

水旱轮作和土壤调理剂对设施连作土壤酶活性和番茄产量的影响

张泽锦^{1,2}, 王力明^{1,2}, 唐丽^{1,2}, 代利娟³, 李跃建⁴

(1. 蔬菜种质与品种创新四川省重点实验室·四川省农业科学院园艺研究所 成都 610066;
2. 农业农村部西南地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室 成都 610066;
3. 四川自贡市农业科学研究所 四川自贡 643000; 4. 四川省农业科学院 成都 610066)

摘要: 为解决设施蔬菜连作障碍严重问题,以番茄为材料,研究了水旱轮作和土壤调理剂对设施连作土壤酶活性和番茄产量的影响。结果表明,水旱轮作各处理的土壤酶活性、番茄光合作用效率、根系活力及产量均高于旱地连作。与CK_B相比,CK_A处理番茄的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间CO₂浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)、根系活力和产量分别提高184.98%、320.00%、9.94%、276.24%、2.66%和119.75%。在水旱轮作模式下,不同土壤调理剂对不同时间土壤酶活性、番茄光合作用和产量影响无显著差异。在旱地连作模式下,不同土壤调理剂对土壤酶活性影响不一致,提高了番茄光合作用效率和产量。因此,水旱轮作可以有效缓解番茄连作障碍,提高番茄产量,而土壤调理剂处理作用较小。

关键词: 番茄; 水旱轮作; 旱地连作; 土壤调理剂; 土壤酶活性; 光合作用效率; 产量

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)03-053-06

Effects of paddy-upland rotation and soil conditioners on soil enzyme activity and yield of tomato under mono-cropping

ZHANG Zejin^{1,2}, WANG Liming^{1,2}, TANG Li^{1,2}, DAI LiJuan³, LI Yuejian⁴

(1. Vegetable Germplasm Innovation and Variety Improvement Key Laboratory of Sichuan Province/Horticulture Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences/Chengdu 610066, Sichuan, China; 2. Key Laboratory of Horticultural Crop Biology and Germplasm Enhancement in Southwest, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu 610066, Sichuan, China; 3. Agricultural Sciences Research Institute of Sichuan Province, Zigong 643000, Sichuan, China; 4. Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, Sichuan, China)

Abstract: Tomato variety Xianrui 17-8 was used in a protected production experiment to test the effect of paddy-upland rotation and soil conditioners on soil enzyme activity and yield of tomato under mono-cropping. The results showed that the soil enzyme activity, tomato photosynthetic efficiency, root vitality and yield of paddy-upland rotation were higher than that of dryland mono-cropping. The P_n , G_s , C_i , T_r and yield of tomatoes of paddy-upland rotation were significantly higher by 184.98%, 320.00%, 9.94%, 276.24%, 2.66% and 119.75% compared to dryland mono-cropping. Under paddy-upland rotation, soil conditioners did not change soil enzyme activity, tomato photosynthesis and yield. Under mono-cropping, soil conditioners had inconsistent effects on soil enzyme activities, but increased tomato photosynthetic efficiency and yield. Therefore, paddy-upland rotation can alleviate defects of tomato mono-cropping and improve the yield of tomato in protected production. The soil conditioner used in this experiment was less effective.

Key words: Tomato; Paddy-upland rotation; Mono-cropping; Soil conditioners; Soil enzyme activity; Photosynthetic efficiency; Yield

收稿日期: 2021-04-22; 修回日期: 2021-09-12

基金项目: 国家现代农业产业技术体系四川蔬菜创新团队[川农函(2019)427号]; 现代农业产业技术体系专项资金项目(CARS-23-G32)

作者简介: 张泽锦,男,副研究员,主要从事蔬菜栽培研究和推广工作。E-mail: zezinzhang@hotmail.com

通信作者: 唐丽,女,研究员,主要从事蔬菜栽培研究和推广工作。E-mail: tangli-999@163.com

近年来,随着设施农业的发展和市场化的需求,设施蔬菜生产迅速发展,到2018年全国设施蔬菜面积达到400 hm²,是设施园艺生产的重要组成部分,在蔬菜生产和供应中起着举足轻重的作用^[1]。番茄为茄果类蔬菜,因其风味特殊,营养丰富而深受人民的喜爱,在全国各地广为栽培,也是设施栽培的主要蔬菜之一。然而在设施蔬菜生产中,易受高温、高湿的特殊环境及过量施肥的影响,且土壤得不到雨水淋洗,土壤酸化、次生盐渍化、病虫害重发等连作障碍问题逐年加剧,已成为影响设施栽培的一个重要限制因子,并且制约了我国设施蔬菜产业的可持续发展^[2-4]。因此,如何解决连作障碍是设施蔬菜栽培亟待解决的问题,其对设施蔬菜可持续发展具有重要意义。

水旱轮作是克服连作障碍最经济有效的途径,其会导致农田系统出现季节性干湿交替的现象,水热条件强烈变换,引起土壤物理、生物、化学等特性在不同作物和季节间交替变化,从而减少土壤中的有害物质,改善土壤连作障碍^[5]。王克磊等^[6]研究表明,番茄与水稻轮作可明显降低土壤盐分含量,缓解土壤酸化,提高作物产量。刘永亮等^[7]、孙志明等^[8]在番茄水旱轮作中均得到相似结果。土壤调理剂是指加入土壤中用于改善土壤物理、化学和生物学性状的物料。其可以改善土壤理化性状^[9]、增强作物抗病能力^[10]、提高作物品质产量^[11]的方法。水旱轮作或施用土壤调理剂在许多作物中已有大量报道,而关于二者复合处理还未见研究报道。因此,笔者以番茄为研究对象,研究了水旱轮作和土壤调理剂(石灰+微生物菌剂枯草芽孢杆菌、荏必健+活地旺、夏氏蓝得钙粉+抗重荏肥复合生物菌肥)对土壤酶活性和番茄产量的影响,以期为设施番茄连作障碍找到更加高效的解决方案,为设施蔬菜的发展提供理论参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于2017年10月至2018年6月在自贡市荣县鼎新镇新堰村蔬菜基地大棚内进行。该地属热带湿润季风气候,气候温和,年均气温17.8℃,雨量充沛,年均降雨量1032~1041 mm;土壤以紫色土为主,质地疏松、肥沃,适宜蔬菜种植。试验选取了2种栽培模式,即水旱轮作和旱地连作。水旱轮作区连续种植番茄6年,每隔1年进行水旱轮作(水稻-番茄轮作),pH值5.63,速效氮含量(w,后同)

32.8 mg·kg⁻¹,速效磷含量330.8 mg·kg⁻¹,速效钾含量881.4 mg·kg⁻¹。旱地连作区连续种植番茄6年,pH值4.87,速效氮含量29.4 mg·kg⁻¹、速效磷含量375.1 mg·kg⁻¹、速效钾含量517.6 mg·kg⁻¹。

番茄品种:仙瑞17-8,购自青州市仙瑞农业发展有限公司。石灰(市场购买,CaO≥85%)、微生物菌剂枯草芽孢杆菌(潍坊韩邦肥业有限公司,有效活菌数≥200亿个·g⁻¹,有效成分噻霉灵、吡啶丁酸钾)、荏必健(德强生物股份有限公司,含枯草芽孢杆菌有效活菌数≥100亿个·g⁻¹,有机质含量≥45%)、土壤调理剂夏氏蓝得钙粉(北京夏氏蓝得海洋公司,CaO含量≥42%)、抗重荏肥复合生物菌肥(河南省强生农业科技发展有限公司,N+P₂O₅+K₂O含量=25%,有效活菌数≥5亿个·g⁻¹,有机质含量≥20%)、活地旺(烟台泓源生物肥料有限公司,高活性复合碱式基团含量≥51%、糖醇钙含量≥25%、糖醇镁含量≥10%、有机质含量≥3%、硅铁硼锌铜钼总量≥2%)。

1.2 试验设计

1.2.1 水旱轮作试验 试验共4个处理,即:每667 m²施石灰80 kg+微生物菌剂40 kg(A1)、每667 m²施荏必健20 kg+活地旺20 kg(A2)、每667 m²施夏氏蓝得钙粉60 kg+抗重荏肥复合生物菌肥10 kg(A3)以及不施用土壤调理剂(CK_A)。所有处理均在番茄定植前7 d随基肥(洋丰复合肥100 kg+鸡粪有机肥500 kg)施入土壤。然后进行翻耕,使调理剂与土壤充分混匀,起厢,灌水覆膜。

番茄于2017年10月31日播种,在大棚内育苗,12月27日挑选整齐一致的番茄幼苗定植于该试验小区内,小区面积15 m²,每个小区种植50株番茄,双行错窝栽植,每个处理3次重复,随机区组设计,同时为了避免处理间的相互影响,在各小区间设置1 m的隔离带。其他田间管理措施按当地农户常规方式进行。于盛果期(2018年4月11日和16日)分别测定番茄光合参数和根系活力。于盛果期(2018年4月13日)、结果末期(2018年5月16日)和试验结束后(2018年6月6日)采集耕作层(0~20 cm)土样,测定土壤酶活性。

1.2.2 旱地连作试验 试验共4个处理,即:每667 m²施石灰80 kg+微生物菌剂40 kg(B1)、每667 m²施荏必健20 kg+活地旺20 kg(B2)、每667 m²施夏氏蓝得钙粉60 kg+抗重荏肥复合生物菌肥10 kg(B3)以及不施用土壤调理剂(CK_B)。其他播种育苗及田间管理措施均与水旱轮作试验一致。

1.3 样品测定方法

净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)等光合参数用 LI-6400 XT 便携式光合仪测定,测定时设定内源光强为 $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, CO_2 体积分数为 $400 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$,温度为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 。于盛果期分别对各处理小区随机选取 3 株番茄进行测定,每个处理 3 次重复。

2018 年 4 月 16 日,每个小区随机选取 3 株番茄采集番茄根系,将根系洗净,称取根尖,采用 TTC 法^[12]测定根系活力,每个处理 3 次重复。

每个小区采用五点取样法,将采集的土样混匀,放置阴凉通风处进行风干,过 10 目细筛。采用靛酚比色法测定脲酶活性;采用滴定法测定蔗糖酶活性;采用对硝基苯磷酸盐法测定土壤磷酸酶,均参照《土壤酶及其研究法》^[13]。

每次番茄采收时,以每个小区中 20 株分别计产,各处理重复产量汇总并折算 667 m^2 产量。

1.4 数据分析

本试验所有数据用 Excel 2013 进行整理,用

SPSS 20.0 进行单因素方差分析(one-way ANOVA),差异显著性检验采用 Duncan 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式和土壤调理剂对土壤酶活性的影响

由表 1 可知,水旱轮作模式下,在不同时期施用不同土壤调理剂对土壤酶活性有不同影响。4 月 13 日 A3 处理土壤脲酶活性显著高于 A1、A2 和 CK_A , A1、A2 与 CK_A 三者之间土壤脲酶活性差异不显著。5 月 16 日所有处理之间土壤脲酶活性差异均不显著。但在收获后, A1、A2、A3 处理土壤脲酶活性均显著高于 CK_A , 分别提高 57.14%、78.57% 和 57.14%。除 5 月 16 日 A3 处理外,在不同时期下施用土壤调理剂土壤蔗糖酶活性均低于 CK_A 。4 月 13 日和 6 月 6 日所有处理之间土壤磷酸酶活性均无显著差异,而 5 月 16 日 A2 和 A3 处理土壤磷酸酶活性均显著高于 CK_A 。

旱地连作模式下,4 月 13 日不同土壤调理剂处

表 1 不同种植模式和土壤调理剂对土壤酶活性的影响

($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)

种植模式	处理	土壤脲酶活性			土壤蔗糖酶活性			土壤磷酸酶活性		
		4月13日	5月16日	6月6日	4月13日	5月16日	6月6日	4月13日	5月16日	6月6日
水旱轮作	A1	0.19±0.00 b	0.58±0.01 a	0.44±0.09 a	5.76±0.03 b	5.89±0.04 b	3.34±0.23 b	3.50±0.08 a	1.79±0.20 c	1.57±0.08 a
	A2	0.26±0.01 b	0.47±0.07 a	0.50±0.01 a	5.77±0.28 b	4.78±0.43 c	2.69±0.10 b	2.94±0.25 a	2.20±0.22 b	1.26±0.12 a
	A3	0.45±0.07 a	0.56±0.03 a	0.44±0.07 a	6.81±0.28 a	7.13±0.51 a	3.40±0.01 b	3.46±0.03 a	3.04±0.03 a	1.43±0.08 a
	CK_A	0.29±0.06 b	0.52±0.09 a	0.28±0.01 b	7.11±0.06 a	6.09±0.40 ab	4.65±0.49 a	2.85±0.20 a	1.62±0.13 c	1.26±0.18 a
旱地连作	B1	0.25±0.01 ab	0.21±0.00 b	0.23±0.08 a	5.26±0.19 a	1.69±0.11 bc	1.95±0.09 a	1.67±0.19 a	1.13±0.10 c	1.87±0.11 c
	B2	0.26±0.06 ab	0.18±0.07 b	0.19±0.07 a	1.25±0.08 c	2.10±0.10 ab	1.00±0.12 b	1.29±0.05 a	1.57±0.16 b	1.30±0.04 d
	B3	0.16±0.05 b	0.50±0.02 a	0.26±0.06 a	2.56±0.24 b	1.48±0.17 c	2.03±0.07 a	1.66±0.14 a	3.06±0.15 a	3.01±0.19 a
	CK_B	0.34±0.06 a	0.20±0.08 b	0.25±0.02 a	0.71±0.05 d	2.22±0.23 a	1.85±0.15 a	1.28±0.15 a	1.07±0.06 c	2.59±0.20 b

注:表中相同种植模式下同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

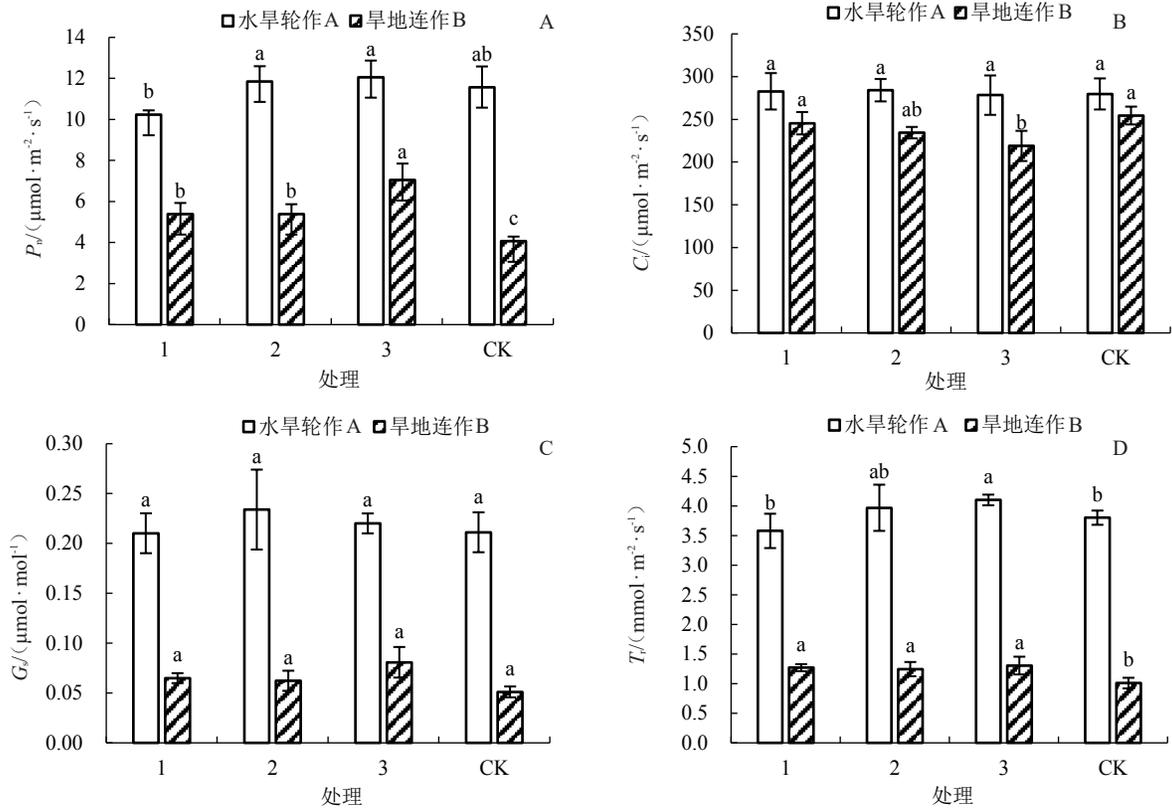
理土壤脲酶活性均低于 CK_B , 仅 B3 处理显著低于 CK_B ; 5 月 16 日仅 B3 处理土壤脲酶活性显著高于 CK_B ; 6 月 6 日所有处理之间土壤脲酶活性差异均不显著。在 4 月 13 日施用不同土壤调理剂的土壤蔗糖酶活性均显著高于 CK_B ; 在 5 月 16 日 B1、B2、B3 土壤蔗糖酶活性均低于 CK_B , 仅 B1、B3 与 CK_B 差异显著; 在 6 月 6 日仅 B2 显著低于 CK_B , B1、B3 均高于 CK_B , 但差异不显著。在 4 月 13 日所有处理之间土壤磷酸酶活性均无显著差异; 在 5 月 16 日 B1、B2、B3 土壤磷酸酶活性均高于 CK_B , 仅 B2、B3 与 CK_B 差异显著; 6 月 6 日仅 B3 处理土壤磷酸酶活性显著高于 CK_B , B1、B2 处理均显著低于 CK_B 。

以上结果表明,施用土壤调理剂对两种模式下

土壤酶活性有一定影响。不同种植模式下施用相同土壤调理剂对土壤酶活性影响不同,除 4 月 13 日的土壤脲酶活性和 5 月 16 日、6 月 6 日的土壤磷酸酶活性外,同一土壤处理下水旱轮作的土壤脲酶活性、蔗糖酶活性和磷酸酶活性均高于旱地连作,这表明水旱轮作可能是促进土壤酶活性增加的主要原因。

2.2 不同种植模式和土壤调理剂对番茄光合作用的影响

由图 1 可知,施用土壤调理剂对 2 种模式下番茄光合作用的影响基本一致。在水旱轮作模式下,与 CK_A 相比,除 A3 处理蒸腾速率显著增加外,各土壤调理剂处理对番茄净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)以及蒸腾速率(T_r)均无显著



注:不同小写字母表示相同种植模式下不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

图 1 不同种植模式和土壤调理剂对番茄光合作用 P_n (A)、 C_i (B)、 G_s (C)和 T_r (D)的影响

影响。在旱地连作模式下,施用不同土壤调理剂均显著增加了番茄净光合速率和蒸腾速率,与 CK_B 相比, B_1 、 B_2 、 B_3 处理净光合速率分别提高 32.76%、32.76%和 73.65%,蒸腾速率分别提高 25.74%、22.77%和 28.71%。所有处理的气孔导度均无显著差异。 B_3 处理胞间 CO_2 浓度显著低于 CK_B ,其他处理间无显著差异。以上结果表明,施用土壤调理剂对水旱轮作番茄光合作用影响较小,但可以提高旱地连作番茄的光合作用效率。

水旱轮作所有处理的番茄光合参数均高于旱地连作,与 CK_B 相比, CK_A 的 P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 分别增加了 184.98%、320.00%、9.94%和 276.24%。表明水旱轮作可以有效缓解番茄连作障碍,提高番茄光合作用。

2.3 不同种植模式和土壤调理剂对番茄根系活力的影响

由图 2 可知,不同种植模式下施用土壤调理剂对番茄根系活力影响不同。在水旱轮作模式下,与 CK_A 相比,施用土壤调理剂显著增加了番茄的根系活力,分别提高 125.05%、53.82%和 11.66%。在旱地连作模式下,土壤调理剂对番茄根系活力均无显著影响。且在相同土壤处理下水旱轮作处理根系

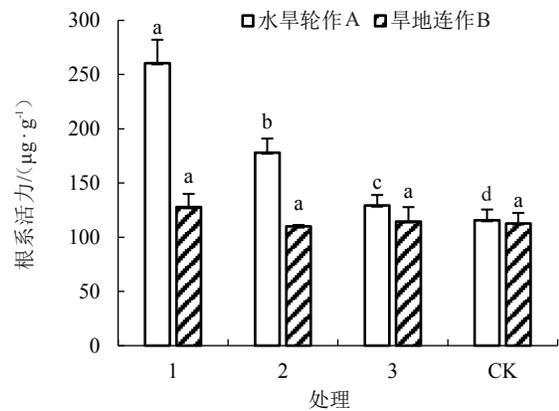


图 2 不同种植模式和土壤调理剂对番茄根系活力的影响
活力均高于旱地连作,与 CK_B 相比, CK_A 的番茄根系活力增加了 2.66%,表明水旱轮作可以提高番茄根系活力,促进番茄生长。

2.4 不同种植模式和土壤调理剂对番茄产量的影响

由图 3 可知,在水旱轮作模式下,施用土壤调理剂降低了番茄产量。与 CK_A 相比,分别降低 6.08%、11.30%和 11.24%。在旱地连作模式下,除 B_3 处理产量较 CK 下降外, B_1 、 B_2 处理番茄产量与 CK 相比,分别显著增加了 23.19%和 22.43%。且在相同土壤处理下水旱轮作各处理番茄产量均高于旱地连作,与 CK_B 相比, CK_A 处理番茄产量增

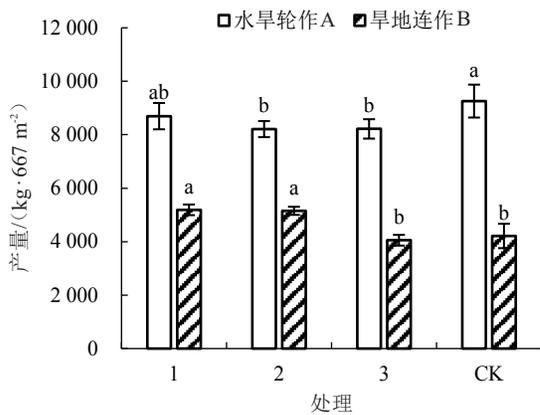


图3 不同种植模式和土壤调理剂对番茄产量的影响

加了119.75%,表明水旱轮作可以缓解连作障碍,提高番茄产量。

3 讨论与结论

土壤酶活性是土壤肥力评价指标之一,其可促进土壤中有机物质的转化及能量、养分的循环,提高作物养分吸收利用效率^[14]。周勃等^[15]研究表明,与连作棉田相比,水旱轮作降低了土壤脲酶活性,增加了土壤过氧化氢酶、磷酸酶和蔗糖酶活性。宋秋来等^[16]研究表明,水稻→水稻→玉米轮作处理的土壤碱性磷酸酶和乙酰基β-葡萄糖胺酶活性显著高于水稻连作处理。本试验得到了相似的结果,在相同土壤调理剂处理下水旱轮作的土壤脲酶、蔗糖酶和磷酸酶活性均高于旱地连作。在水旱轮作或旱地连作模式下,施用土壤调理剂对土壤脲酶、蔗糖酶和磷酸酶活性具有一定影响,但均未体现出一致的规律,且大部分土壤酶活性与对照无显著差异。表明土壤调理剂对提高土壤酶活性的效果不显著,水旱轮作是促进土壤酶活性提高的主要原因。

植物的生长和干物质的积累与光合作用密切相关^[17], P_n 、 G_s 、 C_i 、 T_r 是评估光合能力强弱的基本参数。本试验中,水旱轮作相同土壤处理的番茄 P_n 、 G_s 、 C_i 、 T_r 均高于旱地连作,表明水旱轮作可以有效缓解番茄连作障碍,提高番茄光合作用。水旱轮作处理的番茄光合作用效率提高的原因可能是水旱轮作中土壤酶活性更高,其可以促进番茄吸收土壤养分,进而提高了番茄光合能力。在水旱轮作模式下,施用不同土壤调理剂与不施用调理剂(CK_A)的番茄光合作用效率差异均不显著,表明调理剂对水旱轮作模式下番茄的光合作用影响不大。在旱地连作模式下,施用不同土壤调理剂显著提高了番茄

净光合速率和蒸腾速率,表明土壤调理剂能缓解番茄连作障碍,提高光合作用效率。但是在水旱轮作和土壤调理剂复合处理时没有表现出显著优势。

根系活力是指根系新陈代谢活动的强弱,是反映根系吸收功能的一项综合指标^[18]。连作可以显著降低作物根系活力^[19]。前人研究表明,水旱轮作^[20]和施用土壤调理剂^[21]可以提高作物根系活力。本研究表明,水旱轮作的番茄根系活力高于旱地连作,这与前人研究结果一致^[20]。在水旱轮作模式下,施用土壤调理剂增强了番茄根系活力,在旱地连作模式下,施用调理剂对番茄根系活力无显著影响。这可能是由于水旱轮作提高了土壤酶活性,可以促进番茄根系对水分和养分的吸收,进而根系活力增强。

连作可以导致番茄减产,随着种植年限的增加,番茄产量不断下降^[22]。水旱轮作能够有效缓解连作障碍,提高作物产量。王克磊等^[6]以水稻-大棚番茄轮作田块为研究对象,发现轮作后番茄产量增加,每667 m²较连作番茄提高8.30%。本试验中,水旱轮作所有处理的番茄产量均高于旱地连作,这与高忠奎等^[23]在花生中的研究结果一致。可能是由于水旱轮作改变了土壤水热环境,提高了土壤酶活性、增强了番茄根系活力,促进了番茄光合作用,进而提高了番茄产量。然而,在水旱轮作模式下,施用土壤调理剂均降低了番茄产量,表明土壤调理剂不适用于水旱轮作番茄中。在旱地连作模式下,施用土壤调理剂增加了番茄产量,表明土壤调理剂对连作障碍有一定缓解作用。

本试验中不同土壤调理剂对土壤酶活性、番茄光合作用和产量的影响较小,可能是由于土壤长期连作,导致有毒有害物质大量积累,一次土壤调理剂的施用并不能直接解决土壤连作障碍问题,其可能是一个长期过程;另外,水旱轮作(水稻-番茄模式)已经可以有效缓解土壤连作障碍。因此,土壤调理剂未能发挥其作用;还有可能是由于土壤调理剂的种类不适宜。

总的来说,在施用相同土壤调理剂条件下,与旱地连作相比,水旱轮作可以提高土壤酶活性和番茄光合作用效率,从而提高番茄产量。水旱轮作能够有效缓解番茄连作障碍,提高番茄经济效益。在水旱轮作模式下,与CK_A相比,施用土壤调理剂对番茄光合作用的影响不显著,但是降低了番茄产量。在旱地连作条件下,施用土壤调理剂提高了番茄光合作用效率和产量。

参考文献

- [1] 王学霞,张磊,张卫东,等.种植年限对京郊设施菜地温室气体排放的影响[J].农业环境科学学报,2021,40(7):1601-1610.
- [2] 秦广杰.设施蔬菜连作障碍的原因及防治措施研究[J].农业开发与装备,2020(9):155-156.
- [3] 葛晓颖,孙志刚,李涛,等.设施番茄连作障碍与土壤芽孢杆菌和假单胞菌及微生物群落的关系分析[J].农业环境科学学报,2016,35(3):514-523.
- [4] 李云.泰安市设施番茄连作障碍生产现状及对策分析[J].基层农技推广,2020,8(3):92-93.
- [5] 刘金山.水旱轮作区土壤养分循环及其肥力质量评价与作物施肥效应研究[D].武汉:华中农业大学,2011.
- [6] 王克磊,周友和,黄宗安,等.水旱轮作对土壤性状及作物产量的影响[J].蔬菜,2017(5):21-23.
- [7] 刘永亮,高艳明,李建设.水旱轮作对宁夏设施番茄连作土壤特性的影响[J].贵州农业科学,2015,43(8):131-137.
- [8] 孙志明,华秀丽,钱文明,等.水稻-番茄轮作栽培技术[J].上海蔬菜,2007(5):75.
- [9] 韦婉玲,罗兴录,李亮,等.土壤调理剂不同用量对木薯产量和土壤理化性状的影响[J].南方农业学报,2017,48(4):623-627.
- [10] 王小彬,蔡典雄,张树勤.土壤调理剂对旱、盐条件下草种萌发的影响[J].植物营养与肥料学报,2003,9(4):462-466.
- [11] 曹世彪,陈双臣,李志娟.土壤调理剂对温室番茄产量品质的影响[J].山东农业科学,2005(3):59-60.
- [12] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [14] MAYOR A G, COIRAN S B, VALLEJO V R, et al. Variation in soil enzyme activity as a function of vegetation amount, type, and spatial structure in fire-prone Mediterranean shrublands[J]. Science of the Total Environment, 2016, 573: 1209-1216.
- [15] 周勃,魏彦宏,朱锦泉,等.水旱轮作对长期连作棉田土壤生物活性的影响[J].农村科技,2014(7):25-27.
- [16] 宋秋来,王麒,冯延江,等.寒地水旱轮作及秸秆还田对土壤相关酶活性的影响[J].作物杂志,2020(3):149-153.
- [17] HORTENSTEINER S, KRAUTLER B. Chlorophyll breakdown in higher plants[J]. BBA-Bioenergetics, 2011, 1807(8):977-988.
- [18] 陈雄伟,郑春梅,李晓丹,等.不同氮营养水平对水葫芦根系活力的影响[J].安徽农业科学,2012,40(3):1657-1659.
- [19] 李艳红,杨晓康,张佳蕾,等.连作对花生农艺性状及生理特性的影响及其覆膜调控[J].花生学报,2012,41(3):16-20.
- [20] 马启林,雷慰慈,山口武视,等.水旱轮作大豆的营养生长与根系活力的关系[J].大豆科学,2009,28(1):36-40.
- [21] 魏莎,李素艳,孙向阳,等.土壤调理剂对连作切花菊品质和土壤性质的影响[J].中国农学通报,2010,26(20):206-211.
- [22] 贾晓玥.番茄连作设施土壤中微量元素的变化及其对番茄产量和品质的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2020.
- [23] 高忠奎,蒋菁,唐秀梅,等.水旱轮作条件下花生品种筛选及土壤特性变化分析[J].南方农业学报,2018,49(12):2403-2409.