

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.202423.0492

不同灌溉量对粗网纹甜瓜光合特性、产量和品质的影响

林佳佳, 张文静, 韦丹妮, 聂圣贤, 魏西, 唐小付

(广西大学农学院 南宁 530004)

摘要: 以粗网类型甜瓜品种白色恋人为试材, 研究不同灌溉量对塑料大棚内不同发育阶段的粗网纹甜瓜的光合特性、产量和品质的影响。结果表明, 适宜的灌溉水平显著促进了植株的生长和叶片的光合作用, 提高了果实的产量和品质, 也提高了果实外观的商品价值。随着灌溉量的增加, 甜瓜植株的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、光化学淬灭系数、非光化学淬灭系数和雌花开放数都呈先升高后降低的变化趋势。单果质量、产量、维生素 C 和可溶性蛋白含量也呈现相同的趋势, 并在按日蒸腾蒸发量 100% 灌溉的 I2 处理时达到最大值, 分别为 1 544.03 g、46.32 t·hm⁻²、28.61 mg·g⁻¹ 和 1.07 mg·g⁻¹。此外, 随着灌溉量的增加, 甜瓜果实的果肉厚度、种子腔直径和网纹突起程度也呈增大趋势, 其中在按日蒸腾蒸发量 100% 灌溉的 I2 处理下, 甜瓜的网纹品质最佳。综上, I2 处理(按日蒸腾蒸发量 100% 灌溉)为适宜的水分管理方式。在甜瓜生产中, 可以更加细致地在甜瓜伸蔓前期和果实发育期按照日蒸腾蒸发量 100% 灌溉, 在伸蔓中后期按日蒸腾蒸发量 80% 灌溉。

关键词: 粗网纹甜瓜; 灌溉量; 光合特性; 果实产量; 果实品质

中图分类号: S652 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2024)03-063-08

Effects of different irrigation amount on photosynthetic characteristics, yield and quality of coarse netted melon

LIN Jiajia, ZHANG Wenjing, WEI Danni, NIE Shengxian, WEI Xi, TANG Xiaofu

(College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

Abstract: This experiment utilized the Baiselianren variety of thick-netted muskmelon as the test material to investigate the impact of different irrigation amounts on the photosynthetic characteristics, yield, and quality of coarse-meshed melons at various developmental stages in plastic greenhouses. The results indicate that appropriate irrigation levels significantly enhance plant growth and leaf photosynthesis, resulting in increased fruit yield, improved fruit quality, and higher fruit commercialization rate. As the irrigation amount increased, the photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate, *qP*, NPQ, and number of female flowers in melon plants exhibited a pattern of initial increase followed by a decrease. Similarly, single fruit weight, yield, vitamin C content, and soluble protein content followed the same trend, reaching their maximum values in the I2 treatment with 100% daily transpiration and evaporation irrigation, which were 1 544.03 g, 46.32 t·hm⁻², 28.61 mg·g⁻¹, and 1.07 mg·g⁻¹, respectively. Furthermore, an increase in irrigation amount also led to an upward trend in pulp thickness, seed cavity diameter, and reticulation degree of melon fruits. Notably, the reticulation of melons exhibited the best quality under the I2 treatment, which involved irrigating at 100% of daily transpiration and evaporation. Considering the impact of different irrigation amounts on the growth, photosynthetic characteristics, yield and fruit quality of coarse-textured melons at different stages of development in plastic greenhouses, we determined the I2 treatment (irrigation based on 100% of daily transpiration and evaporation) was a more suitable water management method, it is recommended that during the melon production, more detailed irrigation can be carried out according to 100% of the daily transpiration and evaporation during the early vine expansion and fruit development stages of the melon, and 80% of the daily transpiration and evaporation during the middle and late vine expansion stages of the melon.

Key words: Coarse netted melon; Irrigation amount; Photosynthetic characteristics; Fruit yield; Fruit quality

收稿日期: 2023-08-01; 修回日期: 2024-01-12

基金项目: 广西重点研发计划项目(桂科 AB19245016, 桂科 AB23026097); 广西崇左市科技计划项目(崇科 20221001)

作者简介: 林佳佳, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为农艺与种业。E-mail: 321702321@qq.com

通信作者: 唐小付, 男, 副教授, 研究方向为蔬菜栽培与育种。E-mail: tang_xiaofu@163.com

网纹甜瓜 (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Naud.) 是葫芦科甜瓜属的一个变种, 因成熟果实表皮呈现网状裂纹而得名^[1]。网纹甜瓜具有优美的网纹、细软的质地和香甜的口感, 深受广大消费者喜爱, 并且富含营养成分, 因此被视为高消费水果。网纹甜瓜对土壤中水分含量非常敏感, 需要大量的水分^[2]。如果水分施用不当, 将严重影响产量和品质。灌溉量不足会限制植株的生长和发育, 导致减产; 而灌溉量过高会导致水分的无效蒸发和深层渗漏, 还会促使作物过度生长。这不仅降低了作物对水分的利用效率, 也不利于网纹甜瓜产量和品质的提高^[3-5]。因此, 研究适宜的水分调控对网纹甜瓜的生长和发育非常重要。

近年来, 有学者在甜瓜的不同灌溉水平方面进行研究, 周勃等^[6]在设施滴灌条件下研究不同灌溉量对甜瓜黄梦脆植株生长和果实品质的影响, 结果表明, 灌溉量为 $160 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^2$ 时, 甜瓜的心糖、边糖和果肉厚度最高, 品质最好。Fabeiro 等^[7]研究甜瓜果实含糖量对水分的响应, 发现随着土壤含水量的提高, 甜瓜产量和果实内部含糖量也随着提高。此外, 也有研究表明, 增加灌溉量对经济产量有益, 但对干物质积累不利^[8-10]。确定适宜的灌溉策略可以显著提高田间种植条件下甜瓜的果实产量、质量、水分生产率和净收益。桑艳朋等^[11]在新疆进行了甜瓜膜下滴灌试验研究, 结果表明, 随着土壤含水量的升高, 果实的可溶性固形物含量和单果质量降低, 在田间持水量的处理下, 甜瓜品质最佳的水分处理为田间持水量的 70%~80%。而 Hartz^[12]的研究表明, 在甜瓜采收前 10 d, 灌溉量的多少对甜瓜品质没有显著影响。由此可见, 不同的灌溉量对甜瓜的生长发育有重要影响, 且处于不同发育阶段的甜瓜对灌溉量有不同的生理反应。目前, 国内外的研究主要集中在研究网纹甜瓜整个生长期的水分水平对其生长发育、产量和品质的影响等方面^[13-14], 而对甜瓜不同生长阶段的需水情况和果实的网纹品质分级方面的研究较少。笔者通过分析塑料大棚条件下粗网纹甜瓜在不同生长阶段的生长动态, 研究其生长发育和水分代谢规律, 旨在为塑料大棚种植粗网纹甜瓜提供最佳灌溉模式和高效益生产的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2021 年 4—7 月在南宁市广西大学农

学院蔬菜基地的塑料大棚内进行。以粗网类型甜瓜品种白色恋人为试验材料, 种子购自上海惠和种业有限公司。

1.2 试验设计

试验采用基质盆栽方式进行, 每盆种植 1 株, 株距和行距均为 0.55 m, 呈矩形排列。盆口和盆底直径均为 0.5 m, 盆钵高度为 0.4 m, 盆钵使用无纺布制作。基质按泥炭、木糠、有机肥体积比为 30:30:1 进行配置, 基质的最大田间持水量为 140% (质量比)。基质的基本肥力状况为有机肥 $42 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 高钾复合肥 $100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。对于尚未控制水分的植株盆栽, 每 3 d 追加 500 g 的水肥 (硝酸钾 5%、磷酸二氢钾 5%), 以保持植株正常生长。

在 2021 年 4 月 10 日, 当甜瓜幼苗 4 叶 1 心时, 选择长势健壮且一致的植株进行盆栽定植。在进行水分调控时, 将试验盆栽苗分为几个批次。在对其中一个小区进行水分调控时, 其余未开始进行水分调控的小区按照粗放式水分管理方法进行统一的水肥补充。每株只保留一个形状端正且个头较大的幼果, 剪除所有的侧蔓。当植株长出 25 片真叶时进行打顶处理。

试验分为 4 个时期, 分别为伸蔓前期 (4 月 11—28 日, 从定植到七八片叶)、伸蔓中后期 (4 月 29 日至 5 月 20 日, 从七八片叶到授粉前)、果实发育前期 (5 月 21 日至 6 月 15 日, 授粉后 0~25 d)、果实发育中后期 (6 月 16 日至 7 月 15 日, 授粉后 26~55 d)。每个时期为一个试验小区, 每个试验小区矩形排列并根据网纹甜瓜控水期间的日蒸腾蒸发量的 120% (I1)、100% (I2)、80% (I3)、60% (I4) 设定 4 个不同的灌溉量梯度处理进行补充灌溉。每天进行 1 次灌水, 在小区内每个处理 15 盆 (盆下铺有托盘, 可回收渗漏至盆底的水分), 按照每组 5 盆进行随机摆放, 3 次重复, 共 60 盆。采用称质量法获取单株的日蒸腾蒸发量 (M_0), $M_0 = M_1 - M_2$ (M_1 : 充分灌溉后 24 h 花盆质量; M_2 : 充分灌溉后 48 h 花盆质量), 每周进行 1 次 M_0 的校准^[15]。根据计算得出各个水分处理应补充的灌溉量, 每天进行 1 次灌水。随着植株的生长发育和塑料大棚中环境温湿度的变化, 每隔 7 d 重新测量各植株的 M_1 和 M_2 , 校对 1 次单株的日蒸腾蒸发量, 确定各处理新的灌溉量。使用壤博士土壤检测仪的湿度探头每天测定基质含水量, 并调整校对时间间隔。

1.3 测定指标

1.3.1 叶片水分状况指标 在不同栽培时期结束

水分管理后进行破坏性取样,每个处理的3次重复取同一叶位的叶片,测定不同灌溉量下的叶片相对含水量、细胞膜相对透性和细胞汁液浓度。采用烘干法测定叶片相对含水量(RWC)^[16],按照以下公式计算: $RWC/\%=(W_f-W_d)/(W_t-W_d)\times 100$ 。式中, W_f 为叶片鲜质量, W_d 为叶片干质量, W_t 为叶片饱和质量。采用电导法测定叶片细胞质膜相对透性^[17],用相对电导率来表示其大小,相对电导率/ $\%=(\text{处理电导率}-\text{空白电导率})/(\text{煮沸电导率}-\text{空白电导率})\times 100$ 。采用日本产PLA-1便携式糖度计测定叶片细胞汁液浓度,混合取样,3次重复。

1.3.2 叶绿素含量指标 用手持式叶绿素仪(型号为SPAD502)对各节位叶片的叶绿素相对含量进行测定。测定时,取叶片的不同部位,每片测5个数值,取平均值,每处理测3株。

1.3.3 叶绿素荧光参数及光合指标 用PAM-2500便携式叶绿素荧光仪测定甜瓜叶片暗反应下的叶绿素荧光参数,每个处理选取有代表性的植株3株,测定时间选择傍晚,分别用锡纸包裹住待测甜瓜叶片暗适应1 h,待天色转暗后去掉锡纸,将叶片在不离株的情况下倒置放入测量室。打开活化光,对叶片进行活化,在叶片上选择3个点,分别测出快速光曲线,统计分析后可得到暗适应下最小初始荧光(F_0)、光系统II(PSII)最大量子效率(F_v/F_m)、光化学淬灭系数(qP)和非光化学淬灭系数(NPQ)。采用LI-6400便携式光合作用测定仪在控水后期测定叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T)和胞间 CO_2 浓度(C_i)。

1.3.4 开花坐果习性测定和果实性状指标 果实发育前期在进行人工授粉时,多次统计收集每株的

第一雌花开放节位及时间,直到12~18节位雌花全部开放,统计12~18节坐果率等数据^[18];将 9 cm^2 上的网眼数为50个及以上的网纹甜瓜定为5级,满足网纹突起的厚度大于或等于0.6 mm,属于优美级别;网眼数为30到50个的定义为3级,属于合格级别^[19-20]。果实性状指标还包括果形指数、果肉厚度、种子腔直径、网纹凸起厚度和裂果率等。果形指数=纵径/横径^[21];果实剖开后,用游标卡尺测定果肉厚度(cm)、种子腔直径(cm)、网纹凸起厚度(mm)和果实纵横径(cm),每个果实测定4个点,取平均值,取中间果肉部分用于品质的测定。

1.3.5 果实产量和品质指标 用电子天平称量每个甜瓜的单果质量;用英国Stable Micro System公司生产的TA-XT plus果实质地检测仪(简称质构仪)测定果实质地剖面分析参数^[22];采用手持测糖仪测定可溶性固形物含量;采用钼蓝比色法测定果实维生素C含量^[23];采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量^[23];采用考马斯亮蓝-250法测定可溶性蛋白质含量^[23]。

1.4 数据处理与分析

采用Excel 2016对数据进行统计分析;采用DPS 19.05分析软件进行方差分析(LSD检验法);采用Excel 2016和Origin Pro 2023软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉量对网纹甜瓜叶片水分状况的影响

叶片水分含量的多少在某种程度上反映了植株生理反应的强弱。由表1可以看出,植株伸蔓前期和中后期叶片相对含水量随灌溉量的增加而增加,叶片细胞汁液浓度随着灌溉量的增加而降低。随着灌溉量的增加,叶片细胞膜相对透性呈先降低

表1 各处理下伸蔓期叶片的水分状况参数

Table 1 Water status parameters of leaves in the spreading stage of each treatment

时期 Period	处理 Treatment	叶片相对含水量 Relative water content of leaves/%	叶片细胞汁液浓度 Leaf cell sap concentration/%	叶片细胞膜相对透性 Relative permeability of leaf cell membrane/%
伸蔓前期 Early stage of extension	11	80.12±1.63 a	6.93±0.44 c	92.69±2.12 a
	12	77.83±1.83 ab	8.16±0.16 bc	60.88±1.96 c
	13	74.95±0.31 bc	8.96±0.62 ab	67.45±1.92 bc
	14	72.02±0.23 c	9.76±0.71 a	74.25±1.64 b
伸蔓中后期 Middle and late stages of extension	11	85.82±0.26 a	4.43±0.63 b	21.73±0.58 a
	12	78.67±1.05 ab	6.36±0.12 a	16.20±1.01 ab
	13	78.32±1.03 ab	7.53±0.07 a	12.68±0.49 b
	14	66.59±0.91 b	8.03±0.37 a	23.04±0.44 a

注:同列不同小写字母表示同一时期的不同处理在0.05水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference among different treatments of the same stage at 0.05 level. The same below.

后升高的变化趋势。伸蔓中后期 I3 处理的叶片细胞膜相对透性显著低于 I1 和 I4 处理,由此可见,I3 处理的叶片处于最适水分条件下,其次是 I2 处理。

2.2 不同灌溉量对网纹甜瓜光合特性的影响

从表 2 可以看出,不同的灌溉量对网纹甜瓜的净光合速率、气孔导度和胞间 CO₂ 浓度的影响有差异。随灌溉量的增加,叶绿素相对含量逐渐减少,其中 I4 处理的叶绿素相对含量最高,在伸蔓前期显著高于其他 3 个处理。净光合速率在发育过程中随灌溉量的增加呈先升高后降低的变化趋势,其中

I2 处理的净光合速率最高,植物生长状况最好。随着灌溉量的增加,气孔导度和蒸腾速率均呈先升高后降低的变化趋势,并且二者之间呈正相关,气孔导度越高,植物的蒸腾速率就越大,在所有时期中,I2 处理的植物蒸腾速率最高。在伸蔓前期,随着灌溉量的增加,胞间 CO₂ 浓度呈先升高后降低再升高的变化趋势,其中 I4 处理的叶片胞间 CO₂ 浓度最小,但处理之间差异不显著;在伸蔓中后期,随着灌溉量的增加,胞间 CO₂ 浓度呈先升高后降低的变化趋势;在果实发育前期,随着灌溉量的增

表 2 不同处理对网纹甜瓜叶片光合特性的影响

Table 2 Effects of different treatments on photosynthetic characteristics of reticulated muskmelon leave

时期 Period	处理 Treatment	叶绿素相对含量 Relative chlorophyll content/SPAD	净光合速率 Net photosynthetic rate/ (mol·m ⁻² ·s ⁻¹)	气孔导度 Stomatal conductance/ (mol·m ⁻² ·s ⁻¹)	胞间 CO ₂ 浓度 Intercellular CO ₂ concentration/ (μmol·mol)	蒸腾速率 Transpiration rate/ (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
伸蔓前期 Early stage of extension	I1	29.91±0.06 b	5.05±0.67 ab	0.09±0.08 ab	288.68±12.84 a	2.99±0.07 a
	I2	30.23±0.41 b	6.17±1.34 a	0.11±0.03 a	277.53±15.59 a	3.22±0.05 a
	I3	31.15±0.02 b	5.03±0.71 ab	0.09±0.01 ab	283.73±6.79 a	2.98±0.06 a
	I4	33.22±0.03 a	4.43±0.68 b	0.06±0.02 b	248.38±48.48 a	1.92±0.12 a
伸蔓中后期 Middle and late stages of extension	I1	35.12±0.82 b	7.20±0.56 ab	0.16±0.02 ab	282.57±11.82 ab	3.54±0.75 a
	I2	36.55±0.09 ab	9.47±0.15 a	0.17±0.01 ab	310.11±18.99 a	4.11±0.04 a
	I3	37.32±0.30 ab	6.94±1.42 ab	0.22±0.02 a	314.79±22.95 a	4.10±0.06 a
	I4	39.41±0.21 a	6.01±0.81 b	0.08±0.02 b	257.61±43.01 b	2.68±0.07 a
果实发育前期 Early stage of fruit development	I1	37.14±0.25 b	4.94±0.22 b	0.09±0.02 ab	337.62±20.17 a	1.32±0.03 ab
	I2	37.66±0.06 b	9.66±0.15 a	0.13±0.03 a	282.93±4.15 a	1.76±0.23 a
	I3	38.84±0.07 ab	5.30±0.06 b	0.08±0.01 ab	316.17±35.21 a	1.18±0.17 ab
	I4	40.52±0.44 a	3.38±0.06 b	0.06±0.01 b	329.45±29.88 a	0.95±0.03 b

加,胞间 CO₂ 浓度呈先降低后升高的变化趋势。

2.3 不同灌溉量对网纹甜瓜植株叶绿素荧光参数的影响

由表 3 可以看出,灌溉量对网纹甜瓜叶绿素荧光参数有一定影响,随着灌溉量的增加,最小初始

荧光(F₀)逐渐降低,F_v/F_m逐渐增加。光化学淬灭系数(qP)和非光化学淬灭系数(NPQ)随着灌溉量的增加均呈先升高后降低的变化趋势,均在 I2 处理下最高,显著高于 I1 和 I4 处理,I2 处理分别比 I1 处理提高 12.41% 和 52.56%, 分别比 I4 处理提高

表 3 各处理下植株的叶绿素荧光参数

Table 3 Chlorophyll fluorescence parameters of plants under each treatment

处理 Treatment	F ₀	F _v /F _m	qP	NPQ
I1	138.611 0±20.774 3 c	0.463 3±0.063 9 a	0.697 9±0.195 0 b	0.358 1±0.039 8 bc
I2	158.891 2±3.880 1 bc	0.399 5±0.015 7 ab	0.784 5±0.047 3 a	0.546 3±0.072 5 a
I3	176.473 2±3.490 2 ab	0.372 2±0.033 3 bc	0.733 0±0.006 0 ab	0.438 6±0.018 7 ab
I4	187.071 1±10.262 3 a	0.315 5±0.013 3 c	0.614 6±0.035 4 c	0.306 4±0.102 5 c

27.64%和 78.30%。以上结果说明 I2 处理灌溉量下的植株光合作用转化率最高,其次为 I3 处理。

2.4 不同灌溉量对网纹甜瓜植株开花坐果习性的影响

由表 4 可以看出,I3 处理的雌花授粉日期最

早,比 I1、I2、I4 处理平均提前 2 d,而 I4 处理的雌花授粉日期则晚 1~3 d。此外,I3 处理的坐果率、侧蔓平均长度和留瓜侧蔓长度均最大。这表明甜瓜在开花坐果期对水分需求并不高,但对水分敏感。

表4 各处理对植株开花坐果习性的影响
Table 4 Effects of various treatments on plant flowering and fruit setting habits

处理 Treatment	第一雌花 First female flower	第12~18节位 Sections 12-18		留瓜侧蔓 Leave melon side vines			
	着生节位 Birth node	坐果率 Fruit setting rate/%	雌花开放数 Number of female flowers opening	侧蔓平均长度 Average length of lateral vines/cm	着生节位 Birth node	授粉日期 Day of pollination (Month-Day)	蔓长 Vine length/ cm
I1	7.33	42.85	6.11	26.31 ab	14.00	05-09—05-11	26.50 ab
I2	7.11	57.14	7.00	26.47 ab	13.25	05-08—05-12	24.37 ab
I3	7.53	85.71	6.64	26.73 a	14.75	05-06—05-10	29.12 a
I4	8.18	38.09	6.00	16.54 b	15.25	05-09—05-13	14.37 b

2.5 不同灌溉量对网纹甜瓜产量的影响

由表5可知,灌溉量对网纹甜瓜的单果质量和产量有很大影响。最后一次统计的数据显示,随着灌溉量的增加,甜瓜的产量呈现先上升后下降的变化趋势。在4个处理中,单果质量的排序为I2>I1>I3>I4,I2处理的平均单果质量达到1544.03g,比其他处理高出14.26%~51.28%,产量达到46.32t·hm⁻²,比

表5 成熟期果实的产量指标

Table 5 Yield indicators of fruit at maturity

处理 Treatment	平均单果质量 Average fruit weight/g	果实数 Number of fruit	产量 Yield/(t·hm ⁻²)
I1	1351.33 ab	14	37.84
I2	1544.03 a	15	46.32
I3	1197.90 bc	15	35.94
I4	1020.63 c	13	26.54

其他处理高出22.41%~74.53%,是果实发育后期的最佳处理

2.6 不同灌溉量对网纹甜瓜果实质状的影响

由表6可知,灌溉量对网纹甜瓜的果形指数、果肉厚度、种子腔直径和网纹突起厚度都有一定影响。随着灌溉量的增加,果肉厚度、种子腔直径和网纹突起厚度3个果实性状的指标参数均逐渐增大。然而,在I1处理下,果形指数过大,果实裂果率高。从I1处理下的种子腔直径大于或显著大于其他处理的结果可以推断出,I1处理中空腔率较大,可食用果肉部分减少。通过每天观察网纹甜瓜果实质状发现,I1和I2处理下的网纹显现更快且更均匀,而I3和I4处理下甜瓜的网纹容易出现缺纹、少纵纹和网格大小差异大等现象。在I2处理中,成熟期果实的果形指数接近1,形状呈正圆

表6 各处理下的果实性状指标参数

Table 6 Fruit character index parameters under each treatment

处理 Treatment	果形指数 Fruit shape index	果肉厚度 Fruit pulp thickness/cm	种子腔直径 Seed cavity diameter/ cm	网纹突起厚度 Textured protrusion thickness/mm	网纹分级 Texture grading	裂果率 Fruit cracking rate/%
I1	1.11±0.02 a	4.02±0.08 a	10.29±0.06 a	1.04±0.02 a	5级 Lv.5	25
I2	1.03±0.07 a	3.68±0.02 b	9.73±0.05 ab	0.96±0.01 ab	5级 Lv.5	0
I3	1.04±0.06 a	3.45±0.05 b	8.85±0.03 bc	0.43±0.01 bc	3级 Lv.3	0
I4	0.92±0.06 b	2.91±0.02 c	8.21±0.04 c	0.33±0.01 c	3级 Lv.3	8

形,果肉较厚,空腔率低,可食用部分多,且满足5级果标准。以上结果表明,在I2处理下甜瓜果实质良率最高,能高效产出网纹优美的5级果。

2.7 不同灌溉量对网纹甜瓜果实质地的影响

由表7可知,灌溉量对网纹甜瓜果实的TPA硬度、弹性、胶着性、咀嚼性、果皮硬度、果肉硬度均有一定影响。随着灌溉量的增加,果实的内聚性、胶着性、咀嚼性逐渐减小,而TPA硬度和果肉硬度呈先减小后增大的变化趋势,果皮硬度则呈先增大后减小的变化趋势。I1处理内聚性显著低于I4处理,

果肉偏向硬脆口感。在I3处理下,果实弹性最大,果肉偏向酥脆。而在I2处理下,果皮硬度适中,TPA硬度和果肉硬度最小,口感最佳,具备柔软的口感特性。

2.8 不同灌溉量对网纹甜瓜果实质品质的影响

由表8可知,灌溉量对网纹甜瓜果实的可溶性固形物、维生素C、可溶性蛋白和可溶性总糖含量均有一定影响。随着灌溉量的增加,果实品质参数呈先升高后降低的变化趋势。在I2处理下,果实的维生素C和可溶性蛋白含量最高,显著高于I3和I4

表7 成熟期果实的质构仪指标

Table 7 Texture analyzer indicators of fruit at maturity

处理 Treatment	TPA 硬度 Hardness/g	弹性 Springiness	内聚性 Cohesiveness	胶着性 Gumminess	咀嚼性 Chewiness	果皮硬度 Peel hardness/g	果肉硬度 Pulp hardness/g
I1	2 956.96 ab	0.52 b	0.29 b	799.66 b	423.61 c	1 540.12 b	329.20 ab
I2	2 485.46 b	0.53 b	0.30 ab	925.42 ab	492.57 bc	1 665.11 ab	267.70 c
I3	3 670.56 a	0.58 a	0.31 ab	1 140.02 a	665.73 ab	1 835.59 a	303.46 bc
I4	3 736.92 a	0.57 a	0.33 a	1 248.99 a	712.22 a	1 517.36 b	362.93 a

表8 各处理对甜瓜果实品质的影响

Table 8 Effects of various treatments on melon fruit quality

处理 Treatment	w(可溶性固形物)/% Soluble solids content/%	w(维生素 C) Vitamin C content/(mg·g ⁻¹)	w(可溶性蛋白) Soluble protein content/(mg·g ⁻¹)	w(可溶性总糖) Total soluble sugar content/(mg·g ⁻¹)
I1	10.02±0.03 b	26.37±0.04 ab	0.98±0.08 a	15.34±0.01 b
I2	10.87±0.02 b	28.61±0.02 a	1.07±0.07 a	17.56±0.08 ab
I3	13.05±0.05 a	25.64±0.08 b	0.86±0.02 b	18.31±0.01 a
I4	10.77±0.02 b	25.28±0.04 b	0.67±0.01 c	17.71±0.04 ab

处理。可见,I2 处理下有利于果实的维生素 C 和可溶性蛋白积累。在 I3 处理下,果实的可溶性固形物和可溶性总糖含量最高。I1 处理的可溶性固形物和可溶性总糖含量最低,呈现出“稀释效应”。虽然 I2 处理下的可溶性总糖含量略低于 I3 处理,但二者差异不显著。以上结果表明 I2 处理果实的品质较好。

3 讨论与结论

土壤水分是农作物生长的关键因素,也是“土壤-植物-大气连续体(SPAC)”过程中的核心要素,适宜的土壤水分可以保持作物根际环境良好,确保作物正常生长^[2,24]。在甜瓜生产中,科学合理的水分调控不仅有利于作物健康生长和提高产量及品质,还可以提高水分利用率,节约水资源^[25-27]。本试验结果表明,合适的灌溉水平能明显提高塑料大棚内粗网纹甜瓜植株的净光合速率、维生素 C 含量、可溶性蛋白含量和甜瓜产量,对甜瓜开花坐果习性和果实质地也有较大影响。叶绿素是植物进行光合作用的主要色素,其含量对植物的生长和代谢有重要影响^[28]。叶片细胞膜的相对透性对基质水分表现出相对敏感性,过高或过低的灌溉量都会导致细胞膜的相对电导率升高^[29]。本试验结果表明,合适的灌溉水平对塑料大棚内粗网纹甜瓜植株的生长和光合特性具有很大的促进作用,能显著降低甜瓜叶片的相对膜透性,减少植物细胞膜的损伤,维持渗透平衡。在伸蔓前期,叶片可能受到早春气候和光强条件的影响,导致 P_n 值整体偏低,而在 I2 处理下,甜瓜的净光合速率和蒸腾速率最高。在本研究中,随着灌溉量的增加, F_s 降低, F_v/F_m 呈升高趋势,

说明增加灌溉量促进了甜瓜叶片的光合效率。最小的灌溉量使植株处于干旱胁迫条件下, qP 和 NPQ 变小,表明从 PSII 氧化侧向 PSII 反应中心的电子流动受到抑制,是光合效率低下的重要影响因素。在植株伸蔓中后期,最适宜的灌溉量下(I2 处理),甜瓜的 qP 和 NPQ 最高,光合作用转化率最高,这与韩瑞锋^[30]对厚皮甜瓜品种一品天下的研究结果一致。

可溶性糖在提高植物抗性方面起重要作用,不仅为植物代谢提供能量,还可以积累为渗透调节物,进一步提高植物的抗性^[31-32]。适当的灌溉量可以有效提高厚皮甜瓜和番茄果实中可溶性糖含量^[33-34]。本试验的结果也与此相似。在按 80%日蒸腾蒸发量补充灌溉处理下,甜瓜果实的可溶性固形物和可溶性总糖含量均高于其他处理。因此,适当的灌溉水平有利于可溶性总糖的积累,并提高植株的抗性。然而,过度缺水会显著降低甜瓜产量,同时使甜瓜果肉厚度、口感质地和营养品质明显降低。

从甜瓜的灌溉量和水分需求分析结果来看,甜瓜在开花和坐果期间并不需要太多水分,但是它的水分非常敏感。过多的水分会导致甜瓜脱花和脱果,而水分不足则会导致植株生长缓慢。因此,灌溉水平过高或过低都会降低网纹甜瓜的坐果率^[35-36]。在日光温室中,通过滴灌技术种植的甜瓜在整个生长周期中呈现出一种特点:在开花前期和成熟期,甜瓜的水分需求较少,而在果实膨大期水分需求较大。果实发育期间会出现一个需水量较高的峰值期^[37]。此外,作物会根据环境变化来调整对水分的需求^[38],试验后期棚内温度升高,会导致棚

内土壤-植物-大气连续体循环系统平衡受到影响,植物的蒸腾速率加快,甜瓜的需水量也随之增加。为了满足甜瓜的生长需求,需要增加灌溉量。适当增加灌溉量可以促进植株生长并提高单个果实的质量。然而,单果质量随着灌溉水平的提高呈先增大而减小的变化趋势,这表明水分过多会增加不必要的水分消耗,反而抑制了果实的生长。此外,灌溉水平过高也不利于糖分的积累。这与崔冲^[39]、胡艳平等^[1]的研究结果一致。

在笔者的试验中,在伸蔓中后期,I3处理的叶片处于最适水分条件,气孔导度和胞间CO₂浓度最大。适度调亏灌溉可以使作物得到干旱训练,抑制了植株的过度生长,减少了无效水分的消耗。通过分析叶片的光合参数和叶绿素荧光参数指标,可以看出I3处理是提高伸蔓中后期网纹甜瓜植株生长和光合作用的最佳处理。在果实发育前期,I2处理的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率最大,胞间CO₂浓度最小,是果实发育前期光合作用能力最强的灌溉量水平。虽然甜瓜植株的开花坐果习性不能直接证明对果实的内在品质有影响,但植株的光合作用直接影响果实产量的积累。因此,综合考虑这两个因素,I2处理是提高果实发育前期甜瓜产量的最佳方案。在果实发育中后期,采用I2处理的甜瓜果实不仅产量最高,还具有优美的网纹外观,果实质地佳,营养品质高,是优质高效生产的最佳选项。

综上所述,I2处理(按日蒸腾蒸发量100%灌溉)作为最佳的水管理方式,既考虑到节水灌溉,又可防止基质含水量过高而诱发病害。在田间生产中可以更加细致地在伸蔓前期和果实发育期按照每日蒸腾蒸发量100%进行灌溉,在伸蔓中后期则按照每日蒸腾蒸发量80%进行灌溉,在保证高产的前提下,提高了果实的优良品质,提高了水分利用率。

参考文献

- [1] 胡艳平,朱白婢,黄文枫,等.水分处理对网纹甜瓜裂果及果实品质的影响[J].北方园艺,2021(10):9-15.
- [2] 李建明,任瑞丹,范兵华,等.灌溉量对温室全有机营养液栽培甜瓜根际环境和茎流的影响[J].农业工程学报,2020,36(7):217-224.
- [3] 李晓彬.榆林黄土区梨枣树生理生长对土壤水分的响应研究[D].北京:中国科学院研究生院,2011.
- [4] 邵森,王思煜,朱昌伟,等.土壤含水量对温室甜瓜生长、产量及品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2021,49(12):89-96.
- [5] LI H, YANG X Z, CHEN H J, et al. Water requirement characteristics and the optimal irrigation schedule for the growth, yield, and fruit quality of watermelon under plastic film mulching[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 241: 74-82.
- [6] 周勃,张浩,符小发,等.不同灌溉水平对设施厚皮甜瓜黄梦脆的影响[J].热带农业科学,2022,42(3):7-10.
- [7] FABEIRO C, MARTIN F, OLALLA D S, et al. Production of muskmelon (*Cucumis melo* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate[J]. Agricultural Water Management, 2002, 54(2):93-105.
- [8] 任瑞丹,范兵华,王归鹏,等.称重法决策灌溉量对袋式栽培甜瓜茎流与养分吸收及产量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(12):81-89.
- [9] 李建明,樊翔宇,闫芳芳,等.基于蒸腾模型决策的灌溉量对甜瓜产量及品质的影响[J].农业工程学报,2017,33(21):156-162.
- [10] KUSCU H, TURHAN A. Yield, net return and fruit quality response of melon to deficit irrigation[J]. Gesunde Pflanzen, 2022, 74(3):647-659.
- [11] 桑艳朋,王祯丽,刘慧英.膜下滴灌量对甜瓜产量和品质的影响[J].中国瓜菜,2005,18(6):11-13.
- [12] HARTZ T K. Effects of drip irrigation scheduling on Netted Melon yield and quality[J]. Scientia Horticulturae, 1997, 69(1/2):117-122.
- [13] 蒋芳玲,徐磊,王克磊,等.光照与基质含水量对不结球白菜光合特性的影响[J].南京农业大学学报,2011,34(6):25-30.
- [14] NWOKWU G N, EKWU L G, UTOBO E B. Effect of water stress at different phenological stages of Netted Melon (*Cucumis melo* L.)[J]. Indian Journal of Agriculture Research, 2018, 52(4):452-455.
- [15] 王静静.温室的温湿度及灌溉量对甜瓜生长发育及品质的影响[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [16] 杨建伟,梁宗锁,韩蕊莲,等.不同干旱土壤条件下杨树的耗水规律及水分利用效率研究[J].植物生态学报,2004,28(5):630-636.
- [17] 韩永华.水分胁迫对大豆幼苗叶片细胞质膜的影响[J].广西师范大学学报(自然科学版),1999,17(4):85-87.
- [18] 潘静娴,黄丹枫,王世平,等.根域体积对甜瓜幼苗生长及光合特性的影响[J].西北植物学报,2001,21(4):637-643.
- [19] 孙晓法,丁长命.网纹甜瓜的品种类型与栽培特性[J].中国西瓜甜瓜,2000,13(3):28-30.
- [20] 李婷,曾剑波,芦金生,等.网纹甜瓜网纹形成期灌水制度的探索[J].中国农学通报,2016,32(13):61-65.
- [21] 覃斯华,洪日新,黄金艳,等.广西大棚厚皮甜瓜品种比较试验[J].广西农业科学,2010,41(10):1110-1112.
- [22] 潘好斌.薄皮甜瓜果实质地品质评价及质地特性成因分析[D].沈阳:沈阳农业大学,2019.
- [23] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [24] 纪冰祎,赵驰鹏,吴玥,等.不同水分条件下保水剂对黄瓜根系和叶片生理特征的影响[J].水土保持通报,2022,42(2):114-121.
- [25] 范兵华,马乐乐,任瑞丹,等.有机营养液灌溉频次和灌水量对设施甜瓜产量、品质及肥水利用率的影响[J].应用生态学

- 报,2019,30(4):1261-1268.
- [26] 原保忠,张卿亚,别之龙.调亏灌溉对大棚滴灌甜瓜生长发育的影响[J].排灌机械工程学报,2015,33(7):611-617.
- [27] WANG J, HUANG G H, LI J S, et al. Effect of soil moisture-based furrow irrigation scheduling on melon (*Cucumis melo* L.) yield and quality in an arid region of Northwest China[J]. *Agricultural Water Management*, 2017, 179: 167-176.
- [28] 李乐,张丽娟,李建设,等.不同密度与功能叶对大棚厚皮甜瓜光合特性及产量品质的影响[J].西南农业学报,2022,35(7):1539-1547.
- [29] 齐广平,张恩和.膜下滴灌条件下不同灌溉量对番茄根系分布和产量的影响[J].中国沙漠,2009,29(3):463-467.
- [30] 韩瑞锋.水分对温室甜瓜生长、光响应特性及果实品质的影响[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2011.
- [31] 单羽,任晓宁,李雪梅.非生物胁迫对植物碳水化合物及其代谢相关酶影响的研究进展[J].安徽农业科学,2021,49(20):6-9.
- [32] 刘冰珠,张锋,雷蕾,等.根区温度胁迫对番茄幼苗根系生长及蔗糖代谢的影响[J].中国蔬菜,2023(1):68-77.
- [33] 齐红岩,李天来,张洁,等.亏缺灌溉对番茄蔗糖代谢和干物质分配及果实品质的影响[J].中国农业科学,2004,37(7):1045-1049.
- [34] YAVUZ D, SEYMEN M, YAVUZ N, et al. Effects of water stress applied at various phenological stages on yield, quality, and water use efficiency of melon[J]. *Agricultural Water Management*, 2021, 246: 106673.
- [35] 龚雪文,孙景生,刘浩,等.开花坐果期不同水分下限对温室滴灌甜瓜产量和品质的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(5):28-32.
- [36] 王新元,李登顺,张喜英.日光温室冬春茬黄瓜产量与灌水量的关系[J].中国蔬菜,1999(1):18-21.
- [37] 王加蓬.温室膜下滴灌甜瓜需水量及灌溉制度的研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2009.
- [38] WANG X J, ZHANG J Y, SHAHID S, et al. Adaptation to climate change impacts on water demand[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2016, 21(1):81-99.
- [39] 崔冲.基质含水量与温室网纹甜瓜果实品质形成的模拟[D].上海:上海交通大学,2012.