69b	0.24f	0.26d	0.03b	2.09cd
	F2	16.32d	17.02d	7.60b	7.06d	7.15de	1.72b	0.26ef	0.28d	0.05b	2.31b	2.38a	4.42b
	F3	14.94e	17.21d	5.19c	7.08d	7.23d	1.33b	0.25ef	0.25de	0.02b	2.11c	2.38a	3.90bc
W2	F1	20.04bc	21.62bc	6.04bc	9.68ab	9.83bc	1.78b	0.46ab	0.45ab	0.03b	2.07d	2.20c	3.39c
	F2	22.66a	23.48a	10.94ab	10.25a	10.21a	2.13ab	0.47a	0.47a	0.04b	2.21bc	2.30b	5.14a
	F3	19.12cd	20.55bc	11.23a	9.15abc	9.38cd	2.23a	0.40bc	0.43b	0.25a	2.09cd	2.19cd	5.04ab
W3	F1	19.79c	20.79bc	5.81bc	8.32c	9.45c	1.91b	0.30de	0.42bc	0.03b	2.38b	2.20c	3.04d
	F2	20.81b	21.97b	6.44bc	8.67bc	9.76bc	2.03ab	0.40bc	0.45ab	0.05b	2.40ab	2.25bc	3.17cd
	F3	21.03ab	22.63b	6.53bc	8.65bc	10.06ab	2.08ab	0.35cd	0.43b	0.03b	2.43a	2.25bc	3.14cd
显著性检验 (P 值) Significance test (P values)													
灌水下限 Irrigation threshold		<0.05	<0.05	0.158	<0.05	<0.05	0.326	<0.05	<0.05	0.315	<0.05	<0.05	<0.05
施肥水平 Fertilization level		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
灌水下限 \times 施肥水平 Irrigation threshold \times Fertilization level		0.808	0.628	0.629	0.857	0.619	0.556	0.72	0.682	0.497	0.564	0.674	0.493

注:表中数值为平均值($n=9$),同列不同字母表示显著性差异($P<0.05$);显著性检验 P 值表示: $P<0.05$ 差异显著, $P<0.01$ 差异极显著, $P>0.05$ 差异不显著。下同。

Note: The data are mean values ($n=9$). Different letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$). Meaning of P values in significance test: $P<0.05$, significance; $P<0.01$, markedly significance; $P>0.05$, no significance. The same as below.

适当地上调灌水下限可以增加光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶水分利用效率, 施肥量相同时, 与 W1 相比, 对 F1 处理, W2 处理下 3 次测定的平均光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶水分利用效率分别增加了 27.64%、30.85%、78.05%、1.64%, 对 F2 处理, W2 处理下 3 次测定的平均光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶水分利用效率分别增加了 39.42%、41.81%、80.70%、5.88%, 对 F3 处理, W2 处理下 3 次测定的平均光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶水分利用效率分别增加了 36.31%、32.74%、91.84%、11%。

同样增加施肥量也可以增加光合速率、蒸腾速

率、气孔导度和叶水分利用效率, 表 1 显示, 灌水下限相同时, 与 F1 相比, 对 W1 处理, F2 处理下 3 次测定的平均光合速率、气孔导度和叶水分利用效率分别增加了 9.55%、3.45%、20.84%, 对 W2 处理, F2 处理下 3 次测定的平均光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶水分利用效率分别增加了 19.66%、6.11%、5%、25.89%, 对 W3 处理, F2 处理下 3 次测定的平均光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶水分利用效率分别增加了 6.10%、3.96%、10.75%、2.67%。灌水下限或施肥量过高(W3 或 F3)均会对光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶水分利用效率起到抑制作用。

2.3 滴灌施肥水肥耦合对番茄产量的影响

图 4 为滴灌施肥不同灌水下限和施肥量对番茄产量的影响。由图 4 可以看出,在同一灌水下限条件下,施肥量对番茄产量的影响呈现不同的变化规律。低灌水下限处理(W1),F3 的番茄生育期平均产量分别比 F1、F2 高 5.34%、10.69%,F2 较 F1 略有下降,可能是由于小区原始肥力的影响,施肥量对番茄产量的影响达到了显著水平;中灌水下限处理(W2),F2 和 F3 的番茄生育期平均产量分别比 F1 高 13.80%和 4.43%,表现为适中的施肥量(F2)对番茄产量影响最显著,高灌水下限处理(W3),F3 的番茄生育期平均产量分别比 F1、F2 高 2.64%、10.73%,F2 较 F1 略有下降,过高的灌水下限(W3)在番茄生长旺盛期,产量反而有所下降。

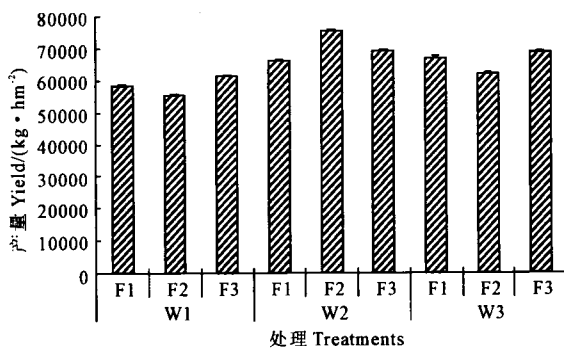


图 4 不同水肥处理对番茄产量的影响

Fig.4 Effects of different water and fertilization treatments on yield of tomato

在同一施肥量下,灌水下限对番茄产量的影响表现为随灌水下限的增大呈先增大而后又略降低的趋势。低施肥量处理(F1),W2 和 W3 的番茄生育期平均产量分别比 W1 高 13.70%和 14.84%,灌水下限对番茄产量的影响达到了显著水平;中施肥量处理(F2),W2 和 W3 的番茄生育期平均产量分别比 W1 高 35.96%和 11.86%,表现为适中的灌水下限(W2)对番茄产量影响最显著,过高的灌水下限(W3)在番茄生长旺盛期,产量反而有所下降;高施肥量处理(F3),W2 和 W3 的番茄生育期平均产量分别比 F1 高 12.72%和 11.90%,同样也表现为过高的灌水下限(W3)在番茄生长旺盛期,产量反而有所下降。从灌水下限和施肥量的耦合效应看,W2F2 处理番茄的产量最高,为 75 513.35 kg · hm⁻¹,其次为 W2F3 和 W3F3,分别为 69 295.84 kg · hm⁻¹和 68 793.46 kg · hm⁻¹,W1F2 处理的产量最低,为 55 540.83 kg · hm⁻¹。

2.4 番茄产量与叶片光合速率、干物质质量以及叶片光合速率与水分利用效率之间的关系

光合作用是番茄进行代谢生长的重要环节,是

有机物的主要来源,直接影响到作物能否高产和有效利用灌溉水,净光合速率是作物叶片光合作用的重要指标,因此对不同灌水下限和施肥量条件下番茄的产量与叶片光合速率、干物质质量以及叶片光合速率与水分利用效率之间的相互关系进行分析具有重要的意义。图 5~图 6 是番茄的产量与干物质质量、叶片净光合速率的关系。由图可以看出,番茄的产量与干物质质量和叶片的净光合速率均呈显著的线性相关。

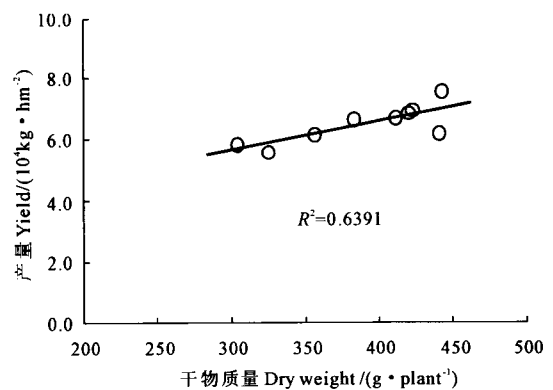


图 5 番茄产量与干物质质量之间的相互关系

Fig.5 Correlation between yield and dry weight of tomato

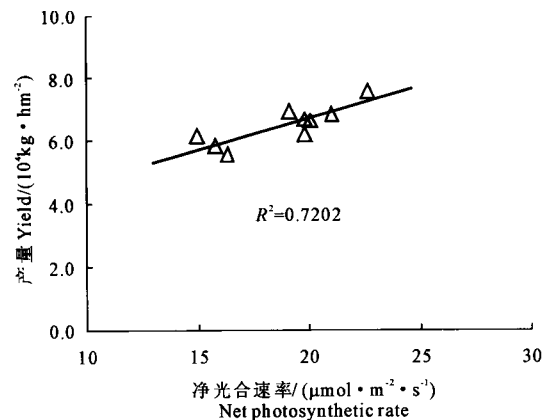


图 6 番茄产量与净光合速率之间的关系

Fig.6 Correlation between yield and net photosynthetic rate of tomato

图 7 为不同施肥量处理下 3 种灌水下限番茄叶片水分利用效率和净光合速率的关系。由图可以看出在施肥处理和灌水下限处理下番茄叶片的水分利用效率与净光合速率的变化关系均呈二次抛物线相关,且均达到极显著水平。在 3 个施肥处理下,当净光合速率较小时,W1 处理叶片水分利用效率较高,但当净光合速率增大到一定值时 W2 处理的叶片水分利用效率明显超过 W1 处理,而 W3 处理的叶片水分利用效率始终最小,这说明在施肥量一定的情况下,灌水下限过高或过低都会降低叶片水分利用效率,灌水下限 W2 处理有利于提高叶片水分利用

效率。同时也可以看到在试验土壤中 F2 处理下叶片水分利用效率要高于 F1 和 F3 处理。总之,从总体趋势看, W2F2 处理叶片水分利用效率较其他处理高。

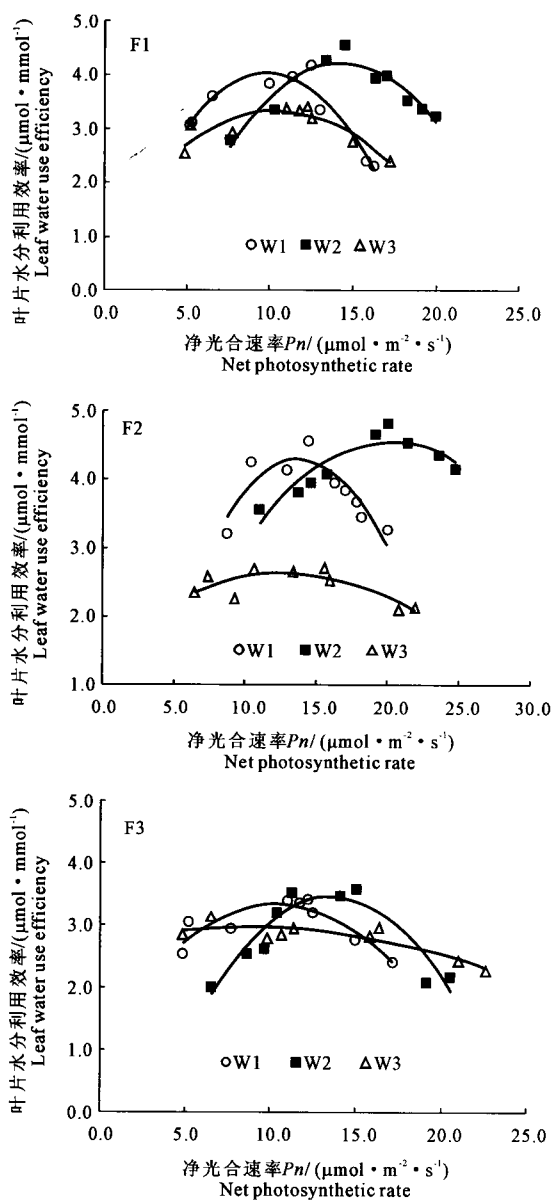


图7 番茄叶片水分利用效率与净光合速率之间的关系

Fig.7 Correlation between leaf water use efficiency and photosynthetic rate of tomato

3 结论与讨论

本文研究了不同灌水下限和施肥量对番茄生长、生理和产量的影响。结果表明:不同灌水下限和施肥量对番茄的株高、叶面积、干物质量和产量都具有不同程度的影响。与低灌水下限处理(W1)相比,中灌水下限处理(W2)和高灌水下限处理(W3)均可以显著增加番茄的株高、叶面积、干物质量和产量,其中中灌水下限处理(W2)的影响最显著。同样,与

低施肥量处理(F1)相比,中施肥量处理(F2)和高施肥量处理(F3)均可以显著增加番茄的株高、叶面积、干物质量和产量,其中中施肥量处理(F2)的影响最显著。但在番茄生长旺盛期,过高的灌水下限(W3)和施肥量(F3)反而会抑制番茄的株高、叶面积、干物质量和产量。而诸葛玉平等^[11]的研究结果表明,番茄株高、生物量分别随灌水下限的增大而减小。李毅杰等^[19]在华中农业大学设施基地的塑料大棚内进行不同土壤水分下限对滴灌甜瓜的影响研究,其结果表明,株高、叶面积和地上部干重均随着营养生长期土壤水分下限的降低而减小,75%田间持水量的土壤水分下限处理下甜瓜产量最高(这与本试验结论一致),研究表明65%田间持水量是武汉地区厚皮甜瓜营养生长期最适宜的土壤水分下限指标。袁丽萍等^[20]研究发现,氮肥追施较多时可显著提高番茄产量。不同研究者的试验结论不尽相同,可能是因为各地区气候条件的差异、土壤及地力基础的不同以及供试材料的不同,会导致作物生长、生理和产量各指标对水分养分的反应有所不同。

研究认为,番茄叶片光合速率随着水分胁迫的加剧而明显下降^[21]。适量施用氮肥在一定程度上可以改善叶片光合性能,提高作物的光合作用,从而更好地促进作物的增产丰收^[22]。磷参与光合进程及光合产物的运输和代谢,增施磷肥有利于提高作物的净光合速率,产生较多的碳水化合物运输到新叶^[23]。钾肥能促进作物叶绿素的合成,提高作物功能叶的光合能力^[24]。本试验研究结果表明不同灌水下限和施肥量对番茄光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率产生不同的影响。适当的上调灌水下限(W2)和增加施肥量(F2)可以增加光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶水分利用效率,灌水下限或施肥量过高或过多(W3或F3)均会对光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶水分利用效率起到抑制作用。

水分与养分之间相互作用、相互影响、相互依赖,形成一个整体,共同影响植物的生长。适宜的水分可以增强质流和扩散,有利于土壤养分离子向作物根系的迁移,同时,施肥又可促进作物对水分的吸收、转运和利用。因此适宜的水肥对提高土壤肥力、增加作物产量具有重要的意义。适宜的水分和施肥量会促进植株茎叶增加,使作物生长健壮,一方面,有利于作物生物量的累积,从而生物量向籽粒的转移也相应增大;另一方面,较大的叶面积也会扩大光合作用的场地,增加光合产物,从而增大产量。同时,植物叶面积增大,一方面增加了蒸腾量,另一方面减小了裸露的地面,从而减少了蒸发量,因此提高了蒸腾/蒸发比,进一步提高了水分利用效率。

综合考虑生长、生理、产量各项指标,处理W2F2表现为最适宜的水肥组合,是最利于节水节肥增产的番茄生长的最适灌水下限和施肥量,因此W2F2处理可为番茄的水肥一体化灌水施肥制度提供参考。

参考文献:

- [1] Kafkafi U, Tarchitzky J. Fertigation, A tool for efficient fertilizer[R]. Paris, France: International Fertilizer Industry Association, 2011
- [2] 夏敬源,彭世琪.我国灌溉施肥技术的发展与展望[J].中国农业推广,2006,22(5):4-6.
- [3] 周建斌,陈竹君,李生秀. Fertigation—水肥调控的有效措施[J].干旱地区农业研究,2001,19(4):16-21.
- [4] Borin M. Irrigation management of processing tomato and cucumber in environments with different water table depths[J]. Acta Hort, 1990, 267:85-92.
- [5] Coolong T, Surendran S, Warner R. Evaluation of irrigation threshold and duration for tomato grown in a silt loam soil[J]. Hortechology, 2011,21(4):466-473.
- [6] Chartzoulakis K S, Michelakis N G. Influence of different irrigation system on greenhouse tomatoes[R]. Padua, Italy: Fourth International Symposium on water supply and irrigation in open and under protected cultivation, 1988:26-28.
- [7] Zotarelli L, Dukes M D, Scholberg J M S, et al. Tomato nitrogen accumulation and fertilizer use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling[J]. Agricultural Water Management, 2009,96:1247-1258.
- [8] Zotarelli L, Johannes M. Scholberg, Dukes, MD. Rafael MC, Icermana J. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling [J]. Agricultural Water Management, 2009,96(1):23-34.
- [9] Singandhupe R B Rao, G G S N, Patil N G. and Brahmanand P S, Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* L.)[J]. European Journal of Agronomy, 2003,19(2):327-340.
- [10] Hebbar, S. S. B. K. Ramachandrappa, H. V. Nanjappa, M. Prabhakar, Studies on NPK drip fertigation in field grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)[J]. European Journal of Agronomy, 2004,21(1):117-127.
- [11] 诸葛玉平,张玉龙,张旭东.塑料大棚渗灌灌水下限对番茄生长和产量的影响[J].应用生态学报,2004,15(5):767-771.
- [12] 马世林,王铁良,张玉龙.日光温室青椒滴灌最佳灌水下限组合试验研究[J].中国农村水利水电,2011,68(2):62-64.
- [13] 裴芸,别之龙.塑料大棚中不同灌水量下限对生菜生长和生理特性的影响[J].农业工程学报,2008,24(9):207-211.
- [14] 虞娜,张玉龙,黄毅.温室滴灌施肥条件下水肥耦合对番茄产量影响的研究[J].土壤通报,2003,34(3):179-183.
- [15] 张辉,张玉龙,虞娜.温室膜下滴灌灌水控制下限与番茄产量、水肥利用效率的关系[J].中国农业科学,2006,39(2):425-432.
- [16] 樊兆博,刘美菊,张晓曼.滴灌施肥对设施番茄产量和氮素表现平衡的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):970-974.
- [17] 王克武,程明,肖长坤.滴灌施肥强度对温室生菜生长、产量和品质的影响[J].北方园艺,2010,(11):55-58.
- [18] 张学军,赵营,陈晓群.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.
- [19] 李毅杰,原保忠,别之龙.不同土壤水分下限对大棚滴灌甜瓜产量和品质的影响[J].农业工程学报,2012,28(6):132-138.
- [20] 袁丽平,米国全,赵灵芝.水氮偶和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.
- [21] 姚磊,杨阿明.不同水分胁迫对番茄生长的影响[J].华北农学报,1997,12(2):102-106.
- [22] 张艳玲,宋述尧.氮素营养对番茄生长发育及产量的影响[J].北方园艺,2008,(2):25-26.
- [23] 张海伟,徐芳森.不同磷水平下甘蓝型油菜光合特性的基因型差异研究[J].植物营养与肥料学报,2010,16(5):1196-1202.
- [24] 郭英,孙学振,宋宪亮.钾营养对棉花苗期生长和叶片生理特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(3):363-368.

(上接第66页)

- [7] 孙计平,李雪君,吴照辉,等.应用 AMMI 模型分析烤烟区试品种稳定性[J].中国农学通报,2011,27(19):263-267.
- [8] 杨志平,何凤发,王季春,等. AMMI 模型在马铃薯品种区试中的适用性分析[J].西南农业大学学报,2006,28(2):322-325.
- [9] 宿云飞,陈伊里,吕典秋,等.用 AMMI 模型分析马铃薯淀粉品质性状的稳定性[J].东北农业大学学报,2009,40(11):18-22.
- [10] 张泽,鲁成,向仲怀.基于 AMMI 模型的品种稳定性分析[J].作物学报,1998,24(3):304-309.
- [11] 王磊,杨仕华,谢美贤,等. AMMI 模型及其在作物区试数据分析中的应用[J].应用基础与工程科学学报,1997,5(1):39-46.
- [12] 吴为人.对基于 AMMI 模型的品种稳定性分析方法的一点改进[J].遗传,2000,22(1):31-32.
- [13] 王磊, McLaren C G, 杨仕华.利用双标图分析作物区试数据[J].生物数学学报,1997,12(5):557-563.
- [14] 温振民.用高稳系数估算玉米杂交种高产稳产性的探讨[J].作物学报,1994,20(4):508-512.
- [15] 杨涛,李加纳,唐章林,等.三种评价品种稳定性方法的比较[J].贵州农业科学,2006,34(1):28-31.
- [16] 金文林.作物区试中品种稳定性评价的秩次分析模型[J].作物学报,2000,26(6):925-930.
- [17] 林华,高金锋,高小丽,等.不同基因型芸豆品种丰产性及稳定性分析[J].干旱地区农业研究,2009,27(2):108-113.