

适宜施氮量提高温室砂田滴灌甜瓜产量品质及水氮利用率

杜少平¹, 马忠明^{2*}, 薛 亮³

(1. 甘肃省农业科学院蔬菜研究所, 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院, 兰州 730070;

3. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 兰州 730070)

摘 要: 为解决设施砂田甜瓜生产中的水肥瓶颈问题, 该文通过大田试验, 研究西北旱区设施砂田甜瓜传统水肥管理与滴灌施肥处理对不同生育时期甜瓜生长、产量、品质及水氮利用率的影响, 从而确定甜瓜高效的灌溉方式及适宜的氮肥用量。试验设置了 2 个对照处理: 大水漫灌不施氮肥 (CK₀) 和大水漫灌传统施氮 (CK), 并在灌水量减少 40% 的滴灌条件下设置了 4 个氮肥水平: 不施氮 (T₁)、传统施氮量 N 180 kg/hm² (T₂)、减氮 40% 即 N 108 kg/hm² (T₃)、增氮 40% 即 N 252 kg/hm² (T₄), 共 6 个处理。结果表明: 滴灌施肥处理较对照在甜瓜生长后期光合、植株干物质及氮素积累量等生理、生长指标均显著提高, 甜瓜增产 7.40%~14.35%, 水、氮利用率分别提高 28.81%~40.65% 和 22.78%~77.22%, 果实品质中可溶性固形物及 Vc 含量也显著提高, 硝酸盐含量显著降低, 且滴灌可减少砂层含土量, 从而延长砂田的使用年限。相同滴灌条件不同氮水平处理间, 甜瓜植株干物质及氮素积累量随施氮量的增加而增加, 而光合指标、产量、品质及水氮利用率则表现出先增加后降低的趋势, 其中以 T₂ 和 T₃ 处理的甜瓜产量、品质和水氮利用率最高。综合分析表明, 滴灌施肥是西北旱区设施砂田甜瓜栽培优质高产、高效和节水节肥的水肥管理模式, 适宜的氮肥施用量为 108~180 kg/hm²。

关键词: 氮肥; 灌溉; 温室; 砂田; 甜瓜; 产量; 品质; 水氮利用率

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.016

中图分类号: S275.6; S652

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-05-0112-08

杜少平, 马忠明, 薛 亮. 适宜施氮量提高温室砂田滴灌甜瓜产量品质及水氮利用率[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 112—119. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.016 <http://www.tcsae.org>

Du Shaoping, Ma Zhongming, Xue Liang. Optimal drip fertigation amount improving muskmelon yield, quality and use efficiency of water and nitrogen in plastic greenhouse of gravel-mulched field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(5): 112—119. (in Chinese with English abstract)

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.016 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

砂田是地表铺盖了 1 层厚度为 6~15 cm 粗砂砾或卵石夹粗砂的田地, 是中国西北干旱半干旱地区独特的、传统的抗旱耕作方式, 距今约有二、三百年的历史, 主要集中分布在中国降雨偏少的甘肃中部, 以及宁夏、青海和新疆的部分地区^[1-3]。砂田根据其有无灌溉条件可分为旱砂田和水砂田, 水砂田分布于有水源灌溉的地方, 以种植蔬菜、瓜果等经济作物为主。近年来随着农业新技术的不断应用和设施栽培技术的不断发展, 兰州市农技人员已将传统技术与现代高新技术结合起来, 在传统水砂田基础上摸索出一套甜瓜栽培新模式, 即“大棚+小拱棚+地膜+砂田”的“三膜一砂”栽培技术。该项栽培技术较传统露地砂田地膜种植甜瓜可提前 20~30 d 成熟, 经济效益增加 4.5~7.5 万元/hm²^[4-5], 这一国内首创

的农业新技术, 加快了兰州甜瓜产业的发展。

近年来, “三膜一砂”甜瓜栽培由于相应配套技术还不完善, 应用推广进程较慢, 其中水肥管理是主要瓶颈。其一, 设施大棚增加了传统砂田的蒸发强度, 而砂田是平作栽培, 在甜瓜膨果期, 正值水肥需求最大期, 大水漫灌容易造成果实腐烂; 其二, 传统的大水漫灌加肥料撒施, 除过量施用氮肥导致氮肥利用率低, 不利于果实的膨大和糖分的积累外, 还造成地下水硝酸盐污染等一系列严重的环境污染问题^[6-7]; 最重要的是砂田大水漫灌易造成砂土混合, 加速砂田的老化, 缩短砂田的使用年限, 加快了砂田“起砂—覆砂”的循环作业进程, 重新铺砂不但成本高且劳动强度大, 加之无序的砂石采挖会加剧土壤、植被的破坏和生态环境的恶化^[8], 因此在当前农村劳动力人口缺乏和生态环境脆弱的西北干旱地区, 砂田设施农业的发展受到了限制。

滴灌施肥是在作物的不同生育阶段, 利用滴灌设施将作物所需的不同养分分配比的肥料和水, 分多次少量, 适时、适量地供给, 以满足作物生长需要的技术^[9], 因能根据作物的水、肥需求规律, 做到定时、定量、定点的水肥供给, 维持了作物根区适宜的水肥浓度, 从而起到增产、节水、节肥效果而被广泛应用^[10-12]。已有结果表明, 在滴灌和漫灌 2 种灌溉模式下, 滴灌施肥能显著提高氮肥利用率, 增加马铃薯块茎产量^[13]。因此, 滴灌施

收稿日期: 2015-09-08 修订日期: 2015-12-10

基金项目: 国家西甜瓜产业技术体系土壤肥料岗位项目 (CARS-26-20); 农业部西北地区蔬菜科学观测实验站项目 (2015-A2621-620321-G1203-066)

作者简介: 杜少平, 男, 汉族, 甘肃静宁人, 硕士, 助理研究员, 主要从事西甜瓜高效栽培技术研究。兰州 甘肃省农业科学院蔬菜研究所, 730070。

Email: dushaoping2007@163.com

*通信作者: 马忠明, 男, 汉族, 博士, 博士生导师, 主要从事节水农业和保护性耕作研究。兰州 甘肃省农业科学院, 730070。Email: mazhming@163.com

肥技术可有效的解决上述砂田设施栽培过程中水肥管理方面所面临的瓶颈问题。目前, 砂田设施大棚甜瓜滴灌施肥研究尚未见公开报道, 本试验拟通过甘肃省皋兰县“三膜一砂”甜瓜主产区的覆膜滴灌施肥试验, 研究不同滴灌施氮量对砂田甜瓜生理生长、产量、品质、水氮利用率以及土壤硝态氮积累变化规律的影响, 以期为设施砂田甜瓜水肥一体化技术的集成提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于2013年3—6月在皋兰县什川镇上泥湾村砂田塑料大棚内进行, 试验地海拔1500 m左右, 地处内陆, 属温带半干旱气候区, 降水稀少, 平均年降水量266 mm, 日照充足, 平均年日照时数为2768.7 h, 年平均气温8.4℃, 全年无霜期210 d, 是兰州地区优质果品的重点产区。试验地为5 a砂田, 砂层厚度为8~10 cm, 砂层下0~20 cm土壤养分状况为全盐0.17 mS/cm, pH值为8.15, 有机质质量分数为16.88 g/kg, 碱解氮为96.30 mg/kg, 速效磷为74.43 mg/kg, 速效钾为216.72 mg/kg。

1.2 试验材料

供试甜瓜品种为“玉娇龙”, 属早熟厚皮甜瓜品种, 供试氮肥为尿素(N 46%)、磷肥为普过磷酸钙(P_2O_5 12%)、钾肥为硫酸钾(K_2O 50%)。

滴灌施肥系统主要由首部枢纽、输配水管网和灌水器3部分组成。首部枢纽包括水泵、叠片过滤器、文丘里施肥器、水表、压力表、安全阀和进排气阀。输配水管网由干管、支管和毛管组成, 支管和毛管采用聚乙烯塑料(polyethylene, PE)软管, 支管壁厚2.5 mm, 直径为32 mm, 毛管壁厚1.1 mm, 直径为8 mm。采用内镶式滴管带, 额定流量为3 L/h, 滴头间距为40 cm。整套滴灌施肥系统由甘肃大禹节水集团股份有限公司提供。

1.3 试验设计及过程

本试验根据灌溉施肥方式和施氮量水平共设6个处理, 分别为漫灌不施氮肥(CK₀); 漫灌+常规施氮(CK); 滴灌不施氮肥(T₁); 滴灌+常规施氮(T₂); 滴灌+减量施氮40%(T₃); 滴灌+增量施氮40%(T₄), 3次重复, 小区面积3 m×4.8 m, 随机区组排列。在2013年1月甜瓜种植前冬水灌溉量1500 m³/hm²的基础上, 设施砂田传统栽培甜瓜全生育期灌溉定额为900 m³/hm², 滴灌处理灌溉定额为传统漫灌的60%, 即540 m³/hm², 常规施氮量为180 kg/hm², 则T₂施氮量为180 kg/hm², T₃施氮量为108 kg/hm², T₄施氮量为252 kg/hm²。各处理磷、钾肥施用量均一致, 其中 P_2O_5 130 kg/hm², K_2O 280 kg/hm²。

本试验于2013年2月初育苗, 3月12日进行大棚定植, 6月8日收获, 株距40 cm, 行距90 cm, “品”字形种植, 密度为27600株/hm²。采用“三膜一砂”种植方式, 即塑料大棚+小拱棚+地膜+砂田, 传统漫灌在膜上灌溉, 滴灌处理均采用膜下滴灌, 即甜瓜定植前先在种植行铺设滴灌带, 再覆90 cm宽幅的白色聚乙烯地膜, 定植后再扣小拱棚, 所有处理均采用12蔓整枝方式, 每株只留1个瓜, 其他管理措施按常规。

传统种植在甜瓜伸蔓期和坐果后分2次进行大水漫灌, 灌水量各占50%; 氮肥30%、磷肥100%、钾肥50%做底肥, 伸蔓期氮肥40%、坐果期氮肥30%、钾肥50%随大水漫灌撒施。滴灌处理, 苗期至坐果前占灌溉量的40%, 每间隔12 d滴灌1次, 坐果后至成熟期占灌溉量的60%, 每间隔7 d滴灌1次; 各处理氮肥30%、磷肥100%、钾肥50%做底肥, 苗期氮肥10%、伸蔓期至坐果期氮肥30%、坐果后至成熟期氮肥30%、钾肥50%随滴灌输送到甜瓜根部。在每小区各安装1个阀门和水表以精确控制每次灌水量和生育期灌水量。

1.4 观测项目与方法

1.4.1 光合指标

于甜瓜果实膨大期选晴天, 从08:00—18:00, 每间隔2 h, 采用ADC Lci便携式光合仪(ADC、BioScientific), 每处理小区随机选取5株甜瓜, 测定第5~6片功能叶的气体交换参数, 根据光合速率与蒸腾速率的比值计算瞬时水分利用效率^[14]。

1.4.2 甜瓜生物量及养分指标

分别于甜瓜主要生育阶段田间取样, 避开边行, 选取5株典型样株从茎基部剪断, 用塑料纸包扎好, 写好标签, 带回室内称植株鲜质量, 再用剪刀将样品剪碎后置于100~105℃恒温箱杀青30 min后, 降温至65℃烘干至恒质量, 称量植株烘干质量, 然后混匀粉碎测定全氮含量^[15]。

1.4.3 甜瓜产量与品质指标

甜瓜成熟时, 进行小区测产, 并折合成公顷产量。每小区选取具有代表性的8个甜瓜果实样品测定品质指标, 首先测定可溶性固形物含量, 然后从8个甜瓜果实中分别取样用榨汁机打匀后, 测定维生素C含量^[16]、有效酸度^[16]和硝酸盐含量^[16]。

1.4.4 数据计算与处理

1) $W_{\pm} = (W_1 - W_2) \times 100 / W_1$, 式中 W_{\pm} 为砂层含土率, %; W_1 为冲洗前砂砾质量, g; W_2 为冲洗烘干后砂砾质量, g。分别取甜瓜播前、收获后大水漫灌和滴灌处理小区的砂层样品, 测定其含土量^[17]。

2) $ET = Pr + I + R + \Delta W$, 式中 ET 为田间耗水量, mm; Pr 为生育期内的有效降雨量, mm; I 为农田灌水量, mm; R 为地下水补给量, mm; ΔW 为甜瓜生育期0~100 cm土壤贮水变化量, mm。

3) $WUE = Y / ET$, 式中 WUE 为水分利用效率, kg/m³; Y 为甜瓜产量, kg/hm²; ET 为田间耗水量, mm。

4) $REN = (Un - Uno) \times 100 / FN$, REN 为氮肥利用率, %; Un 为施氮处理植株氮素积累量, kg/hm²; Uno 为不施氮肥处理植株氮素积累量, kg/hm²; FN 为肥料氮素投入量, kg/hm²。

试验数据均以Excel软件处理, 以SPSS 16.0软件进行统计分析, 处理间差异显著性检验采用Duncan新复极差法。

2 结果与分析

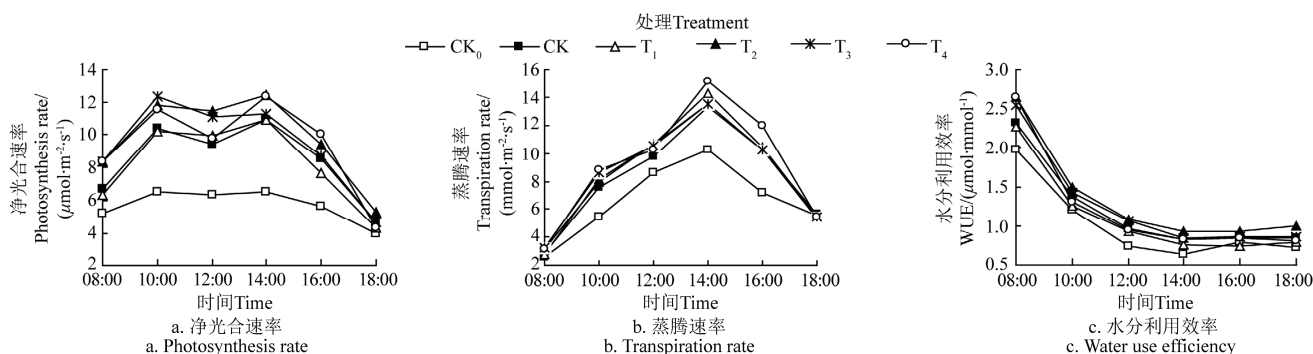
2.1 不同处理对甜瓜生理生长指标的影响

2.1.1 不同处理甜瓜叶片光合参数日变化

甜瓜果实膨大期各处理叶片的光合速率日变化均

为不对称的双峰曲线(图1),受作物“午休”效应影响,中午12:00的光合速率出现下降。各处理甜瓜叶片光合速率在10:00—14:00即2个峰值间差异较大,其中在10:00第1峰值时, T_3 处理较 CK 和 T_1 分别显著提高了19.13%和20.74% ($P<0.05$);在12:00光合午

休时, T_2 、 T_3 较 CK 和 T_1 分别显著提高了21.26%和14.96%、17.89%和12.77% ($P<0.05$);在14:00第2峰值时, T_2 、 T_4 较 CK 和 T_1 分别显著提高了13.90%和14.20%、13.05%和13.35% ($P<0.05$)。而在08:00和18:00时,各处理间差异最小。



注: CK_0 、 CK 、 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 分别代表漫灌不施氮肥、漫灌施氮 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、滴灌不施氮、滴灌施氮 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、滴灌施氮 $108 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、滴灌施氮 $252 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。
Note: CK_0 is flood irrigation and no nitrogen fertilizer; CK is flood irrigation and N application rate of $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; T_1 is drip irrigation and no nitrogen fertilizer; T_2 is drip irrigation and N application rate of $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; T_3 is drip irrigation and N application rate of $108 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; T_4 is drip irrigation and N application rate of $252 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$.

图1 不同处理甜瓜叶片光合特征的日变化动态

Fig.1 Diurnal changes of photosynthetic parameter in muskmelon leaves of different treatments

不同处理西瓜叶片的蒸腾速率日变化均表现为14:00前逐渐升高,14:00达峰值后又逐渐降低。各处理间甜瓜叶片的蒸腾速率在08:00和18:00差异最小,而在14:00峰值时差异最大,其中以 T_4 处理最高,较 CK_0 和 CK 分别显著提高了48.49%和14.22% ($P<0.05$)。

不同处理甜瓜叶片的水分利用效率日变化动态较为一致,在08:00~14:00随着时间的推移逐渐降低,14:00后趋于稳定。滴灌施氮处理的甜瓜叶片日平均水分利用效率较 CK_0 和 CK 分别提高了21.30%~33.00%和2.55%~12.44%。

2.1.2 对甜瓜植株干物质积累的影响

各处理干物质积累过程的总趋势一致,即随着甜瓜生育期的进展而逐渐增加。其中幼苗期甜瓜植株干物质积累量仅占植株总干物质质量的3.62%~6.90%、幼苗期至伸蔓期占5.71%~8.11%、伸蔓期至开花座果期占30.39%~51.59%、开花座果期至膨果期占18.87%~22.27%、膨果期至成熟期占14.53%~38.01%。由此可见,幼苗期至伸蔓期甜瓜干物质积累缓慢,伸蔓期至开花座果期增长迅速,座果期达到高峰,坐果后至成熟期还会持续一定的增长。不同处理在甜瓜各生育时期内的干物质质量也存在显著差异,无论是传统漫灌还是滴灌均表现出随施氮量的增加而提高,表明施氮有利于植株干物质质量的积累。甜瓜幼苗期至开花座果期,不同灌溉方式相同施氮量水平(CK_0 与 T_1 、 CK 与 T_2)的植株干物质积累量差异不显著,膨果期至成熟期,传统种植已停止灌溉施肥,相同施氮量水平的滴灌处理甜瓜植株干物质质量显著提高,其中膨果期和成熟期 T_2 处理的植株干物质质量较 CK 分别显著提高了22.89%和28.10% ($P<0.05$),见表1。

表1 不同处理下甜瓜植株干物质质量

Table1 Dry matter of muskmelon plant of different treatments

处理 Treatment	幼苗期 Seedling stage	伸蔓期 Sprouting stage	开花座果期 Flowering stage	膨果期 Expanding stage	成熟期 Maturing stage
CK_0	3.07c	6.68bc	29.65c	38.05d	44.52d
CK	3.95a	9.47a	35.84b	52.65bc	72.06c
T_1	3.12c	5.83c	28.90c	49.74c	54.57d
T_2	3.80ab	7.96b	39.24b	64.70a	92.31b
T_3	3.51b	7.56b	36.06b	61.22ab	87.81b
T_4	4.08a	10.52a	44.80a	69.92a	112.80a

注: CK_0 、 CK 、 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 分别代表漫灌不施氮肥、漫灌施氮 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、滴灌不施氮、滴灌施氮 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、滴灌施氮 $108 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、滴灌施氮 $252 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 同列不同小写字母表示不同处理之间差异显著 ($P<0.05$); 下同。
Note: CK_0 is flood irrigation and no nitrogen fertilizer; CK is flood irrigation and N application rate is $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; T_1 is drip irrigation and no nitrogen fertilizer; T_2 is drip irrigation and N application rate is $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; T_3 is drip irrigation and N application rate is $108 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; T_4 is drip irrigation and N application rate of $252 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; Different small letter indicate significant difference at same column ($P<0.05$); same as below.

2.1.3 对甜瓜氮素吸收和积累的影响

从甜瓜不同生长时期和不同器官的氮含量来看,表现为先随生长时期逐渐增加,至开花座果期达到最高,而后又随生长时期的延长不断降低的趋势;甜瓜不同器官的氮含量表现为:叶>茎>果实(表2)。不同处理在甜瓜各生育时期内的氮含量差异显著,其中幼苗期,传统水肥处理 CK 氮含量与 CK_0 差异不显著,而滴灌施氮处理的 T_2 和 T_3 较 CK 甜瓜植株氮含量显著提高了8.98%和11.76% ($P<0.05$),表明适量的水氮供给有利于甜瓜幼苗氮素的吸收。伸蔓期至开花座果期,除 CK_0 和 T_1 外,其余传统与滴灌水肥处理此期均有水氮供给,各滴灌施氮处理间及与 CK 差异不显著。膨果期至成熟期为甜瓜水肥最大需求期,而传统种植此期却缺少水肥供给,因此除 T_1 外,其余滴灌处理茎、

叶与果实氮含量均高于 CK₀，其中膨果期 T₂ 处理的甜瓜叶片和果实氮含量较 CK 分别显著提高了 12.29%和 16.04%（ $P<0.05$ ），成熟期 T₄ 处理的甜瓜叶片和果实氮含量较 CK 分别显著提高了 13.77%和 28.38%（ $P<0.05$ ）。

表 2 不同处理对甜瓜各生育时期不同器官氮吸收的影响
Table 2 Effect of different treatments on N uptake of different organs of muskmelon at different growth stages g·kg⁻¹

处理 Treatment	幼苗期 Seedling	伸蔓期 Sprouting stage		开花座果期 Flowering stage		膨果期 Expanding stage			成熟期 Maturing stage		
	全株 Plant	茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf	果实 Fruit	茎 Stem	叶 Leaf	果实 Fruit
CK ₀	29.6c	25.1c	38.2b	31.2b	41.3b	21.4c	25.8d	18.3d	20.4c	23.3d	10.4d
CK	32.3bc	31.0ab	41.1ab	32.2ab	44.3a	26.2ab	30.1bc	21.2bc	23.3ab	27.6bc	14.8bc
T ₁	31.5bc	29.5b	39.4b	31.0b	43.5ab	24.0bc	28.6cd	20.6cd	22.4bc	25.8cd	13.2cd
T ₂	35.2a	33.6a	44.3a	34.7a	45.1a	29.3a	33.8a	24.6a	24.9a	28.5ab	16.8ab
T ₃	36.1a	32.2ab	43.5a	34.5a	44.6a	27.0ab	31.3ab	24.0ab	23.1ab	27.2bc	15.0bc
T ₄	34.5ab	31.2ab	44.4a	32.3ab	44.4a	28.6a	32.4ab	23.1abc	23.4ab	31.4a	19.0a

甜瓜氮素积累量表现出随生长期逐渐增加的趋势，甜瓜苗期、伸蔓期至开花座果期、果实膨大期至成熟期氮素积累量分别约占全生育期氮素总积累量的 4%、36%和 60%（表 3）。相同灌溉模式下，除膨果期外，甜瓜其他生育时期氮素积累量随施氮量的增加而增加，且在甜瓜不同生育时期，无论是传统水氮处理还是滴灌施氮处理的甜瓜氮素积累量均显著高于无氮处理。相同施氮量水平下，滴灌处理 T₂ 在甜瓜幼苗期至开花座果期的营养生长期，与传统水肥处理 CK 间无显著差异，而在果实发育期较 CK 显著提高了 33.99%（ $P<0.05$ ），至甜瓜成熟期，总氮积累量较 CK 显著提高了 29.71%（ $P<0.05$ ）。

表 3 不同处理对甜瓜各生育时期氮素积累的影响
Table 3 Effect of different treatments on N accumulation amount of muskmelon at different growth stages kg·hm⁻²

处理 Treatment	幼苗期 Seedling stage	伸蔓期 Sprouting stage	开花座果期 Flowering stage	膨果期 Expanding stage	成熟期 Maturing stage
CK ₀	2.51c	5.85c	28.62c	53.72d	56.79e
CK	3.52ab	10.03ab	42.01ab	88.12c	95.11c
T ₁	2.71bc	6.38c	30.68c	67.14d	76.31d
T ₂	3.69a	9.14b	44.95ab	118.07a	123.37b
T ₃	3.49ab	8.45b	40.51b	97.50bc	117.06b
T ₄	3.88a	11.70a	48.94a	102.42b	142.88a

2.2 不同处理对甜瓜产量和品质指标的影响

表 4 可以看出，施氮处理的甜瓜单瓜质量均显著高于无氮处理，其中 CK 较 CK₀ 显著提高了 27.37%（ $P<0.05$ ），T₂、T₃、T₄ 较 T₁ 也分别显著提高了 35.19%、23.15%和 20.37%（ $P<0.05$ ），在相同施氮量水平下，滴灌施肥

的 T₂ 处理较传统灌溉施肥处理 CK 甜瓜单瓜质量也显著提高了 20.66%（ $P<0.05$ ）。施氮处理的甜瓜产量均显著高于无氮处理，不同氮水平处理下，甜瓜产量随施氮量的增加表现为先增加后降低的变化趋势；相同氮水平处理下，滴灌水肥一体化处理的甜瓜产量显著高于传统灌溉施肥处理，如 T₁ 较 CK₀ 显著提高了 13.66%（ $P<0.05$ ），T₂ 较 CK 显著提高了 14.35%（ $P<0.05$ ）。T₃ 处理在灌水量和施氮量均减少 40%的滴灌条件下，甜瓜产量较 CK 也显著提高了 9.55%（ $P<0.05$ ）。

甜瓜果实营养物质的含量决定了其口感和果实品质。表 4 为甜瓜果实营养物质含量。可溶性固形物与糖相关分析结果表明，可溶性固形物含量与各种糖含量呈极显著正相关^[18]，本试验可溶性固形物含量整体表现出滴灌处理高于传统漫灌，施氮处理高于无氮处理，在滴灌处理中，可溶性固形物含量随着施氮量增加表现为先增加后降低的变化趋势，其中以 T₂ 处理的甜瓜可溶性固形物含量最高，较 CK 和 T₁ 处理分别显著提高了 9.38%和 5.42%（ $P<0.05$ ）。不同处理的甜瓜 Vc 含量也表现出与可溶性固形物相似的规律，T₂ 处理的甜瓜 Vc 含量较 CK 和 T₁ 处理分别显著提高了 16.13%和 9.09%（ $P<0.05$ ），而 T₄ 处理的甜瓜 Vc 含量显著低于其他滴灌处理，表明施氮量过高则会影响甜瓜果实的 Vc 含量。同样，高施氮量也会降低甜瓜的有效酸度，进而影响甜瓜的口感。相同氮水平下，滴灌处理可显著降低甜瓜硝酸盐含量，T₂ 处理的甜瓜硝酸盐含量较 CK 显著降低了 27.93%（ $P<0.05$ ）；甜瓜硝酸盐含量随施氮量的增加而提高，T₄ 处理的甜瓜硝酸盐含量较 T₁ 显著提高了 30.47%（ $P<0.05$ ）。

表 4 不同处理对甜瓜产量和品质的影响
Table 4 Effect of different treatments on yield and quality of muskmelon

处理 Treatment	单瓜质量 Weight per melon/kg	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)	可溶性固形物含量 Soluble solid content/%	Vc 含量 Vitamin C content/(mg·kg ⁻¹)	有效酸度 Effective acid	硝酸盐含量 Nitrate content/(mg·kg ⁻¹)
CK ₀	0.95 c	26220.05 e	15.3 d	36.7 e	5.93 c	398.99 b
CK	1.21 b	33396.11 c	16.0 c	43.4 cd	6.08 abc	494.33 a
T ₁	1.08 c	29803.01 d	16.6 bc	46.2 bc	6.03 abc	319.97 d
T ₂	1.46 a	38189.34 a	17.5 a	50.4 a	6.09 ab	356.24 c
T ₃	1.33 ab	36585.15 ab	17.1 a	48.4 ab	6.18 a	341.47 cd
T ₄	1.30 ab	35866.72bc	16.8 ab	40.3 d	5.96 bc	417.48 b

2.3 不同处理对甜瓜水氮利用率的影响

从不同处理的甜瓜氮肥利用率来看(表 5), 滴灌处理的氮肥利用率显著高于传统漫灌处理, T_2 、 T_3 、 T_4 处理的氮肥利用率较 CK 分别显著提高了 22.78%、77.22%和 24.10% ($P<0.05$), 不同氮水平处理间, T_3 处理的甜瓜氮肥利用率最高, 为 37.73%, 较 T_2 和 T_4 分别显著提高了 44.34%和 42.81% ($P<0.05$)。滴灌处理的甜瓜生育期耗水量显著低于传统漫灌, 在相同灌溉模式下, 受甜瓜生物量生长的影响, 耗水量随施氮量的增加而提高。在西北干旱半干旱区, 灌溉水分利用效率是衡量农业生产经济、生态环境与社会效益的重要指标, 本试验中, 滴灌处理的甜

瓜灌溉水分利用效率显著高于传统漫灌, T_2 、 T_3 、 T_4 处理的灌溉水分利用效率较 CK 分别显著提高了 90.57%、82.57%和 78.98% ($P<0.05$), 相同灌水量的不同氮水平处理间, 受产量变化影响, 灌溉水分利用效率随施氮量增加表现为先增加后降低的趋势, 但差异不显著。土壤水分利用效率反映了作物—土壤—环境系统的水分利用状况, 滴灌水肥一体化处理的土壤水分利用效率显著高于传统漫灌施肥, T_2 、 T_3 、 T_4 处理的土壤水分利用效率较 CK 分别显著提高了 40.65%、38.77%和 28.81% ($P<0.05$), 适量氮肥处理也提高了土壤水分利用效率, 其中 T_2 和 T_3 处理较 T_1 分别显著提高了 20.76%和 19.16% ($P<0.05$)。

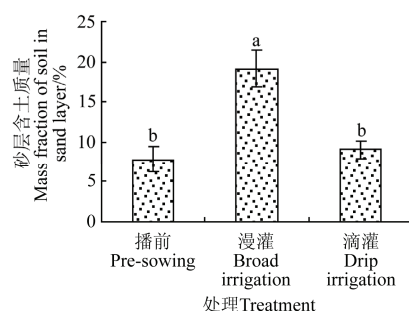
表 5 不同处理对甜瓜水、氮利用率的影响

Table 5 Effect of different treatments on use efficiency of water and nitrogen of muskmelon

处理 Treatment	施氮量 N application rate/(kg·hm ⁻²)	氮吸收利用率 Nitrogen use efficiency/%	灌水量 Irrigation amount/(m ³ ·hm ⁻²)	耗水量 Total water consumption amount/mm	灌溉水分利用效率 Irrigation water use efficiency/(kg·m ⁻³)	水分利用效率 Water use efficiency/(kg·m ⁻³)
CK ₀	0	—	900	151.87 a	29.13 d	17.26 d
CK	180	21.29 c	900	156.17 a	37.11 c	21.38 c
T ₁	0	—	540	119.69 b	55.19 b	24.90 bc
T ₂	180	26.14 b	540	126.99 b	70.72 a	30.07 a
T ₃	108	37.73 a	540	123.29 b	67.75 a	29.67a
T ₄	252	26.42 b	540	130.22 b	66.42 a	27.54 ab

2.4 对砂层含土量的影响

砂层砂砾的纯度是砂田性能的决定条件, 优质砂田的砂层含土量较少。不同灌溉方式下, 自甜瓜播种前至收获后, 滴灌处理的砂田砂层含土量与播前差异不显著, 而传统漫灌处理的砂层含土量较播前显著提高了 144.63% ($P<0.05$), 由此可见, 滴灌可延长砂田的使用年限。



注: 不同小写字母表示不同处理之间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Different small letter indicate significant difference among treatments at same column ($P<0.05$).

图 2 不同处理对砂田覆砂层含土量的影响

Fig.2 Effect of different treatments on mass fraction of soil in sand layer

3 讨论

本试验结果表明, 所有处理甜瓜叶片的净光合速率日变化为不对称的双峰曲线, 且在中午均出现了光合“午休”现象。关于不同作物叶片光合速率的日变化, 前人已有较多研究, 通常认为, 光合速率的日变化表现出单峰曲线或双峰曲线 2 种类型, C4 植物多表现为前者, 而 C3 植物多表现为后者, 双峰曲线所表现出的午间光合速

率降低, 被称为“午休”现象^[19-20]。另外, 高光强、高温、干旱胁迫等不利环境条件下, 植物本身气孔关闭、光合酶活性降低、光合产物累积、光呼吸升高等也是引发午休的主要原因^[21-22]。可见, 导致光合午休的原因很复杂, 与气孔因素和非气孔因素均有关系, 午休的程度和持续时间因品种和栽培环境不同而有差异^[23-24]。滴灌处理的甜瓜生长指标如叶片光合参数、植株干物质积累量、氮素吸收和积累量在苗期至开花座果期的营养生长阶段与传统水肥处理差异不显著, 而在坐果后的生殖生长阶段显著高于传统漫灌施肥。这可能与滴灌对水肥的有效调控有关, 传统种植在大水漫灌的同时进行肥料撒施, 而砂田只能采用平作栽培, 由于受种植模式的限制, 砂田甜瓜种植只能在座果前的营养生长阶段进行灌水和施肥, 若坐果后灌水则易产生烂瓜现象, 这在甜瓜上的表现比西瓜更为突出, 而滴灌处理恰好解决了这一矛盾, 可以在坐果后至成熟期进行有效的水肥调控。罗宏海等^[25]研究表明, 在棉花播前灌溉条件下适当减少盛花期前、增加生育中后期水氮供应, 可以延长冠层叶片光合功能期, 促进光合物质优先向生殖器官分配, 充分发挥增产潜力。

已有的在番茄^[26-27]、生姜^[28]、黄瓜^[29]等蔬菜作物上的研究表明, 滴灌水肥一体化较传统漫灌或沟灌施肥能显著提高作物产量、品质及水肥利用率。其原因可能是多方面的, 其一, 滴灌较传统灌溉更有利于作物根系的生长发育。孔清华等^[30]研究表明, 地下滴灌和地表滴灌 0~40 cm 土层的青椒根系总根长分别是畦灌的 2.44 和 1.46 倍, 且滴灌处理的青椒产量较传统畦灌提高了 32.4%~51.1%, 水分利用效率提高了 41.8%~50.7%。其二, 滴灌较传统灌溉可使土壤含水量保持较平衡的状态。

李昊儒等^[31]研究表明,与常规沟灌相比,滴灌 60~160 cm 土层土壤含水量较高,这不仅有利于夏玉米生育后期深层根系的生长发育,而且减少地面径流蒸发以及地下水渗漏,有效提高水分利用效率。其三,滴灌施肥技术把定量的溶解态肥料直接输送到作物根部,使土壤溶液中的养分特别是硝态氮和无机态氮维持适当水平的稳定状态,氮肥消耗量和氮素流失负荷显著降低,肥料利用效率提高是滴灌施肥高产、节肥的主要原因之一^[9,32]。本试验结果也表明,在滴灌处理节水 40% 的条件下,甜瓜产量、可溶性固形物等品质指标及水氮利用率均显著高于传统漫灌处理,且滴灌应用于砂田具有更特殊的作用就是能够减缓砂田的“衰老”,这是以往研究所未能涉及的。

为了确定设施砂田甜瓜滴灌水肥一体化条件下的适宜施氮量,本试验也设置了不同氮肥水平处理,结果表明,甜瓜不同生长时期的植株干物质及氮素积累量均随着施氮量的增加而提高,特别是显著提高了甜瓜生长后期的干物质及氮素积累量,这与胡国智等^[33]研究结果一致。而甜瓜产量、品质指标及水氮利用率随施氮量增加均表现为先增加后降低的趋势,这也是以往甜瓜氮肥研究所表现出的共同趋势^[34-35],关于施氮量和甜瓜品质的机理研究^[36]表明,乙酸-2-甲基丙基酯、乙酸丁酯和 2-甲基丁酸乙酯等特征芳香物质的含量随氮素水平的增加先升高后下降;另外,曹明等^[37]研究了氮素丰缺对甜瓜生长发育的影响,认为氮肥浓度较高时能促进甜瓜茎叶的生长,氮肥浓度适中时甜瓜产量最高,而氮肥浓度较低时品质最优。

4 结 论

砂田设施甜瓜应用滴灌水肥一体化技术不仅解决了甜瓜生长后期即水肥最大需求期的灌水施肥问题,且除 T₁ 处理外,在灌水量较少 40% 的条件下较传统灌溉施肥处理,甜瓜光合、干物质及氮素积累量等生长指标均显著提高,甜瓜增产 7.40%~14.35%,可溶性固形物及 Vc 含量分别提高了 5.00%~9.38% 和 11.52%~16.13%,硝酸盐含量降低了 15.55%~27.93%,水、氮利用率分别提高了 28.81%~40.65% 和 22.78%~77.22%,更重要的是能够减缓砂田的“衰老”,延长砂田的使用年限。滴灌条件下不同氮水平处理间,T₄ 处理即高施氮量有利于甜瓜植株干物质及氮素积累等营养生长,而 T₂ 和 T₃ 处理即中、低施氮量则有利于甜瓜产量、品质及水氮利用率的提高,其中 T₂ 处理的甜瓜产量较高为 38 189.34 kg/hm²,T₃ 处理的氮肥利用率较高为 37.73%,T₂ 和 T₃ 处理的甜瓜品质指标如可溶性固形物含量、Vc 含量和水分利用效率也较高,分别为 17.1%~17.5%、48.4~50.4 mg/kg 和 29.67~30.07 kg/m³。综上所述,在滴灌条件下,设施砂田甜瓜的适宜施氮量应为 108~180 kg/hm²,该研究结果为西北旱区设施砂田甜瓜水肥一体化技术模式的集成具有重要的支撑作用。

[参 考 文 献]

- [1] 吕忠恕,陈邦瑜. 甘肃砂田的研究[J]. 农业学报, 1955, 6(3): 299—311.
Lü Zhongshu, Chen Bangyu. Studies on the sand mulch system of soil management in Gansu[J]. Journal of Agricultural Science, 1955, 6(3): 299—311. (in Chinese with English abstract)
- [2] 胡恒觉. 我国砂田免耕法[C]// 胡恒觉. 耕作制度论文集. 北京: 农业出版社, 1981: 206—217.
- [3] 辛秀先. 论甘肃砂田的形成及其起源[J]. 甘肃农业科技, 1993(5): 5—7.
Xin Xiuxian. On the invention and origination of Shatian in Gansu[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 1993(5): 5—7. (in Chinese with English abstract)
- [4] 王润琴. 早春茬甜瓜三膜一砂栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2008(4): 43—44.
Wang Runqin. The cultivation techniques of early spring melon in gravel mulched-land with covering three film[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2008(4): 43—44. (in Chinese with English abstract)
- [5] 方玉珍. 兰州地区三膜一砂大棚甜瓜无公害栽培技术[J]. 长江蔬菜, 2011(21): 22—23.
Fang Yuzhen. The pollution-free cultivation techniques of melon in gravel mulched-land with covering three film in Lanzhou[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2011(21): 22—23. (in Chinese with English abstract)
- [6] Keeney D R. Sources of nitrate to groundwater[C]// Follett R F. Nitrogen Management and Groundwater Protection. New York: Elsevier Science Publishers, 1989: 23—34.
- [7] 陈新平,张福锁. 小麦-玉米轮作体系养分资源综合管理理论与实践[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006.
- [8] 杨来胜,席正英,李玲,等. 砂田的发展及其应用研究[J]. 甘肃农业, 2005(7): 72.
Yang Laisheng, Xi Zhengying, Li Ling, et al. Research and development of gravel mulched-field[J]. Gansu Agricultural, 2005(7): 72. (in Chinese with English abstract)
- [9] 黄丽华,沈根祥,钱晓雍,等. 滴灌施肥对农田土壤氮素利用和流失的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 49—53.
Huang Lihua, Shen Genxiang, Qian Xiaoyong, et al. Impacts of drip fertilizer irrigation on nitrogen use efficiency and total nitrogen loss load[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2008, 24(7): 49—53. (in Chinese with English abstract)
- [10] Neilsen D, Parchomchuk P, Nelsen G H, et al. Using soil solution monitoring to determine the effects of irrigation management and fertigation on nitrogen availability in high-density apple orchards[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2005, 123(4): 706—713.
- [11] Ayars J E, Phene C J, Huttmacher R B, et al. Subsurface drip irrigation of row crops: A review of 15 years of research at the water management research laboratory[J]. Agricultural Water Management, 1999, 42(1): 1—27.
- [12] Hartz T K, Hochmuth G J. Fertility management of drip irrigated vegetables[J]. Hort Technology, 1996, 6(3): 168—172.
- [13] Janat M. Efficiency of nitrogen fertilizer for potato under fertigation utilizing a nitrogen tracer technique[J]. Commun Soil Sci Plant Anal, 2007, 38(17): 2401—2422.
- [14] 刘虎成,石健,徐坤. 水肥一体化对生姜生长及叶片 CO₂、H₂O 交换特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 200—205.
Liu Hucheng, Shi Jian, Xu Kun. Effects of integration water and fertilizer on the growth and exchange characteristics of CO₂ and H₂O in ginger leaves[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(1): 200—205. (in Chinese with English abstract)

- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 132—148.
- [16] 郝建军. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2001: 89—92.
- [17] 马忠明, 杜少平, 薛亮. 覆砂年限对砂田砂层质量、土壤水热状况及西瓜生长的影响[J]. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1433—1439.
Ma Zhongming, Du Shaoping, Xue Liang. Influences of sand-mulching years on soil temperature, water content, and growth and water use efficiency of watermelon[J]. Journal of Desert Research, 2013, 33(5): 1433—1439. (in Chinese with English abstract)
- [18] 张帆, 宫国义, 王倩, 等. 西瓜品质构成分析[J]. 果实学报, 2006, 23(2): 266—269.
Zhang Fan, Gong Guoyi, Wang Qian, et al. Analysis of watermelon quality structure[J]. Journal of Fruit Science, 2006, 23(2): 266—269. (in Chinese with English abstract)
- [19] 许大全. 光合作用“午睡”现象的生态、生理与生化[J]. 植物生理学通讯, 1990(6): 5—10.
Xu Daquan. Ecology, Physiology and biochemistry of midday depression of photosynthesis[J]. Plant Physiology Communications, 1990(6): 5—10. (in Chinese with English abstract)
- [20] 许大全, 沈允钢. 植物光合作用效率的日变化[J]. 植物生理学报, 1997, 23(4): 410—416.
Xu Daquan, Shen Yungang. Diurnal variations in the photosynthetic efficiency in plants[J]. Acta Photophysiol Sinica, 1997, 23(4): 410—416. (in Chinese with English abstract)
- [21] Salvucci M E, Crafts-Brandner S J. Inhibition of photosynthesis by heat stress: The activation state of rubisco as a limiting factor in photosynthesis[J]. Physiologia Plantarum, 2004, 120(2): 179—186.
- [22] Dias M C, Brüggemann W. Differential inhibition of photosynthesis under drought stress in Flaveria species with different degrees of development of the C4 syndrome[J]. Photosynthetica, 2007, 45(1): 75—84.
- [23] 韩凤山, 赵明, 赵松山. 小麦午睡原因的研究 I. 大田生态因子与午睡的关系[J]. 作物学报, 1984, 10(2): 137—143.
Han Fengshan, Zhao Ming, Zhao Songshan. Study on the causes for photosynthetic decrease of wheat at the middle day: I [J]. Acta Agronomica Sinica, 1984, 10(2): 137—143. (in Chinese with English abstract)
- [24] 郑国生, 王焘. 田间冬小麦叶片光合午休过程中的非气孔限制[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 799—800.
Zheng Guosheng, Wang Tao. Nonstomatic limitations in midday depression of photosynthesis in winter wheat leaves[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(5): 799—800. (in Chinese with English abstract)
- [25] 罗宏海, 张宏芝, 陶先萍, 等. 水氮运筹对膜下滴灌棉花光合特性及产量形成的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 407—415.
Luo Hongmei, Zhang Hongzhi, Tao Xianping, et al. Effects of water and nitrogen management modes on the leaf photosynthetic characters and yield formation of cotton with under-mulch drip irrigation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(2): 407—415. (in Chinese with English abstract)
- [26] 樊兆博, 刘美菊, 张晓曼, 等. 滴灌施肥对设施番茄产量和氮素表观平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 970—976.
Fan Zhaobo, Liu Meiju, Zhang Xiaoman, et al. Effect of dripper fertigation on tomato yield and apparent N balance in a greenhouse[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(4): 970—976. (in Chinese with English abstract)
- [27] Zotarelli L, Scholberg J M, Dukes M D. 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.
- [28] 刘虎成, 徐坤, 张永征, 等. 滴灌施肥技术对生姜产量及水肥利用率的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 106—111.
Liu Hucheng, Xu Kun, Zhang Yongzheng, et al. Effect of drip fertigation on yield, water and fertilizer utilization in ginger[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(1): 106—111. (in Chinese with English abstract)
- [29] 杜社妮, 白岗栓, 梁银丽. 灌溉方式对黄瓜生长、产量及水分利用效率的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2010, 36(4): 433—439.
Du Sheni, Bai Gangshuan, Liang Yinli. Effects of irrigation methods on cucumber growth, yield and water use efficiency[J]. Journal of Zhejiang University: Agriculture & Life Sciences, 2010, 36(4): 433—439. (in Chinese with English abstract)
- [30] 孔清华, 李光永, 王永红, 等. 不同施肥条件和滴灌方式对青椒生长的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 21—25.
Kong Qinghua, Li Guangyong, Wang Yonghong, et al. Influences of subsurface drip irrigation and surface drip irrigation on bell pepper growth under different fertilization conditions[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(7): 21—25. (in Chinese with English abstract)
- [31] 李昊儒, 梅旭荣, 郝卫平, 等. 不同灌溉施肥制度对土壤水分变化及夏玉米产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(4): 72—74.
Li Haoru, Mei Xurong, Hao Weiping, et al. Effects of different irrigation and fertilizer regimes on soil moisture and grain yield of summer maize[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2012, 31(4): 72—74. (in Chinese with English abstract)
- [32] 隋方功, 王运华, 长友诚, 等. 滴灌施肥技术对大棚甜椒产量与土壤硝酸盐的影响[J]. 华中农业大学学报, 2001, 20(4): 358—362.
Sui Fanggong, Wang Yunhua, Chang Youcheng, et al. The effect of fertigation system on yield of sweet pepper (*Capsicum annul. L*) and soil nitrate in greenhouse culture[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2001, 20(4): 358—362. (in Chinese with English abstract)
- [33] 胡国智, 冯炯鑫, 张炎, 等. 不同施氮量对甜瓜养分吸收、分配、利用及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3): 760—766.
Hu Guozhi, Feng Jiongxin, Zhang Yan, et al. Effects of nitrogen fertilization on nutrient uptake, assignment, utilization and yield of melon[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(3): 760—766. (in Chinese with English abstract)
- [34] 薛亮, 马忠明, 杜少平. 沙漠绿洲灌区不同水氮水平对甜瓜产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(3): 132—134.
Xu Liang, Ma Zhongming, Du Shaoping. Effects of different irrigation and nitrogen rates on yield and quality of melon in

- desert oasis area[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2012, 31(3): 132—134. (in Chinese with English abstract)
- [35] 岳文俊, 张富仓, 李志军, 等. 日光温室甜瓜根系生长及单果质量的水氮耦合效应[J]. 中国农业科学, 2015, 48(10): 1996—2006.
- Yue Wenjun, Zhang Fucang, Li Zhijun, et al. Effects of water and nitrogen coupling on root growth and single fruit weight of greenhouse muskmelon[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(10): 1996—2006. (in Chinese with English abstract)
- [36] 潜宗伟, 陈海丽, 刘明池. 不同氮素水平对甜瓜芳香物质和营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1451—1458.
- Qian Zongwei, Cheng Haili, Liu Mingchi. Effects of nitrogen fertilization on aromatic compounds and nutritional quality of melon fruits[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(6): 1451—1458. (in Chinese with English abstract)
- [37] 曹明, 黄植, 杨小锋, 等. 热带设施无土栽培氮肥水平对甜瓜产量和品质的影响[J]. 广东农业科学, 2013(22): 86—89.
- Cao Ming, Huang Zhi, Yang Xiaofeng, et al. Effects of nitrogen levels on yield and quality of tropical facilities soilless cultivated melon[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013(22): 86—89. (in Chinese with English abstract)

Optimal drip fertigation amount improving muskmelon yield, quality and use efficiency of water and nitrogen in plastic greenhouse of gravel-mulched field

Du Shaoping¹, Ma Zhongming^{2*}, Xue Liang³

(1. Institute of Vegetables, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;

2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;

3. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to solve water and fertilizer problem in the actual production of muskmelon in plastic greenhouse of gravel-mulched field, the effects of the different management mode of water and fertilizer on plant growth, yield, quality and use efficiency of water and nitrogen of muskmelon in plastic greenhouse under gravel-mulched field were studied in 2013, the study was to set up a new model of water-saving, good quality and high yield evaluation for muskmelon cultivation in the arid regions of northwest china. The experiment site was Gaolan Experiment Station in Lanzhou city, Gansu province, China. Six treatments were designed including two control treatments and four drip fertigation treatments, control treatments including two nitrogen levels (CK₀ and CK, N 0 and 180 kg/hm²) under the traditional flood irrigation, and drip fertigation treatments including 4 nitrogen levels (T₁, N 0 kg/hm²; T₂, N 180 kg/hm²; T₃, N 108 kg/hm²; T₄, N 252 kg/hm²). Each block was 3 m×4.8 m with 30 plants; blocks were separated by 70 cm deep plastic film to prevent the cross penetration of water and fertilizer. The photosynthesis rate was measured with portable photosynthesis systems between 8:00 am -18:00 pm on fruit enlarging period. The dry matter accumulation and N accumulation amount at different growth stages, yield, quality, use efficiency of water and nitrogen of muskmelon were measured. The results showed that drip fertigation treatments could improved the photosynthesis of muskmelon, and the photosynthesis rate of T₂ treatment increased by 21.26% and 13.90% respectively compared to CK at 12:00 and 14:00, and average water use efficiency of drip fertigation treatments increased by 2.55%-12.44% compared to CK. Dry matter accumulation of muskmelon plant had no significant difference between flood irrigation and drip irrigation under the same nitrogen levels between seedling stage to flowering stage, dry matter accumulation of T₂ treatment increased by 22.89% and 28.10% significantly ($P<0.05$) compared to CK respectively at expanding stage and maturing stage. Compared to CK, the drip fertigation treatments increased the yield by 7.40%-14.35%, soluble solid content by 5.00%-9.38%, vitamin C content by 11.52%-16.13%, and the use efficiency of water and nitrogen by 28.81%-40.65% and 22.78%-77.22%, respectively, but reduced nitrate content by 15.55%-27.93%. Besides, drip irrigation could reduce mass fraction of soil in the sand layer, so the service life of gravel-mulched field was extended. Between different nitrogen levels under drip irrigation, dry matter and nitrogen accumulation of plant increased with increasing nitrogen fertilization level. The yield of T₂ and T₃ treatments were 38189.34 and 36585.15 kg/hm² respectively, and soluble solid content were 17.5% and 17.1%, respectively, which were the highest among all the treatments. Excessive nitrogen fertilizer could reduce vitamin C content and increase nitrate content of fruit. Nitrogen use efficiency of T₃ treatment was 37.73%, which was the highest among all the treatments, and increased by 44.34% and 42.81% compared to T₂ and T₄ treatments respectively. Water use efficiency of T₂ and T₃ treatment were 30.07 and 29.67 kg/m³, respectively, which was the highest among all the treatments, and increased by 20.76% and 19.16% compared to T₁ treatment, respectively. The yield, quality and water and nitrogen use efficiency were the highest for T₂ and T₃ treatments. So, drip fertigation was efficient management mode of water and fertilizer for muskmelon cultivation in plastic greenhouse of gravel-mulched field in the arid area of northwest china, and the optimal nitrogen rate was 108-180 kg/hm².

Keywords: nitrogen fertilizers; irrigation; greenhouses; gravel-mulched field; muskmelon; yield; quality; use efficiency of water and nitrogen