

DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2025.0155

氮肥减量配施生物有机肥对设施土壤 微生物及茄子产量、品质的影响

庞金玲,陆慧,闫伟强,陈震,高俊杰,于璐,谷端银

(泰安市农业科学院 山东泰安 271000)

摘要:为改善设施土壤微生态环境,提高茄子产量、品质,本研究以露地茄子为材料,采用土壤栽培方式,设置不施肥(CK)、单施生物有机肥(T1)、单施化肥(T2)、氮肥减量10%配施生物有机肥1800 kg·hm⁻²(T3)、氮肥减量20%配施生物有机肥2400 kg·hm⁻²(T4)5个处理,探索氮肥减量配施生物有机肥对设施土壤微生物及茄子产量、品质的影响,为生物有机肥与化肥合理配施、茄子高效优质生产提供理论指导。结果表明,T3处理的土壤碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量、蔗糖酶活性、脲酶活性、过氧化氢酶活性在各生长期均最高;与T2处理相比,T3处理土壤微生物群落多样性较高。T3处理茄子的春、秋季及总产量均最高,分别为135.96、148.77、284.73 t·hm⁻²,与T2处理相比,分别显著增加16.26、8.87、25.13 t·hm⁻²。T3处理的茄子茄皮品质以及果肉可溶性蛋白、可溶性糖、维生素C含量较高,综合品质最好。综合各指标来看,氮肥减量10%配施生物有机肥1800 kg·hm⁻²可以促进土壤养分的转化和积累,增强土壤酶活性,优化土壤微生物环境,提高茄子产量和品质,效果最佳。

关键词:茄子;生物有机肥;氮肥;土壤微生物;土壤酶活性;微生物多样性;产量;品质

中图分类号:S641.1

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)02-196-09

Effects of reducing nitrogen fertilizer and applying microbial organicfertilizer on the facility soil microecology, yield and quality of eggplant

PANG Jinling, LU Hui, YAN Weiqiang, CHEN Zhen, GAO Junjie, YU Lu, GU Duanyin

(Tai'an Academy of Agricultural Sciences, Tai'an 271000, Shandong, China)

Abstract: In order to improve the soil microecological environment and enhance the yield and quality of eggplant, this study used the Lushuai eggplant as the material and adopted soil cultivation methods. Five treatments were set up: No fertilization(CK), single application of bio organic fertilizer(T1), single application of chemical fertilizer(T2), nitrogen fertilizer reduction of 10% combined with bio organic fertilizer 1800 kg·hm⁻²(T3), nitrogen fertilizer reduction of 20% combined with bio organic fertilizer 2400 kg·hm⁻²(T4), to explore the effects of nitrogen fertilizer reduction combined with bio-organic fertilizer on the soil microecology and eggplant yield and quality in the facility. The results indicate that the soil alkaline nitrogen content, available phosphorus content, available potassium content, sucrase activity, urease activity, and catalase activity under T3 treatment reached their highest level at all growth stages. Compared with T2 treatment, soil microbial community diversity was higher under T3 treatment. Under T3 treatment, the spring yield, autumn yield and total yield of eggplant were the highest, with 135.96, 148.77, and 284.73 t·hm⁻², respectively. Compared with T2 treatment, the yield were significantly increased by 16.26, 8.87, and 25.13 t·hm⁻², respectively. The quality of eggplant skin and the content of soluble protein, soluble sugar, and vitamin C of T3 treatment are higher, resulting in the best overall quality. Based on various indicators, T3 treatment, which involves reducing nitrogen fertilizer by 10% and applying 1800 kg·hm⁻² bio-organic fertilizer, can promote the transformation and accumulation of soil nutrients, enhance soil enzyme activity, optimize soil microbial environment, and improve eggplant yield and quality, with the best effect.

Key words: Eggplant; Microbial organic fertilizer; Nitrogenous fertilizer; Soil microecology; Soil enzyme activity; Microbial diversity; Yield; Quality

收稿日期:2025-03-04;修回日期:2025-11-21

基金项目:2023年泰安市农业良种工程项目(2023NYLZ02);2022年山东省重点研发计划(农业良种工程)项目(2022LZGC009);2024年岱岳区农业科技特派员项目(TPY202403);山东省蔬菜产业技术体系项目(SDAIT-05)

作者简介:庞金玲,女,助理农艺师,研究方向为蔬菜栽培生理。E-mail:pangjinlinglk@163.com

通信作者:谷端银,女,正高级农艺师,研究方向为蔬菜育种与栽培。E-mail:guduanyin@163.com

茄子(*Solanum melongena* L.)是我国重要的茄果类蔬菜之一,其种植面积和消费量占世界首位,山东省是我国重要的设施蔬菜生产大省,作为一种高效益蔬菜,茄子在山东省大面积种植^[1]。但目前茄子生产中存在施肥结构单一^[2]、土壤养分失衡^[3]、土壤次生盐渍化^[4]等问题,这些问题导致了肥料利用效率降低和生态环境污染日趋严重,严重影响茄子的产量和品质。生物有机肥与化肥配施不仅可以减少化肥的用量,还能增加土壤肥力、改良土壤结构和减少环境污染^[5]。因此,通过生物有机肥的应用可改善土壤微生态、减少化肥使用、降低生产成本,对提升产量和种植效益具有重要意义^[6]。

前人研究表明,化肥减量配施生物有机肥可显著提高土壤酶活性及土壤养分含量,改善土壤环境^[7-9]。Xue 等^[10]研究发现,化肥配施生物有机肥提高了土壤有机质含量、酶活性和土壤细菌相对丰度及花椰菜产量。杨龙涛等^[11]研究发现,化肥减量配施生物有机肥可促进西葫芦养分吸收与积累、提高果实品质和产量。尚玮瑶等^[12]研究发现,化肥减量30%平衡施肥+600 kg·667 m⁻²生物有机肥能够促进紫甘蓝养分合理分配和吸收积累,提质增产效果显著。Li 等^[13]研究发现,生物有机肥和适度减量化肥的混合施用比单独施用化肥更有效,能显著提高小白菜的产量。当前研究较为关注化肥减量配施生物有机肥对其他蔬菜品质、产量及土壤质量的影响,而对设施茄子的研究较少。因此本文以茄子(露帅)为试材,探究了氮肥减量配施生物有机肥对土壤微生态及茄子产量、品质的影响,旨在明确设施茄子氮肥减量最佳生物有机肥替代比例,为该地区茄子生物有机肥与化肥合理配施、推动茄子生产提质增效提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

供试茄子品种为露帅,由济南市茄果研究所提供,以托鲁巴姆为砧木嫁接育苗而成。供试生物有机肥料为商品生物有机肥,其中,有效活菌数≥6亿·g⁻¹,有机质含量(w,后同)≥60%,总养分(N+P₂O₅+K₂O)含量≥10.6%。常规化肥包括尿素(N含量≥46%)、过磷酸钙(P₂O₅含量≥20%)、硫酸钾(K₂O含量≥50%),均由山东农大肥业科技股份有限公司提供。

1.2 试验设计

试验于2021—2022年在山东省泰安市农业科

学院试验基地拱圆大棚内进行。每个试验小区3 m²,种植两垄茄子,垄高20 cm、宽30 cm,两垄行距50 cm,两垄内侧各定植1行茄子,株距45 cm,共定植12株,每个处理3个重复。于2021年3月25日定植,7月20日进行摘除老枝的再生管理,11月底拉秧,各处理田间管理一致。供试土壤基本理化性状如下:土壤pH为6.34、有机质(w,下同)含量为15.84 g·kg⁻¹、碱解氮含量为203.30 mg·kg⁻¹、速效磷含量为91.67 mg·kg⁻¹、速效钾含量为152.00 mg·kg⁻¹。

设置不施肥(CK)、单施生物有机肥(T1)、单施化肥(T2即常规施肥)、氮肥减量10%配施生物有机肥1800 kg·hm⁻²(T3)、氮肥减量20%配施生物有机肥2400 kg·hm⁻²(T4)5个处理,不同处理的肥料用量如表1所示,T2~T4处理磷钾肥施用量相同。各处理均在定植前一次性全部施入生物有机肥。在春季和秋季分别施入氮、磷、钾肥。春季按照2/3施入,剩余1/3在秋季施入。春季氮肥和钾肥总量的40%作为底肥施入,其余分6次施入,每次用量均为春季总量的10%;磷肥春季总量的60%作为底肥施入,其余分2次施入,每次用量均为春季总量的20%。秋季均作为追肥施入,氮肥和钾肥均分6次施入,用量依次为秋季总量的20%、20%、15%、15%、15%、15%,磷肥分2次施入,每次均为秋季总量的50%。

表1 不同处理的肥料用量

Table 1 Fertilizer usage for different treatments (kg·hm⁻²)

处理 Treatment	生物有机肥 The amount of microbial organic fertilizer	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK				
T1	3000			
T2		375.0	225	450
T3	1800	337.5	225	450
T4	2400	300.0	225	450

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤微生物指标的测定 于3月(定植前,施用底肥前)、5月(定植后60 d)、7月(定植后120 d)、9月(定植后180 d)、10月(定植后210 d)和11月(定植后240 d),分别在各处理小区内茄子株间居中位置,取深度为0~20 cm的土壤样本,随机取5个点混样作为1个重复,每个处理3个重复。

参照鲍士旦^[14]的方法测定土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量。

参照关松荫^[15]的方法测定土壤蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶活性。

土壤微生物群落多样性测定:为明确有机肥、化肥及有机肥化肥配施对土壤微生物多样性的影晌,本研究选取纯有机肥、纯化肥及表现最优的有机肥化肥配施处理进行对比分析。分别于5月(定植后60 d)、11月(定植后240 d)取T1、T2、T3处理各5株植株的根际土壤,混合后用液氮保存,分别命名为S.ON、S.CN、S.ON.CN和A.ON、A.CN、A.ON.CN,样本送北京诺禾致源科技股份有限公司进行后续的DNA提取、PCR扩增以及高通量测序,数据处理及作图均在北京诺禾致源NovaSeq测序平台上完成。并计算微生物多样性指数(Chao1指数,代表微生物群落丰富度)。

1.3.2 茄子产量测定 从茄子开始成熟后,每隔7 d 使用电子秤测产,计算春季产量(定植后0~120 d)、秋季产量(定植后120~240 d)以及拉秧后的周年总产量(定植后0~240 d)。

1.3.3 茄子品质测定 各处理采收后均选取5个果实鲜样进行品质测定。于盛果期(7月)选取各处理成熟度一致、大小均一的5个茄子果实分离果皮和果肉,参照曹建康等^[16]方法,用紫外分光光度计分别于波长396、540 nm处测定茄皮黄素和茄皮红素含量;采用HCl-甲醇溶液浸提法,用紫外分光光

度计分别于波长280、325、600和530 nm处测定计算茄皮花青素、类黄酮和总酚含量。于盛果期(7月和10月)选取各处理成熟度一致、大小均一的5个茄子果实分离果皮和果肉,参照邹琦^[17]的方法,分别采用考马斯亮兰比色法、蒽酮比色法、2,6-二氯酚靛酚滴定法、水杨酸比色法测定果肉可溶性蛋白、可溶性糖、维生素C、硝酸盐含量。

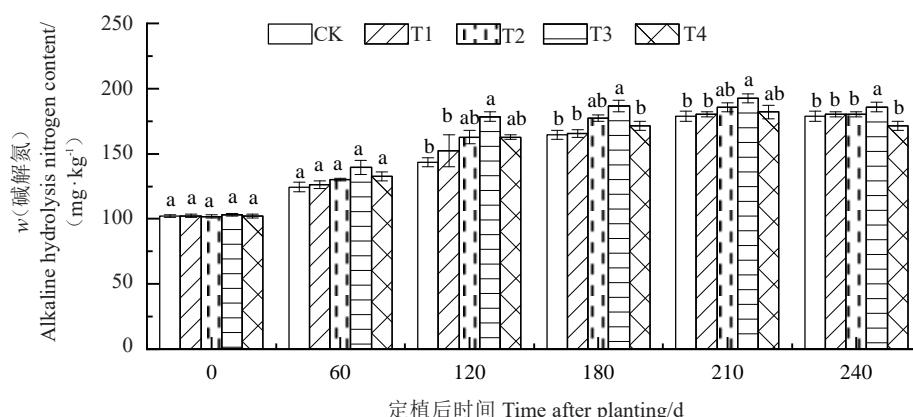
1.4 数据处理

采用Excel软件进行数据处理;采用Origin软件作图;采用Statistical Analysis软件进行数据方差分析;相关性分析采用Pearson相关分析。

2 结果与分析

2.1 氮肥减量配施生物有机肥对土壤养分含量的影响

由图1可知,茄子定植前各处理土壤碱解氮含量均处于较低水平,在茄子生长阶段各处理土壤碱解氮含量均呈先升高后降低趋势,且均在定植后210 d最高。定植后0~210 d T3处理土壤碱解氮含量均高于T2,但差异均不显著,定植后0~240 d时T4与T2处理均无显著差异;定植后240 d T3处理显著高于其他处理,达185.85 mg·kg⁻¹。



注:不同小写字母表示同一时期不同处理间在0.05水平差异显著。下同。

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

图1 氮肥减量配施生物有机肥对土壤碱解氮含量的影响

Fig. 1 Effects of reducing nitrogen fertilizer and applying bio-organic fertilizer on soil alkaline hydrolyzed nitrogen content

由图2可知,茄子定植后各处理土壤速效磷含量随定植时间延长整体上均呈先升高后降低的趋势,定植后180 d T3处理土壤速效磷含量最高,达208 mg·kg⁻¹。定植0~60 d各处理均无显著差异;定植后120、180 d T3处理均显著高于其他处理;定植后210 d T3处理与T4差异不显著,但显著

高于T2处理;定植后240 d T3处理高于T2,但与T2处理差异不显著。

由图3可知,定植后60、120、180 d土壤速效钾含量均为T3处理最高,显著高于其他处理。定植后210 d T3处理显著高于CK、T4处理,但与其他处理差异不显著,定植后240 d T3、T4处理土壤速

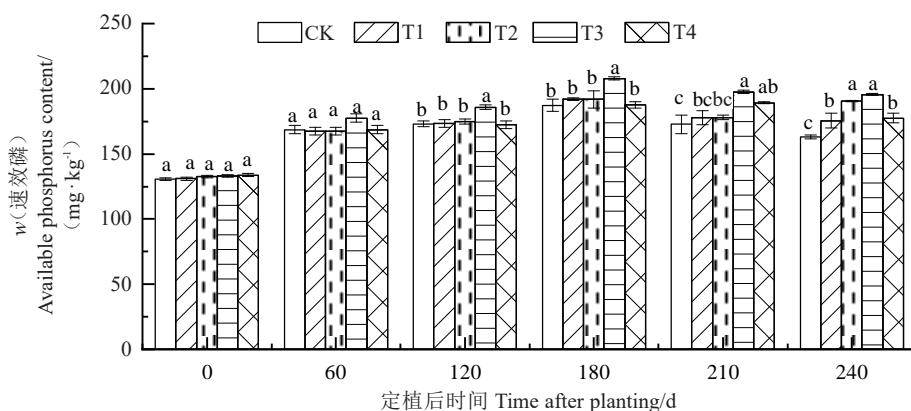


图 2 氮肥减量配施生物有机肥对土壤速效磷含量的影响

Fig. 2 The effect of reducing nitrogen fertilizer and applying bio-organic fertilizer on soil available phosphorus content

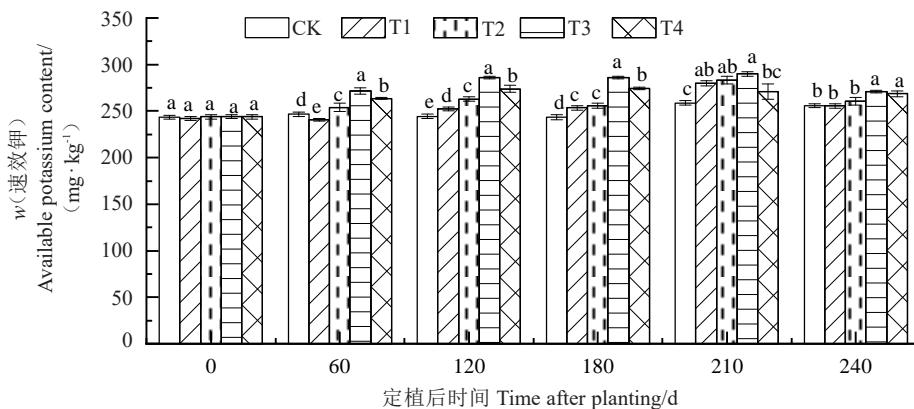


图 3 氮肥减量配施生物有机肥对土壤速效钾含量的影响

Fig. 3 Effects of reducing nitrogen fertilizer and applying bio-organic fertilizer on soil available potassium content

效钾含量分别为 270.67 、 $268.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，显著高于其他处理。

2.2 氮肥减量配施生物有机肥对土壤酶活性的影响

由表 2 可知，定植后 60、120、240 d T1、T2、T3、T4 处理土壤蔗糖酶活性均高于 CK。除定植后 240 d T4 处理土壤蔗糖酶活性最高外，定植后 60、120 d T3 处理均最高，且各时期 T3 处理均显著高于 T2。定植后 120 d T3 处理土壤蔗糖酶活性较 T2 显著提高 36.25%，定植后 240 d T3 处理较 T2 处理显著提高 33.48%。定植后各时期土壤脲酶活性、过氧化氢酶活性 T3、T4 处理均高于 T2，且 T3 处理显著高于 T2。

2.3 氮肥减量配施生物有机肥对土壤微生物群落多样性的影响

Chao1 指数是一个非参数统计量，用于估计群落中 OTU(操作分类单元)的总数。Chao1 指数越大，说明样本中检测到的微生物 OTU 数量(物种丰

富度)越多。由表 3 可知，不同处理对 Chao1 指数影响较大。5 月、11 月均为 T1 处理 Chao1 指数最大，分别为 1 779.46、1 986.09 个 OTU；T3 处理 Chao1 指数次之，分别为 1 146.52、1 678.96 个 OTU；T2 处理的 Chao1 指数最低，分别为 667.88、1 417.35 个 OTU。这说明与 T2 相比，T1 和 T3 处理均可提高土壤中微生物群落的 Chao1 指数，总体表现为 $T1 > T3 > T2$ 。

由图 4 可知，在茄子的整个生长周期中，T1~T3 处理共提取到土壤细菌 OTU 224 个。5 月(定植后 60 d)和 11 月(定植后 240 d)取样的 T1 处理特有细菌 OTU 数量均最多，5 月(定植后 60 d)和 11 月(定植后 240 d)取样土壤特有细菌 OTU 数量排序均为 $T1 > T3 > T2$ 。T1~T3 处理共提取到土壤真菌 OTU 6764 个。5 月(定植后 60 d)和 11 月(定植后 240 d)取样的土壤特有真菌 OTU 数量排序均为 $T3 > T1 > T2$ 。综上，与 T2 处理相比，T3 处理可提高土壤微生物多样性。

表 2 氮肥减量配施生物有机肥对土壤酶活性的影响

Table 2 Effects of reducing nitrogen fertilizer and applying bio-organic fertilizer on soil enzyme activity

定植后时间 Days after planting/d	处理 Treatment	蔗糖酶活性 Sucrase activity/(mg·g ⁻¹)	脲酶活性 Urease activity/(mg·g ⁻¹)	过氧化氢酶活性 Catalase activity/(mL·g ⁻¹)
60	CK	12.02±0.66 c	0.14±0.03 c	3.41±0.16 d
	T1	19.06±0.25 a	0.33±0.03 b	3.90±0.03 c
	T2	15.71±0.17 b	0.14±0.05 c	4.72±0.26 b
	T3	20.43±0.33 a	0.48±0.01 a	6.24±0.14 a
	T4	15.06±0.23 b	0.17±0.04 c	5.06±0.01 b
120	CK	14.06±0.25 d	0.15±0.02 c	5.06±0.02 c
	T1	18.81±0.21 b	0.19±0.01 c	5.57±0.14 b
	T2	15.09±0.26 c	0.17±0.02 c	5.24±0.13 c
	T3	20.56±0.16 a	0.34±0.01 a	6.18±0.02 a
	T4	18.66±0.23 b	0.26±0.03 b	6.04±0.07 a
240	CK	15.68±0.46 c	0.59±0.02 c	4.69±0.02 b
	T1	18.55±0.12 b	0.88±0.04 ab	5.04±0.07 b
	T2	16.10±0.21 c	0.63±0.03 c	5.03±0.11 b
	T3	21.49±0.18 a	0.97±0.03 a	6.61±0.17 a
	T4	21.60±0.37 a	0.85±0.04 b	6.58±0.17 a

注:同列不同小写字母表示同一时间的不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

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

表 3 氮肥减量配施生物有机肥对土壤微生物群落多样性指数的影响

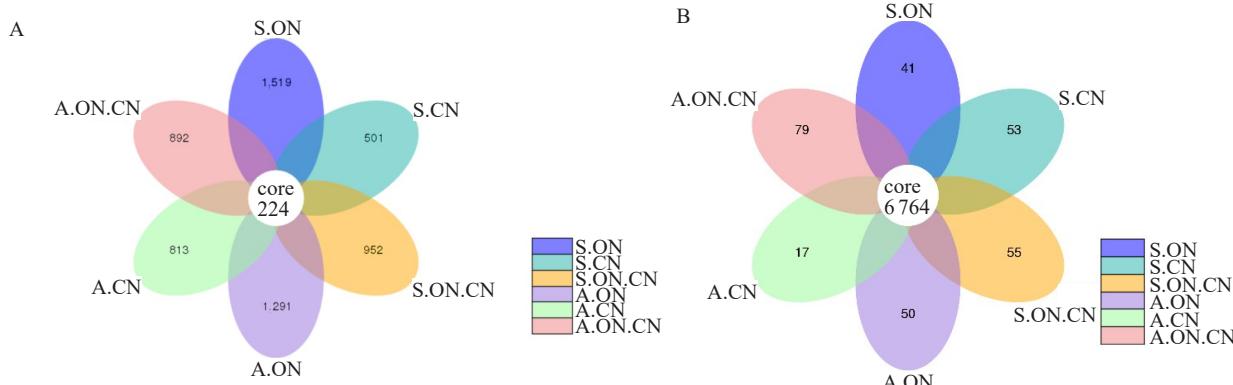
Table 3 Effects of reducing nitrogen fertilizer and applying bio-organic fertilizer on soil microbial community diversity index

时间 Time	处理 Treatment	Chao 1 指数 Chao 1 index(OTU)
5月 May	T1	1 779.46±118.34 a
	T2	667.88±153.70 c
	T3	1 146.52±18.23 b
11月 November	T1	1 986.09±16.56 a
	T2	1 417.35±33.41 b
	T3	1 678.96±78.18 ab

2.4 氮肥减量配施生物有机肥对茄子产量和品质的影响

2.4.1 对茄子产量的影响 由表 4 可知, T3 处理茄子的春季产量、秋季产量以及总产量均高于其他处理, 分别为 135.96、148.77、284.73 t·hm⁻², 与 T2 处理相比, 分别显著增加了 16.26、8.87、25.13 t·hm⁻²。T4 与 T1 处理茄子春季产量、秋季产量及总产量均无显著差异, 但均显著高于 CK。T3 处理较 T2 处理更能增加茄子产量。

2.4.2 对茄子品质的影响 由表 5 可知, T1、T3 处理的茄皮黄素含量均显著高于其他处理。T3 处



注:A 为细菌;B 为真菌。

Note: A is bacterial; and B is fungal.

图 4 氮肥减量配施生物有机肥对土壤细菌、真菌多样性的影响

Fig. 4 Effects of reducing nitrogen fertilizer and applying bio-organic fertilizer on soil bacterial and fungal diversity

表 4 氮肥减量配施生物有机肥对茄子产量的影响

Table 4 Effects of reducing nitrogen fertilizer and applying bio-organic fertilizer on eggplant yield ($t \cdot hm^{-2}$)

Treatment	春季产量 Spring yield	秋季产量 Autumn yield	总产量 Total yield
CK	109.86±0.19 d	125.35±1.38 d	235.21±1.58 c
T1	116.18±0.54 c	145.89±0.85 ab	262.07±1.39 b
T2	119.70±0.36 b	139.90±0.17 c	259.60±0.53 b
T3	135.96±0.78 a	148.77±2.03 a	284.73±1.25 a
T4	116.88±0.15 c	142.19±1.22 bc	259.06±1.07 b

表 5 氮肥减量配施生物有机肥对茄皮品质的影响

Table 5 Effects of reducing nitrogen fertilizer and applying bio-organic fertilizer on eggplant peel quality

Treatment	茄皮黄素含量 Yellow pigment content of eggplants peel/(OD ₃₉₆ nm · cm ⁻²)	茄皮红素含量 Red pigment content of eggplants peel/(OD ₅₄₀ nm · cm ⁻²)	花青素含量 Anthocyanin content/ (OD ₅₃₀ ~OD ₆₀₀ nm · cm ⁻²)	总酚含量 Total phenol content/ (OD ₂₈₀ nm · cm ⁻²)	类黄酮含量 Flavonoid content/ (OD ₃₂₅ nm · cm ⁻²)
CK	0.35±0.01 c	0.10±0.01 c	0.75±0.02 b	0.54±0.01 b	1.47±0.03 b
T1	0.53±0.01 a	0.15±0.01 ab	0.75±0.03 b	0.59±0.17 b	1.49±0.03 ab
T2	0.48±0.01 b	0.12±0.01 bc	0.92±0.06 b	0.58±0.01 b	1.50±0.06 ab
T3	0.52±0.01 a	0.18±0.01 a	1.06±0.01 a	0.75±0.01 a	1.60±0.02 a
T4	0.48±0.01 b	0.15±0.01 ab	0.99±0.03 a	0.73±0.01 a	1.57±0.03 ab

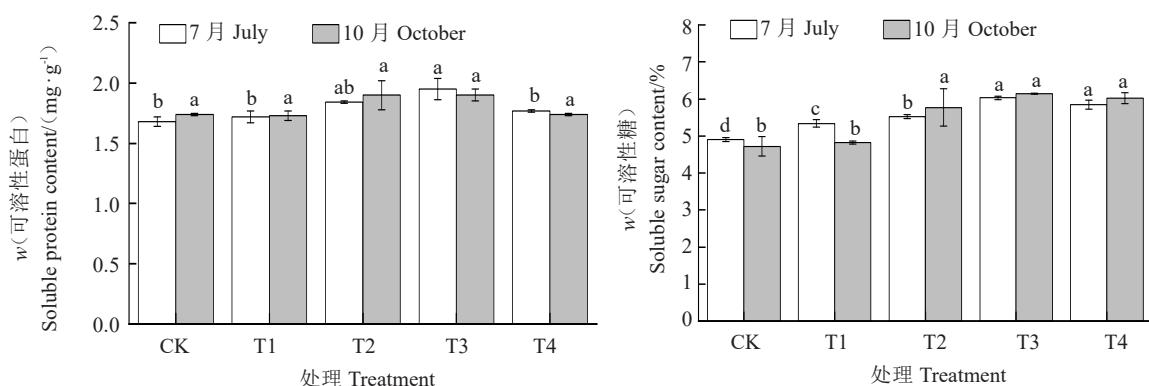


图 5 氮肥减量配施生物有机肥对茄子果肉可溶性蛋白含量及可溶性糖含量的影响

Fig. 5 Effects of reducing nitrogen fertilizer and applying bio-organic fertilizer on soluble protein content and soluble sugar content in eggplant flesh

处理,但盛果期 10 月与 T2 处理差异不显著。

由图 6 可知,盛果期 7 月和 10 月的茄子果肉维生素 C 含量均为 T3 处理最高,7 月 CK 最低。盛果期 7 月各处理硝酸盐含量差异均不显著,但盛果期 10 月硝酸盐含量 CK 最高,为 $153.24 mg \cdot kg^{-1}$, T3 处理最低,为 $132.41 mg \cdot kg^{-1}$, T3、T4 处理均显著低于 T2 处理。综上,与 T2 处理相比,氮肥减量配施生物有机肥显著提高了盛果期 7 月茄子维生素 C 含量,盛果期 10 月显著降低了硝酸盐含量。

2.5 茄子产量、品质指标与土壤因子的相关性

对 7 月的茄子产量、果肉品质与 7 月(定植后

120 d)的土壤养分含量、酶活性进行相关性分析。由表 6 可知,产量与碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量、脲酶活性、过氧化氢酶活性均呈显著正相关。可溶性蛋白含量与硝酸盐含量呈极显著负相关;可溶性糖含量与维生素 C 含量、碱解氮含量、脲酶活性、过氧化氢酶活性均呈显著正相关;维生素 C 含量与碱解氮含量、过氧化氢酶活性均呈显著正相关,与脲酶活性呈极显著正相关,可溶性糖含量、维生素 C 含量与速效钾含量均呈极显著正相关;硝酸盐含量与碱解氮含量呈显著负相关;碱解氮含量与速效磷含量、脲酶活性均呈显著正相关,与速效钾

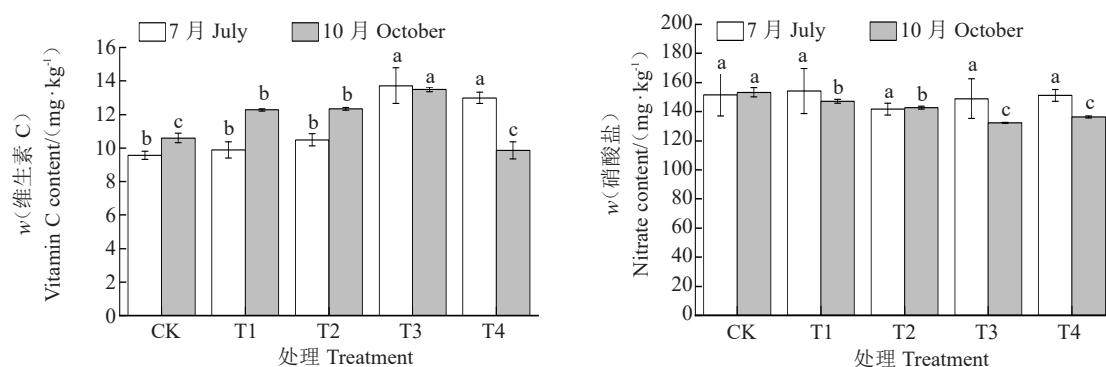


图 6 氮肥减量配施生物有机肥对茄子果肉维生素 C 含量及硝酸盐含量的影响

Fig. 6 Effects of reducing nitrogen fertilizer and applying bio-organic fertilizer on vitamin C content and nitrate content in eggplant flesh

表 6 茄子产量、品质指标与土壤因子相关性分析(基于 Pearson 相关系数)

Table 6 Correlation analysis between eggplant yield and quality indicators and soil factors
(based on Pearson correlation coefficient)

指标 Index	产量 Yield	可溶性蛋白含量 Soluble protein content	可溶性糖含量 Soluble sugar content	维生素 C 含量 Vitamin C content	硝酸盐含量 Nitrate content	碱解氮含量 Alkaline hydrolysis nitrogen content	速效磷含量 Available phosphorus content	速效钾含量 Available potassium content	蔗糖酶活性 Sucrase activity	脲酶活性 Urease activity	过氧化氢酶活性 Catalase activity
产量 Yield	1										
可溶性蛋白含量 Soluble protein content	0.752	1									
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.819	0.516	1								
维生素 C 含量 Vitamin C content	0.764	0.386		0.927*	1						
硝酸盐含量 Nitrate content	-0.815	-0.980**	-0.591	-0.525	1						
碱解氮含量 Alkaline hydrolysis nitrogen content	0.941*	0.743		0.947*	0.871*	-0.807*	1				
速效磷含量 Available phosphorus content	0.949*	0.708		0.628	0.655	-0.790	0.808*	1			
速效钾含量 Available potassium content	0.867*	0.708		0.977**	0.963**	-0.686	0.969**	0.728	1		
蔗糖酶活性 Sucrase activity	0.707	0.113		0.792	0.743	-0.189	0.693	0.584	0.733	1	
脲酶活性 Urease activity	0.865*	0.390		0.892*	0.952**	-0.522	0.875*	0.797	0.929*	0.862*	1
过氧化氢酶活性 Catalase activity	0.814*	0.171		0.902*	0.924*	-0.290	0.785	0.579	0.878*	0.931*	0.946** 1

注: *表示在 0.05 水平显著相关, **表示在 0.01 水平极显著相关。

Note: * indicates significant correlation at 0.05 level, and ** indicates extremely significant correlation at 0.01 level.

含量呈极显著正相关。速效钾含量与脲酶活性、过氧化氢酶活性均呈显著正相关, 蔗糖酶活性与脲酶活性、过氧化氢酶活性均呈显著正相关; 脲酶活性与过氧化氢酶活性呈极显著正相关。

3 讨论与结论

合理施肥不仅有助于改善土壤养分状况, 相比单施化肥, 生物有机肥与化肥配施还能更有效地提

升土壤肥力,促进土壤生态系统的良性循环^[18]。本研究结果表明,与单施化肥(T2)处理相比,氮肥减量10%配施生物有机肥1800 kg·hm⁻²(T3处理)均可提高土壤碱解氮、速效磷和速效钾等养分含量。说明合理的氮肥减量配施生物有机肥可提高土壤养分,改善土壤肥力,优化土壤环境。这可能是由于生物有机肥中含有丰富的有机碳和多种矿质营养元素,而且含有大量有益微生物,可通过微生物代谢活动的方式,增加土壤有效养分和营养元素,为植物生长发育提供良好的环境^[19]。赵满兴等^[20]研究结果表明,与不施肥、单施化肥处理相比,生物有机肥替代化肥处理总体上能显著增加土壤速效养分含量,对辣椒生长、产量、品质效果更好,本研究结果与其相似。本研究结果表明,氮肥减量配施生物有机肥整体上可有效提高土壤蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶活性,T3处理各土壤酶活性均最高。这可能是由于氮肥减量配施生物有机肥能够提高土壤养分含量,增加微生物多样性并提高其代谢水平,促进根系对土壤养分的吸收与利用,从而增加了胞外酶的释放,提高土壤酶活性^[21]。李娟等^[22]通过长期肥料试验发现,向土壤中施入生物有机肥和化肥可以有效提高土壤酶活性,本研究与前人研究结果一致。但在作物种植过程中,要注意合理配施,生物有机肥和化肥的施加比例对土壤酶活性也有很大的影响。本研究结果表明,与T2处理相比,T3处理增加了土壤微生物多样性,这与孙薇等^[23]、彭宇等^[24]的研究结果一致。一方面是由于施用生物有机肥能够加速土壤有机质矿化分解,提高土壤养分含量,为土壤微生物提供充足的碳源、氮源,维持较高的土壤微生物群落多样性^[25];另一方面有机肥替代部分氮肥改变了土壤中的碳氮比例,增强了土壤酶活性,优化了微生物生存环境^[26],从而使微生物群落多样性增加。本研究结果表明,氮肥减量配施生物有机肥处理茄子的春、秋季及总产量均高于不施肥(CK)处理,其中T3处理茄子的春秋季及总产量均最高,均显著高于T2处理。这可能是由于生物有机肥营养物质释放缓慢,氮素养分以氨态氮或氨基酸形式供植物吸收利用,有利于营养物质的积累,促进植物生长,提高产品质量^[27]。夏成明等^[28]研究结果表明,化肥减量配施有机肥可提高娃娃菜产量。余高等^[29]研究发现,化肥减施、有机肥增施是提高辣椒产量和果实品质的关键途径之一。本研究与前人研究结果一致,证明氮肥减量配施生物有机肥可以提高茄子产量。本研究中,茄子产量与土壤

碱解氮、速效磷、速效钾含量、脲酶活性、过氧化氢酶活性呈显著正相关,说明土壤肥力的增加利于提高产量。谢福平等^[30]的研究也发现番茄产量与土壤养分含量呈显著正相关。因此,T3处理能提高设施茄子产量的主要原因可能是提高了土壤肥力。

品质是衡量蔬菜作物质量和价值的重要标准。本研究结果表明,与T2处理相比,T3、T4处理提高了茄子的茄皮品质(茄皮红素、茄皮黄素、花青素、总酚以及类黄酮含量),这与李海渤等^[31]、张慧珍等^[32]的研究结果相一致。与T2处理相比,T3处理提高了茄子可溶性蛋白、可溶性糖以及维生素C含量,茄子品质明显改善,增加了其食用价值。翟彩娇等^[33]研究结果表明,与不施肥相比,生物有机肥配施化肥减施可以提高黑塌菜的可溶性糖、可溶性蛋白和维生素C含量,降低硝酸盐含量。周清华等^[34]研究表明,与常规施肥相比,减施化肥配施生物有机肥可以显著提高茄果维生素C、可溶性糖含量,显著降低茄果硝酸盐含量,改善茄子品质。这可能是生物有机肥可促进植物光合作用,提高了光合产物的积累量^[35],同时生物有机肥施入土壤后改善了土壤酶活性和提高了微生物种群,进而改善土壤环境^[36],从而提高茄子养分利用率,改善果实茄皮品质、果肉可溶性蛋白、可溶性糖和维生素C含量。

综上所述,合理的氮肥减量配施生物有机肥可改善和提高土壤环境,促进茄子的生长,提高产量、品质。T3处理,即氮肥减量10%配施生物有机肥1800 kg·hm⁻²对土壤微生态环境、产量、品质指标的综合效果最好,可作为设施茄子的氮肥、生物有机肥配施的参考用量。

参考文献

- [1] 刘永光,代惠洁,杨园园,等.山东地区茄子感染番茄褪绿病毒的分子鉴定[J].中国蔬菜,2017(9):41-46.
- [2] 程凤娟,巫彬芳,陈小娟,等.酸性红壤条件下钾硅钙肥对茄子生长及土壤性状的影响[J].现代农业科技,2017(20):68-70.
- [3] 王子腾,耿元波,梁涛,等.减施化肥和配施有机肥对茶园土壤养分及茶叶产量和品质的影响[J].生态环境学报,2018,27(12):2243-2251.
- [4] 陈修斌,杨彬,闫芳,等.不同土壤含水量对日光温室茄子生长及生理特性影响[J].土壤通报,2009,40(2):231-234.
- [5] 程红玉,汤振东,雷玉明,等.有机肥替代部分化肥对青贮玉米产量、品质及土壤肥力的影响[J].草地学报,2025,33(5):1702-1712.
- [6] 邬刚,严从生,袁嫚嫚,等.化肥减量配施有机肥对叶菜类蔬菜产量、品质和养分吸收的影响[J].中国瓜菜,2021,34(12):58-62.
- [7] 杜宏辉,贾学刚,杨涛.化肥减量及配施生物有机肥对马铃薯

- 产量、矿质元素含量及土壤肥力的影响[J].中国瓜菜,2023,36(9):66-74.
- [8] 任立军,李金,邹洪涛,等.生物有机肥配施化肥对设施土壤养分含量及团聚体分布的影响[J].土壤,2023,55(4):756-763,
- [9] 王振龙,宿翠翠,周琦,等.氮肥减量配施有机肥对菊芋产量、品质及土壤质量的影响[J].作物杂志,2023(5):104-109.
- [10] XUE M X, JU L, JIAN L, et al. Chemical fertilizer reduction combined with bio- organic fertilizers increases cauliflower yield via regulation of soil biochemical properties and bacterial communities in Northwest China[J]. Frontiers in Microbiology, 2022(13):922149.
- [11] 杨龙涛,尚玮瑶,万子龙,等.化肥减量配施生物有机肥对露地西葫芦产量、品质和养分分配的影响[J].甘肃农业大学学报,2024,59(2):64-73.
- [12] 尚玮瑶,杨龙涛,万子龙,等.化肥减量配施生物有机肥对紫甘蓝产量、品质及干物质和养分分配的影响[J].甘肃农业大学学报,2024,59(2):74-82.
- [13] LI J, NING J, SHU Y W, et al. Changes in the microbial structure of the root soil and the yield of chinese baby cabbage by chemical fertilizer reduction with bio-organic fertilizer application[J]. Microbiology Spectrum, 2022, 10(6):e0121522.
- [14] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [15] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [16] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
- [17] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000:62-72.
- [18] 李权辉,赵凯丽,颜芳,等.配施生物有机肥对甘薯产量及土壤养分的影响[J].土壤与作物,2025,14(3):381-389.
- [19] 王丽慧.生物有机肥配施化肥对马铃薯产量、品质和土壤肥力的影响[J].现代化农业,2023(6):24-27.
- [20] 赵满兴,张成桃,刘慧,等.减施化肥与配施生物有机肥对辣椒生长及土壤养分的影响[J].陕西农业科学,2022,68(11):57-62.
- [21] 李敏,刘亚军,王文静,等.施肥方式对连作甘薯田土壤团聚体稳定性及酶活性的影响[J].江苏农业科学,2023,51(13):252-260.
- [22] 李娟,赵秉强,李秀英,等.长期有机无机肥料配施对土壤微生物特性及土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2008,41(1):144-152.
- [23] 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.
- [24] 彭宇,闫会转,肖中林,等.不同施肥处理对盆栽辣椒土壤酶活性及土壤微生物含量的影响[J].新疆农业科学,2022,59(9):2200-2208.
- [25] 司海丽,纪立东,李磊,等.生物有机肥对宁夏盐碱地土壤养分和生物学特性的影响[J].土壤,2022,54(6):1124-1131.
- [26] 伍晓轩,杨洪坤,朱杰,等.不同有机肥种类配施化肥对丘陵旱地小麦产量和籽粒蛋白质品质的影响[J].四川农业大学学报,2019,37(3):283-287.
- [27] 钟希琼,王惠珍,邓日烈,等.生物有机肥对蔬菜生理性状和品质的影响[J].佛山科学技术学院学报(自然科学版),2005(2):74-76.
- [28] 夏成明,史嘉莉,马栋,等.化肥减量配施有机肥和微生物菌剂对麦后复种娃娃菜产量与品质的影响[J].中国瓜菜,2024,37(10):132-140.
- [29] 余高,陈芬,谢英荷,等.化肥减施、有机肥配施对辣椒产量及品质的影响[J].北方园艺,2020(4):47-53.
- [30] 谢福平,毛涛.化肥减量配施生物有机肥对设施番茄产量、品质及土壤质量的影响[J/OL].作物杂志,1-9[2025-03-27].<https://link.cnki.net/urlid/11.1808.S.20250327.1409.006>.
- [31] 李海渤,冯慧敏,杨春亚,等.不同施肥处理对土壤质量及芥菜产量与品质的影响[J].广东农业科学,2024,51(7):13-24.
- [32] 张慧珍,张齐,高邦牢,等.有机无机肥配施菌剂对葡萄园土壤、果实及葡萄酒品质的影响[J].中国土壤与肥料,2024(1):129-140.
- [33] 翟彩娇,程玉静,仇亮,等.生物有机肥配施下化肥减施对黑塌菜生长、产量及品质的影响[J].中国农学通报,2024,40(10):35-43.
- [34] 周清华,杨柳,王东歧,等.减施化肥配施生物有机肥可以改善茄子品质[J].农业与技术,2023,43(7):51-53.
- [35] 杨姣姣,魏百弘,陈文绪,等.化肥减量配施不同用量堆肥对娃娃菜产量及品质的影响[J].中国瓜菜,2024,37(1):94-102.
- [36] 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.