

# 灌溉方式及施肥量对食用玫瑰生长、生理和产量的影响

毛译, 杨启良, 陈绍民, 谭帅, 张炎, 王若亚  
(昆明理工大学 现代农业工程学院, 云南 昆明 650500)

**摘要:** 为探究食用玫瑰 (*Rosa rugosa* Thunb.) 生长、生理和产量对灌溉方式与施肥量的响应特征, 以两年生“墨红”食用玫瑰作为试验材料, 设灌溉方式 (微喷灌 W; 滴灌 D) 和施肥量 (F0、F1、F2、F3 分别为 0、60、135、225 kg/hm<sup>2</sup>) 2 因素完全组合试验方案进行研究。结果表明: 灌溉方式与施肥量对“墨红”食用玫瑰株高、茎粗有显著影响 ( $P < 0.05$ ), WF3 处理有利于“墨红”食用玫瑰株高的增长, DF3 处理有利于其茎粗的生长。各生育期, 灌溉方式与施肥量均对食用玫瑰净光合速率有显著影响 ( $P < 0.05$ ), 其中食用玫瑰净光合速率和蒸腾速率在现蕾期达到峰值, DF2 处理的净光合速率最高 (17.93  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ), DF3 处理的蒸腾速率最高 (6.10  $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )。灌溉方式与施肥量的交互效应对“墨红”食用玫瑰叶片类胡萝卜素含量和叶绿素含量影响显著 ( $P < 0.05$ ), DF2 处理下叶绿素和 DF1 处理下类胡萝卜素含量水平较高, 分别为 1.83 和 0.30 mg/g。滴灌方式下食用玫瑰总产量高于微喷灌方式, 且随施肥量的增加总产量呈现先增后减的趋势, DF2 处理的总产量最高 (11 036 kg/hm<sup>2</sup>)。综合比较表明, DF2 为避雨设施大棚条件下“墨红”食用玫瑰适宜的灌溉方式和施肥量组合。

**关键词:** 食用玫瑰; 灌溉方式; 施肥量; 生长特征; 生理特征; 产量

中图分类号: S274.3; S147.22

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2023)04-0209-08

## Effects of irrigation method and fertilization rate on growth, physiology and yield of the edible rose (*Rosa rugosa* Thunb.)

MAO Yi, YANG Qiliang, CHEN Shaomin, TAN Shuai, ZHANG Yan, WANG Ruoya

(Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

**Abstract:** In order to investigate the response characteristics of the growth, physiology and yield of the edible rose (*Rosa rugosa* Thunb.) to the irrigation methods and fertilization rates, the complete combinations of two different irrigation methods (micro-sprinkler irrigation, W; drip irrigation, D) and 4 fertilization rates (F0 = 0, F1 = 60, F2 = 135 and F3 = 225 kg/hm<sup>2</sup>) were tested using a 2-year-old edible rose cultivar “crimson glory” as the experimental material. The results showed that the irrigation method and fertilization rate had a significant effect on the plant height and stem diameter of “crimson glory” ( $P < 0.05$ ), WF3 treatment was beneficial to the plant height growth of “crimson glory”, whereas DF3 treatment was conducive to the stem diameter. At all growth stages, irrigation methods and fertilization rates had a significant effect on the net photosynthetic rate of the edible rose ( $P < 0.05$ ), and the net photosynthetic rate and transpiration rate of the edible rose peaked at the budding stage, with the net photosynthetic rate reaching the highest (17.93  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) under DF2 and the transpiration rate achieving the highest (6.10  $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) under DF3 treatment. Moreover, the interaction between the irrigation method and fertilization rate had a significant effect on the carotenoid content and chlorophyll content of the edible rose leaves ( $P < 0.05$ ), and the contents of chlorophyll and carotenoids were

收稿日期: 2023-02-06; 修回日期: 2023-05-16

基金项目: 云南省高校特色作物高效用水与绿色生产重点实验室项目 (KKPS201923009); 云南省基础研究重点项目 (202201AS070034)

作者简介: 毛译 (1995—), 男, 湖南株洲人, 硕士研究生, 主要从事农业节水灌溉与智能化测控技术研究。

通讯作者: 陈绍民 (1989—), 男, 四川遂宁人, 博士, 讲师, 研究方向为农业水土资源高效利用。

relatively high under DF2 and DF1 treatment, which were 1.83 and 0.30 mg/g, respectively. The total yield of the edible rose under drip irrigation was higher than that under micro-sprinkler irrigation, which increased first and then decreased with the increase of the fertilization rate. In addition, the total yield of DF2 treatment was the highest (11 036 kg/hm<sup>2</sup>), indicating that DF2 is the suitable combination of irrigation method and fertilization rate for “crimson glory” under the condition of rain shelter greenhouse.

**Key words:** edible rose (*Rosa rugosa* Thunb.); irrigation method; fertilization rate; growth characteristics; physiological characteristics; yield

## 1 研究背景

食用玫瑰 (*Rosa rugosa* Thunb.) 作为云南省特色经济作物,近几年来已成为云南花卉产业中发展迅速且经济效益突出的产品,省内各地食用玫瑰的种植面积已超过 4 000 hm<sup>2</sup>,为当地农户带来不菲的经济效益<sup>[1]</sup>。但是,由于种植者在食用玫瑰种植方面缺乏一定的理论知识和科学的管理技术,从而限制了食用玫瑰的产量和品质的提高。而合理的水肥调控可以有效改善不同品种玫瑰的产量和品质<sup>[2-3]</sup>,因此,如何提高食用玫瑰对水肥的高效利用是生产中面临的关键问题之一。

滴灌与微喷灌技术因可有效实现节水灌溉,同时易于实现水肥的自动化控制而被广泛应用于农作物的水肥管理<sup>[4-5]</sup>。大量研究表明,地表滴灌不受地形和土壤条件的制约<sup>[6]</sup>,还能有效提高水分利用效率。此外,相比于传统畦灌,滴灌能够实现根区的精准灌溉,从而显著改善作物根区的水分环境,对粮食作物和经济作物的干物质积累与产量提高有显著作用<sup>[7-9]</sup>,而微喷灌应用于玉米等作物的种植灌溉管理中,可以有效提高其产量与经济效益<sup>[10]</sup>。滴灌和微喷灌相较于传统地面灌溉而言,还能灵活协调水肥之间的配比,有利于植株生长、提高叶片同化积累量,增强作物后期的抗逆能力<sup>[11-12]</sup>。

另一方面,施肥作为影响植株生长的重要因素<sup>[13-14]</sup>,对玫瑰的生长、生理及产量的形成有着重要影响。国内外学者就单一养分的用量及施肥浓度对玫瑰产量的影响研究较多,如:叶面喷施浓度为 4~6 g/L 的氮肥,可以显著提高月季的产量积累、可溶性糖以及叶绿素含量,但当浓度达到 8 g/L 时会阻碍月季的生长<sup>[15]</sup>;在微量元素方面<sup>[16]</sup>,施肥时添加硼肥可以显著改善玫瑰生长状况和提高产量,但当土壤硼肥含量超过 4 mg/kg 时会出现较轻毒性症状,叶片出现浸湿斑点现象。上述结果表明,施入适量的单一营养元素有利于玫瑰生长、改善玫瑰品质并显著提高玫瑰产量。氮肥作为当前种植业中投入量最大的肥料之一,对于植物体内酶、激素等多种

蛋白质的合成有着重要的作用<sup>[17-18]</sup>,但实践中氮肥的大量投入存在土壤酸化、地下水污染和作物减产等潜在风险<sup>[19-20]</sup>。相对于花农习惯施肥量,氮肥减量 25% 施用,可增加玫瑰产量,但增加幅度与品种相关<sup>[21]</sup>。磷肥、钾肥的投入对于玫瑰生长也有显著影响,如磷肥亏缺将使干物质向根系转移,钾肥亏缺将导致根系的活力大幅下降<sup>[22]</sup>。同时,玫瑰第 1 次采花之后追加氮、磷、钾复合肥能有效提高玫瑰的产量<sup>[23]</sup>。因此,重视大量元素复合肥在全生育期的合理投入有助于食用玫瑰的提质增效。

综上所述,目前更多研究聚焦于施肥单一因素对于玫瑰生长等方面的影响,但是对于灌溉方式与施肥量的双因素如何影响玫瑰在生长、生理和生育期产量方面的研究鲜见报道。另外,在露地栽培的模式下,自然降雨对玫瑰的病害发生有着严重影响<sup>[24]</sup>。因此,本文在避雨设施条件下,以云南省主栽品种之一“墨红”食用玫瑰为研究对象,研究相同灌溉水量情况下不同灌溉方式及施肥量对食用玫瑰生长特性、生理特性和产量的影响,旨在探究避雨栽培条件下食用玫瑰生产中适宜的灌溉方式与施肥量,为食用玫瑰的高效种植提供一定的科学指导。

## 2 试验材料与方法

### 2.1 试验区简介

试验于 2021 年 10 月至 2022 年 9 月在云南省昆明市昆明理工大学呈贡校区现代农业工程学院智慧农业试验基地(102°86'39"E,24°84'47"N)的避雨塑料大棚中开展。试验基地地处北纬低纬度,属亚热带高原季风气候,干湿分明且降雨集中,试验地平均海拔为 1 992 m,试验期间平均湿度为 72.9%,年平均气温为 22.3℃,年日照时数为 3 551 h。试验地土壤 pH 值为 7.4,田间持水量(体积含水量)为 35.2%,土壤养分状况为硝态氮(17.8 mg/kg)、速效磷(14.9 mg/kg)、速效钾(134 mg/kg)。试验品种选用长势一致的 2 年生“墨红”食用玫瑰。试验所用供试化肥选用四川什邡德美实业股份有限公司生产的大量元素

水溶肥(含N—P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>—K<sub>2</sub>O为21—21—21)。

## 2.2 试验设计

将食用玫瑰生育期分为萌芽期(10月—次年2月)、展叶期(3月—4月)、现蕾期(5月)、盛花期(6月—8月)、花末期(9月)。全生育期设置4个施肥总量,分别为F0(不施肥)、F1(840 kg/hm<sup>2</sup>)、F2(1 890 kg/hm<sup>2</sup>)、F3(3 150 kg/hm<sup>2</sup>),设置两种灌溉方式:微喷灌(W)和滴灌(D)。采用2因素完全组合设计,共8个处理。试验地共为8个处理区域,每个试验处理区域垄宽1.5 m,垄长11.0 m,密度约为60 000株/hm<sup>2</sup>,每个处理重复3次。10月采用滴灌进行一致的缓苗水处理,11月进行试验灌溉方式处理。在滴灌方式区域,每垄于食用玫瑰种植点处间隔0.2 m安设1条滴灌带,共安设4条用于灌水和施肥;在微喷灌方式区域,每垄安装4个喷头仅用于灌水并安设4条滴灌带用于滴灌施肥。滴灌带采用市面可购买种类,滴头间距为20 cm,滴头流量为3 L/h。3月初开始施肥处理,每月灌水4次,施肥2次,单次灌水水量为22.5 mm,试验期间共灌水44次,施肥14次,总灌水水量为990 mm。具体试验设计见表1。

表1 “墨红”食用玫瑰灌溉施肥试验设计

处理	单次灌水量/mm	灌水次数	灌水总量/mm	单次施肥量/施肥次数 (kg·hm <sup>-2</sup> )	施肥总量/施肥次数 (kg·hm <sup>-2</sup> )	
WF0	22.5	44	990	0	14	0
WF1	22.5	44	990	60	14	840
WF2	22.5	44	990	135	14	1890
WF3	22.5	44	990	225	14	3150
DF0	22.5	44	990	0	14	0
DF1	22.5	44	990	60	14	840
DF2	22.5	44	990	135	14	1890
DF3	22.5	44	990	225	14	3150

注:W表示微喷灌处理,D表示滴灌处理;下同。

## 2.3 测定指标及方法

2.3.1 食用玫瑰生长生理指标 形态指标(株高、茎粗):各处理选取初始长势一致的3株植株连续测定,自2021年11月至2022年9月,每月15日测量1次。

株高采用刻度尺(精度为0.01 cm)测量植株顶部到土层表面的垂直高度,茎粗采用游标卡尺(精度为0.02 mm)量取离地面1 cm处的主干直径。

光合参数:自展叶期(3月)到花末期(9月)各生育期期间于晴朗无云的天气条件下(8:00至12:00)采用Li-6400便携式光合仪(LI-COR,美国生产制造)测量“墨红”食用玫瑰的净光合速率和蒸

腾速率。每个处理随机选取长势一致的植株3株,并于同一株上挑选相同部位的无病害且长势、叶面积基本一致的叶子进行测量,重复3次。

光合色素含量:采用乙醇-丙酮浸取和紫外可见分光光度法,在现蕾期(5月),取健康、成熟且长势基本一致的叶子测定叶绿素和类胡萝卜素含量<sup>[25]</sup>。

2.3.2 产量 展叶期(3月)至花末期(9月),各处理划定5.5 m<sup>2</sup>区域,每周收集区域内完全盛开的花朵并称量,每个处理重复3次。

## 2.4 数据处理

使用Microsoft Excel 2017记录数据、整合并计算;采用SPSS 25.0(IBM)统计软件进行数据处理,其中包括计算双因素方差分析(two-way analysis of variance)与Duncan多重比较,采用Origin20.0进行图像绘制。

## 3 结果与分析

### 3.1 灌溉方式和施肥量对食用玫瑰形态指标的影响

“墨红”食用玫瑰的株高、茎粗随着不同生育期而变化,各处理水肥耦合对食用玫瑰形态指标的影响及其方差分析分别见图1和表2。

由图1可知,在展叶期(3月),DF2处理下株高最高,为23.54 cm,DF1处理下主茎最粗,为0.743 mm;在花末期(9月),WF3处理下株高最高,为29.46 cm,DF3处理下主茎最粗,为1.070 cm。相同施肥量条件下,在展叶期,滴灌方式下的株高均高于微喷灌方式,滴灌方式下的茎粗也大于微喷灌方式(F2处理除外);在花末期,滴灌方式下的株高大于微喷灌方式(F3处理除外),滴灌方式下的茎粗均高于微喷灌方式。微喷灌处理条件下,在展叶期,随着施肥量的增大,株高呈现先增后减的趋势,各处理株高表现为F0 < F2 < F1 < F3;在花末期,株高与施肥量呈正相关。滴灌处理条件下,展叶期与花末期食用玫瑰株高均随施肥量的增加而呈现先增大后减小的趋势,各处理株高表现为F0 < F1 < F3 < F2。

由表2可以看出,灌溉方式对食用玫瑰展叶期株高和茎粗有极显著影响( $P < 0.01$ ),对花末期株高和茎粗有显著影响( $P < 0.05$ );施肥对食用玫瑰展叶期株高和茎粗无显著影响( $P > 0.05$ ),对花末期株高有极显著影响( $P < 0.01$ ),对花末期茎粗有显著影响( $P < 0.05$ );灌溉方式与施肥量的交互作用对展叶期株高和花末期茎粗无显著影响( $P > 0.05$ ),对展叶期茎粗和花末期株高有极显著影响( $P < 0.01$ )。

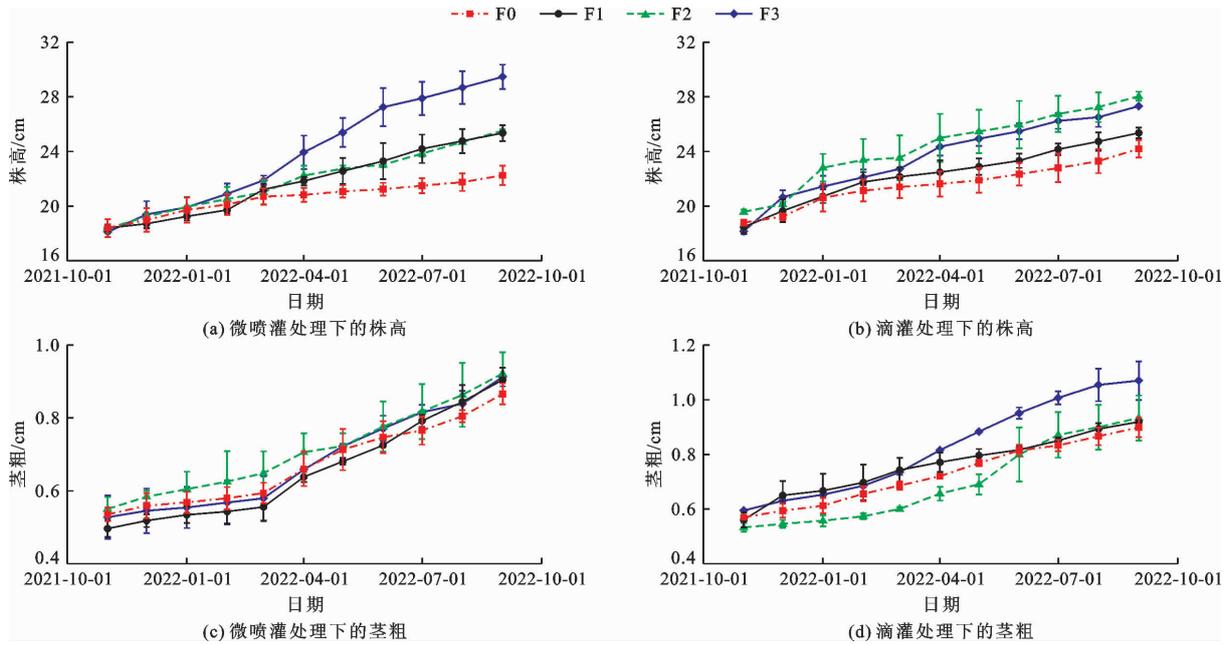


图1 试验期各处理水肥耦合对食用玫瑰形态指标的影响

表2 水肥耦合对食用玫瑰形态指标影响方差分析

因子	展叶期		花末期	
	株高	茎粗	株高	茎粗
I	14.32**	37.33**	4.76*	7.35*
F	3.22	0.79	16.79**	5.28*
I × F	1.68	10.91**	15.71**	3.04

注:(1) I表示灌溉方式,F表示施肥量,下同。(2)“\*”和“\*\*”分别表示影响显著( $P < 0.05$ )和影响极显著( $P < 0.01$ ),下同。

### 3.2 灌溉方式和施肥量对食用玫瑰光合特性的影响

各生育期灌溉方式和施肥量对“墨红”食用玫瑰光合特性的影响及其方差分析分别见表3、4。

由表3可知,同一施肥量下,食用玫瑰在展叶期至盛花期滴灌方式处理净光合速率大于微喷灌方式,DF2处理现蕾期的净光合速率达到最高值,为 $17.93 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;花末期微喷灌方式下净光合速率显著高于滴灌方式,WF2的净光合速率最高,

表3 各生育期灌溉方式和施肥量对食用玫瑰光合特性影响

处理	净光合速率/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$				蒸腾速率/ $(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$			
	展叶期	现蕾期	盛花期	花末期	展叶期	现蕾期	盛花期	花末期
WF0	7.93 de	8.60 e	8.47 d	9.03 c	3.07 d	2.84 d	3.89 d	3.05 d
WF1	8.94 cd	12.32 c	10.02 bc	11.39 a	4.09 bcd	4.86 abc	4.84 bc	4.01 bc
WF2	8.41 cde	11.32 cd	11.80 ab	11.78 a	4.91 abc	4.58 bc	5.96 a	4.61 a
WF3	7.55 e	12.11 c	11.60 ab	11.70 a	4.07 bcd	4.41 bc	6.08 a	4.34 ab
DF0	10.39 b	10.23 d	9.02 c	8.75 c	3.46 cd	3.68 cd	4.71 cd	3.68 c
DF1	9.60 bc	15.51 b	11.07 b	10.11 b	4.90 abc	5.31 ab	5.68 ab	4.48 a
DF2	11.99 a	17.93 a	13.14 a	11.65 a	5.10 ab	5.05 abc	5.99 a	4.41 ab
DF3	13.05 a	17.83 a	13.16 a	11.45 a	6.09 a	6.10 a	4.91 b	4.33 ab

注:表中不同字母表示差异性显著,下同。

表4 各生育期灌溉方式和施肥量对食用玫瑰光合特性影响方差分析

处理	净光合速率/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$				蒸腾速率/ $(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$			
	展叶期	现蕾期	盛花期	花末期	展叶期	现蕾期	盛花期	花末期
I	11.92**	21.97**	6.62*	4.86*	6.48*	7.29*	0.061	5.69*
F	4.61*	18.72**	16.33**	34.58**	4.04*	8.21**	10.91**	29.01**
I × F	13.20**	3.67*	0.25	1.51	3.64*	0.83	6.15**	4.27*

为  $11.78 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。同一灌溉方式下,净光合速率随着施肥量的增加,呈现先增大后减小的趋势。在微喷灌处理下,现蕾期和盛花期 F1、F2、F3 施肥量处理比不施肥处理 F0 显著提高了食用玫瑰的净光合速率,现蕾期分别提高了 43.3%、31.6% 和 40.8% ( $P < 0.05$ );盛花期分别提高了 18.3%、39.3% 和 37.0% ( $P < 0.05$ )。在滴灌处理下,现蕾期 F1、F2、F3 施肥量处理比不施肥处理 F0 的净光合速率分别显著提高了 51.6%、75.3% 和 74.3% ( $P < 0.05$ );同样在盛花期净光合速率分别显著提高了 22.7%、45.7% 和 45.9% ( $P < 0.05$ )。由表 3 还可以看出,同一施肥量下,总体表现为滴灌方式下的叶片蒸腾速率较微喷灌方式更高,生育期内盛花期叶片蒸腾速率处于较高水平。除 F3 处理下的微喷灌方式高于滴灌方式外,其余处理均表现为滴灌方式高于微喷灌方式 ( $P < 0.05$ )。同一灌溉方式下,蒸腾速率总体随施肥量的增大呈先增后减的趋势,微喷灌 F0 ~ F3 处理下花末期的蒸腾速率分别为  $3.05$ 、 $4.01$ 、 $4.61$  和  $4.34 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;滴灌 F0 ~ F3 处理下花末期的蒸腾速率为  $3.68$ 、 $4.48$ 、 $4.41$  和  $4.33 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

表 4 中的方差分析表明,灌溉方式对食用玫瑰展叶期和现蕾期净光合速率影响极显著 ( $P < 0.01$ ),对盛花期和花末期净光合速率影响显著 ( $P < 0.05$ );施肥量对食用玫瑰展叶期净光合速率影响显著 ( $P < 0.05$ ),对现蕾期、盛花期和花末期净光合速率影响极显著 ( $P < 0.01$ );灌溉方式和施肥量的交互作用对展叶期叶片净光合速率影响极显著 ( $P < 0.01$ ),对现蕾期净光合速率影响显著 ( $P < 0.05$ ),对盛花期和花末期净光合速率无显著影响 ( $P > 0.05$ )。灌溉方式对食用玫瑰展叶期、现蕾期和花末期叶片蒸腾速率的影响显著 ( $P < 0.05$ );施肥量对展叶期叶片蒸腾速率影响显著 ( $P < 0.05$ ),对现蕾期、盛花期和花末期影响极显著 ( $P < 0.01$ );灌溉方式和施肥量的交互作用对食用玫瑰展叶期和花末期叶片蒸腾速率影响显著 ( $P < 0.05$ ),对盛花期影响极显著 ( $P < 0.01$ )。

### 3.3 灌溉方式和施肥量对食用玫瑰叶绿素、类胡萝卜素含量的影响

各处理不同灌溉方式和施肥量对“墨红”食用玫瑰现蕾期叶绿素、类胡萝卜素含量的影响及其方差分析分别见表 5、6。

分析表 5 可知,在“墨红”食用玫瑰现蕾期,相同施肥量下,叶绿素 *b* 含量与类胡萝卜素整体表现为滴

灌处理较微喷灌处理更高,除 F1 处理微喷灌方式下的叶绿素 *a* 含量高于滴灌方式之外,其余处理均为滴灌方式下的叶绿素 *a* 含量高于微喷灌方式。相同灌溉方式下,叶绿素 *a*、叶绿素 *b* 和类胡萝卜素含量随施肥量呈现出先增大后减小的趋势,其中 DF2 方式下的叶绿素 *a* 含量最高,为  $1.43 \text{ mg/g}$ ,DF1 的叶绿素 *b* 和类胡萝卜素的含量最高,分别为  $0.41$ 、 $0.30 \text{ mg/g}$ 。相同灌溉方式下,相对于不施肥处理 F0,施肥量 F1、F2 处理的总叶绿素含量显著升高 ( $P < 0.05$ ),施肥量 F3 处理的总叶绿素含量无显著差异 ( $P > 0.05$ )。表 6 中方差分析表明,灌溉方式、施肥量单因素对食用玫瑰总叶绿素和类胡萝卜素的影响极显著 ( $P < 0.01$ ),二者的交互作用对食用玫瑰总叶绿素和类胡萝卜素含量影响显著 ( $P < 0.05$ )。

表 5 灌溉方式和施肥量对食用玫瑰叶绿素、类胡萝卜素含量的影响  $\text{mg/g}$

处理	叶绿素 <i>a</i>	叶绿素 <i>b</i>	总叶绿素	类胡萝卜素
WF0	1.18 cd	0.28 d	1.46 c	0.17 e
WF1	1.41 a	0.30 c	1.71 ab	0.24 c
WF2	1.42 a	0.33 bc	1.75 a	0.25 c
WF3	1.04 d	0.29 c	1.33 c	0.21 d
DF0	1.21 c	0.32 c	1.52 bc	0.19 d
DF1	1.36 ab	0.41 a	1.77 a	0.30 a
DF2	1.43 a	0.39 ab	1.83 a	0.28 b
DF3	1.39 a	0.33 bc	1.72 ab	0.22 d

表 6 灌溉方式和施肥量对食用玫瑰叶绿素、类胡萝卜素含量影响的方差分析

处理	叶绿素 <i>a</i>	叶绿素 <i>b</i>	总叶绿素	类胡萝卜素
I	4.94*	13.49**	11.50**	17.49**
F	9.87**	3.62*	12.25**	18.74**
I×F	5.75**	1.02*	3.69*	4.56*

### 3.4 灌溉方式和施肥量对食用玫瑰产量的影响

不同处理下各生育期食用玫瑰产量如表 7 所示。由表 7 可知,食用玫瑰在各生育期的产量呈波动变化。在展叶期,微喷灌方式下的产量随着施肥量的增大而升高,而在滴灌方式下,产量随着施肥量的增大呈先升高再降低的趋势。在展叶期,微喷灌方式下 F3 处理获得最高产量  $3408 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ,较 F0、F1 和 F2 处理分别增产了 102.0%、45.4% 和 17.2%;滴灌方式下 F1 处理的产量最高,为  $3057 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ,较 F0、F2 和 F3 分别增产了 28.6%、40.2%

和44.1%。在现蕾期与盛花期,滴灌和微喷灌方式下,均以F2处理产量最高,在现蕾期,微喷灌方式下F2处理的产量为3 087 kg/hm<sup>2</sup>,相较于F0、F1、F3分别增产了58.6%、5.7%、27.5%;滴灌方式下F2处理的产量为3 643 kg/hm<sup>2</sup>,较F0、F1、F3分别增产了48.9%、4.9%、29.5%。在盛花期,微喷灌方式下F2处理的产量为3 723 kg/hm<sup>2</sup>,较F0、F1、F3分别增产了205.4%、20.2%、31.3%;滴灌方式下F2处理的产量为4 793 kg/hm<sup>2</sup>,较F0、F1、F3分别增产了136.6%、33.1%、1.1%。食用玫瑰进入花末期后产量大幅降低,两种灌溉方式条件下,均以F3处理的产量更优。从灌溉方式来看,相同施肥量下,现蕾期和盛花期滴灌方式下产量显著高于微喷灌方式( $P < 0.05$ )。在食用玫瑰总产量上,微喷灌方式下F2处理的总产量最高(10 330 kg/hm<sup>2</sup>),显著高于F0、F1和F3;滴灌方式下F2处理的总产量最高,为11 036 kg/hm<sup>2</sup>。

表7 不同处理下各生育期食用玫瑰产量 kg/hm<sup>2</sup>

处理	展叶期	现蕾期	盛花期	花末期	总产量
WF0	1687 d	1947 d	1219 f	260 d	5113 e
WF1	2344 c	2921 b	3097 cd	583 b	8945 c
WF2	2909 b	3087 b	3723 b	611 ab	10330 ab
WF3	3408 a	2421 c	2835 d	666 a	9330 c
DF0	2377 c	2447 c	2026 e	265 d	7115 d
DF1	3057 ab	3472 a	3601 bc	387 c	10516 ab
DF2	2180 c	3643 a	4793 a	420 c	11036 a
DF3	2122 c	2814 b	4741 a	442 c	10119 b

## 4 讨论

水肥作为食用玫瑰的重要生长条件,对其生长及生理产生着协同作用,本研究探究灌溉方式和施肥量对于“墨红”食用玫瑰生长、生理和产量的影响。研究表明,微喷灌方式有利于“墨红”食用玫瑰株高的增长,在WF3处理条件下获得最大株高(图1(a));而滴灌处理更有利于茎粗的形成,DF3处理获得最大茎粗(图1(d))。这与仙鹤等<sup>[26]</sup>开展的食用百合生长特征对不同灌溉方式响应的研究结果有所不同,原因是本研究是在温室大棚中开展试验,与文献<sup>[26]</sup>研究中的种植环境不同。

研究表明,光合作用是植物生理代谢过程和营养物质积累的重要途径之一<sup>[27]</sup>。在灌溉方式与施肥量对于食用玫瑰光合参数的影响方面,本试验结

果显示,在“墨红”食用玫瑰的花末期微喷灌方式下净光合速率显著高于滴灌方式,这与张川等<sup>[28]</sup>的研究结论相同,但与在传统灌溉方式下对净光合速率的研究结果有所不同,可能是由于微喷灌方式能减少叶片的高温胁迫、增加空气湿度,从而更有利于叶片进行光合作用。蒸腾速率方面,滴灌方式下蒸腾速率显著高于微喷灌处理,可能是由于微喷灌处理导致水分存在作物冠层截留损失<sup>[29]</sup>,植株供水不足,从而导致气孔关闭,影响蒸腾速率,这与谭娟等<sup>[30]</sup>和Reddy等<sup>[31]</sup>的研究结论相符。从施肥量方面来看,“墨红”食用玫瑰在展叶期DF3处理下的净光合速率和蒸腾速率最高。这可能是由于展叶期叶片为生长中心,在该生长期适当提高施肥量有利于叶片营养物质的合成与转运,可极大程度地促进食用玫瑰的净光合速率和蒸腾速率<sup>[32]</sup>。

叶绿素和类胡萝卜素是植株进行光合作用的重要化学物质。试验结果表明,“墨红”食用玫瑰在DF2处理下的总叶绿素含量最高,在DF1处理下的类胡萝卜素含量最高,究其原因,一方面是由于滴灌更有利于植株的冠层发育,能有效促进叶绿素和类胡萝卜素的积累,这与任玉忠等<sup>[33]</sup>的研究结论一致;另一方面是由于氮素是构成叶绿素的重要矿质元素,合理增加氮肥可以延缓叶片衰老,提高叶绿素含量,但是过量的氮肥会破坏叶片的片层结构与叶肉细胞,削弱叶绿素的生物合成过程,从而导致叶片光合素含量的降低<sup>[34-36]</sup>。所以,合理的灌溉方式和施肥量有利于叶绿素和类胡萝卜素的合成,能促进更多同化物质的形成与积累。

本试验研究结果表明,“墨红”食用玫瑰在现蕾期和盛花期滴灌方式下的产量更高,其主要原因可能是现蕾期和盛花期为其生殖生长阶段,滴灌方式下能为花的生长提供更多的光合产物(表5)。在花末期,微喷灌方式下的产量更高,这与以往对不同灌溉方式下食用玫瑰产量的相关研究结果有所不同,可能与“墨红”食用玫瑰在生长后期对水分的需求降低有关<sup>[37]</sup>。施肥量也是影响产量的重要因素之一,本研究中两种灌溉方式下的产量均随施肥量的增加呈先增后减的趋势,微喷灌方式与滴灌方式下均以F2施肥量处理的总产量最高。其原因是施肥量对于食用玫瑰的生长有一定的阈值效应,当施肥量未达到阈值时,合理地增加施肥量可以有效提高作物产量<sup>[38-41]</sup>,但当施肥过量时,会使土壤盐浓度升高,造成根系的水分胁迫,从而影响植株根对水的吸收,导致增产效果不显著甚至减产<sup>[36-37,42-43]</sup>。

本研究只是从灌溉方式的角度进行试验,探究微喷灌溉与滴灌灌溉对“墨红”食用玫瑰各个生育期的影响,并没有对其灌溉进行定量分析,后续可以在此基础上深入研究,探寻最适合“墨红”食用玫瑰的灌水定额和灌溉定额。

## 5 结论

(1)灌溉方式与施肥量对“墨红”食用玫瑰的株高和茎粗有显著影响( $P < 0.05$ ),其中WF3处理有利于增大株高,DF3处理有利于加大茎粗。

(2)“墨红”食用玫瑰的净光合速率和蒸腾速率均在现蕾期达到峰值,DF2处理的净光合速率最高( $17.93 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ),DF3处理的蒸腾速率最高( $6.10 \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )。滴灌方式下更有利于叶绿素和类胡萝卜素的合成,DF2处理的总叶绿素含量最高( $1.83 \text{mg}/\text{g}$ ),DF1处理的类胡萝卜素含量最高( $0.30 \text{mg}/\text{g}$ )。

(3)同一施肥量下,滴灌方式更有利于“墨红”食用玫瑰产量的提高。同一灌溉方式下,施肥处理(F1、F2、F3)的总产量显著高于不施肥处理(F0)( $P < 0.05$ ),其中DF2处理的总产量最高( $11036 \text{kg}/\text{hm}^2$ )。推荐DF2为避雨设施大棚条件下“墨红”食用玫瑰的灌溉方式和施肥量。

### 参考文献:

[1] 陈昆,杨云福,方卫山,等. 云南食用玫瑰花产业现状及发展研究[J]. 南方农机,2022,53(6):6-8.

[2] KIYMAZ S, ALTUN B, ERTEK A. Effect of different water regimes and nitrogen applications on the growth, yield, essential oil content, and quality parameters of the oil rose (*Rosa damascene* Mill.) [J]. Journal of Plant Nutrition, 2022, 45(14): 2108-2122.

[3] 何耀峰,郝春雷,杨欢,等. 干旱胁迫对不同品种玫瑰生理生化特性的影响[J]. 宁夏农林科技,2020,61(7):12-17.

[4] 王倩,脱云飞,王飞,等. 微喷灌溉施肥对三七土壤氮素运移转化试验研究[J]. 排灌机械工程学报,2023,41(2):187-194.

[5] 刘帅,徐宇凡,贾靖,等. 施氮量及追氮时期对滴灌夏玉米干物质积累及氮素利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2023, 41(2): 122-129.

[6] 李东伟,李明思,周新国,等. 土壤带状湿润均匀性对膜下滴灌棉花生长及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(9): 130-137.

[7] 孟繁昊,杨恒山,张瑞富,等. 灌溉方式对西辽河平原玉米产量和水氮利用效率的影响[J]. 浙江农业学报, 2022,34(9):1826-1836.

[8] ZHANG Hao, LIU Hao, WANG Shunsheng, et al. Variations in growth, water consumption and economic benefit of transplanted cotton after winter wheat harvest subjected to different irrigation methods[J]. Scientific Reports, 2019, 9: 14972.

[9] 麦荣幸,康跃虎,裴亮,等. 精准滴灌农田排水过程数值模拟[J]. 水资源与水工程学报,2019,30(5):247-254.

[10] 郑孟静,张丽华,董志强,等. 微喷灌对夏玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 核农学报,2020,34(4):839-848.

[11] LI Jinpeng, WANG Yunqi, ZHANG Meng, et al. Optimized micro-sprinkling irrigation scheduling improves grain yield by increasing the uptake and utilization of water and nitrogen during grain filling in winter wheat[J]. Agricultural Water Management, 2019, 211: 59-69.

[12] 党建友,裴雪霞,张定一,等. 微喷灌水氮一体化对冬小麦生长发育和水肥利用效率的影响[J]. 应用生态学报,2020,31(11):3700-3710.

[13] KAKABOUKI I, EFTHIMIADOU A, FOLINA A, et al. Effect of different tomato pomace compost as organic fertilizer in sweet maize crop[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2020, 51(22): 2858-2872.

[14] 宁松瑞,颜安,柳维扬. 盐胁迫膜下滴灌棉花生长及产量对氮磷钾追施配比的响应分析[J]. 水资源与水工程学报,2022,33(5):208-215.

[15] 王丽,柴雪琴,张亚娟,等. 不同施氮量对月季生长、叶绿素含量及干物质积累的影响[J]. 河西学院学报, 2021,37(2):66-71.

[16] ZANÃO JUNIOR L A, CARVALHO - ZANÃO M P, FONTES R L F, et al. Production and quality of roses as affected by boron fertilization[J]. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2014, 38(2): 524-531.

[17] DUNCAN E G, OSULLIVAN C, ROPER M, et al. Yield and nitrogen use efficiency of wheat increased with root length and biomass due to nitrogen, phosphorus, and potassium interactions[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2018, 181(3): 364-373.

[18] 段英华,张亚丽,沈其荣,等. 增磷营养对不同基因型水稻苗期氮素吸收同化的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(2):160-165.

[19] 于翠,李欣,朱志贤,等. 长期偏施氮肥对桑园土壤氨氧化微生物的影响[J]. 中国土壤与肥料,2021(3):35-44.

[20] 李德文,王少铭,罗莉斯,等. 氮磷钾配比对红皮大蒜产量与经济性状的影响[J]. 贵州农业科学,2021,49(8):30-36.

[21] 刘华波,陈华,付利波,等. 氮肥减量施用对玫瑰经济效益与环境效益的影响[J]. 贵州农业科学,2014,42(2):73-76.

- [22] 孙曰波,赵从凯,张玲,等.氮磷钾营养亏缺对玫瑰幼苗根构型的影响[J].中国土壤与肥料,2013(3):43-48.
- [23] 梁颖.冷香玫瑰二次生殖生长期养分累积规律及配方施肥研究[D].银川:宁夏大学,2021.
- [24] 源朝政,郑明燕,高小峰,等.月季白粉病及抗性、防治研究进展[J].天津农业科学,2022,28(2):69-72.
- [25] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [26] 仙鹤,任向荣,杨净,等.不同灌溉方式对食用百合生长发育的影响[J].新疆农业科学,2015,52(10):1828-1835.
- [27] 付诗宁,魏新光,郑思宇,等.滴灌水肥一体化对温室葡萄生理特性及水肥利用效率的影响[J].农业工程学报,2021,37(23):61-72.
- [28] 张川,张亨年,闫浩芳,等.微喷灌结合滴灌对温室高温环境和作物生长生理特性的影响[J].农业工程学报,2018,34(20):83-89.
- [29] 李红,郭鑫,陈瑞,等.喷灌均匀性和灌水量对冬小麦冠层下水分分配的影响[J].农业工程学报,2021,37(24):102-111.
- [30] 谭娟,郭晋川,吴建强,等.不同灌溉方式下甘蔗光合特性[J].农业工程学报,2016,32(11):150-158.
- [31] REDDY A R, CHAITANYA K V, VIVEKANANDAN M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants [J]. Journal of Plant Physiology, 2004, 161(11): 1189-1202.
- [32] 杜彩艳,张乃明,包立,等.钾素水平对二年生三七全生育期光合特性及产量的影响[J].中国土壤与肥料,2018(4):107-113.
- [33] 任玉忠,王水献,谢蕾,等.干旱区不同灌溉方式对枣树水分利用效率和果实品质的影响[J].农业工程学报,2012,28(22):95-102.
- [34] 张文斌,张荣,李文德,等.水肥耦合对河西绿洲板蓝根生理特性及产量影响[J].西北农业学报,2017,26(1):25-31.
- [35] 王海琪,王荣荣,蒋桂英,等.施氮量对滴灌春小麦叶片光合生理性状的影响[J].作物学报,2023,49(1):211-224.
- [36] 马永鑫,王西娜,韦广源,等.减氮节水对宁夏引黄灌区春小麦光合特性与产量的影响[J].农业工程学报,2022,38(10):75-84.
- [37] 辛克卿,王明琴,王慧宇,等.食用玫瑰新品种“龙玫1号”高产栽培技术[J].农业科技与信息,2016(14):74-75.
- [38] 袁有波,李继新,苏贤坤,等.节水灌溉条件下水氮耦合对烤烟生长发育及生理性状的影响[J].河海大学学报(自然科学版),2008,36(6):781-785.
- [39] 岳文俊,何文学,丁春梅,等.不同滴灌水肥处理对温室甜瓜养分吸收、产量和品质的影响[J].浙江农业学报,2021,33(12):2370-2380.
- [40] 刘峰,席本野,戴腾飞,等.水肥耦合对毛白杨林分土壤氮、细根分布及生物量的影响[J].北京林业大学学报,2020,42(1):75-83.
- [41] 吴汉,吴含,钱娜,等.江淮地区不同灌溉与种植方式对水稻产量及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2022,41(6):39-46+71.
- [42] 邹奇芳,谷晓博,李援农,等.缓释氮肥施用比例对冬小麦产量及氮肥利用效率的影响[J].水资源与水工程学报,2022,33(4):217-224.
- [43] 雷宏军,肖哲元,肖让,等.水、肥、气耦合滴灌对温室番茄生长和品质的影响[J].干旱地区农业研究,2020,38(5):168-175.

