

增施蚯蚓粪配施不同比例化肥对西北设施番茄产量、品质及土壤肥力的影响

刘晓娇¹, 王昊², 任登成¹, 哈蓉², 靳韦², 杨波², 苏慧³, 温学萍¹

(1. 宁夏回族自治区园艺技术推广站 银川 750002; 2. 宁夏农垦农林牧技术推广服务中心 银川 750024;

3. 宁夏农垦连湖农场有限公司 宁夏吴忠 751606)

摘要:为探明增施蚯蚓粪配施不同比例化肥减量对设施番茄土壤肥力、产量及品质的影响,明确适宜配施方案,以普罗旺斯番茄为试材,以常规施肥为对照(CK),设置增施 3 t·667 m² 蚯蚓粪配施减施化肥 10%(C1)、20%(C2)、30%(C3)、常规施肥(C4)4 个处理,测定土壤理化性质、微生物群落及番茄生育期、产量、品质等指标。结果表明,与 CK 相比,各处理的土壤有机质含量(除 C4 外)显著提高 2.49%~4.99%,碱解氮含量提高 1.37%~17.53%,有效磷含量显著降低 31.22%~41.34%;C1、C2 处理的真菌数量较 CK 分别显著降低 39.74%和 35.90%,C4 处理的放线菌和细菌数量较 CK 分别显著增加 250.00%和 29.17%;各处理的番茄生长关键物候期无显著差异;在产量方面,C4 处理最高,为 7 106.66 kg·667 m²,较 CK 显著提高 3.09%,C2、C3 处理与 CK 无显著差异;各处理的可溶性糖、维生素 C 含量均较 CK 显著提升,其中 C1 处理分别显著提高 0.86 百分点和 69.93%。综上,增施 3 t·667 m² 蚯蚓粪并减施 10% 化肥为西北地区设施番茄生产的最优方案,不仅能改良土壤肥力,还能提升产量与果实品质。本研究结果为设施番茄绿色低碳生产提供了理论依据与技术支撑。

关键词:设施番茄;蚯蚓粪;化肥减量;产量;品质;土壤肥力

中图分类号:S641.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)08-115-07

Effects of additional application of earthworm cast combined with different proportions of chemical fertilizers on yield, quality of facility tomato and soil fertility in Northwest China

Liu Xiaojiao¹, Wang Hao², Ren Dengcheng¹, Ha Rong², Jin Wei², Yang Bo², Su Hui³, Wen Xueping¹

(1. Horticultural Technology Extension Station of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750002, Ningxia, China; 2. Agricultural Technology Extension and Service Center, Ningxia Agricultural Reclamation Management Bureau, Yinchuan 750024, Ningxia, China; 3. Lianhu Farm Co., Ltd., Ningxia Agricultural Reclamation Group, Wuzhong 751606, Ningxia, China)

Abstract: To explore the effects of increasing the application of earthworm castings combined with reducing the amount of chemical fertilizers in different proportions on soil fertility, yield and quality of facility tomato, and to clarify the appropriate combined application plan, Provence tomato was used as test material, and conventional fertilization was used as the control (CK). Four treatments were set up: Increasing the application of 3 t·667 m² vermicompost combined with reducing the application of chemical fertilizer by 10% (C1), 20% (C2), 30% (C3), and not reducing the application of chemical fertilizer (C4). The physical and chemical properties of the soil, microbial communities, and indicators such as the growth period, yield, and quality of tomato were determined. The results showed that compared with CK, the soil organic matter content (except C4) in each treatment was significantly increased by 2.49% to 4.99%, the alkali-hydrolyzable nitrogen content was increased by 1.37% to 17.53%, and the available phosphorus content was significantly decreased by 31.22% to 41.34%. The number of fungi treated with C1 and C2 were significantly reduced by 39.74% and 35.90%, respectively, compared with CK, while the number of actinomycetes and bacteria treated with C4 were significantly increased by 250.00% and 29.17%, respectively. There was no significant difference in the key phenological periods of tomato growth among the various treatments. In terms of yield, the C4 treatment was the highest, reaching 7 106.66 kg·667 m², which

收稿日期:2025-11-18;修回日期:2026-05-14

基金项目:2024 年宁夏回族自治区青年拔尖人才培养项目(刘晓娇)

作者简介:刘晓娇,女,高级农艺师,主要从事园艺作物技术推广服务工作。E-mail:liuxiaojiaopsn@163.com

通信作者:温学萍,女,正高级农艺师,主要从事蔬菜新品种和新技术引进、试验、示范与推广工作。E-mail:921318616@qq.com

was significantly increased by 3.09% compared with CK. There was no significant difference between the C2, C3 treatments and CK. The content of soluble sugar and vitamin C in each treatment were significantly increased compared with CK. Among them, the content of C1 treatment were significantly increased by 0.86 percentage points and 69.93%, respectively. In conclusion, increasing the application of $3\text{ t} \cdot 667\text{ m}^2$ vermicompost and reducing the application of chemical fertilizer by 10% is the optimal solution for facility tomato production in the northwest region. It can not only improve soil fertility, but also increase yield and fruit quality. The results of this study provide theoretical basis and technical support for the green and low-carbon production of tomato in facility.

Key words: Facility tomato; Earthworm cast; Chemical fertilizer reduction; Yield; Quality; Soil fertility

设施番茄作为我国主栽蔬菜之一,种植面积占设施蔬菜的20%以上,在保障蔬菜周年供应中发挥关键作用^[1]。然而,长期连作与化肥过量施用导致土壤退化、重金属积累、病原菌滋生等连作障碍,不仅降低番茄产量和品质,还威胁生态环境安全^[2-3]。我国西北地区设施土壤多存在盐碱化、磷钾过量积累等问题,化肥减量难度更大,亟需适宜的有机-无机配施技术来改善目前的土壤性状。据报道,设施土壤中镉、铅等重金属超标会抑制番茄生长,而化肥不合理施用导致的养分失衡,使番茄硝酸盐含量升高,营养品质下降^[4-5]。因此,在保证产量稳定的前提下实现化肥减量,是设施番茄产业可持续发展的核心举措。

蚯蚓粪作为优质有机基质,具有原料广泛、养分缓释稳定、益生菌群丰富等优势,能有效改良土壤结构、提升养分利用率,同时抑制病原菌繁殖,被视为突破连作障碍的理想选择^[6-7]。已有研究表明,蚯蚓粪配施化肥可显著提升番茄产量,促进果实维生素C、可溶性糖积累,同时提高土壤有机质含量与酶活性^[8-9],但相关研究多集中于华北、华东地区,该地区设施土壤多为中性,而西北地区设施土壤盐碱化问题突出、磷钾积累严重,化肥减量技术无法直接套用,针对西北盐碱化设施土壤的化肥减量梯度效应研究不足,且不同化肥减量比例与蚯蚓粪配施对设施番茄生育进程、产量、品质及土壤肥力的综合影响仍缺乏系统研究,尤其是针对西北设施栽培条件下,化肥减量10%~30%配施蚯蚓粪的短期效应及适宜配比尚未明确。

鉴于此,笔者以普罗旺斯番茄为试材,设置不同化肥减量梯度配施蚯蚓粪处理,系统探究其对番茄生育期、生长势、产量、品质及土壤理化性质、微生物群落的影响,明确西北设施条件下蚯蚓粪配施不同比例化肥的应用效果,以期筛选出兼顾产量、品质与土壤改良的最优方案,破解当地化肥过量与连作障碍难题。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于2024年10月至2025年5月在吴忠市青铜峡市连湖农场日光温室进行。以普罗旺斯番茄为试验材料(由宁夏农垦连湖农场有限公司提供),蚯蚓粪由吴忠市绿谷源家庭农场提供。

1.2 试验设计

试验以常规施肥为对照(CK:纯N $30\text{ kg} \cdot 667\text{ m}^2$ 、 P_2O_5 $15\text{ kg} \cdot 667\text{ m}^2$ 、 K_2O $25\text{ kg} \cdot 667\text{ m}^2$),以增施蚯蚓粪减施不同用量化肥为处理,增施蚯蚓粪+化肥减量10%为处理1(C1),增施蚯蚓粪+化肥减量20%为处理2(C2),增施蚯蚓粪+化肥减量30%为处理3(C3),增施蚯蚓粪+常规施肥为处理4(C4)。试验中,蚯蚓粪增施量为 $3\text{ t} \cdot 667\text{ m}^2$,番茄定植株数为 $2222\text{ 株} \cdot 667\text{ m}^2$,采用1.8 m单垄大行距种植,垄宽40 cm,垄高30 cm,垄距1.8 m,株距17 cm,垄长8 m,垄面铺设2条滴灌带。每个处理设3次重复,采用随机区组设计,小区面积 43.2 m^2 (3行),小区间设置100 cm隔离行,采用塑料薄膜覆盖隔离,防止水肥侧渗交叉污染,其他农艺措施保持一致。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤理化性质测定 番茄果实采收后采用五点法分别取各处理土壤500 g测定土壤理化指标。采用pH计测定pH,通过电导法测定阳离子交换量,使用重铬酸钾滴定法测定有机质含量,采用凯氏定氮法测定全氮含量,采用火焰光度法测定全钾含量,采用钼锑比色法测定全磷含量,采用靛酚蓝比色法测定水解性氮含量,采用钼蓝比色法测定有效磷含量,采用火焰光度计法测定速效钾含量,采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定土壤脲酶活性,采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定土壤蔗糖酶活性^[10]。采用紫外吸收法测定土壤过氧化氢酶活性,采用高效液相色谱(HPLC)法测定纤维素酶活性,土壤中真菌、细菌和放线菌数量使用平板培养法测

定^[11]。

1.3.2 生育期记载 观测记载不同处理番茄生育期情况,记载定植时间,始花期、坐果期、采收期、拉秧期等不同生育时期。

1.3.3 生长势调查 每个处理随机确定9株,进行定株观测,全生育期共测生长势5次,从定植开始,分别于2024年11月21日、12月25日及2025年1月25日、2月19日和4月23日测定株高(茎基部到生长点的距离,采用卷尺测定)和茎粗(茎基部的直径,采用游标卡尺测定),并从12月25日开始,采用SPAD-502叶绿素仪测定生长点向下第3片叶的叶绿素相对含量(SPAD值)。

1.3.4 品质性状指标测定 每个处理确定9株,在第2穗果全部成熟后,每个试验点每个处理分别取第2穗果2 kg送样至宁夏国测检验检测认证集团有限公司进行检测,采用手持式糖度计测定可溶性固形物含量,采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量,采用标准氢氧化钠溶液滴定法测定总酸含量,通过高效液相色谱法测定维生素C含量,采用双缩脲法测定蛋白质含量,采用高效液相色谱法测定番茄红素含量^[12],采用《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》(GB 5009.124—2016)的方法测定氨基酸含量^[13]。

1.3.5 产量测定 每个处理确定9株,记录结果数,在第2穗果全部成熟后,摘取全部果实称质量,得到平均单果质量,再计算平均单株产量,并换算成小区产量及667 m²产量。每个处理挑选5个大小一致的果实,采用游标卡尺测量果实纵径和横径。

1.4 统计分析

采用Excel2016、SPSS22.0等软件对数据进行处理和统计分析,并使用LSD法检验差异显著性($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同处理对番茄生育期的影响

由表1可以看出,增施蚯蚓粪对番茄生育进程的影响较小。C1、C3、C4处理的始花期(12月9日)和坐果期(12月16日)较CK提前1 d,但该差异未传导至采收期与拉秧期。C2处理(化肥减施20%)的物候期与CK基本一致。以上结果表明,蚯蚓粪替代10%~30%化肥或全量化肥配施方案,没有改变番茄的基本生育节律,说明蚯蚓粪的有机质缓释特性可稳定供应番茄生育期所需养分,未因化肥减量导致生育进程紊乱,为产量稳定提供了保障。

表1 不同处理对番茄生育期的影响

Table 1 Effects of different treatments on tomato growth stage

处理 Treatment	定植期 Transplanting date	始花期 Initial flowering stage	坐果期 Fruit setting stage	采收期 Harvest stage	拉秧期 Pulling seedling stage
C1	11-15	12-09	12-16	03-01	05-06
C2	11-15	12-10	12-17	03-01	05-06
C3	11-15	12-09	12-16	03-01	05-06
C4	11-15	12-09	12-16	03-01	05-06
CK	11-15	12-10	12-17	03-01	05-06

2.2 不同处理对番茄生长发育的影响

由图1可以看出,蚯蚓粪处理改变了番茄的生长模式,但差异不明显。株高发育分化明显,C4处理在快速生长期(1月25日)株高为158.00 cm,CK为148.50 cm,较CK提高6.40%,然而随生育进程推进,各处理株高差距缩小,至成熟期(4月23日),仅C4处理(227.11 cm)保持优势,C1、C2、C3处理均低于CK。茎粗变化呈阶段性响应,C1处理在果实膨大期(1月25日)茎粗达12.89 mm,为同期最高值,较CK提高10.17%,但后期优势丧失,而CK(14.70 mm)在成熟期的茎粗反超所有处理。在SPAD值方面,C2处理在坐果关键期(2月19日)达49.41,较CK提高10.14%,说明减施化肥20%可提

高生殖生长期的光合效率。这种阶段性生长响应说明蚯蚓粪通过调控养分释放节奏影响植株发育,但过量减肥可能导致生育后期养分供应不足。

2.3 不同处理对番茄品质和产量的影响

由表2可知,增施蚯蚓粪对番茄产量及果实性状影响显著。在果实形态方面,C1、C4处理的纵径(53.21、51.18 mm)和横径(60.57、62.27 mm)均显著大于CK和C2处理,说明全量化肥配施蚯蚓粪或轻度化肥减量(10%)可促进果实膨大,而减量20%虽对果实大小有一定抑制,但通过单株结果数调节,未导致产量显著下降。在果实产量方面,C4处理最高,为7 106.66 kg·667m⁻²,较CK显著提高3.09%,单果质量(120.67 g)和单株产量(3.26 kg)也

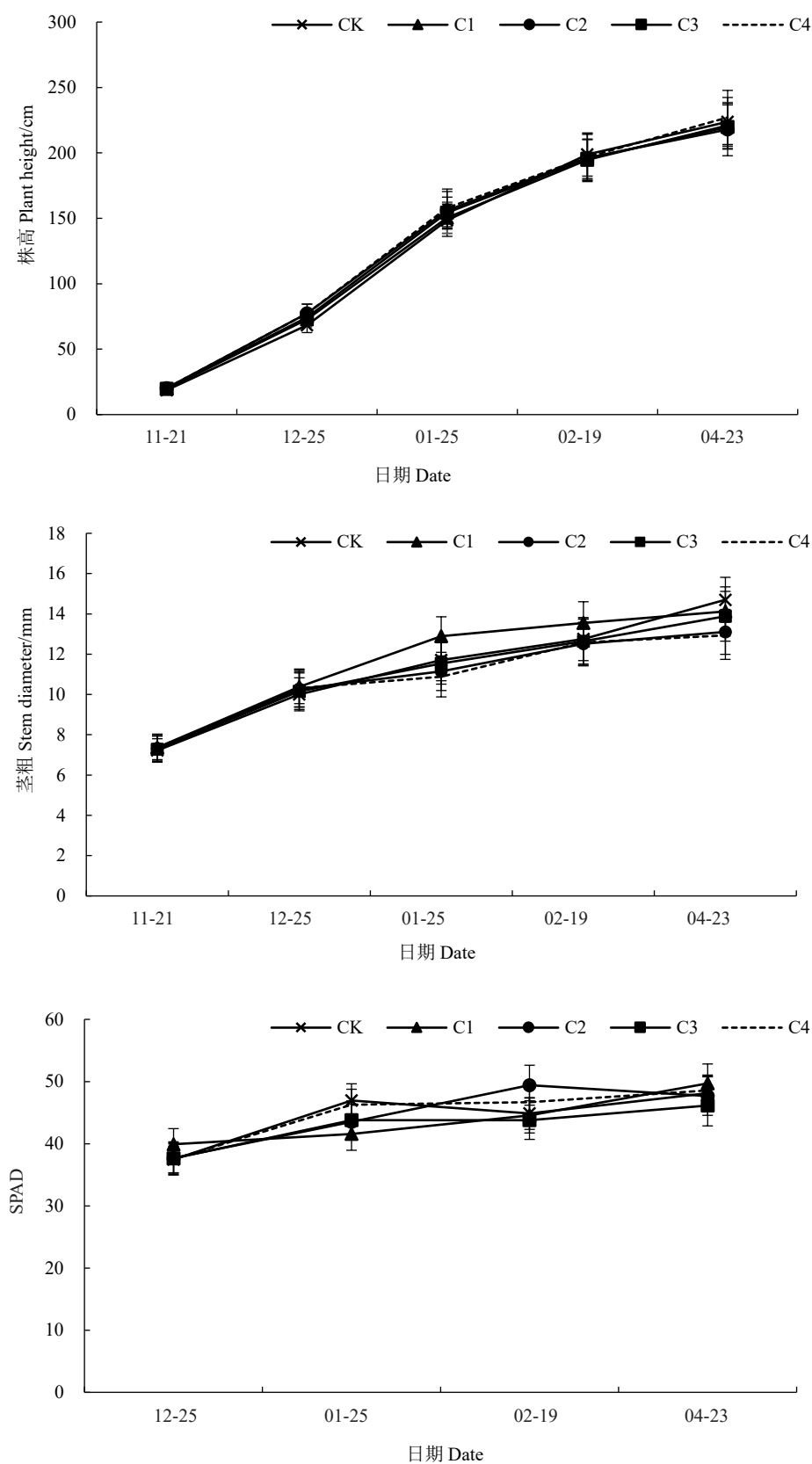


图1 不同处理对番茄株高(A)、茎粗(B)和 SPAD 值(C)的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on plant height(A), stem diameter(B)and SPAD value(C)of tomato

表 2 不同处理对番茄果实性状和产量的影响
Table 2 Effects of different treatments on tomato fruit traits and yield

处理 Treatment	纵径 Longitudinal diameter/mm	横径 Transverse diameter/mm	单果质量 Single fruit mass/g	单株产量 Yield per plant/kg	小区产量 Plot yield/kg	产量 Yield/(kg·667 m ²)
C1	53.21±1.35 a	60.57±1.64 a	117.73±4.15 a	3.06±0.15 a	434.04±9.21 a	7 095.76±151.45 a
C2	49.07±1.18 b	55.36±1.47 b	93.11±3.08 b	2.51±0.11 b	424.74±8.76 b	6 943.72±143.87 b
C3	50.25±1.27 b	59.57±1.59 ab	106.83±3.87 ab	2.78±0.13 b	420.77±8.49 b	6 878.76±139.64 b
C4	51.18±1.31 a	62.27±1.72 a	120.67±4.32 a	3.26±0.16 a	434.71±9.35 a	7 106.66±153.28 a
CK	49.57±1.23 b	56.08±1.51 b	97.54±3.26 b	2.73±0.12 b	421.69±8.54 b	6 893.86±140.32 b

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。
Notes: Different small letters in the same column indicate significant difference($P<0.05$). The same below.

最高,表明蚯蚓粪与全量化肥配施可显著提升产量。C1 处理(化肥减施 10%)的产量(7 095.76 kg·667 m²)略低于 C4 处理,但仍显著高于 CK,单果质量(117.73 g)表现突出,与 C4 处理无显著差异。C2 处理的产量较 CK 提高 0.72%,而 C3 处理较 CK 降低 0.22%,但差异不显著,说明增施蚯蚓粪条件下减施 20%~30%化肥,实现了化肥减量与产量稳定的平衡。

由表 3 可以看出,增施蚯蚓粪可全面改善番茄果实品质。各配施处理的可溶性糖含量(3.76%~4.00%)均显著高于 CK(3.14%),C1 处理居首;各处理的维生素 C 含量较 CK(14.30 mg·100 g⁻¹)显著提升 34.26%~69.93%,其中 C1 处理最高,达 24.30 mg·100 g⁻¹。C1、C2 处理的蛋白质含量高于 CK,但无显著差异,而 C4 处理较 CK 显著降低 23.08%。C1、C2 和 C4 处理的番茄红素含量显著低于 CK,而 C3 处理(化肥减施 30%)较 CK 显著提高 107.69%。各处理的可滴定酸含量均低于 CK,可溶

性固形物含量与 CK 相当,差异不显著。在氨基酸组成方面,CK 的天冬氨酸、谷氨酸和丙氨酸含量均显著高于 C1、C3 和 C4 处理,与 C2 处理差异不显著;CK 的甘氨酸含量显著高于各蚯蚓粪处理,而酪氨酸含量在不同处理间无显著差异。以上结果表明,增施蚯蚓粪配合化肥减量,可在提升果实甜度、营养成分含量的同时优化风味,其中减施 10%~30%化肥方案在品质改善上效果更为显著。

2.4 不同处理对设施土壤理化性质的影响

由表 4 可知,增施蚯蚓粪可有效改善土壤肥力及微生物环境。各配施处理土壤的有机质(C4 处理除外)、碱解氮含量均高于 CK,C2 处理的碱解氮含量达 342 mg·kg⁻¹,较 CK(291 mg·kg⁻¹)显著提高 17.52%;各处理的土壤有效磷含量均显著低于 CK,速效钾含量与 CK 差异均不显著。CK 的全氮含量最高,与 C1 和 C2 处理差异不显著,但显著高于 C3 和 C4 处理。CK 的有效磷含量(797.7 mg·kg⁻¹)显著高于其他处理,说明常规施肥中磷肥施用过量,

表 3 不同处理对番茄果实品质的影响
Table 3 Effects of different treatments on fruit quality of tomato

处理 Treat- ment	w(可溶 性糖) Soluble sugar content/ %	w(可滴 定酸) Titratable acid content/ %	w(维生 素 C) Vitamin C content/ (mg·100 g ⁻¹)	w(蛋白质) Protein content/ (mg·100 g ⁻¹)	w(可溶性 固形物) Soluble solids content/ %	w(番茄 红素) Lycopene content/ (mg·kg ⁻¹)	w(天冬 氨酸) Aspartic acid content/ (mg·100 g ⁻¹)	w(谷氨酸) Glutamic acid content/ (mg·100g ⁻¹)	w(丙氨酸) Alanine content/ (mg·100 g ⁻¹)	w(酪氨酸) Tyrosine content/ (mg·100 g ⁻¹)	w(甘氨酸) Glycine content/ (mg·100 g ⁻¹)
C1	4.00± 0.15 a	0.35± 0.01 b	24.30± 1.25 a	0.54± 0.03 a	8.60± 0.23 a	35.90± 2.87 d	0.036± 0.002 b	0.380± 0.013 b	0.015± 0.001 b	0.034± 0.002 a	0.014± 0.001 b
C2	3.76± 0.13 b	0.38± 0.01 ab	21.80± 1.09 b	0.60± 0.04 a	8.70± 0.25 a	43.30± 3.02 d	0.039± 0.002 ab	0.406± 0.014 ab	0.018± 0.001 ab	0.041± 0.002 a	0.015± 0.001 b
C3	3.86± 0.14 ab	0.38± 0.01 ab	19.20± 0.98 b	0.50± 0.03 b	8.70± 0.24 a	108.00± 5.42 a	0.033± 0.002 b	0.364± 0.012 b	0.013± 0.001 b	0.035± 0.002 a	0.014± 0.001 b
C4	3.87± 0.14 ab	0.34± 0.01 b	20.30± 1.03 b	0.40± 0.02 c	8.00± 0.20 a	44.80± 3.11 c	0.035± 0.002 b	0.352± 0.011 b	0.015± 0.001 b	0.035± 0.002 a	0.014± 0.001 b
CK	3.14± 0.12 c	0.42± 0.02 a	14.30± 0.87 c	0.52± 0.03 ab	8.20± 0.21 a	52.00± 3.15 b	0.043± 0.003 a	0.424± 0.015 a	0.021± 0.002 a	0.038± 0.002 a	0.018± 0.001 a

表 4 不同处理对土壤理化性质的影响
Table 4 Effects of different treatments on soil physical and chemical property

处理 Treatment	真菌数量 Fungi number/ (10 ⁶ CFU·g ⁻¹)	细菌数量 Bacteria number/ (10 ⁶ CFU·g ⁻¹)	放线菌数量 Actinomycetes number/ (10 ⁶ CFU·g ⁻¹)	pH	w(有机质) Soil organic matter content/ (g·kg ⁻¹)	w(碱解氮) Alkaline hydrolysis nitrogen content/ (mg·kg ⁻¹)	w(有效磷) Available phosphorus content/(mg·kg ⁻¹)
C1	4.7±0.36 c	4.3±0.28 b	1.20±0.08 b	8.05±0.06 a	37.9±1.32 a	329±9.54 b	481.9±18.65 c
C2	5.0±0.38 c	2.8±0.21 c	1.00±0.07 b	7.96±0.04 a	37.0±1.28 a	342±10.21 a	467.9±17.98 c
C3	9.0±0.61 a	3.1±0.23 c	0.41±0.04 c	7.98±0.05 a	37.4±1.30 a	303±9.12 bc	471.4±18.23 c
C4	7.2±0.49 b	6.2±0.37 a	4.20±0.21 a	8.01±0.05 a	35.8±1.23 b	295±8.89 c	548.6±20.76 b
CK	7.8±0.52 b	4.8±0.31 b	1.20±0.08 b	8.01±0.05 a	36.1±1.25 b	291±8.76 c	797.7±25.34 a

处理 Treatment	w(速效钾) Available potassium content/ (mg·kg ⁻¹)	w(全氮) Total nitrogen content/(g·kg ⁻¹)	阳离子交换量 Cation exchange capacity/ (cmol·kg ⁻¹)	过氧化 氢酶活性 Catalase activity/ (mL·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	蔗糖酶活性 Invertase activity/ (mg·g ⁻¹ ·24 h ⁻¹)	脲酶活性 Urease activity/ (mg·g ⁻¹ ·24 h ⁻¹)	纤维素酶活性 Cellulase activity/ (mg·g ⁻¹ ·72 h ⁻¹)
C1	1100±30.15 b	2.45±0.07 ab	13.4±0.33 a	0.173±0.009 a	2.52±0.09 b	0.87±0.04 b	0.002 54±0.000 13 c
C2	1063±28.76 b	2.48±0.07 ab	13.2±0.32 a	0.171±0.008 a	3.57±0.11 a	0.80±0.04 b	0.002 65±0.000 14 c
C3	1162±31.84 ab	2.28±0.06 b	13.2±0.32 a	0.175±0.009 a	1.55±0.07 c	1.07±0.05 ab	0.004 38±0.000 19 ab
C4	1211±33.42 a	2.29±0.06 b	13.1±0.31 a	0.168±0.008 a	2.45±0.09 b	1.14±0.05 a	0.002 39±0.000 12 c
CK	1186±32.51 ab	2.52±0.08 a	13.0±0.31 a	0.171±0.008 a	3.65±0.12 a	1.20±0.05 a	0.004 75±0.000 21 a

导致土壤磷素积累。各处理的土壤 pH 和阳离子交换量与 CK 相比均无显著差异。在酶活性方面,不同处理的土壤过氧化氢酶活性与 CK 无显著差异,C2 处理的蔗糖酶活性(3.57 mg·g⁻¹·24 h⁻¹)、C3 处理的纤维素酶活性(0.004 38 mg·g⁻¹·72 h⁻¹)均与 CK 无显著差异,利于土壤有机碳分解转化,为番茄生长提供持续养分;CK 的脲酶活性最高,与 C3 和 C4 处理差异不显著,但显著高于 C1 和 C2 处理。微生物群落中,C4 处理的放线菌(4.2×10⁶ CFU·g⁻¹)和细菌(6.2×10⁶ CFU·g⁻¹)数量显著高于 CK,利于抑制土传病原菌,缓解连作障碍;C3 处理的真菌数量(9.0×10⁶ CFU·g⁻¹)显著高于 CK。综上,增施蚯蚓粪可提升及平衡土壤养分供应能力、酶活性及生物多样性,为化肥减量提供了土壤肥力支撑。

3 讨论与结论

笔者系统探究了增施蚯蚓粪配合不同化肥减量比例对设施番茄生长发育、产量、品质及土壤肥力的影响,结果与已有研究形成良好呼应,同时进一步明确了西北设施条件下的适宜配施方案。在番茄生长与产量方面,增施蚯蚓粪后,即使化肥减量 20%~30%,番茄产量仍与常规施肥无显著差异,而全量化肥配施蚯蚓粪(C4)产量最高,较对照显著提高 3.09%,与颜振峰等^[9]的研究结论一致。宋计平等^[14]研究发现,蚯蚓粪能促进番茄株高和果形指数增加,本研究中 C4 处理在快速生长期的株高较 CK

提高 6.40%,印证了这一作用,其核心原因在于蚯蚓粪中丰富的有机质与益生菌群能改善养分供应节奏,缓解化肥减量带来的养分亏缺^[6]。李婉茹^[15]在薄皮甜瓜上的研究表明,化肥减量配施蚯蚓粪可增强植株长势并稳定产量,本研究中化肥减量 20%~30%处理的产量与 CK 差异不显著,跨作物验证了该技术路径的可行性。生育期观测显示,各处理生育周期一致,仅始花期提前 1 d,表明蚯蚓粪的缓释特性维持了生育期养分稳定性,为化肥减量提供了保障,这与刘刚^[2]关于蚯蚓活动不改变番茄基本生育节律的研究结果相符。

本研究结果表明,各处理的可溶性糖、维生素 C 含量均显著高于 CK,其中化肥减量 10%处理的维生素 C 含量显著提升 69.93%,C3 处理的番茄红素含量显著高于其他处理,可能与减施 30%化肥后,土壤真菌数量增加(9.0×10⁶ CFU·g⁻¹)有关,真菌群落可促进类胡萝卜素合成前体物质的积累^[16]。张勇勇等^[17]研究证实,蚯蚓粪配施化肥能显著提高番茄维生素 C、可溶性糖含量,降低可滴定酸含量,与本研究结果一致。刘祥等^[18]在红小豆上的研究发现,蚯蚓粪配施化肥可提高作物可溶性糖、氨基酸含量,但在本研究中蚯蚓粪配施处理下番茄果实部分氨基酸组分含量降低,可能是由于增施蚯蚓粪使土壤含氮量提高,一方面高氮促进植株生长,果实氨基酸积累被稀释^[19];另一方面优化了土壤养分供给结构^[1],促进植株对矿质养分的高效吸收,降低了对

土壤氨基酸的直接吸收量,而常规施肥下土壤养分单一,植株更易积累土壤氨基酸,此现象也与土壤养分形态调控植株吸收偏好的研究结论一致^[7]。

在土壤肥力改善方面,增施蚯蚓粪提高了土壤有机质、碱解氮含量,与华北中性土壤相比,西北盐碱化土壤中蚯蚓粪通过提升有机质含量、调节阳离子交换量,缓解了磷素固定(C4处理的有效磷含量为 $548.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),为盐碱地化肥减量提供了新的依据,同时细菌数量增加,真菌数量减少,这与曹旭等^[20]的研究结果相符。杨海波等^[21]研究表明,蚯蚓粪与生物炭配施可降低土壤重金属含量,提高脲酶活性,本研究中蚯蚓粪处理不仅提升了土壤酶活性,还通过养分缓释改善了土壤理化性质,其中C2处理的碱解氮含量较CK显著提升17.52%,为番茄生长提供了稳定的养分供给。

综上所述,增施 $3\text{ t}\cdot 667\text{ m}^2$ 蚯蚓粪并减施10%化肥(C1)为西北设施番茄生产的最优方案,产量达 $7\,095.76\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$,维生素C含量显著提高69.93%,配施减施30%化肥(C3)可稳定产量且显著提升番茄红素含量。本研究结果为西北设施番茄化肥减量、土壤改良及绿色生产提供了理论依据与技术支持。

参考文献

- [1] 汪洋,胡慧,刘晓娇,等.宁夏普罗旺斯番茄品质调查分析[J].中国瓜菜,2025,38(3):119-124.
- [2] 刘刚.蚯蚓与蚯蚓粪对设施连作番茄土壤及植株、果实的影响[D].银川:宁夏大学,2024.
- [3] 温学萍,王昊,任登成,等.套养蚯蚓对土壤重金属消解及鲜食番茄产量和品质的影响[J].中国瓜菜,2024,37(12):116-120.
- [4] 原淑玉.蚯蚓粪对大白菜减肥效果及土壤微生物调控[D].河南新乡:河南科技学院,2025.
- [5] 路济阳.蚯蚓粪和化肥配施对土壤理化性状及赤芍次生代谢产物的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2023.
- [6] 赵雪.蚯蚓粪基质栽培对番茄连作生产与基质养分和有机质化学组成的影响[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2025.
- [7] 穆柯(Muhammad Qasim).蚯蚓粪配施化肥对番茄农艺性状、品质和土壤理化性质的影响[D].江苏扬州:扬州大学,2023.
- [8] 蒋洪丽,雷琪,吴淑芳,等.蚯蚓粪有机肥袋料栽培对番茄生长、产量和品质的影响[J].中国土壤与肥料,2022(8):191-197.
- [9] 颜振峰,林晶晶,张林琳.化肥减量配施蚯蚓粪对连作番茄产量、养分利用及经济效益的影响[J].江苏农业科学,2025,53(2):183-190.
- [10] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [11] 林先贵.土壤微生物研究原理与方法[M].北京:高等教育出版社,2010.
- [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,2000.
- [13] GB 5009.124—2016 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定[S].
- [14] 宋计平,曹守珍,王晓,等.不同有机肥对番茄产量及品质的影响[J].中国果菜,2023,43(12):72-77.
- [15] 李婉茹.减施化肥配施蚯蚓粪有机肥对薄皮甜瓜品质和产量的影响[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2022.
- [16] 郑剑超,李明,董飞.减施化肥增施有机肥和菌肥对番茄产量及土壤微生物和酶活性的影响[J].中国农学通报,2024,40(9):48-54.
- [17] 张勇勇,赵凤艳,杨丽娟.化肥有机替代对温室连作番茄产量、品质和土壤生物化学特性的影响[J].辽宁农业科学,2022(4):1-6.
- [18] 刘祥,周洁,邓金华,等.蚯蚓粪与化肥配施对红小豆生长与品质的影响[J].干旱地区农业研究,2022,40(2):181-188.
- [19] 程国亭,娄茜棋,栗现芳,等.番茄果实风味物质组成及其影响因素研究进展[J].中国蔬菜,2022(7):23-33.
- [20] 曹旭,张先成,王向向,等.蚯蚓粪对番茄根际土壤微生物学特性的影响[J].北方园艺,2021(15):97-105.
- [21] 杨海波,杨荣华,李承男,等.不同土壤改良措施对土壤特性和番茄生长发育及品质、产量的影响[J].江苏农业科学,2022,50(15):94-100.