

水肥处理对基质栽培西瓜生长、水分利用效率及光合特性的影响^①

宋修超¹, 仇美华², 郭德杰¹, 马艳^{1*}, 严少华¹

(1 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014; 2 江苏省耕地质量与农业环境保护站, 南京 210036)

摘要: 探讨水肥耦合效应对基质栽培西瓜生长状况与水分利用效率的影响, 为基质栽培西瓜的高效生产提供科学依据。本试验在田间温室条件下, 基质栽培西瓜“苏蜜8号”, 通过设置3个水分梯度和4个施肥梯度, 研究不同水肥处理对西瓜产量、光合特性和灌溉水分利用效率的影响。试验结果显示, 在中水处理(整季60 L)下, 施肥量为N-P₂O₅-K₂O (20g-10g-30g)的养分供应下, 西瓜产量和植株生物量达最高值。水分、肥料及二者交互作用对西瓜产量和植株地下部生物量的影响都达到了显著水平($P < 0.05$), 且影响大小顺序为肥料作用 > 水分作用 > 交互作用。灌溉水分利用效率随灌溉量的增加水分利用效率降低, 在同一水分条件下, 适量增肥可提高灌溉水利用效率。水肥交互作用对西瓜不同生育期内叶片净光合速率的影响均达显著水平($P < 0.05$), 但对叶片蒸腾速率只有在膨瓜期内影响较大, 在苗期影响蒸腾速率的主要因子是灌水量。

关键词: 基质栽培; 水肥交互作用; 灌溉水分利用效率; 光合特性

中图分类号: S365; X712 文献标识码: A

西瓜是我国重要的高效园艺作物。近年来, 西瓜产业规模不断扩大, 连作面积逐年增加, 但西瓜本身忌连作的特征又致使集约化种植西瓜后土传病害问题突出, 这严重影响了西瓜的生产和市场的供应^[1]。近年来, 利用农业废弃物作为无土栽培基质种植是设施园艺领域的热点问题^[2-3]。一方面无土栽培可以很好克服土壤连作障碍问题; 另一方面栽培基质含有丰富的矿质养分和有机质, 可提高作物产量、品质和经济收益^[4-5]。

虽然无土基质栽培使农业生产脱离了土壤环境, 但考虑到无土栽培所需基质的成本问题, 基质使用量也不宜太多。而如果基质用量少则会导致基质的保水、保肥及酸碱缓冲能力较差, 而受水肥等外界环境影响较大^[6]。因此, 为提高基质生产力水平, 获得更高的生产和生态效益, 实现水肥的科学合理利用成为基质栽培发展的必备配套技术^[7]。

目前关于水肥耦合对作物的产量、品质、水分利用效率的影响研究主要集中在露地或者设施栽培作物。如: 王景燕等^[8]研究不同水肥耦合处理对汉源花

椒生长的影响, 表明土壤水分控制在田间持水量的35.9%~46.7%时, 可获得较高的叶片净光合速率和水分利用效率; 李翊华等^[9]研究不同水肥耦合对温室中彩椒生长影响, 表明在中等土壤水分和施肥水平条件下地上部和根系干质量均明显高于其他耦合模式, 同时, 叶片光合速率最大。但是, 针对西甜瓜作物且在基质栽培条件下的水肥耦合效应研究则未见相关报道。此外, 光合作用是植物生长发育和产量积累的重要生理基础, 而水肥通过影响叶片色素产生、酶活性以及气孔开关等多种因素, 对植株的光合作用产生影响, 进而对其生物量积累和水分利用率造成影响^[10-11], 因此, 分析水肥管理对植物生长和代谢的影响是光合生理特征研究的重要内容。

基于此, 本研究通过设置不同水分梯度和肥料供应梯度, 来探讨水分和肥料及两因子的交互效应对基质栽培西瓜产量、光合生理特性及水分利用效率的影响, 为西瓜基质栽培的高效生产提供科学依据, 为农业废弃物基质化利用产业链提供更多技术保障。

基金项目: 江苏现代农业(蔬菜)产业技术体系废弃资源利用创新团队(JATS[2018]209)和江苏省农业科技自主创新基金项目(CX(15)1003-9)资助。

* 通讯作者(myjaas@sina.com)

作者简介: 宋修超(1987—), 男, 山东即墨人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为农业废弃物肥料化与基质化利用。E-mail: xiuchao103@163.com

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试基质：以腐熟的秸秆发酵床养猪垫料为主要原料，复配其他辅料研制而成，由江苏省农业科学院六合动物生产基地有机肥厂生产。基本理化性质如下：容重 0.21 g/cm^3 ，总孔隙度 65.22% ， pH 7.32 ， EC 值 1.45 mS/cm ，全氮 9.09 g/kg ，全磷 11.63 g/kg ，全钾 6.76 g/kg 。

供试西瓜：品种为苏蜜 8 号，西瓜种苗由江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所提供。

供试肥料：氮肥为尿素，磷肥为过磷酸钙，钾肥为硫酸钾。

供试基质槽：本试验采用基质槽式栽培，基质槽为本课题组专利产品，其特征为无盖长方箱体，采用特定模具用聚苯乙烯压塑成型，长宽高分别为 $1.2 \text{ m} \times 0.25 \text{ m} \times 0.30 \text{ m}$ 。

1.2 试验设计

试验于 2016 年 9—12 月在江苏省农业科学院六合动物生产基地标准塑料大棚中进行，大棚南北朝向，长 40 m ，宽 8 m 。试验采用双因子（水分和肥料）交互设计，分为 3 个水分梯度和 4 个施肥量梯度处理，共 12 个处理，3 次重复。水分梯度（根据前期位于江苏省农业科学院盐城市新洋农业试验站和江苏省农业科学院宿迁农科所开展的基质栽培田间管理经验值）为：低水处理整季大约 40 L/株 （W1），中水处理约 60 L/株 （W2）和高水处理约 80 L/株 （W3）；施肥量梯度为（同样参考前期预试验结果，以单株西瓜施用量计， g ）：F0，不施肥；F1， $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ （10-5-15）；F2， $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ （15-7.5-22.5）；F3， $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ （20-10-30），其中追施养分要减掉 15 L 基质中包括速效氮、有效磷和速效钾的量（5.5-7.3-9.7）。每个处理 4 次重复，大棚内各处理随机排列。

本试验每个处理由 3 个基质槽组合而成，种植 8 棵西瓜（苏蜜 8 号），株距为 0.40 m ，单株西瓜的基质量为 15 L 。西瓜于 2016 年 9 月 7 日移栽定植，采用单株留双蔓坐一果的管理原则。试验中由于水分损失受环境温度影响较大，但为保证水分梯度处理间差异，每次灌水量比例控制为 2:3:4。每隔 3~4 d 浇水一次，用量筒精确计算。施肥处理将统共肥料量平均分成 3 份，分别在苗期、伸蔓期和结果期 3 次追施入基质中，所需氮、磷、钾肥用商品尿素、过磷酸钙和硫酸钾进行补充。具体施用方式为追肥与灌水同步进行，分别将小区所需肥料溶于水中，用喷壶浇入基质中。生长期间其他日常管理均采用当地统一管理。

2016 年 11 月 10 日果实统一采收计产，将每个处理全部 8 棵植株分类收集，地上部植株和地下部根系分别称鲜重。

1.3 测定项目与方法

光合速率的测定：分别选择天气晴朗的一天，西瓜苗期（2016 年 9 月 30 日）、膨瓜期（2016 年 10 月 20 日）早上 09:00—11:30 进行，利用 LI-6400 型光合仪（LI-6400，LI-COR 生物科学公司）在每小区随机选取 3 株对其生长点下进行测量，苗期第 7 片功能叶，膨瓜期选择第 15 片功能叶。测定项目主要包括净光合速率（ P_n ， $\text{CO}_2 \text{ } \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ）、蒸腾速率（ T_r ， $\text{H}_2\text{O mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ）等光合生理参数，测量环境：温室温度在 $20 \sim 28 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间，空气相对湿度约为 65% ，选择 LED 光源，光照强度设定为 $800 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ， CO_2 浓度等于温室内自然浓度，为 $300 \sim 320$ 。为降低环境变化带来的误差，采取 Z 字形测量法，即一次重复的每一个处理测定一个数据即进入下一处理，全部处理都测完一次后进入下一次循环，如此依次测完，最后计算各小区平均值。

灌溉水分利用效率（IWUE）即植株每消耗 1 m^3 灌溉水所生产的果实鲜质量。IWUE = (果实产量/灌水量) $\times 100\%$ 。

数据统计分析采用 SPSS 17.0 和 Excel 软件进行双因素方差分析。用 Origin Pro 9.0 进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同水肥处理对基质栽培西瓜生长状况及水分利用效率的影响

比较不同水肥处理下西瓜产量，地上部、地下部植株生物量的差异（表 1），所有处理中，W2F3 的耦合处理下，西瓜产量，植株地上部、地下部生物量均达最高值，这说明当基质在中水处理下，单株追施 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ 肥为 $20\text{g-}10\text{g-}30\text{g}$ 时，西瓜植株可保持较强的生长能力；而在较高和较低的基质水分条件下，施肥量过大和过小时，水肥间可能因为产生拮抗作用，表现为植株的生长较慢，产量降低。双因素方差分析显示（表 2），单株施肥量、灌水量及二者交互作用对西瓜产量和植株地下部生物量的影响都达到了显著水平（ $P < 0.05$ ），且影响大小顺序为肥料作用 $>$ 水分作用 $>$ 交互作用；而水肥交互作用对西瓜地上部植株生物量的影响未达显著水平。

如表 1 所示，在相同灌水条件下，由于施肥在一定范围内可提高西瓜果实产量，所以提高灌溉水分利用效率；但过量施肥果实产量并没有持续增加，水分

表 1 不同水肥处理下西瓜生长状况及灌溉水分利用效率
Table 1 Growth and IWUEs of watermelon under different treatments

水分处理	肥料处理	西瓜产量 (kg/plot)	地上部鲜重 (kg/plot)	地下部鲜重 (g/plot)	灌溉水分利用效率 (kg/m ³)
W1	F1	4.57 g	9.07 c	59.73 e	14.28 c
	F2	6.27 bcde	9.93 abc	66.10 cd	19.60 a
	F3	5.45 cdef	9.74 bc	64.81 cde	17.04 b
	F4	5.39 efg	9.97 abc	64.58 cde	16.83 b
W2	F1	4.95 fg	9.95 abc	62.86 de	9.38 d
	F2	6.65 abcd	10.73 ab	70.01 bc	13.86 c
	F3	7.32 a	11.08 a	77.65 a	15.24 bc
	F4	6.94 abc	10.83 ab	72.94 ab	14.46 c
W3	F1	5.78 def	10.12 abc	60.08 e	9.03 d
	F2	7.02 ab	10.51 ab	63.97 ab	10.97 d
	F3	6.75 abcd	10.69 ab	73.83 ab	10.55 d
	F4	5.97 cde	9.95 abc	71.66 b	9.32 d

注：同列数据小写字母不同表示处理间差异显著($P < 0.05$)，下同。

表 2 水肥交互作用对西瓜生长和水分利用效率影响的双因素方差分析

Table 2 Two-way ANOVA analysis of effects of water and fertilizer interaction on growth and IWUE of watermelon

因素	显著性检验(F 值)			
	产量	地上部鲜重	地下部鲜重	水分利用效率
水分	14.22*	7.69*	15.43*	81.46*
肥料	15.52*	2.88*	21.79*	15.12*
水分×肥料	2.51*	0.64	2.71*	2.93*

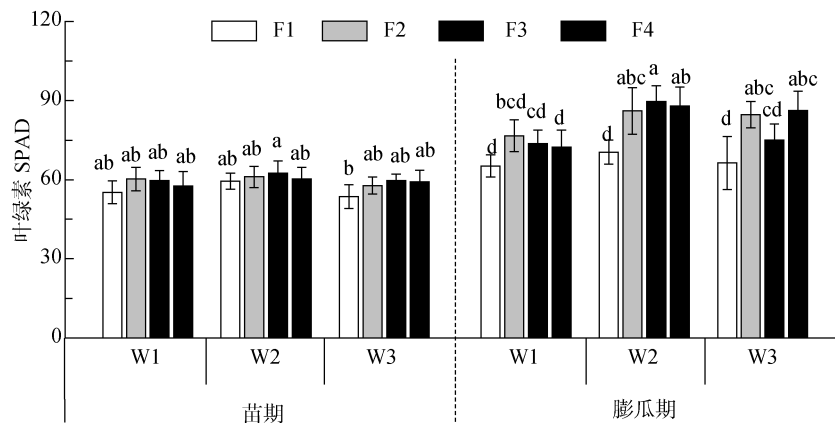
注：* 表示影响达到显著性水平($P < 0.05$)。

利用效率也相应并未增加。综合分析，肥料施用量和灌水量作为单一因子及二者的交互作用对基质栽培西瓜灌溉水分利用效率的影响均是极显著的，但二者

交互作用则对灌溉水分利用效率的影响并不显著。

2.2 不同水肥处理对基质栽培西瓜不同生长期内光合特性的影响

如图 1 显示，不同水肥处理下，西瓜叶片叶绿素相对含量在苗期整体差异不大，而在西瓜膨瓜期内差异较大，在一定的水分条件下(中水和高水)施肥显著提高了叶片叶绿素的相对含量，正如 W2 和 W3 水分条件下，施肥处理(F2, F3, F4)显著高于同水分下 F1。双因子方差分析表明(表 3)，西瓜苗期叶片叶绿素相对含量对不同施肥、水分处理的响应不显著；而膨瓜期，施肥与水分单独因子对叶绿素含量的影响达显著效果，二者的交互作用在两个生长期内的影响也均不显著。



(苗期和膨瓜期分别进行单因子方差分析，图中小写字母不同表示同一生育期内不同处理间差异显著($P < 0.05$)，下同)

图 1 不同水肥处理对西瓜叶片叶绿素相对含量的影响

Fig. 1 Effects of water and fertilizer coupling treatments on SPAD of watermelon leaves

表 3 水肥交互作用对不同生育期内西瓜叶片光合特性影响的双因素方差分析
 Table 3 Two-way ANOVA analysis of effects of water and fertilizer interaction on photosynthetic characteristics in different growth periods of watermelon

因素	显著性检验(F 值)					
	苗期			膨瓜期		
	叶绿素	净光合速率	蒸腾速率	叶绿素	净光合速率	蒸腾速率
水分	2.56	96.39*	610.08*	9.09*	98.78*	311.91*
肥料	2.07	38.15*	4.287*	10.501*	45.93*	16.85*
水分×肥料	0.15	7.29*	1.165	1.16	10.48*	3.25*

注：*表示在 $P<0.05$ 水平影响显著。

如图 2 所示,在西瓜膨瓜期内,叶片净光合速率受水肥影响较大,在相同灌水条件下,与不施肥(F1)处理相比,适量施肥可提高叶片净光合速率,尤其在西瓜膨瓜期,正如 F2, F3 处理均显著高于 F1($P<0.05$),过量施肥光合速率反而下降,正如西瓜苗期的 W1F4、W3F4 处理和膨瓜期的 W1F4、W2F4 处理光合速率显著低于 F1 处理($P<0.05$),这也表明不论水分条件如何,养分胁迫均不利于叶片光合作用进行;而相同施肥条件下,各处理中几乎均为中水处理下光合速率最高。双因子方差分析(表 3)也验证了此结果,在西瓜的不同生育期内,水分、肥料及二者的

交互作用对叶片净光合速率的影响均达显著水平($P<0.05$)。

如图 3 所示,叶片蒸腾作用在整个生育期内受水分的影响远远大于肥料,表现为低水处理下,蒸腾速率均显著低于中水和高水各处理($P<0.05$);肥料对蒸腾作用的影响相对较小,各施肥处理间叶片蒸腾速率差异不大,但与不施肥处理相比,施肥处理蒸腾速率均显著提高($P<0.05$),尤其是在膨瓜期的中水和高水条件下。双因子方差分析(表 3)表明,水、肥及其二者交互作用对西瓜膨瓜期叶片蒸腾速率均有显著影响,而在苗期交互作用不显著。

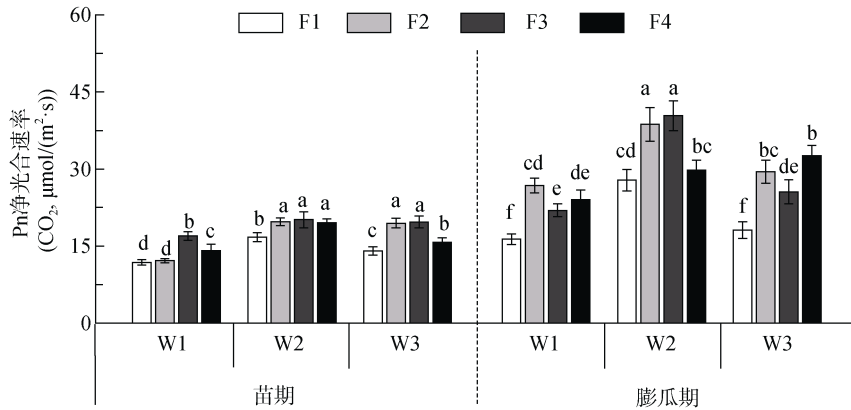


图 2 不同水肥处理对西瓜叶片净光合速率的影响

Fig. 2 Effects of water and fertilizer coupling treatments on photosynthesis rates of watermelon leaves

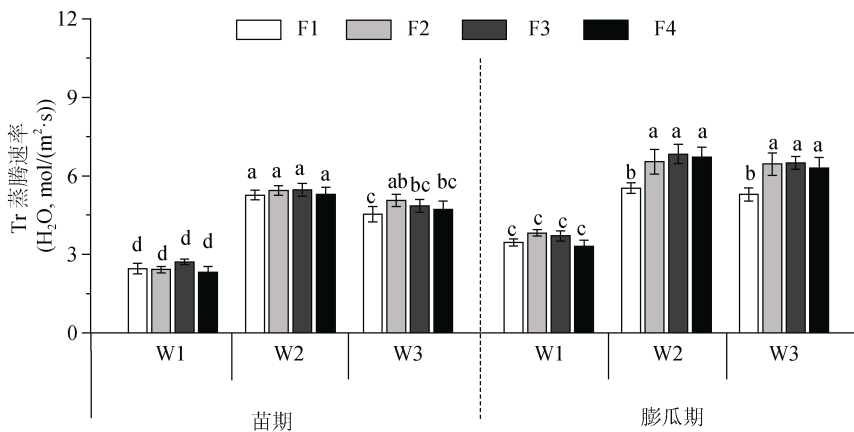


图 3 不同水肥处理对西瓜叶片蒸腾速率的影响

Fig. 3 Effects of water and fertilizer coupling treatments on transpiration rates of watermelon leaves

3 讨论

基质栽培条件下,水肥耦合管理技术的关键在于通过调整水分与肥料间的协同作用来达到提高作物生长、产量以及水肥利用效率的效果^[11]。本研究结果表明,水肥交互作用对基质栽培西瓜产量、地下部生物量的影响均达到显著水平。王鹏勃等^[12]研究发现,肥料和水肥交互作用对基质栽培番茄产量的影响均达极显著水平,这种耦合效应主要是因为矿质营养随水分同时施用更易被植物吸收,具有明显的协同促进效应,从而促进蔬菜的生长和增产。同时,与大量土壤栽培试验的结果相似,水分和肥料的交互作用存在一定的阈值,在适宜的范围内肥料越充足,根系越发达,吸水能力越强,水分利用率越高,增产效果显著,肥水施用量过高或者过低效果则不明显^[13-14]。而本试验的研究结果也验证了基质栽培条件下的效果,在中水、F3 处理下的西瓜产量和地上部、地下部生物量达到最高值,超过此阈值,如果继续增加水肥施用量,则西瓜产量不再增加,甚至下降。

灌溉水分利用效率与西瓜产量及生物量和灌溉水的总量密切相关。水分或者肥料单一因子及交互作用均对灌溉水分利用效率的影响是显著的,且水分效应>肥料效应>交互作用。灌水量为水分利用效率计算公式中的主要限制因子,因此对其影响也是最大,并且与灌溉水分利用效率应该呈反比关系,即随着灌溉量的增加水分利用效率降低^[12]。在同一水分条件下,施肥具有明显的调水作用,适量的增加肥料施用量可以提高果实产量,从而提高灌溉水分利用效率,过低或过高的肥料均不利于植株对水分的吸收和利用,造成产量降低,水分利用效率低^[15]。本试验水肥交互作用对灌溉水分利用效率的影响达显著水平也验证了这一论点。这主要是由于适宜的水肥供应可以促进植物根系发育,提高养分吸收效率,调节水分利用过程,从而提高水分与养分利用率^[16]。

植物光合作用的强弱受多种因素的影响,如Gs、Evap、Ci、酶活性等,而这些因素又与水分、养分等环境条件密切相关^[17-18]。水分变化可以影响叶片气孔的闭合,水分胁迫下叶绿体超微结构受到损伤和破坏,叶绿体希尔反应减弱,光合产物积累量下降^[19]。养分对植物光合作用的影响主要是通过改变叶片气体交换参数、叶绿素含量和酶活性。当养分供应充足时,叶片养分含量增加,光合速率提高,当养分供给降低时,叶片含氮量显著降低,并导致叶片光合能力下降^[20]。因此,水肥管理措施对增加叶绿素含量、

提高光合和促进植株生长具有重要的作用。本研究结果表明,在基质栽培条件下,西瓜的不同生育期内,水分、肥料及二者的交互作用对叶片光合作用的影响均达显著水平。同时,叶片光合速率的大小是衡量植物吸收光能转化为体内同化物质强弱的标准^[21],因此,果实产量及灌溉水分利用效率与植株光合特性有较好的正相关作用。总之,通过调控适宜的灌溉量和施肥量,促使叶片气孔导度和蒸腾速率向有利于提高西瓜净光合速率的方向变化,从而增加西瓜果实积累量,提高灌溉水分利用效率。

4 结论

本研究表明,施肥量、灌水量及二者交互作用对西瓜产量和植株地下部生物量的影响都达到了极显著水平,在中水处理(整季 60 L)下,N-P₂O₅-K₂O 为 20g-10g-30g 的养分供应条件下,产量和植株生物量达最高值。灌溉水分利用效率与灌水量呈反比关系,即随着灌溉量的增加水分利用效率降低,在一定水分条件下,适量施肥具有调水作用,可提高灌溉水利用效率。不同水肥处理对在西瓜的不同生育期内对叶片净光合速率的影响均达显著水平,对西瓜叶片蒸腾速率只有在膨瓜期内影响较大,而在苗期影响蒸腾速率的主要因子是灌水量。总之,实际农业生产中需统筹水分和肥料二者关系,适宜的水肥供应可以促进西瓜养分吸收,调节水分利用过程,从而提高水分与养分利用率。

参考文献:

- [1] 苏世鸣,任丽轩,霍振华,等.西瓜与旱作水稻间作改善西瓜连作障碍及对土壤微生物区系的影响[J].中国农业科学,2008,41(3):704-712
- [2] 柏彦超,周雄飞,赵学辉,等.蚓粪基质克服西瓜连作障碍的应用效果研究[J].中国农学通报,2011,27(8):212-216
- [3] Olle M, Ngouajio M, Siomos A. Vegetable quality and productivity as influenced by growing medium: A review[J]. Zemdirbyste-agriculture, 2012, 99(4): 399-408
- [4] Recamales A F, Medina J L, Hernanz D. Physicochemical characteristics and mineral content of strawberries grown in soil and soilless system[J]. Journal of Food Quality, 2010, 30(5): 837-853
- [5] 李伟明,黄忠阳,杜鹃,等.不同配方栽培基质对番茄苗期生长的影响[J].土壤,2017,49(2):283-286
- [6] 汪晓云,高丽红,汤青川.关于无土栽培发展中若干问题的探讨(4) 果菜基质无土栽培中的相关问题[J].农业工程技术,2016(22):56-59

- [7] 孙媛, 胡克林, 邱建军, 等. 不同水肥管理下设施黄瓜地氮素损失及水氮利用效率模拟分析[J]. 中国农业科学, 2013, 46(8): 1635–1645
- [8] 王景燕, 龚伟, 包秀兰, 等. 水肥耦合对汉源花椒幼苗叶片光合作用的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(5): 1321–1330
- [9] 李翊华, 张芬琴, 陈修斌, 等. 温室水肥耦合对甜椒生长和果期叶片光合特性的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 415–421
- [10] 高飞, 王若水, 许华森, 等. 晋西黄土区水肥调控对苹果-玉米间作系统玉米灌浆期穗位叶光合生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(8): 2477–2490
- [11] 李建明, 潘铜华, 王玲慧, 等. 水肥耦合对番茄光合、产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(10): 82–90
- [12] 王鹏勃, 李建明, 丁娟娟, 等. 水肥耦合对温室袋培番茄品质、产量及水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(2): 314–323
- [13] 赵炳梓, 徐富安, 周刘宗, 等. 水肥(N)双因素下的小麦产量及水分利用率[J]. 土壤, 2003, 35(2): 122–125
- [14] 张文元, 郭晓敏, 涂淑萍, 等. 水肥对高产无性系油茶果实产量的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 768–775
- [15] 张洁瑕, 刘树庆, 宁国辉, 等. 不同水肥耦合对西芹收获期土壤硝酸盐累积的影响[J]. 土壤, 2009, 41(4): 641–648
- [16] 赵海燕, 孙志国, 管永祥, 等. 保水缓释肥对盐胁迫下水稻矿质元素分配的调控[J]. 土壤学报, 2016, 53(5): 1316–1325
- [17] 王铁良, 周罕琳, 李波, 等. 水肥耦合对树莓光合特性和果实品质的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(6): 286–290
- [18] 张锐, 张琦, 陈加利, 等. 水肥耦合对核桃光合特性与品质的影响[J]. 果树学报, 2015, 32(6): 1170–1178
- [19] 周静, 汪天, 崔键, 等. 红壤水分调节对柑桔叶片叶绿素和光合特性的影响[J]. 土壤, 2008, 40(5): 833–836
- [20] 李玮, 张佳宝, 张丛志, 等. 秸秆还田方式和施肥对冬小麦生理特性及产量的影响[J]. 土壤, 2013, 45(2): 214–219
- [21] 杨小龙, 须晖, 李天来, 等. 外源褪黑素对干旱胁迫下番茄叶片光合作用的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(16): 3186–3195

Effects of Water and Fertilizer Coupling on Growth, Water Use Efficiency and Photosynthetic Characters of Watermelon Cultivated by Organic Substrate

SONG Xiuchao¹, QIU Meihua², GUO Dejie¹, MA Yan^{1*}, YAN Shaohua¹

(1 *Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;*

2 *Jiangsu Station for Protection of Arable Land Quality and Agricultural Environment, Nanjing 210036, China)*

Abstract: This study aims at discovering the relations of water and fertilizer coupling with the growth and water use efficiency of watermelon cultivated by organic substrate in order to provide a theoretical basis for high-efficient production of watermelon in greenhouse. Watermelon variety ‘Sumi 8’ was used, three irrigation levels and four fertilization levels were designed. The results showed that maximum yield and plant biomass were obtained in middle irrigation level (60 L) and (20-10-30) g (N-P₂O₅-K₂O) fertilization level. There were strongly synergistic effects between water and fertilizer on yield and plant root biomass of watermelon ($P < 0.05$), and the effects were in order of fertilization > water > interaction. Water use efficiency of watermelon was reduced with the increasing of irrigation levels, but increased with the increasing of fertilizer under the same irrigation levels. The interaction effects of water and fertilization on photosynthetic characters of watermelon leaves were significant in different growth periods ($P < 0.05$), but only significant on transpiration rate in the expansion period of watermelon.

Key words: Organic substrate; Water and fertilizer coupling; Water use efficiency; Photosynthetic characters