

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.202423.0329

# 化肥减量配施有机肥和微生物肥对番茄光合特性和肥料利用率的影响

郑剑超, 李明, 史芳芳, 董飞

(新疆生产建设兵团第十二师农业科学研究所 乌鲁木齐 830088)

**摘要:** 为加快有机肥替代化肥和推广应用微生物肥料, 实现化肥减量的目标, 以番茄品种多吉瑞星为试验材料, 设置 6 个施肥处理, 研究化肥减量对设施番茄光合特性及肥料利用率的影响。结果表明, 株高随着化肥减量的增加而降低。在化肥减量一致下通过配施有机肥和生物肥可促进番茄株高、根长和果穗数的增加。RFM1 处理(化肥减施 20%配施有机肥 20%+微生物肥)增加了 SPAD、氮素含量、气孔导度( $G_s$ )和净光合速率( $P_n$ )。有效磷和速效钾含量随着有机肥增加而增加, 配施微生物肥后随着有机肥增加呈下降的趋势。氮肥利用率、磷肥利用率和钾肥利用率以 RFM2 处理(化肥减施 40%配施有机肥 40%+微生物肥)为最高, 但与 RFM1 处理差异不显著。RFM1 处理的番茄可溶性固形物、维生素 C 和番茄红素含量均最高, 且有效降低了有机酸含量。番茄产量以 RFM1 处理为最高, RF1、RFM1 和 RFM2 处理分别较 CF 处理增产 4.41%、8.14% 和 0.82%, RF2 处理较 CF 减产 6.54%。综合考虑, 在设施番茄栽培中, 化肥减施 20%配施有机肥 20%和微生物肥, 可达到化肥减施的效果。

**关键词:** 番茄; 化肥减量; 微生物肥; 光合特性; 肥料利用率

中图分类号: S641.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-2871(2024)02-074-06

## Effects of chemical fertilizer reduction combined with organic fertilizer and microbial fertilizer on photosynthetic characteristics and fertilizer utilization rate of tomato

ZHENG Jianchao, LI Ming, SHI Fangfang, DONG Fei

*(Agricultural Science Research Institute of the Twelfth Division of XPCC, Urumqi 830088, Xinjiang, China)*

**Abstract:** In order to reduce chemical fertilizers and speed up the replacement of chemical fertilizers with organic fertilizers and promote the application of microbial fertilizers, tomato Duojiruixing was used as the test material, and six fertilization treatments were set up in the experiment to study the effects of chemical fertilizer reduction on the growth characteristics and fertilizer utilization rate of facility tomato. The effects of chemical fertilizer reduction on the growth characteristics and fertilizer utilization rate of facility tomato were studied in order to find the appropriate reduction ratio from the response mechanism of photosynthetic characteristics and fertilizer utilization rate to chemical fertilizer reduction. The results showed that the plant height decreased with the increase of chemical fertilizer reduction, and the growth of plant height, root system and ear number of tomato could be promoted by applying organic fertilizer and biological bacterial fertilizer. RFM1 treatment increased SPAD, nitrogen value, stomatal conductance and net photosynthetic rate. The available phosphorus and available potassium increased with the increase of organic fertilizer, and decreased with the increase of organic fertilizer after the application of microbial fertilizer. The utilization rate of nitrogen fertilizer, phosphorus fertilizer and potassium fertilizer was higher in RFM2 treatment, but not significantly different from RFM1. RFM1 treated tomato had the highest content of soluble solids, vitamin C and lycopene, which effectively reduced the content of organic acids. The yields of tomatoes treated by RF1, RF2, RFM1 and RFM2 were 4.41%, -6.54%, 8.14% and 0.82% higher than that of CF, and RFM1 was highest. Collectively, in facility tomato cultivation, 20% of chemical fertilizer can be replaced by organic fertilizer and microbial fertilizer to achieve the effect of chemical fertilizer reduction.

**Key words:** Tomato; Fertilizer reduction; Microbial fertilizer; Photosynthetic characteristics; Fertilizer utilization rate

收稿日期: 2023-05-25; 修回日期: 2023-12-05

基金项目: 兵团十二师兵地融合及向南发展项目(SR202118)

作者简介: 郑剑超, 男, 农艺师, 研究方向为作物高产高效栽培及生理生态。E-mail: zgxjzjc@126.com

通信作者: 董飞, 男, 高级农艺师, 研究方向为作物高效优质栽培。E-mail: 248513222@qq.com

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)是茄科番茄属的一年生或多年生草本植物,是世界上重要的蔬菜作物之一。因番茄具有较高的营养价值,且价格低廉产量高,深受消费者和种植户的喜爱<sup>[1]</sup>。设施蔬菜是我国北方地区冬春蔬菜供应和农民增收的重要产业。设施温室常年连作和密闭环境,使土壤盐渍化、肥力下降和病虫害增加,种植户为获得高产目标,会加大化肥、农药和激素的使用量,致使土壤理化性质和微生物群落进一步破坏,从而适得其反,降低其产量和品质,阻碍设施蔬菜产业的发展,引起了一系列生态环境和人类健康等方面的问题<sup>[2-3]</sup>。“十四五”时期是加快推进农业绿色发展的重要战略机遇期,对化肥减量增效提出了更高的要求。农业农村部印发《到2025年化肥减量化行动方案》指出,要加快有机肥替代化肥和推广应用微生物肥料等新型肥料。前人研究表明,有机肥能够均衡土壤养分,提供持续的大中微量元素,起到改善土壤养分结构的作用<sup>[4-5]</sup>。有机肥和无机肥配施不仅能提高肥料养分利用率,还能降低化肥大量施用对土壤和环境的负面影响,可提高土壤肥力、增加作物产量及品质,是解决不合理施用化肥问题的有效途径之一<sup>[6-7]</sup>。张国显等<sup>[8]</sup>研究表明,75%化肥配施25%蚯蚓粪能显著提高番茄叶片的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和产量及品质。丛孟菲等<sup>[9]</sup>研究表明,净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )、光能利用效率( $E_n$ )、瞬时水分利用效率(WUE)随着氮、磷施用量的减少呈先平缓后显著降低的趋势,合理的氮、磷施用量可提高冬小麦灌浆期旗叶叶绿素含量,改善光合作用,促进冬小麦生长和产量增加。孙庆圣等<sup>[10]</sup>研究认为,减施50%氮肥+接种根瘤菌可显著提高大豆叶片叶绿素含量、光合能力和产量。因此,优化和调整施肥结构是减少化肥施用量的关键。近年来国家大力发展西北设施农业,因而研究新疆设施温室番茄

化肥减量配施意义重大。笔者以设施番茄为研究材料,通过配施相应的有机肥与微生物肥研究化肥减量对设施番茄光合特性及肥料利用率的影响,旨在从光合特性和肥料利用率方面研究化肥减量的响应机制,寻求适宜的减增配比,为化肥施用零增长提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于2022年在新疆生产建设兵团第十二师农业科学研究所园区设施温室进行,供试土壤属中壤土,施肥前0~20 cm土壤基础性状为碱解氮含量(w,后同)49.8 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷含量43.4 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾含量260 mg·kg<sup>-1</sup>,有机质含量24.2 g·kg<sup>-1</sup>,pH 7.83。

### 1.2 材料

试验番茄品种为多吉瑞星,由寿光市东城开发区高科技示范园提供。2022年2月18日播种育苗,4月28日定植,行株距为(80+40)cm×40 cm,7月10日开始收获,9月15日收获完毕。供试化肥:高钾肥(HPF)(含N 14%、含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 8%、含K<sub>2</sub>O 35%);均衡肥(BF)(含N 20%、含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 20%、含K<sub>2</sub>O 20%);有机肥(COF)为瑞呈先锋有机肥[(N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O)含量≥5%、有机质含量≥45%],由乌鲁木齐瑞呈伍怡农业科技有限责任公司提供;枯草芽孢杆菌(BS)(有效活菌≥900亿·g<sup>-1</sup>)由英国英尔果植物保护有限公司提供。

### 1.3 试验设计

试验设置6个处理,CK:空白对照(不施肥);CF:单施化肥;RF1:化肥减施20%配施有机肥20%;RF2:化肥减施40%配施有机肥40%;RFM1:化肥减施20%配施有机肥20%+微生物肥;RFM2:化肥减施40%配施有机肥40%+微生物肥。各处理施肥情况见表1。各处理3次重复,随机区组排列,

表1 各处理施肥情况

Table 1 Fertilization unit of each treatment

处理 Treatment	kg									折纯合计 The total of pure folding		
	04-20	05-26		06-07		06-30	07-10	07-22	08-03	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	COF	BF	BS	BF	BS	HPF	HPF	HPF	HPF			
CK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CF	400	6.00	0	6.00	0	8.00	8.00	7.00	7.00	7.72	3.52	13.39
RF1	480	4.80	0	4.80	0	6.40	6.40	5.60	5.60	6.17	2.82	10.72
RF2	560	3.60	0	3.60	0	4.80	4.80	4.20	4.20	4.63	2.11	8.04
RFM1	480	4.80	0.35	4.80	0.35	6.40	6.40	5.60	5.60	6.17	2.82	10.72
RFM2	560	3.60	0.35	3.60	0.35	4.80	4.80	4.20	4.20	4.63	2.11	8.04

共 18 个小区,小区面积  $1.6\text{ m} \times 5\text{ m} = 8\text{ m}^2$ 。每个处理单独施肥,其他栽培措施参照当地设施温室管理。

### 1.4 测定项目与方法

1.4.1 土壤样品采集与测定 在番茄采收后期各处理取距滴灌带 10 cm 附近 0~20 cm 土层土样,至少采集 5 点进行混合四分法留样测定土壤养分指标。采用重铬酸钾容量法测定土壤有机质含量<sup>[1]</sup>;采用碱解扩散法测定土壤碱解氮含量<sup>[1]</sup>;采用碳酸氢钠法测定土壤有效磷含量<sup>[1]</sup>;采用醋酸铵-火焰光度法测定土壤速效钾含量<sup>[1]</sup>。

1.4.2 植株样品采集与测定 在采收盛果期用 CI-340 便携式光合仪测定光合参数,用 TYS-3N 植株养分测定仪测定叶绿素含量(SPAD)和氮含量,测定叶片为倒三叶,各处理连续测定 6 株。

在番茄采收期对各小区番茄果实进行实收计产,根据产量、个数及株数,计算番茄总产量并测定番茄品质。采用分光光度法测定番茄红素含量,采用手持式折光仪测定可溶性固形物含量,采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定维生素 C 含量,采用氢氧化钠滴定法测定有机酸含量<sup>[12]</sup>。

在结果后期各处理随机取 3 个点,每点取 5 株植株,按根、茎、叶、果实等不同器官分开,在 105 °C 杀青 30 min 后,80 °C 烘至恒质量,测定其干物质质量。烘干的植株样品经粉碎,过 0.5 mm 筛,用浓

$\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消煮,采用流动注射分析仪测定氮和磷含量;采用火焰光度计测定钾含量<sup>[1]</sup>。

肥料利用率/%=(施肥区农作物吸收养分量-无肥区农作物吸收养分量)/(肥料使用量×肥料中的养分含量百分比)×100。 (1)

肥料农学利用率( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )=(施肥区产量-无肥区产量)/施肥量。 (2)

肥料偏生产力( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )=施肥区产量/施肥量。 (3)

### 1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 和 DPS 7.05 进行数据的整理和分析,采用 Duncan 新复极差法进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 化肥减量配施有机肥和微生物肥对番茄农艺性状的影响

由表 2 可知,与不施肥处理(CK)相比,各施肥处理均显著增加了番茄株高、叶长、叶宽和果穗数。株高随着化肥减量的增加而降低,以 CF 处理最高,但与 RF1 和 RFM1 处理差异不显著,RFM1 比 RF1、RFM2 比 RF2 株高均有所增加但差异不显著。叶长、叶宽和果穗数以 RFM1 处理为最高,但各施肥处理间差异不显著。根长以 RFM1 处理为

表 2 不同施肥处理对番茄农艺性状的影响

Table 2 Effects of different fertilization treatments on agronomic traits of tomato

处理 Treatment	株高 Plant height/m	叶长 Length of blade /cm	叶宽 Blade width /cm	根长 Root length /cm	果穗数 Number of ears
CK	1.34±0.01 c	30.20±0.36 b	30.10±0.37 b	30.23±0.34 b	4.80±0.04 b
CF	1.49±0.01 a	35.20±0.45 a	35.50±0.65 a	29.80±0.23 b	5.20±0.04 a
RF1	1.47±0.02 a	35.60±0.34 a	36.20±0.34 a	31.40±0.31 a	5.40±0.03 a
RF2	1.40±0.02 b	34.50±0.45 a	34.70±0.42 a	27.20±0.21 c	5.20±0.02 a
RFM1	1.48±0.01 a	36.20±0.42 a	37.40±0.46 a	35.60±0.24 a	5.80±0.03 a
RFM2	1.42±0.01 b	35.60±0.35 a	36.40±0.33 a	32.00±0.22 a	5.30±0.03 a

注:同列数据不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

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

最大,与 RF1 和 RFM2 差异不显著,但显著高于其他处理。RFM1 比 RF1、RFM2 比 RF2 根长分别增加 13.38%和 17.65%,说明配施微生物肥可以促进根系生长。

### 2.2 化肥减量配施有机肥和微生物肥对番茄叶片 SPAD 和氮素含量的影响

SPAD 是表征叶片叶绿素含量的数值,而叶片叶绿素含量是反映叶片生理活性的重要指标之一,与叶片光合作用密切相关。由图 1 所示,CK 处理

番茄叶片 SPAD 显著低于其他处理。各处理中番茄叶片 SPAD 以 RFM1 处理为最高,比 CF、RF1、RF2 和 RFM2 分别提高 2.73%、2.82%、4.85%和 3.87%。氮是植物生长发育需求量最大的营养元素,是蛋白质和叶绿素的重要组成部分,可直接影响植物的生长发育。CK 处理番茄叶片氮素值显著低于其他处理。各处理中番茄叶片氮素值以 RFM1 处理为最高,与 CF 和 RF1 处理差异不显著,但显著高于其他处理。

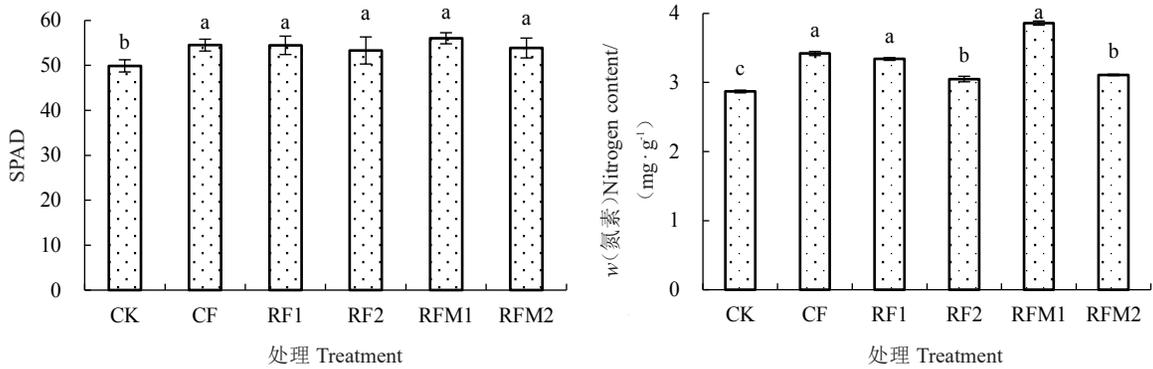


图1 不同施肥处理对叶片 SPAD 和氮素值的影响

Fig. 1 Effects of different fertilization treatments on SPAD and nitrogen content of leaves

2.3 化肥减量配施有机肥和微生物肥对番茄叶片光合参数的影响

从表 3 可知,在一定光合有效辐射(PAR)条件下,化肥减量配施有机肥和微生物肥对番茄叶片的光合参数有一定影响。与 CK 处理相比,各施肥处理均显著提高了番茄叶片的光合参数。蒸腾速率( $T_r$ )以 RF1 为最高,各施肥处理间差异不显著,但均显著高于 CK 处理。气孔导度( $G_s$ )以 RFM1 处理为

最高,与 RF1 和 RFM2 处理差异不显著,但显著高于其他处理。胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )以 RF1 为最高,与 CF 和 RFM1 处理差异不显著,但显著高于其他处理。净光合速率( $P_n$ )以 RFM1 为最高,比 CF、RF1、RF2 和 RFM2 分别提高 4.76%、1.17%、9.09% 和 4.32%。RFM1 比 RF1、RFM2 比 RF2 的叶片净光合速率分别提高 1.17% 和 4.57%,说明配施微生物肥促进了叶片光合作用,有利于生物量的积累。

表 3 不同施肥处理对叶片光合参数的影响

Table 3 Effects of different fertilization treatments on photosynthetic parameters of leaves

处理 Treatment	$P_n/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$T_r/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$G_s/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$C_i/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	PAR/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
CK	17.93±0.64 c	5.29±0.13 b	99.44±4.36 c	74.64±6.12 c	1 362.60±54.67 a
CF	21.43±0.97 ab	7.78±0.31 a	153.66±12.68 b	101.99±7.37 a	1 352.28±54.16 a
RF1	22.19±0.92 a	7.99±0.32 a	162.18±12.18 a	109.56±8.79 a	1 367.28±49.65 a
RF2	20.58±0.67 b	6.69±0.33 a	155.40±4.26 b	98.64±6.02 b	1 361.60±51.57 a
RFM1	22.45±0.96 a	7.48±0.31 a	162.78±10.38 a	107.86±8.79 a	1 367.88±39.44 a
RFM2	21.52±0.57 ab	7.46±0.26 a	159.17±8.65 ab	99.93±8.94 b	1 368.67±67.37 a

2.4 化肥减量配施有机肥和微生物肥对土壤养分含量的影响

由表 4 可知,各处理中土壤 pH 由高到低依次为:CF>CK>RF1>RFM2>RFM1>RF2,化肥减量配施有机肥和微生物肥可降低土壤 pH,但各处理差异不显著。各施肥处理与 CK 处理相比均显著增加

了土壤水解性氮、有效磷和速效钾含量。与 CF 相比,土壤有机质含量各减施化肥处理随着有机肥增加而增加,配施微生物肥降低了土壤有机质含量,RFM1 比 RF1、RFM2 比 RF2 土壤有机质含量分别显著降低 12.01% 和 16.35%。与 CF 相比,RF1、RF2、RFM2 土壤水解性氮含量分别增加 57.42%、

表 4 不同施肥处理对土壤养分含量的影响

Table 4 Effects of different fertilization treatments on soil nutrients content

处理 Treatment	w(水解性氮) Available N content/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(有效磷) Olsen-P content/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(速效钾) Rapidly available content/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(有机质) Organic matter content/ (g·kg <sup>-1</sup> )	pH
CK	84.42±3.21 d	34.51±1.23 e	347.34±5.34 e	21.92±1.43 c	7.83±0.32 a
CF	123.32±2.31 c	52.72±1.54 c	522.23±4.23 c	23.34±0.64 c	7.94±0.41 a
RF1	194.13±1.85 a	63.54±2.51 b	738.53±7.45 a	29.82±1.09 a	7.48±0.21 a
RF2	158.43±3.04 b	72.23±2.43 a	757.52±5.23 a	34.25±1.22 a	7.37±0.53 a
RFM1	122.82±3.67 c	55.75±1.32 c	673.31±8.32 b	26.24±1.21 b	7.42±0.33 a
RFM2	152.35±2.97 b	45.82±1.03 d	469.25±3.67 d	28.65±0.73 b	7.44±0.16 a

28.47%、23.54%，RFM1 土壤水解性氮含量降低 0.41%，配施微生物肥降低了土壤水解性氮含量。土壤有效磷和速效钾含量随着有机肥增加而增加，配施微生物肥后随着有机肥增加呈下降的变化趋势。RFM1 比 RF1、RFM2 比 RF2 有效磷含量分别显著降低 12.26%和 36.56%。RFM1 比 RF1、RFM2 比 RF2 速效钾含量分别显著降低 8.83%和 38.05%。

**2.5 化肥减量配施有机肥和微生物肥对番茄肥料利用率的影响**

由表 5 可知,与 CF 相比,减肥处理显著提高了

番茄氮肥利用率、磷肥利用率和肥料偏生产力。氮肥利用率以 RFM2 为最高,与 RF2 和 RFM1 处理差异不显著。磷肥利用率和钾肥利用率以 RFM2 为最高,各减肥处理间差异不显著。肥料农学利用率以 RFM2 处理为最高,与 RFM1 处理差异不显著,但显著高于其他处理。RFM1 比 RF1、RFM2 比 RF2 处理肥料农学利用率分别增加 8.29%和 62.83%,说明增施微生物肥能提高肥料农学利用率。肥料偏生产力以 RFM2 为最高,显著高于其他处理。

表 5 不同施肥处理对番茄肥料利用率的影响

Table 5 Effects of different fertilization treatments on fertilizer use efficiency of tomato

处理 Treatment	氮肥利用率 Nitrogen use efficiency /%	磷肥利用率 Phosphate use efficiency /%	钾肥利用率 Potassium use efficiency /%	肥料农学利用率 Agronomic efficiency/ (kg·kg <sup>-1</sup> )	肥料偏生产力 Partial factor productivity of fertilizer /(kg·kg <sup>-1</sup> )
CF	26.17±1.23 c	16.64±0.43 c	41.43±2.31 a	23.76±0.54 c	113.16±5.34 d
RF1	31.43±2.31 b	18.53±0.58 ab	42.84±1.76 a	35.93±1.02 b	147.68±3.65 c
RF2	32.23±0.97 ab	19.21±0.91 a	43.41±0.78 a	25.26±0.63 c	163.37±6.35 b
RFM1	34.35±0.64 a	19.68±0.80 a	44.42±2.31 a	38.91±0.41 a	144.42±4.34 c
RFM2	34.65±1.42 a	20.04±1.02 a	44.67±1.37 a	41.13±0.43 a	190.13±6.31 a

**2.6 化肥减量配施有机肥和微生物肥对番茄产量和品质的影响**

由表 6 可知,各施肥处理与 CK 相比显著降低了番茄有机酸含量,提高了番茄可溶性固形物、维生素 C 和番茄红素含量。与 CF 处理相比,RF1、RF2、RFM1 和 RFM2 各处理番茄可溶性固形物含量分别增加 3.11%、1.56%、9.34%和 8.13%;维生素 C 含量分别增加 7.58%、4.55%、12.12%和 9.09%;番茄红素

含量分别增加 8.39%、4.54%、11.71%和 9.03%;有机酸含量分别减少 8.57%、5.71%、20.00%和 11.43%。各施肥处理相比,增加微生物肥处理降低了番茄有机酸含量,提高了可溶性固形物、维生素 C 和番茄红素含量。产量以 RFM1 处理为最高,RF1、RFM1 和 RFM2 较 CF 处理分别增产 4.41%、8.14%和 0.82%,RF2 较 CF 处理减产 6.54%。说明适量减施化肥配施有机肥和微生物肥可改善番茄品质,提高产量。

表 6 不同施肥处理对番茄产量和品质的影响

Table 6 Effects of different fertilization treatments on tomato yield and quality

处理 Treatment	w(可溶性固形物) Soluble solid content/%	w(有机酸) Organic acid content/%	w(维生素 C) Vitamin C content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(番茄红素) Lycopene content/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	产量 Yield/(t·hm <sup>-2</sup> )	比 CK+ Contrast CK+/%	比 CF+ Contrast CF+/%
CK	5.34±0.21 b	0.41±0.03 a	0.52±0.02 c	138.53±4.32 c	79.39±2.54 c		
CF	5.78±0.36 ab	0.35±0.04 b	0.66±0.03 b	156.32±5.42 b	100.48±1.34 ab	26.57	
RF1	5.96±0.14 ab	0.32±0.02 b	0.71±0.01 a	169.44±3.45 a	104.91±2.23 a	32.15	4.41
RF2	5.87±0.21 ab	0.33±0.03 b	0.69±0.04 b	163.42±6.12 ab	93.91±2.32 b	18.29	-6.54
RFM1	6.32±0.42 a	0.28±0.01 c	0.74±0.03 a	174.63±2.45 a	108.66±2.21 a	36.87	8.14
RFM2	6.25±0.26 a	0.31±0.05 b	0.72±0.03 a	170.43±2.56 a	101.30±2.95 ab	27.60	0.82

**3 讨论与结论**

化肥与农药的大量长期施用和设施温室的特定环境,使土壤肥力下降,病原菌数升高,土传病害加重,造成连作障碍、盐渍化和土壤酸化<sup>[13]</sup>。大量研究表明<sup>[14-16]</sup>,有机肥可以改善土壤理化性质,增加土壤养分,为微生物繁殖提供碳源。微生物肥含有大

量的有益微生物,其通过空间占领和营养竞争抑制有害细菌和真菌的定殖,同时产生大量的细菌素、抗生素及胞外溶解酶等抑菌物质,改善根系发育和形成保护屏障,进而提高作物生长能力<sup>[17]</sup>。这与笔者的研究结果一致,株高随着化肥减量的增加而降低,在化肥减量一致下通过配施有机肥和生物菌肥可促进番茄株高、根长和果穗数的增加。叶片

SPAD 为叶绿素含量的相对值,与叶片光合作用密切相关<sup>[18]</sup>。本研究结果表明,与 CK(不施肥)处理相比,各施肥处理显著提高了叶片 SPAD 和光合参数,SPAD、氮素含量、气孔导度和净光合速率均以 RFM1 为最高,说明配施有机肥和微生物肥促进了叶片叶绿素的合成,提高光合作用效率,促进生物量的积累。这与张国显等<sup>[8]</sup>和侯丽丽等<sup>[19]</sup>研究结果一致。

土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分,其群落数量与结构在不同作物和管理模式下表现为一定的动态变化趋势。土壤微生物在有机物分解转化过程中起重要作用,是评价土壤肥力的重要指标<sup>[20-21]</sup>。大量研究表明<sup>[22-24]</sup>,通过增施生物菌剂可提高土壤有益微生物的活性,进而加快分解土壤外源有机质以释放氮、磷、钾,同时活化土壤中难溶态氮、磷、钾等养分,与笔者的研究结果相一致。笔者研究表明,与减施化肥配施有机肥相比,配施生物菌剂降低了有机质含量,RFM1 比 RF1、RFM2 比 RF2 有机质含量分别显著降低 12.01%和 16.35%。有效磷和速效钾含量随着有机肥用量增加而增加,配施微生物肥后随着有机肥增加呈下降的趋势。氮肥利用率、磷肥利用率和钾肥利用率以 RFM2 处理为最高,但与 RFM1 差异不显著。RFM1 比 RF1、RFM2 比 RF2 肥料农学利用率分别提高 8.29%和 62.83%,说明增施微生物肥能提高肥料农学利用率。因此减量化肥配施有机肥和生物菌剂能改善土壤物理性质,有效增加有效磷和速效钾含量。

化肥养分易被作物吸收,肥效快但持续时间短,有机肥含有大量的养分但释放缓慢,而配施微生物肥可活化土壤酶活性并加快土壤外源有机质的分解,更有利于促进作物的生长发育<sup>[25-26]</sup>。本研究结果表明,化肥减量配施有机肥和微生物菌剂提高了番茄可溶性固形物、维生素 C 和番茄红素含量,降低了有机酸的含量,以 RFM1 番茄可溶性固形物、维生素 C 和番茄红素含量为最高,且其有机酸含量最低。最终产量也以 RFM1 为最高,RF1、RFM1 和 RFM2 分别较 CF 增产 4.41%、8.14%和 0.82%。

综上所述,在设施番茄生产中,可通过增施有机肥和微生物菌肥替代 20%的化肥,促进植株生长,提高叶片光合参数,提高品质和产量,达到化肥减施的效果,在生产实际中具有较高的推广应用价值。

#### 参考文献

- [1] 李君明,项朝阳,王孝宣,等.“十三五”我国番茄产业现状及展望[J].中国蔬菜,2021(2):13-20.
- [2] 程国亭,王延峰,姜文婷,等.设施番茄土壤障碍综合防控研究

- 进展[J].中国蔬菜,2023(2):16-24.
- [3] 魏百弘,张文斌,铁建中,等.日光温室土壤消毒处理对番茄产量和品质的影响[J].中国瓜菜,2022,35(10):64-68.
- [4] 白玲,李俊华,褚贵新,等.有机无机肥配施对棉花养分吸收及氮素效率的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(5):143-148.
- [5] 王兴龙,朱敏,杨帆,等.配施有机肥减氮对川中丘区土壤微生物量与酶活性的影响[J].水土保持学报,2017,31(3):271-276.
- [6] 侯小畔,安婷婷,周亚男,等.增施有机肥对夏玉米物质生产及土壤特性的影响[J].玉米科学,2018,26(1):127-133.
- [7] 刘金平,孙菲菲,王夏,等.减量施肥对番茄生长和品质的影响[J].北方园艺,2021(8):52-56.
- [8] 张国显,范永怀,赵凤艳,等.化肥减量配施有机物料对设施番茄生长、光合特性、产量及品质的影响[J].中国科技论文,2018,13(6):698-703.
- [9] 丛孟菲,赖宁,胡洋,等.化肥减施对滴灌冬小麦灌浆期光合生理特性的影响[J].中国土壤与肥料,2022(5):43-50.
- [10] 孙庆圣,原程,张玉先.减施氮肥和接种根瘤菌对黑大豆光合特性及产量的影响[J].作物杂志,2022(4):132-137.
- [11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [12] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [13] 王广印,郭卫丽,陈碧华,等.河南省设施蔬菜连作障碍现状调查与分析[J].中国农学通报,2016,32(25):27-33.
- [14] 孙薇,钱勋,付青霞,等.生物有机肥对秦巴山区核桃园土壤微生物群落和酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(5):1224-1233.
- [15] 王秀娟,韩瑛祚,何志刚,等.微生物菌肥对设施番茄养分吸收与土壤氮磷累积的影响[J].北方园艺,2021(19):100-106.
- [16] 姜蓉,汤利,李淼,等.设施土壤微生物结构和酶活性对减量化肥配施有机肥的响应[J].土壤通报,2017,48(3):639-646.
- [17] 张承,王秋萍,周开拓,等.猕猴桃园套种吉祥草对土壤酶活性及果实产量、品质的影响[J].中国农业科学,2018,51(8):1556-1567.
- [18] 郑剑超,闫曼曼.不同基质配比对槽式栽培黄瓜光合特性及果实发育的影响[J].北方园艺,2019(8):21-25.
- [19] 侯丽丽,王伟,崔新菊,等.化肥减量配施有机肥对小麦生长、光合和产量的影响[J].麦类作物学报,2021,41(4):475-482.
- [20] 武杞蔓,刘朋宇,张颖,等.微生物菌肥对番茄生长、品质及糖代谢相关酶的影响[J].江苏农业科学,2022,50(24):125-130.
- [21] 夏秀波,李涛,姚建刚,等.液态有机肥部分替代化肥对设施番茄根区真菌菌群的影响[J].北方园艺,2021(12):79-87.
- [22] 孔涛,马瑜,刘民,等.生物有机肥对土壤养分和土壤微生物的影响[J].干旱区研究,2016,33(4):884-891.
- [23] 崔佳萌,刘蕾,李博文,等.功能微生物菌剂防控设施菜田土壤磷素面源污染的效果[J].江苏农业科学,2021,49(23):232-238.
- [24] 何志刚,姜春荣,王秀娟,等.氮钾配施对设施番茄土壤微生物群落及土壤养分和盐分的影响[J].北方园艺,2017(9):148-153.
- [25] 刘红江,陈虞雯,孙国峰,等.有机肥-无机肥不同配施比例对水稻产量和农田养分流失的影响[J].生态学杂志,2017,36(2):405-412.
- [26] 赵军,李勇,冉炜,等.有机肥替代部分化肥对稻麦轮作系统产量及土壤微生物区系的影响[J].南京农业大学学报,2016,39(4):594-602.