

蚓粪对温室番茄植株叶片光合特性与产量的调节

史津玮, 王业迪, 关之昊, 姚 澜, 路迎奇, 张玥琦, 杨丽娟*

(沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘 要: 为了明确蚓粪施入对不同连作年限土壤栽培的番茄植株光合作用与产量的调节作用, 试验以番茄为供试作物, 采用温室内盆栽试验, 研究番茄连作 0、5 和 20 年土壤中, 蚓粪 (VM)、鸡粪 (CM)、稻草 (FS) 和化肥 (CF), 不施肥对照 (CK) 对番茄植株生长发育、生理特性以及产量的影响。结果表明, 在番茄连作 0 年和 5 年的土壤中蚓粪处理番茄植株叶片光和参数略低于鸡粪处理, 但高于其他处理。在连作 20 年的土壤中, 蚓粪的输入使番茄植株叶片蒸腾速率、气孔导度、净光合速率和胞间 CO_2 浓度较鸡粪处理分别提高了 13.70%、12.38%、6.51% 和 5.85%; 较稻草处理分别提高了 56.11%、33.21%、19.80% 和 16.50%; 较化肥处理分别提高了 84.05%、51.68%、20.89% 和 42.74%。除蚓粪和鸡粪处理外, 其他处理在连作 5 年和连作 20 年的土壤中栽培的番茄的生物量、根系活力、产量均低于连作 0 年的对应处理。蚓粪处理的连作 0 年和 5 年的土壤中栽培的番茄产量分别为 $1\ 641$ 和 $1\ 654\ \text{g} \cdot \text{株}^{-1}$, 高于连作 20 年的番茄产量 ($1\ 593\ \text{g} \cdot \text{株}^{-1}$), 其生物量和根系活力也高于连作 20 年的土壤。生产上, 可以通过适量输入蚓粪来调节植株的光合作用, 提高生物量以及根系活力, 从而提高番茄产量。

关键词: 设施番茄; 蚓粪; 根系活力; 光合作用; 产量

随着我国农业产业结构的调整, 设施蔬菜产业发展迅猛^[1], 农民为了追求高产, 大量施用化肥, 不仅导致了设施土壤污染, 而且影响设施蔬菜产量的提高。因此, 急需寻找一种合适的有机肥来替代化肥, 在不影响农业可持续发展的条件下保证设施蔬菜的产量。蚓粪是一种天然的生态有机肥, 含有较高的速效养分, 在作物生长过程中能够持续供应养分^[2], 由于蚓粪结构微小、孔隙度高、表面积大、通风良好、微生物活性高, 具有优良的营养状态和缓冲能力, 因此蚓粪具有增强植物可利用养分的能力^[3], 对提高土壤肥力和促进植物生长发育具有很好的效果^[4]。前人研究表明蚓粪施入可以在一定程度上提高如菠萝、油麦菜、番茄等作物的产量^[5-7], 且对作物产量的提高效果优于猪粪、生物黑炭、秸秆等有机物料^[8], 与马粪堆肥、鸡粪和化肥相比, 在 60% ~ 70% 的田间持水量下, 蚓粪可使番茄增产 16.30%、9.63% 和 51.99%^[9]。

光合作用是作物产量形成过程中最基本的生理

活动, 光合作用的强弱和产量的高低密切相关, 光合作用受多种因素的影响^[10-11]。前人研究表明, 温度和湿度均对叶片净光合速率有一定的调节作用, 高温高湿的交互作用对叶片净光合速率的影响极显著, 可以通过调节温度和湿度来影响叶片气孔特性, 进而影响叶片蒸腾和光合作用^[12]。在日光温室增施不同浓度的 CO_2 , 可显著提高叶片净光合速率、胞间 CO_2 浓度和水分利用率^[13]。提高灌水量和施肥量, 同时提高植株的净光合速率^[14]。目前, 关于通过调节温度、光照、 CO_2 浓度以及水肥耦合作用等来调节植株光合作用的报道较多, 但是关于蚓粪施入对植株光合特性影响的报道较少。本文通过盆栽试验, 探讨了在番茄不同连作年限的土壤中施用蚓粪对番茄生长状况、光合作用以及番茄产量的调节, 旨在为通过施入蚓粪来调节番茄光合作用, 从而促进番茄生长发育, 提高产量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于沈阳农业大学温室基地 ($123^\circ 57' \text{E}$, $41^\circ 83' \text{N}$) 内进行。供试土壤分别为采自辽宁省沈阳市某基地的 0 年 (与连作大棚相邻的休耕土壤)、5 年和 20 年的番茄连作土壤。供试土壤养分含量见表 1。供试番茄品种为“金冠九号”。

收稿日期: 2019-07-08; 录用日期: 2019-07-21

基金项目: 辽宁省特聘教授项目; 辽宁省教育厅服务地方项目; 国家自然科学基金 (31372132)。

作者简介: 史津玮 (1994-), 女, 辽宁省抚顺市人, 硕士研究生, 研究方向为养分管理与资源高效利用。E-mail: sjw15840058673@163.com。

通讯作者: 杨丽娟, syau_ylj@163.com。

表 1 供试土壤的基本性状

连作年限	pH 值	电导率 ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	碱解氮 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全碳 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	C/N	有机质 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
0	8.14	130.00	101.79	28.15	152.73	12.76	1.32	11.23	20.75
5	7.85	250.00	135.93	158.56	231.76	15.72	1.84	10.18	31.46
20	6.17	490.00	206.94	374.03	564.57	25.40	3.07	8.93	46.63

试验采用聚乙烯钵，规格为：30 cm×28 cm，每盆装 15 kg 土壤，试验土壤均风干后过 1 cm 筛。本试验共设 5 个处理，分别为：VM（蚓粪）、CM（鸡粪）、FS（稻草）和 CF（化肥），CK（不施肥对照），每个处理重复 5 次。所有施肥处理以 N、P、K 等养分施入，N、P₂O₅、K₂O 用量分别为 0.40、0.25、0.40 g·kg⁻¹（即 N、P₂O₅、K₂O 分

别为 900、560、900 kg·hm⁻²），蚓粪用量为 13.10 g·kg⁻¹（参考当地有机肥施用量 30 t·hm⁻²），FS（稻草）、CM（鸡粪）用量分别为 40.82 g·kg⁻¹、8.30 g·kg⁻¹，养分不足的处理用尿素、过磷酸钙、硫酸钾补足，供试肥料的基本性状见表 2。所有肥料均作为基肥一次性施入，番茄生育期内不进行追肥。

表 2 供试肥料的基本性状

	蚓粪	鸡粪	稻草	尿素	过磷酸钙	硫酸钾
pH 值	6.52	6.34	—	7.02	5.90	6.80
电导率 ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	2 190.00	17 850.00	—	—	—	—
有机质 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	102.44	430.48	620.43	—	—	—
全氮 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	7.68	29.97	9.80	460.00	—	—
全磷 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	19.09	30.13	1.60	—	120.00	—
全钾 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	4.13	7.20	6.30	—	—	500.00

试验所用稻草收集自沈阳农业大学水稻研究所试验基地，风干后粉碎至 2 ~ 3 cm 备用；鸡粪堆肥由公司提供；新鲜蚓粪由本课题组提供。

1.2 田间管理

2016 年 3 月 12 日选取生长健壮并且长势相对一致的幼苗（3 ~ 4 片真叶）移栽到钵中，生育期内灌水量保持到田间持水量的 70% ~ 80%，整个生育期为 108 d。留 3 穗果，每穗果留 4 个果实。

1.3 样品采集及测定

光合指标（蒸腾速率 Tr、气孔导度 Gs、净光合速率 Pn、胞间 CO₂ 浓度 Ci）于花期采用 GFS-3000 便携式光和系统分析仪，在流速为 750 $\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ ，CO₂ 浓度为 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，叶室面积为 8 cm²，叶室温度为 25℃，光强为 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的条件下测定（WALZ，德国）。

番茄收获后分离植株地上部和地下部，及时清洗根系并测定根系活力，其余部分经 90℃ 杀酶

30 min，然后 60℃ 烘干至恒重，用于生物量测定，根冠比为根干重与地上部干重的比值。

根系活力采用 TTC（氯化三苯基四氮唑）还原法测定。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 统计软件进行统计及显著性分析。

2 结果与分析

2.1 蚓粪对植株光合参数的影响

如表 3 所示，同一连作年限条件下，施肥提高了番茄叶片蒸腾速率（Tr）、气孔导度（Gs）、净光合速率（Pn）和胞间 CO₂ 浓度（Ci）。在连作 0 年的土壤中，VM 处理的 Tr 最高；CM 处理的 Gs 和 Pn 最高，但与 VM 处理之间差异不显著；FS、CM、VM 处理的 Ci 差异不显著，但均显著高于 CF 处理。在连作 5 年的土壤中，各个处理之间的 Tr、Gs、Pn、Ci 差异不显著；在连作 20 年的土壤中，VM 处理的 Tr、Gs、Pn、Ci 均为最高，分别为 4.73、

238.70、19.97 mmol · m⁻² · s⁻¹、251.88 μmol · mol⁻¹，与 CM 处理之间差异不显著，较 FS 处理分别增加了 56.11%、33.20%、19.80%、16.50%，较 CF 处理分别增加了 84.05%、51.68%、42.74%、20.89%。

由表 3 显著性检验可知，施肥处理对 Tr、Gs、

Pn 以及 Ci 的影响呈极显著水平。连作年限对 Tr、Ci 有显著影响，对 Gs、Pn 无显著影响。施肥处理与连作年限的交互作用对 Tr、Gs、Pn 以及 Ci 均有极显著影响。

表 3 蚓粪对番茄叶片光合特性的影响

连作年限	处理	蒸腾速率	气孔导度	净光合速率	胞间 CO ₂ 浓度
		Tr	Gs	Pn	Ci
			(mmol · m ⁻² · s ⁻¹)		(μmol · mol ⁻¹)
0	CK	1.66 ± 0.18bA	128.71 ± 18.39bA	7.90 ± 1.25cB	179.15 ± 12.58bA
	CF	2.58 ± 0.40abA	162.93 ± 8.80abB	16.86 ± 0.27abA	189.03 ± 7.31bB
	FS	2.76 ± 0.29aA	160.02 ± 22.46abA	14.24 ± 1.59bA	226.35 ± 1.78aA
	CM	2.82 ± 0.42aB	197.64 ± 14.88aA	18.89 ± 1.00aA	221.51 ± 2.45aA
	VM	3.63 ± 0.15aB	190.61 ± 9.66aB	18.56 ± 0.52aAB	211.65 ± 3.70aB
5	CK	1.67 ± 0.13bA	130.77 ± 9.54bA	13.72 ± 1.15bA	194.10 ± 8.57bA
	CF	3.30 ± 0.53aA	206.68 ± 4.97aA	18.39 ± 0.41aA	222.24 ± 0.91abA
	FS	3.49 ± 0.37aA	176.76 ± 16.29aA	15.94 ± 1.07abA	222.44 ± 3.75abA
	CM	2.70 ± 0.10aB	198.25 ± 14.88aA	17.98 ± 1.22aA	228.09 ± 16.00aA
	VM	3.61 ± 0.16aB	178.75 ± 8.36aB	16.87 ± 0.83abB	223.39 ± 5.08abA
20	CK	1.82 ± 0.16cA	144.86 ± 12.70cA	15.61 ± 0.65cA	202.66 ± 3.96cA
	CF	2.57 ± 0.40bcA	157.36 ± 14.35cB	13.99 ± 1.48cB	208.36 ± 3.94cA
	FS	3.03 ± 0.40bA	179.19 ± 13.87bcA	16.67 ± 0.93bcA	216.20 ± 8.08bcA
	CM	4.16 ± 0.25aA	212.42 ± 11.86abA	18.75 ± 0.57abA	237.97 ± 13.73abA
	VM	4.73 ± 0.36aA	238.70 ± 19.31aA	19.97 ± 0.53aA	251.88 ± 8.20aA
	处理	15.76**	8.79**	11.29**	9.11**
	连作年限	3.24*	1.61	2.37	4.91*
	处理 × 连作年限	7.19**	3.86**	7.71**	4.44**

注：表中数据为平均值 ± 标准误；小写字母 a、b、c 表示不同施肥处理组在 0.05 水平上的差异，大写字母 A、B、C 表示不同连作年限在 0.05 水平上的差异；* 表示在 0.05 水平上显著；** 表示在 0.01 水平上显著，下表同。

由表 3 可知，同一施肥处理不同连作年限对番茄光合参数影响不同。CF 处理的连作 5 年的土壤中栽培的番茄叶片 Gs、Pn 均显著高于连作 20 年的番茄。FS 处理的各个连作年限的番茄叶片的 Tr、Gs、Pn 和 Ci 之间差异并不显著。CM 处理下的番茄，除 Tr 外各个连作年限均差异不显著。VM 处理在连作 20 年土壤中栽培的番茄叶片的 Tr、Gs、Pn 和 Ci 均显著高于连作 5 年的番茄，分别提高了 23.68%、25.12%、15.52% 和 11.391%；较连作 0 年分别提高了 23.26%、20.15%、7.06% 和 15.97%。

2.2 蚓粪对植株生物量的影响

试验结果表明，同一连作年限条件下，蚓粪

的输入可以在一定程度上增加植物的地上部以及根干重，从而影响植株的根冠比。如图 1 所示，在连作 0 年的土壤中，VM 和 CM 处理的植株地上部干重、根干重之间差异不显著，但是均显著大于 CF 处理；FS、CM、VM 处理的根冠比之间差异不显著。在连作 5 年的土壤中，VM 处理的地上部干重显著高于 CM 和 FS 处理，分别提高了 24.27% 和 29.71%；FS、CM、VM 处理下的根冠比之间差异不显著。连作 20 年的土壤中，地上部干重、根干重均为 VM 处理最高；各处理之间根冠比差异不显著。

如图 1 所示，CF、FS 处理的连作 5 年和连

作 20 年的土壤中栽培的番茄的地上部干重与连作 0 年的土壤中的番茄相比均有所降低，且差异显著。FS 处理的连作 20 年的土壤中栽培的番茄的根干重显著低于连作 0 年和连作 5 年的土

壤中栽培的番茄。而 VM 处理的连作 5 年和连作 20 年的土壤中栽培的番茄的地上部干重和根干重以及根冠比与连作 0 年的番茄之间差异并不显著。

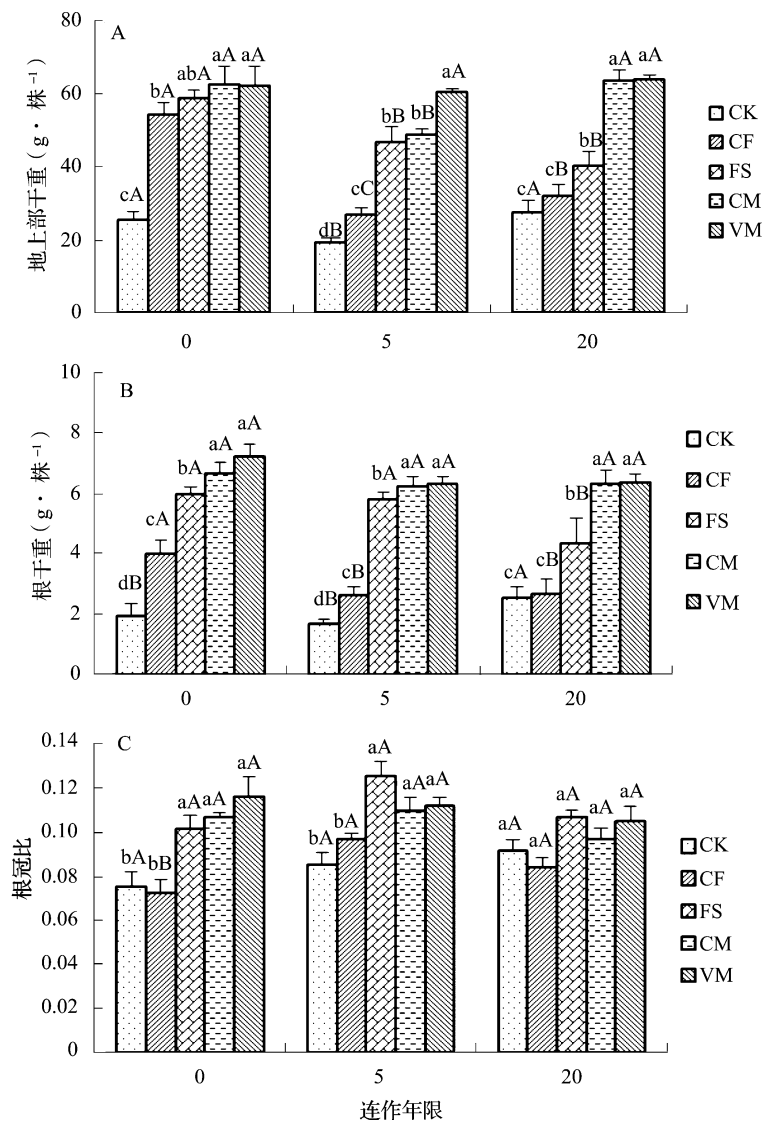


图 1 蚓粪对番茄植株生物量的影响

注：图中小写字母 a、b、c 表示不同施肥处理组在 0.05 水平上的差异，大写字母 A、B、C 表示不同连作年限在 0.05 水平上的差异；* 表示在 0.05 水平上显著；** 表示在 0.01 水平上显著，下同。

2.3 蚓粪对植株根系活力的影响

由图 2 可知，在连作 0 年和连作 5 年的土壤中栽培番茄，CM 和 VM 处理的植株根系活力均显著高于其他处理，CM 和 VM 处理之间差异不显著；其中连作 0 年的土壤中 VM 处理的根系活力最高，较 CM、FS、CF 处理分别提高了 9.72%、29.30% 和 48.67%。在连作 20 年的土壤中 CF、

FS、CM、VM 4 种处理的植株根系活力之间差异不显著。

如图 2 所示，CF 处理下的连作 5 年的土壤中栽培的番茄的根系活力显著低于连作 0 年的番茄。FS、CM 和 VM 处理的根系活力趋势基本相同，连作 0、5 和 20 年的土壤之间差异不显著。

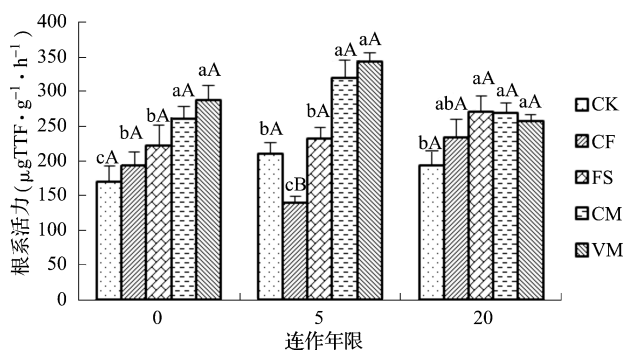


图2 蚓粪对番茄根系活力的影响

2.4 蚓粪对番茄产量的影响

显著性检验结果表明, 施肥处理 ($P<0.01$, $F=24.23$) 和处理与连作年限的交互作用 ($P<0.01$, $F=7.85$) 对番茄产量影响显著, 而连作年限 ($P>0.05$, $F=1.31$) 对番茄产量无显著影响。由图3可知, 在连作0、5年的土壤中, 均为VM处理下番茄产量最高, 分别为 $1\ 641$ 、 $1\ 654\ \text{g} \cdot \text{株}^{-1}$, 与CM处理的番茄产量差异不显著。在连作0年的土壤中, VM处理的产量较CF、FS处理分别提高了29.45%、15.71%。连作20年的土壤中番茄产量依次为 $\text{VM}>\text{CM}>\text{CK}>\text{FS}>\text{CF}$ 。

由图3可知, FS处理与CF处理情况下, 连作5和20年的番茄产量均低于连作0年的番茄产量, 其中连作20年的达到显著水平。CM处理下连作

20年的番茄产量较连作0年和连作5年的番茄产量分别降低了7.63%和4.87%。VM处理的各个连作年限的番茄产量之间无明显差异。

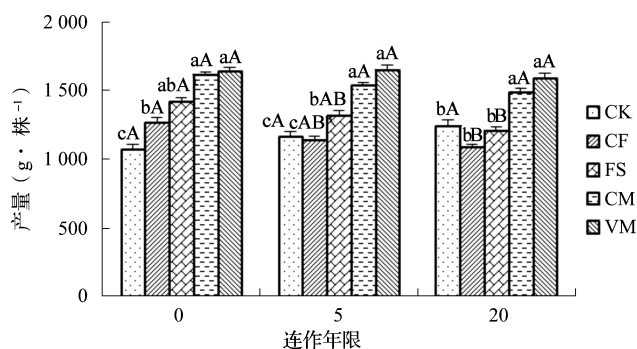


图3 蚓粪对不同处理的番茄产量的影响

2.5 产量与生物量、光合作用、根系活力等相关性分析

通过对产量与生物量、光合参数、根系活力等相关分析表明 (表4), 蒸腾速率和气孔导度均与净光合速率、地上部干重以及根干重呈极显著正相关, 与产量呈显著正相关; 蒸腾速率与气孔导度和根系活力也呈极显著正相关。净光合速率与胞间 CO_2 浓度呈显著正相关; 与地上部干重、根干重、产量呈极显著正相关, 除此之外, 胞间 CO_2 浓度还与植株的根系活力呈极显著正相关。根系活力、根干重、地上部干重均与产量呈极显著正相关。

表4 产量与生物量、光合参数、根系活力的相关性

	蒸腾速率	气孔导度	净光合速率	胞间 CO_2 浓度	根系活力	根干重	地上部干重	产量
蒸腾速率	1	0.677**	0.606**	0.342	0.539**	0.546**	0.639**	0.481*
气孔导度		1	0.782**	0.481*	0.380	0.601**	0.521**	0.442*
净光合速率			1	0.449*	0.483*	0.783**	0.814**	0.682**
胞间 CO_2 浓度				1	0.598**	0.592**	0.513**	0.666**
根系活力					1	0.656**	0.604**	0.711**
根干重						1	0.818**	0.764**
地上部干重							1	0.790**
产量								1

注: 表中*、** 分别表示相关性达5%和1%显著水平。

3 讨论

该试验研究结果表明, 施蚓粪可以在一定程度上提高叶片的蒸腾速率、气孔导度、净光合速率和胞间 CO_2 浓度。在连作0年的土壤中, 蚓粪处理的气孔导度和净光合速率显著高于化肥处理; 蚓粪、稻草、鸡粪3种处理下的胞间 CO_2 浓度差异不显

著, 但均显著高于化肥处理。连作20年的土壤中, 蒸腾速率、气孔导度、净光合速率、胞间 CO_2 浓度均为蚓粪处理下最高。前人研究表明, 蒸腾速率、净光合速率以及气孔导度的增加与植物水分供应的增加有关^[14], 由于蚓粪特殊的物理、化学性质和生物结构, 蚓粪具有良好的保水能力, 保持了根系充足的水分供应, 从而提高了叶片的蒸腾速

率、净光合速率、气孔导度^[15]，此外蚓粪能够长期供应养分，也对提高叶片的光合参数具有一定的帮助。因此施用蚓粪有助于植株的蒸腾速率、气孔导度、净光合速率、胞间 CO₂ 浓度的提高，从而促进植株的光合作用。

植株干物质有 90% ~ 95% 是来自光合作用^[16]。光合作用是促进植物生长发育的关键过程，因此通过光合作用能够促进植物生物量的增加^[17]。蚓粪的施入可以在一定程度上增加植物的地上部以及根干重，与前人研究结果一致^[18]。可能是由于蚓粪中含有植物所需的生长激素，能够促进根系的生长发育，为地上部提供营养物质，从而提高了根干重和地上部干重^[19]。同时蚓粪输入提高了植株的光合作用，也促进了植株干物质的积累。

根系活力是衡量根系功能的主要指标之一，根系的生长和活性对植物的生长和营养状况起着重要的作用。蚓粪的输入可以显著提高番茄植株的根系活力，可能与其营养物质和生物活性物质有关^[20]。蚓粪具有特殊的理化性质，且含有丰富的有机质、腐殖质，以及植物生长所需的氮、磷、钾等大量元素，铁、锰、铜、硼等多种微量元素，同时含有许多植物生长调节剂，包括生长素、赤霉素、腐植酸等，对植物根系的生长和营养物质的有效利用具有重要意义^[21-23]。

在本试验中，相同的连作年限下，蚓粪的施入会在一定程度上提高番茄的产量，与前人研究结果一致^[24]。连作 0 年的土壤中，蚓粪处理的番茄产量较化肥处理提高了 29.45%，连作 5 年的土壤中，蚓粪处理较化肥处理提高了 23.45%。连作 20 年的土壤中，蚓粪处理较化肥处理提高了 25.85%。蚓粪对番茄生长和产量的改善归因为：(1) 提高作物产量的根本途径是改善植物的光合性能^[17]，蚓粪在一定程度上提高了作物的光合能力，进而促进了番茄产量的提高。(2) 蚓粪增加了根系土壤微生物数量和活性，产生了更多的植物生长激素^[25]，蚓粪可以通过增加微生物的数量和活性来影响分泌植物生长激素，对产量有显著的促进作用^[26]。

同时，本试验相关性分析表明，蒸腾速率与气孔导度均与产量呈正相关。净光合速率、胞间 CO₂ 浓度、根系活力、根干重、地上部干重均与产量呈显著正相关，与前人研究结果一致^[18, 27]，因此可通过调节植物的光合作用、根系活力以及生物量来调节产量。

4 结论

在本试验条件下，与鸡粪、稻草相比，蚓粪的施入可以提高番茄植株的生物量、根系活力，蒸腾速率、气孔导度、净光合速率以及胞间 CO₂ 浓度。净光合速率、胞间 CO₂ 浓度、根系活力等都对促进番茄产量的提高有极显著的作用，本试验通过蚓粪提高了番茄的生长以及生理指标，显著增加了番茄的产量，3 种连作年限下的平均产量可达 1 629 g · 株⁻¹，与鸡粪、稻草、化肥处理相比分别提高了 4.78%、23.36%、39.26%。综上可以为通过施入蚓粪来调节光合作用，进而提高番茄产量提供理论依据。

参考文献：

- [1] 梁静, 王丽英, 陈清, 等. 我国设施番茄氮肥施用量现状及其利用率、产量影响和地力贡献率分析评价 [J]. 中国蔬菜, 2015, (10): 16-21.
- [2] 申飞, 刘满强, 李辉信, 等. 蚓粪和益生菌互作对土壤性状、菠菜产量和品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2016, (5): 90-95.
- [3] Orozco F H, Cegarry J, Trujillo L M, et al. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia fetida*, effects on C and N contents and the availability of nutrients [J]. Soil Fertil Soils, 1996, 22: 162-166.
- [4] 赵凤艳, 吴盼盼, 李天来, 等. 蚓粪对设施番茄连作土壤真菌群落结构的影响 [J]. 生态学杂志, 2016, 35 (12): 3329-3334.
- [5] Chaudhuri P S, Paul T K, Dey A, et al. Effects of rubber leaf litter vermicompost on earthworm population and yield of pineapple (*Ananas comosus*) in West Tripura, India [J]. Int J Recycl Org Waste Agricult, 2016, 5 (2): 93-103.
- [6] 刘鸣达, 王秋凝, 魏佳伦, 等. 羊粪-菇渣蚓粪与化肥配施对油菜产量与品质的影响 [J]. 生态学杂志, 2019, 38 (6): 1760-1766.
- [7] 申飞, 朱同彬, 滕明姣, 等. 蚓粪和益生菌互作对土壤性状及番茄产量和品质的影响 [J]. 应用生态学报, 2015, 27 (2): 484-490.
- [8] 康国栋, 魏家星, 郭梦成, 等. 有机物料施用对旱地红壤作物产量和有机质活性组分的影响 [J]. 土壤, 2017, 49 (6): 1084-1091.
- [9] Yang L J, Zhao F Y, Chang Q, et al. Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes [J]. Agricultural Water Management, 2015, 160: 98-105.
- [10] 孟凡超, 张佳华, 郝翠, 等. CO₂ 浓度升高和不同灌溉量对东北玉米光合特性和产量的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35 (7): 2126-2136.

- [11] 郎莹, 汪明. 春、夏季土壤水分对连翘光合作用的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35 (9): 3043–3051.
- [12] 杨世琼, 杨再强, 王琳, 等. 高温高湿交互对设施番茄叶片光合特性的影响 [J]. 生态学杂志, 2018, 37 (1): 57–63.
- [13] 张振花, 孙胜, 刘洋, 等. 增施 CO₂ 对温室番茄结果期叶片光合特性的影响 [J]. 生态学杂志, 2018, 37 (5): 1398–1402.
- [14] 王虎兵, 曹红霞, 郝舒雪, 等. 温室番茄植株养分和光合对水肥耦合的响应及其与产量关系 [J]. 中国农业科学, 2019, 52 (10): 1761–1771.
- [15] Zuo Y N, Zhang J X, Zhao R, et al. Application of vermicompost improves strawberry growth and quality through increased photosynthesis rate, free radical scavenging and soil enzymatic activity [J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 233: 132–140.
- [16] 李合生. 现代植物生理学 (第3版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2012. 138–139.
- [17] Eros K, Shrir P S, Deficiency in phytochrome a alters photosynthetic activity, leaf starch metabolism and shoot biomass production in tomato [J]. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, 2016, 165: 157–162.
- [18] 赵海涛, 赵雷明, 姚旭, 等. 添加蚓粪和蛭石对沟塘底泥育苗基质培育番茄幼苗的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2015, (3): 88–94.
- [19] 胡佩, 刘德辉, 胡锋, 等. 蚓粪中的植物激素及其对绿豆插条不定根发生的促进作用 [J]. 生态学报, 2002, (8): 1211–1214.
- [20] Warman P R, Anglopez M J, Vermicompost derived from different feedstocks as a plant growth medium [J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101: 4479–4483.
- [21] Albiach C R, Pomares f, Ingelmo F, et al. Microbial biomass content and enzymatic activities after application of organic amendments to a horticultural soil [J]. *Bioresource Technology* 2000, 75: 43–48.
- [22] Atiyeh R M, Lee S S, Edwards C A, et al. The influence of humic acid derived from earthworm-processed organic waste on plant growth [J]. *Bioresource Technology*, 2002, 84: 7–14.
- [23] 单颖, 赵凤亮, 林艳, 等. 蚯蚓粪对土壤环境质量和作物生长影响的研究现状与展望 [J]. 热带农业科学, 2017, 37 (6): 11–17.
- [24] 吴盼盼, 杨丽娟. 蚓粪对不同连作年限设施番茄生长、品质及产量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45 (7): 104–107.
- [25] 徐宪斌. 蚯蚓粪配施化肥对玉米根际土壤生物学特征的影响 [J]. 水土保持通报, 2017, 37 (1): 78–82.
- [26] 贾德新, 李士平, 王凤丹, 等. 蚯蚓粪对豇豆根际土壤生物学特征及微生物活性的影响 [J]. 浙江农业学报, 2016, 28 (2): 318–323.
- [27] 张泽锦, 唐丽, 李跃建, 等. 灌水量对避雨栽培番茄光合作用和产量的影响 [J]. 北方园艺, 2015, (20): 34–37.

Regulation of photosynthetic characteristics and yield of tomato in greenhouse by vermicompost

SHI Jin-wei, WANG Ye-di, GUAN Zhi-hao, YAO Lan, LU Ying-qi, ZHANG Yue-qi, YANG Li-juan* (Shenyang Agricultural University College of Land and Environment, Shenyang Liaoning 110866)

Abstract: In order to clarify the effect of vermicompost input on photosynthesis and yield of tomato plants cultivated in different continuous cropping years, tomato was used as the tested crop and pot experiment in greenhouse with soil for tomato continuous cropping 0, 5 and 20 years was conducted. Effects of vermicompost (VM), chicken manure (CM), rice straw (FS), chemical fertilizer (CF) and without fertilizer control (CK) on plant growth, physiological characteristics and yield of tomato were studied. The results showed that the leaf physiological parameters of tomato plants treated with vermicompost in 0 and 5 years of continuous cropping soil were slightly lower than those of chicken manure treatment, but higher than those of other treatments. In the soil under continuous cropping for 20 years, the transpiration rate, stomatal conductivity, net photosynthetic rate and CO₂ concentration in tomato leaves were 13.70%, 12.38%, 6.51% and 5.85% higher than those in chicken manure treatment, respectively; compared with rice straw treatment, it increased by 56.11%, 33.21%, 19.80% and 16.50%, respectively; compared with chemical fertilizer treatment, it increased by 84.05%, 51.68%, 20.89% and 42.74%, respectively. In addition to the treatment of vermicompost and chicken manure, the biomass, root activity and yield of the tomato cultivated in the soil for 5 years and for 20 years were lower than the corresponding treatment for 0 years. The tomato yield in soil for 0 years and 5 years was 1 641 and 1 654 g · plant⁻¹, which was slightly higher than that of 20 years continuous cropping (1 593 g · plant⁻¹), but the difference was not significant. The biomass and root activity were also higher than those of the soil under continuous cropping for 20 years. In production, the photosynthesis of plants can be regulated by proper input of vermicompost, and the biomass and root activity can be increased, so as to increase the yield of tomato.

Key words: greenhouse tomato; vermicompost; root activity; photosynthesis; yield