

# 不同水肥配比对辣椒叶绿素荧光参数 及产量和品质的影响

徐金崇<sup>1,2</sup>, 陈修斌<sup>2,3</sup>, 张雪冬<sup>2</sup>

(1. 甘肃农业大学园艺学院 兰州 730070; 2. 河西学院农业与生态工程学院 甘肃张掖 734000;  
3. 河西学院河西走廊精准设施园艺工程技术研究中心 甘肃张掖 734000)

**摘要:** 为获得戈壁温室辣椒有机生态型无土栽培最适宜水肥用量管理指标, 采用裂区试验设计, 以陇椒 2 号为试验材料, 研究了 9 种不同水肥配比对辣椒叶片最大量子产额( $F_v/F_m$ )、光系统 II 潜在活性( $F_v/F_o$ ) 及产量和品质的影响。结果表明, 田间持水量 65%~80% 的 W2 处理与理论施肥量 F2 (N 330 kg·hm<sup>-2</sup>+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180 kg·hm<sup>-2</sup>+K<sub>2</sub>O 285 kg·hm<sup>-2</sup>) 组成的 W2F2 水肥用量组合, 在辣椒结果前期、中期、末期的  $F_v/F_m$  与  $F_v/F_o$  均最大, 分别为 0.67、0.74、0.72 和 2.95、3.08、2.87; 在辣椒株高、茎粗、单株结果数、单株产量和 667 m<sup>2</sup> 产量等性状的表现方面, W2F2 均高于其他处理, 分别为 123.54 cm、1.78 cm、37.75 个、1.65 kg 和 4 075.50 kg; 果实中可溶性糖、可溶性固形物、维生素 C、可溶性蛋白质和游离氨基酸含量(w) 等品质指标也高于其他处理, 分别为 67.53 mg·g<sup>-1</sup>、10.46%、4.46 mg·g<sup>-1</sup>、1.86 mg·g<sup>-1</sup>、325.43 μg·g<sup>-1</sup>。综上, W2F2 水肥用量组合的辣椒保持较高的代谢活性, 产量最高、果实品质最佳, 这一结论可为戈壁温室辣椒有机生态型无土栽培实现水肥高效利用及高产优质化生产提供理论指导。

**关键词:** 辣椒; 不同水肥配比; 叶绿素荧光参数; 产量; 品质

中图分类号: S641.3

文献标识码: A

文章编号: 1673-2871(2023)09-048-06

## Effects of different water and fertilizer ratios on chlorophyll fluorescence parameters, yield and quality of pepper

XU Jinchong<sup>1,2</sup>, CHEN Xiubin<sup>2,3</sup>, ZHANG Xuedong<sup>2</sup>

(1. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 2. College of Agriculture and Ecological Engineering, Hexi University, Zhangye 734000, Gansu, China; 3. Hexi Corridor Precision Facilities Horticultural Engineering Technology Research Center, Hexi University, Zhangye 734000, Gansu, China)

**Abstract:** In order to obtain the most suitable management index of water and fertilizer amount for organic ecological soilless culture of pepper in Gobi greenhouse, a pepper variety named Longjiao No. 2 was used as the test material, and the effects of 9 different water and fertilizer ratios on the maximum seed yield ( $F_v/F_m$ ), potential activity ( $F_v/F_o$ ) of PSII of pepper leaves, yield and quality were studied by split-plot experimental design. The results showed that W2F2 water and fertilizer dosage combination consisting of W2 treatment with field water holding capacity of 65%-80% and theoretical fertilization amount of F2 (N 330 kg·hm<sup>-2</sup>+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180 kg·hm<sup>-2</sup>+K<sub>2</sub>O 285 kg·hm<sup>-2</sup>) had the highest  $F_v/F_m$  and  $F_v/F_o$  in the early, middle and late fruiting stages, which were 0.67, 0.74, 0.72 and 2.95, 3.08, 2.87, respectively. The plant height, stem diameter, fruit number per plant, yield per plant and yield of 667 m<sup>2</sup> of pepper treated with W2F2 are higher than those of other treatments, which are 123.54 cm, 1.78 cm, 37.75 single, 1.65 kg and 4 075.50 kg, respectively, while the content of soluble sugar, soluble solid, vitamin C, soluble protein and free amino acid in fruit were also higher than those in other treatments, which were 67.53 mg·g<sup>-1</sup>, 10.46%, 4.46 mg·g<sup>-1</sup>, 1.86 mg·g<sup>-1</sup>, 325.43 μg·g<sup>-1</sup>, the above 9 treatments, the pepper maintained high metabolic activity and the highest yield with the combination of W2F2 water and fertilizer, and the fruit quality is the best. This research can provide theoretical guidance for organic ecological soilless cultivation of pepper in Gobi greenhouse to realize efficient utilization of water and fertilizer and high-yield and high-quality production.

**Key words:** Different water and fertilizer ratio; Pepper; Chlorophyll fluorescence parameters; Yield; Quality

收稿日期: 2022-10-31; 修回日期: 2023-06-02

基金项目: 甘肃省高校协同创新科技团队支持计划资助(2017C-18)

作者简介: 徐金崇, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为设施园艺植物栽培与生理。E-mail: 17344680056@163.com

通信作者: 陈修斌, 男, 教授, 研究方向为设施园艺与无土栽培。E-mail: 617190368@qq.com

河西走廊属“三北”戈壁沙漠及沙地风沙区,该区域南侧为祁连山脉,正东、东北和正西方向依次被腾格里、巴丹吉林和库姆塔格3大沙漠包围。甘肃省土地总面积42.58万 $\text{hm}^2$ ,非耕地面积18.12万 $\text{hm}^2$ ,占土地总面积的42.55%,主要集中在河西走廊地区,该地区日光温室占甘肃省的65%,非耕地设施农业面积占甘肃省的95%以上<sup>[1-2]</sup>。近年来,河西走廊的张掖市认真贯彻甘肃省人民政府《关于河西戈壁农业发展的意见》[甘政办发(2017)138号],把发展戈壁农业作为加快全市现代农业转型发展的突破口和着力点,在生态保护和资源合理利用的前提下,以农业废弃物为主要生产原料,配套基质无土栽培技术,有力推动戈壁农业的发展,戈壁温室蔬菜种植已经成为本区“农业增效、农民增收”的支柱产业。

辣椒(*Capsicum annuum* L.)以采收期长、产量高、经济效益显著等特点,而成为戈壁温室种植的主要作物之一。生产上辣椒主要采用有机生态型无土栽培,在肥水管理方面存在2方面的问题:一方面在栽培过程中由于基质营养不能完全满足其生育期对养分的需求,而导致生产者在栽培过程中盲目追肥,造成基质营养失衡,使基质出现次生盐渍化;另一方面在水分管理上,往往凭经验大量灌水,造成水资源浪费、水肥利用效率降低。近年来,有许多学者在水肥高效利用方面开展了相关研究。Ozbahce等<sup>[3]</sup>认为,适当的水分亏缺可以提高番茄产量,亏水25%的喷灌处理使番茄产量和水分利用效率均有不同程度的提高。陈修斌等<sup>[4]</sup>研究了水氮配施对绿洲温室黄瓜氮素代谢及产量和品质的影响,得到了黄瓜高产时的最适水氮用量指标。李琨等<sup>[5]</sup>研究了不同灌水下限对日光温室有机生态型无土栽培辣椒生长指标的影响,得到了灌水下限为田间持水量的70%可以作为辣椒理想的水分控制指标。李培<sup>[6]</sup>研究了以草炭、河沙、珍珠岩体积比1:1:1为基质,配施氮肥、磷肥、钾肥分别为80、175、140 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,在辣椒开花期效果最好,单株产量和总产量也最高。目前关于水肥一体化在保护地土壤栽培条件下或施肥灌水单一因子对作物的生长发育影响方面的研究较多,尽管前人研究得出了辣椒适宜的灌水下限,但由于不同地区温光环境差异较大,加上不同水肥用量对蔬菜作物产生不同的耦合效果,只有适宜的水肥用量才能产生水肥耦合正效应,从而影响到作物生长与产量<sup>[7]</sup>。目前,有关不同水肥用量指标对有机生态型无土栽培辣椒的影响尚缺乏系统研究。笔者立足河西走廊戈壁温室辣

椒基质栽培条件,分别设置3个不同的灌水量与施肥量配比,探讨水肥一体化对辣椒生长过程中叶片最大量子产额、光系统II(PSII)潜在活性及产量和品质的影响,以期筛选出辣椒生长的最适宜水肥量化管理指标,为实现荒漠干旱地区温室有机生态型无土栽培的水肥用量精准调控提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 地点与材料

试验于2022年1—8月在张掖市高台县合黎乡戈壁温室内进行。日光温室墙体采用砂石结构,墙体基部宽度2.5 m,上部2.5 m,后墙高度3.0 m,侧墙脊高5.0 m、跨度10.0 m、长度80.0 m,坐北朝南,东西延长;温室骨架采用无立柱钢架结构,透明覆盖材料采用EVA塑料薄膜,外保温覆盖物为棉被。采用地下式槽培方式进行种植,槽规格为长9.0 m、宽0.6 m、深度0.3 m,槽间距0.6 m,槽内铺设塑料膜。供试的基质为炉渣:玉米秸秆:食用菌下脚料:珍珠岩:牛粪=1:2:1:0.5:0.5,按体积比混合均匀后装入栽培槽内;基质容重 $0.48\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、总孔隙度68.35%、pH 7.85、电导率 $1.26\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 、有机质含量( $w$ ,后同) $16.75\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮含量 $276.34\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷含量 $235.62\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾含量 $268.53\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。供试辣椒品种陇椒2号,为甘肃省农业科学院选育的皱皮辣椒杂交种。

### 1.2 试验设计

采用裂区试验设计<sup>[8-9]</sup>,灌水处理为主区,施肥处理为副区;灌水量参考李静等<sup>[10]</sup>设置W1、W2、W3等3个水平;施肥设F1、F2、F3等3个水平,其中F2为辣椒在目标产量 $75\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的理论值减去基质中可提供的养分值所得,F1和F3为F2分别上浮和下浮20%的数值。试验处理见表1。

试验共9个处理,每处理种植1槽,每槽为1个小区,小区长9.0 m、宽1.2 m,面积 $10.8\text{ m}^2$ ,各处理3次重复。2022年1月8日进行辣椒育苗,3月25日定植,每槽种植2行,株距45 cm、行距50 cm,保苗数 $2470\text{ 株}\cdot\text{667 m}^2$ ,辣椒采用3秆整枝法,生长过程中不需要摘心。试验采用膜下滴灌技术,利用水分测定仪控制土壤水分,灌水量参考韦泽秀等<sup>[11]</sup>确定的方法,用公式 $M=r\times p\times h\times\theta f\times(q1-q2)/\eta$ 计算。其中 $M$ -灌水量( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ), $r$ -基质体积质量(0~30 cm),取值为 $0.48\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , $p$ -土壤湿润比,取100%, $h$ 与 $\theta f$ 代表灌水计划湿润层和最大田间持水率,取值分别为0.25 m和22%, $q1$ 与 $q2$ 分别表示

表1 不同水肥处理

Table 1 Treatments of different water and fertilizer ratio

灌水量	施肥量	编号
W1(田间持水量的80%~95%)	F1(N 396 kg·hm <sup>-2</sup> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 216 kg·hm <sup>-2</sup> +K <sub>2</sub> O 342 kg·hm <sup>-2</sup> )	W1F1
	F2(N 330 kg·hm <sup>-2</sup> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 180 kg·hm <sup>-2</sup> +K <sub>2</sub> O 285 kg·hm <sup>-2</sup> )	W1F2
	F3(N 264 kg·hm <sup>-2</sup> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 144 kg·hm <sup>-2</sup> +K <sub>2</sub> O 228 kg·hm <sup>-2</sup> )	W1F3
W2(田间持水量的65%~80%)	F1(N 396 kg·hm <sup>-2</sup> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 216 kg·hm <sup>-2</sup> +K <sub>2</sub> O 342 kg·hm <sup>-2</sup> )	W2F1
	F2(N 330 kg·hm <sup>-2</sup> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 180 kg·hm <sup>-2</sup> +K <sub>2</sub> O 285 kg·hm <sup>-2</sup> )	W2F2
	F3(N 264 kg·hm <sup>-2</sup> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 144 kg·hm <sup>-2</sup> +K <sub>2</sub> O 228 kg·hm <sup>-2</sup> )	W2F3
W3(田间持水量的50%~65%)	F1(N 396 kg·hm <sup>-2</sup> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 216 kg·hm <sup>-2</sup> +K <sub>2</sub> O 342 kg·hm <sup>-2</sup> )	W3F1
	F2(N 330 kg·hm <sup>-2</sup> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 180 kg·hm <sup>-2</sup> +K <sub>2</sub> O 285 kg·hm <sup>-2</sup> )	W3F2
	F3(N 264 kg·hm <sup>-2</sup> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 144 kg·hm <sup>-2</sup> +K <sub>2</sub> O 228 kg·hm <sup>-2</sup> )	W3F3

土壤水分上限和实际含水率,  $\eta$ -水分利用系数, 滴灌取 0.9, 不同处理在达到田间持水率的下限时进行灌溉。供试氮肥为尿素(N 含量 46.4%), 磷肥与钾肥分别为过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量 12%)和硫酸钾(K<sub>2</sub>O 含量 50%), 磷肥作基肥一次性施入, 氮肥与钾肥用量的 50%作基肥, 剩余分 3 次在辣椒结果前期、中期与末期等量施入。其他管理同常规田间种植管理一致。

1.3 测定项目

1.3.1 叶片生理活性测定 在辣椒结果前期(5 月 8 日)、中期(6 月 8 日)、末期(7 月 7 日), 于上午 10:00—12:00, 每个处理选择相同位置的叶片, 用英国 Hansatech 公司的 Handy PEA 植物效率分析仪测定经过暗适应 20 min 以上的叶片初始荧光( $F_0$ )、最大荧光( $F_m$ )、可变荧光( $F_v$ ), 并计算 PSII 原初光能转换效率( $F_v/F_m$ )<sup>[12]</sup>, 叶片 PSII 活性( $F_v/F_0$ )、其中,  $F_v=(F_m-F_0)$ ,  $F_v/F_0=(F_m-F_0)/F_0$ ,  $F_v/F_m=(F_m-F_0)/F_m$ , 每个处理随机测定 4 株, 3 次重复, 取其平均值。

1.3.2 植株形态指标与产量测定 每处理随机标记 3 株, 于辣椒采收末期(7 月 20 日), 用卷尺测定株高, 用游标卡尺在辣椒茎基部距地面 2 cm 处测量茎粗; 每次收获时, 统计取样辣椒的单果质量, 同时分别记录各处理的结果数与小区产量, 然后进行各处理产量的汇总, 最后折合成 667 m<sup>2</sup>产量。

1.3.3 果实品质测定 于辣椒结果末期, 随机选取不同处理的 3 个果实, 测定其可溶性糖、可溶性固形物、维生素 C、可溶性蛋白质和游离氨基酸含量<sup>[13]</sup>; 采用苯酚法测定可溶性糖含量, 采用 TD-45 数字折光仪测定可溶性固形物含量, 采用钼蓝比色法测定维生素 C 含量, 采用紫外分光光度法测定可溶性蛋白质含量, 采用茚三酮法测定游离氨基酸含量。3 次重复, 取其平均值。

1.4 数据分析

采用 DPS 9.50 和 Excel 2003 进行数据分析, 采用 Duncan's 法进行差异显著性分析, 显著性水平为 0.05。

2 结果与分析

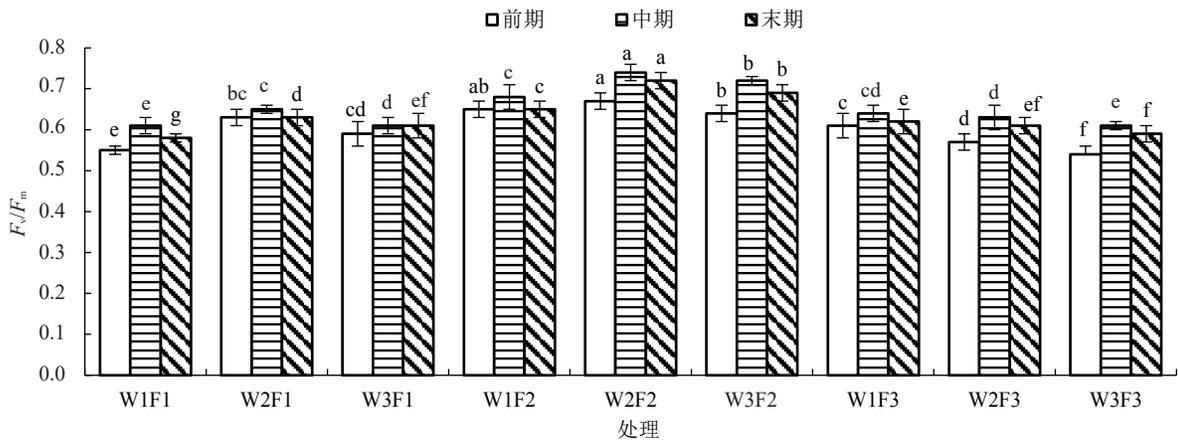
2.1 不同处理对辣椒生长最大量子产额和潜在活性的影响

从图 1 可以看出, 在辣椒结果前期、中期与末期, 不同处理对辣椒生长最大量子产额( $F_v/F_m$ )的影响不同, W2F2 水肥用量组合的  $F_v/F_m$  数值最高, 分别为 0.67、0.74 和 0.72, 其中处理中期和末期显著高于其他处理; 而同一处理在不同生长阶段, 辣椒叶片最大量子产额的变化均呈现出中期>末期>前期的变化规律。

由图 2 可以看出, 在辣椒结果前期、中期与末期, 不同处理对辣椒叶片生长潜在活性( $F_v/F_0$ )的影响也以 W2F2 为最高, 分别为 2.95、3.08 和 2.87, 均显著高于其他处理, 除了 W1F1、W2F2、W3F3 处理外, 剩余处理  $F_v/F_0$  的大小表现出中期>末期>前期的变化规律, 与最大量子产额的变化保持一致。

2.2 不同处理对辣椒生长与产量的影响

从表 2 可以看出, W2F2 的水肥用量组合温室辣椒的株高、茎粗、单株结果数、单株产量和 667 m<sup>2</sup>产量等性状的数值最高, 分别为 123.54 cm、1.78 cm、37.75 个、1.65 kg 和 4 075.50 kg, 其中株高、茎粗、667 m<sup>2</sup>产量均显著高于其他处理。从植株高度上来看, W3F1 最低, 其值为 102.65 cm, 与 W3F1 相比, 采用 W2F2 的水肥用量组合株高显著提高 20.35%。辣椒的茎粗、单株结果数与单株产量等性状指标, W3F3 最低, 分别为 1.18 cm、29.86 个和 1.31 kg; 与 W3F3 相比, W2F2 辣椒的茎粗、单株结果数、单株产量分别显著提高 50.85%、26.42%、



注:同一时期不同小写字母表示处理在 0.05 水平差异显著。后同。

图 1 不同处理  $F_v/F_m$  值

Fig. 1  $F_v/F_m$  of different treatments

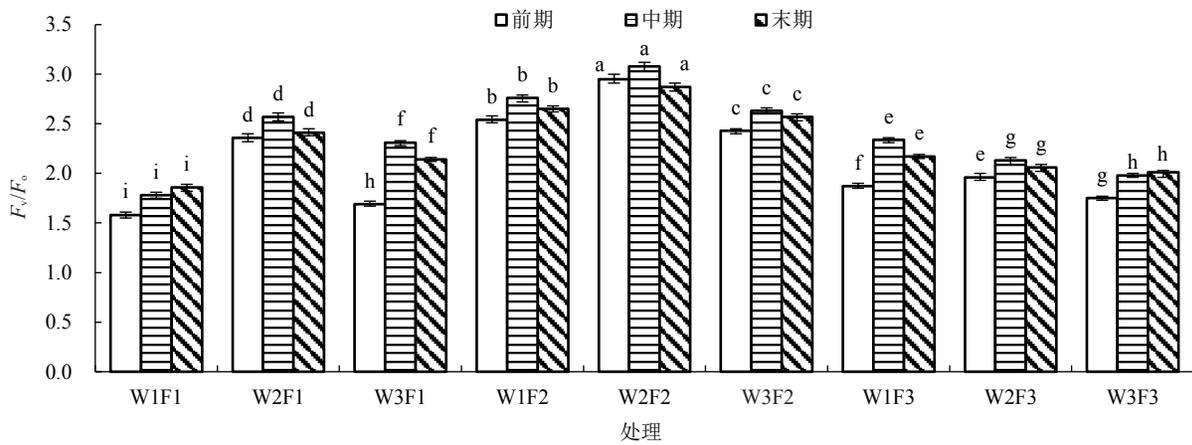


图 2 不同处理  $F_v/F_o$  值

Fig. 2  $F_v/F_o$  of different treatments

表 2 不同处理对辣椒生长及产量的影响

Table 2 Effects of different treatments on growth and yield of pepper

水肥处理	株高/cm	茎粗/cm	单株结果数/个	单株产量/kg	667 m <sup>2</sup> 产量/kg
W1F1	104.76±2.45 h	1.25±0.05 fg	31.67±1.32 fg	1.41±0.12 de	3 482.70±1.32 ef
W2F1	113.68±3.64 d	1.36±0.03 de	33.75±1.98 de	1.47±0.08 bc	3 630.90±2.01 d
W3F1	102.65±3.71 i	1.43±0.04 d	35.86±1.63 bc	1.43±0.13 cd	3 532.10±1.13 de
W1F2	109.41±2.54 f	1.66±0.02 b	36.83±1.52 ab	1.57±0.09 ab	3 877.90±1.15 b
W2F2	123.54±4.38 a	1.78±0.03 a	37.75±1.37 a	1.65±0.07 a	4 075.50±2.21 a
W3F2	117.68±3.57 b	1.54±0.01 c	34.65±1.42 cd	1.51±0.12 b	3 729.70±1.42 c
W1F3	115.63±3.63 c	1.22±0.03 gh	30.25±1.36 gh	1.34±0.06 ef	3 309.80±1.34 gh
W2F3	111.85±4.12 e	1.27±0.02 ef	32.62±1.96 ef	1.35±0.11 e	3 334.50±1.58 fg
W3F3	107.52±2.31 g	1.18±0.05 h	29.86±1.52 h	1.31±0.07 f	3 235.70±1.42 h

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

25.95%,这说明采用 W2F2 的水肥用量组合,有利于促进辣椒植株生长与产量提高。

辣椒生长发育受到外界水、肥、气、热等因子影响。从表 3 可以看出,水分对辣椒株高、茎粗、单株结果数、单株产量和 667 m<sup>2</sup>产量等性状的影响都呈

显著性差异,而施肥对其性状的影响均呈极显著差异,水肥互作对辣椒茎粗、单株结果数、单株产量和 667 m<sup>2</sup>产量有极显著影响,对株高有显著影响。

### 2.3 不同处理对辣椒品质的影响

由表 4 可以看出,W2F2 处理的辣椒可溶性糖、

表3 水、肥及其交互作用对辣椒生长及产量影响的方差分析(*F*值)

Table 3 Variance analysis of the effects of water, fertilizer and their interaction on growth and yield of pepper

因素	自由度	指标				
		株高	茎粗	单株结果数	单株产量	667 m <sup>2</sup> 产量
水分	2	135.42*	10.35*	93.25*	8.54*	124.63*
肥料	2	784.32**	41.69**	185.41**	38.65**	875.48**
水分×肥料	4	327.85*	31.52**	46.78**	21.63**	216.57**

注:\*表示在 0.05 水平差异显著,\*\*表示在 0.01 水平差异极显著。下同。

可溶性固形物、维生素 C、可溶性蛋白质、游离氨基酸含量等品质指标均最高,分别为 67.53 mg·g<sup>-1</sup>、10.46%、4.46 mg·g<sup>-1</sup>、1.86 mg·g<sup>-1</sup>、325.43 μg·g<sup>-1</sup>,其中可溶性糖、可溶性蛋白质、游离氨基酸含量均显著高于其他处理;而 W3F3 处理的辣椒可溶性糖、可溶性固形物、维生素 C、可溶性蛋白质、游离氨基酸

含量等指标均最低,分别为 54.36 mg·g<sup>-1</sup>、8.57%、3.27 mg·g<sup>-1</sup>、0.84 mg·g<sup>-1</sup>、238.62 μg·g<sup>-1</sup>。与 W3F3 相比,W2F2 各指标分别显著提高 24.23%、22.05%、36.39%、121.43%、36.38%,说明在 W2F2 水肥配比条件下,辣椒的品质指标最优。

从表 5 可以看出,灌水对辣椒可溶性糖、可溶

表4 不同处理对辣椒品质的影响

Table 4 Effects of different treatments on quality of pepper

处理	w(可溶性糖)/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(可溶性固形物)/%	w(维生素 C)/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(可溶性蛋白质)/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(游离氨基酸)/(μg·g <sup>-1</sup> )
W1F1	57.85±0.25 e	9.55±0.26 cd	3.55±0.12 de	1.08±0.67 ef	267.48±3.65 e
W2F1	59.62±0.34 d	9.73±0.34 bc	3.87±0.16 bc	1.27±1.23 cd	283.36±2.81 d
W3F1	56.37±0.42 fg	9.36±0.27 de	3.65±0.24 cd	1.18±0.74 de	281.42±4.57 de
W1F2	60.34±0.65 c	9.86±0.19 b	3.96±0.17 b	1.63±0.67 b	314.85±5.24 b
W2F2	67.53±0.74 a	10.46±0.32 a	4.46±0.22 a	1.86±1.42 a	325.43±2.65 a
W3F2	62.56±0.86 b	10.21±0.41 ab	4.38±0.18 ab	1.35±0.72 c	296.47±3.76 c
W1F3	55.48±0.52 gh	8.86±0.28 fg	3.36±0.23 fg	0.96±0.58 gh	250.54±2.85 fg
W2F3	57.52±0.43 f	9.15±0.34 ef	3.45±0.19 ef	0.98±0.46 fg	254.17±3.14 f
W3F3	54.36±0.44 h	8.57±0.25 g	3.27±0.24 g	0.84±0.82 h	238.62±3.05 g

性固形物和可溶性蛋白质含量有极显著影响,对维生素 C 与游离氨基酸含量有显著影响;不同施肥水平对可溶性糖、维生素 C、游离氨基酸含量有极显著影响,对可溶性固形物、可溶性蛋白质

含量有显著影响;水肥互作对维生素 C 与可溶性蛋白质含量有极显著影响,对可溶性糖含量有显著影响,而对可溶性固形物与游离氨基酸含量的影响不显著。

表5 水、肥及其交互作用对辣椒品质影响的方差分析(*F*值)

Table 5 Variance analysis of the effects of water, fertilizer and their interaction on quality of pepper

因素	自由度	品质指标				
		可溶性糖含量	可溶性固形物含量	维生素 C 含量	可溶性蛋白质含量	游离氨基酸含量
水分	2	167.48**	54.78**	41.57*	187.63**	257.46*
肥料	2	287.64**	36.49*	156.48**	96.76*	748.85**
水分×肥料	4	86.53*	10.25	98.74**	287.58**	33.64

### 3 讨论与结论

笔者试验采用田间持水量 65%~80%的 W2 处理与理论施肥量 F2(N 330 kg·hm<sup>-2</sup>+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180 kg·hm<sup>-2</sup>+K<sub>2</sub>O 285 kg·hm<sup>-2</sup>)组成的 W2F2 水肥用量组合,结果表明,辣椒叶片最大量子产额(*F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>*)和 PSII 潜在活性(*F<sub>v</sub>/F<sub>o</sub>*)均高于其他处理,这说明由不同的水肥用

量与基质耦合共同组成的生长环境,营养配比组分在数量上存在较大差异,从而导致植株根系对养分与水分的吸收能力不同。采用 W2F2 处理,更有利于辣椒植株对水分与养分的吸收,水肥耦合产生了叠加作用;而由较高灌水量(W1)与较低灌水量(W3)组成的水肥处理组合(W1F1、W1F2、W1F3、W3F1、W3F2、W3F3),因水肥组分营养失调使辣椒

生长的基质环境产生逆境胁迫,导致植株对水分与养分的吸收产生生理障碍,具体反映为  $F_v/F_m$  与  $F_v/F_o$  数值大小存在较大差异,这与陈修斌等<sup>[14]</sup>在番茄上的研究结果相一致。

不同用量的水肥配比处理是通过水肥间的促进效应来达到提高作物生长与产量的效果,合理的灌水与施肥能够高产与增收<sup>[15]</sup>。本试验中以 W2F2 处理的辣椒株高、茎粗显著高于其他处理,究其原因主要是该处理下的辣椒保持较强的光化学效率与生理代谢水平,植株生长发育加快,促进了植株高度的增加与茎的加粗生长,水肥的互作效应对株高与茎粗的影响呈显著与极显著差异。由于辣椒光合效率的提高,营养物质的贮藏与转化增加,因此 W2F2 处理在单株结果数、单株产量和 667 m<sup>2</sup> 产量等性状数值上也高于其他处理,说明合理水肥配比,有“以水促肥,以肥调水”的作用,能达到水肥高效利用的目的。水肥交互作用对辣椒结果数量、单株产量和 667 m<sup>2</sup> 产量均有不同程度的影响,这与张富仓等<sup>[16]</sup>的研究结论相一致。在所有处理中,以 W2F2 条件下的辣椒产量最高,这表明该处理最适合于辣椒对营养元素的吸收,其他配比由于水肥的用量不同,导致营养与水分配比失衡,从而使营养元素之间产生拮抗作用,影响了辣椒对营养元素的吸收,进而表现出植株形态性状与产量的差异,这与陈伦寿等<sup>[17]</sup>的研究结论相吻合。

可溶性糖含量是光合作用的重要产物,在物质代谢中有着重要作用,果实的可溶性固形物与可溶性糖含量也存在一定关系<sup>[18-19]</sup>。笔者的研究中,以中等施肥水平组成的水肥处理组合(W1F2、W2F2、W3F2)的可溶性固形物、可溶性糖含量均高于由较高施肥水平和较低施肥水平组成的水肥处理组合,说明由于水肥组成的用量不同,导致其营养成分的积累有较大差异。维生素 C 含量是衡量辣椒品质的重要指标,灌水或施肥过多、过少都会引起辣椒果实维生素 C 含量的差异。可溶性蛋白质和游离氨基酸含量可以反映植株体内氮素代谢水平,水肥配比失衡时会导致氮素代谢发生障碍,本研究中以 W2F2 处理的辣椒维生素 C 含量最高,可溶性蛋白质和游离氨基酸含量均显著高于其他处理,说明 W2F2 处理的水肥环境促进了辣椒从基质中吸收水分与养分的能力,植株保持较高的代谢水平,增加果实营养物质的贮藏与转化,从而提高品质,这与李恭峰等<sup>[20]</sup>、曾化伟等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。

笔者的试验结果表明,采用 W2F2 组成的水肥处理,辣椒叶片保持较高的光化学效率与生理代谢水

平,株高、茎粗等农艺性状与 667 m<sup>2</sup> 产量表现最优,果实中可溶性糖、可溶性固形物、维生素 C、可溶性蛋白质和游离氨基酸含量也高于其他处理。这一研究结果,可为本地区戈壁温室辣椒基质栽培中实现水肥科学调控及高产优质化生产提供理论指导。

### 参考文献

- [1] 沈亚楠,仇梦梦,岳耀杰.中国北方土地沙漠化灾害危险性评价[J].干旱区研究,2017,34(1):174-184.
- [2] 马丽荣,梁伟,赵有彪.基于农业供给侧改革视角下甘肃省戈壁农业发展展望[J].甘肃农业科技,2019(7):83-88.
- [3] OZBAHCE A, TARI A F. Effects of different emitter space and water stress on yield and quality of processing tomato under semi-arid climate conditions[J]. Agricultural Water Management. 2010. 97(9): 1405-1410.
- [4] 陈修斌,蒋梦婷,尹鑫,等.水氮配施对绿洲温室黄瓜氮素代谢及产量品质的影响[J].土壤与作物,2021,10(1):79-90.
- [5] 李琨,郁继华,颀建明,等.不同灌水下限对日光温室有机生态型无土栽培辣椒生长指标的影响[J].甘肃农业大学学报,2011,46(2):41-44.
- [6] 李培.无土栽培不同基质与施肥配方对辣椒产量及品质的影响[D].长沙:湖南农业大学,2008.
- [7] 陈修斌,尹鑫,刘珍伶,等.水氮合理配合对旱区温室番茄土壤酶活性与水氮利用效率的影响[J].西北农业学报,2019,28(6):972-980.
- [8] 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.
- [9] 陆军胜,邹海洋,张富仓,等.水氮供应对温室辣椒生长、产量和品质的影响[J].西北农业学报,2018,27(8):1192-1201.
- [10] 李静,张富仓,江明杰,等.水氮供应对温室黄瓜氮素吸收及土壤硝态氮分布的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(3):52-58.
- [11] 韦泽秀,梁银丽,周茂娟,等.水肥组合对日光温室黄瓜叶片生长和产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(3):69-74.
- [12] KRAUSE G H, WEIS E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1991, 42: 313-349.
- [13] 高俊凤.植物生理学实验技术[M].西安:世界图书出版公司,2000:153-196.
- [14] 陈修斌,杨彬,许耀照,等.两种有机肥对荒漠温室番茄光合特性与产量品质的影响[J].甘肃农业大学学报,2019,54(2):89-95.
- [15] HEBBAR S S, RAMACHANDRAPPA B K, NANJAPPA H V, et al. Studies on NPK drip fertigation in field grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. ) [J]. European Journal of Agronomy, 2004, 21(1): 117-127.
- [16] 张富仓,高月,焦婉如,等.水肥供应对榆林沙土马铃薯生长和水肥利用效率的影响[J].农业机械学报,2017,48(3):270-278.
- [17] 陈伦寿,陆景陵.蔬菜营养与施肥技术[M].北京:中国农业出版社,2002.
- [18] 左文博,吴静利,杨奇,等.干旱胁迫对小麦根系活力和可溶性糖含量的影响[J].华北农学报,2010,25(6):191-193.
- [19] 王天奎.番茄高可溶性固形物代谢途径中相关基因的克隆和分析[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [20] 李恭峰,高亚新,李欣然,等.增施硫酸钾对日光温室水果辣椒生长与果实品质的影响[J].中国瓜菜,2022,35(5):68-73.
- [21] 曾化伟,张恩让,谭亮萍,等.土壤水分含量与施氮量对辣椒产量与品质的影响[J].安徽农业科学,2007,35(12):3614-3617.