

李兰君,朱英波,刘建斌.连作对设施番茄土壤微生物及酶活性的影响[J].江苏农业科学,2018,46(18):130-134.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.18.032

连作对设施番茄土壤微生物及酶活性的影响

李兰君^{1,2},刘玳含³,刘建斌²,武凤霞²,朱英波¹

(1.河北科技师范学院生命科技学院,河北秦皇岛 066600; 2.北京市农林科学院植物营养与资源研究所,北京 100097;
3.北京城市学院城市建设学部,北京 100083)

摘要:以北京市房山区设施番茄连作 0、1、3、5、6、7、8、9、10、20 年的土壤作为研究对象,通过平板计数法、测序分析法、KMnO₄ 滴定法和比色法对土壤微生物种类及数量、土壤理化性质、土壤酶活性的变化趋势进行了分析。结果发现,土壤理化数据表明,随着连作年限的增加,土壤 pH 值逐渐减低,电导率、土壤全氮含量、有机质含量、有效磷含量、速效钾含量先逐步上升,后逐年下降。土壤细菌数量随连作年限增加而上升,连作 6 年达到最高值(2.5×10^8 CFU/g)后开始下降,真菌数量则在连作 7 年达到最高值(2.4×10^5 CFU/g)后下降。但细菌与真菌的比值一直呈下降趋势。过氧化氢酶活性和脲酶活性均呈现出先上升再下降的趋势,过氧化氢酶活性在连作 6 年达到最大值(0.87 mL/g),脲酶活性在连作 5 年达到最大值(2.52 mg/g)。结果表明,连作对设施番茄土壤微生物、土壤理化性质和土壤酶活性都有较深影响,特别是连作 6~7 年,土壤各方面的性质都出现极值。

关键词:设施番茄;连作;土壤微生物;土壤酶活性

中图分类号: S641.206⁺.1; S344.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)18-0130-05

进入 20 世纪 90 年代,随着温室大棚、地膜覆盖等技术的发展,设施农业随之迅速发展^[1],设施蔬菜已经成为我国蔬菜生产的重要组成部分。近年来,由于人均耕地的减少、经济

需要等原因,设施菜地的复种指数、集约化程度的增加使得设施菜地连作现象十分普遍。随着连作年限的增加,出现设施蔬菜产量降低、病虫害加剧等现象。连作障碍已经成为限制设施蔬菜高产、稳产的主要因素^[2-3]。

长期连作破坏土壤稳定性,设施菜地中普遍存在土壤肥力下降、土壤次生盐渍化及土壤酸化^[4-6],严重影响植物对水肥的吸收利用,影响植物生长发育。吴道铭等对南方酸性红壤的研究表明,长期种植单一作物破坏土壤结构及土壤通透性,使土壤水盐失衡进而加剧土壤酸化及铝毒现象^[7]。番茄连作的研究表明,连作使得土壤质量下降,土壤养分失衡,对土壤有机质、土壤全氮、速效钾、速效磷等都有很大影响^[8-9]。土壤微生物是生态系统的重要一环,在土壤物质循环能量流

收稿日期:2017-03-28

基金项目:北京市农林科学院科技创新能力建设项目(编号:KJCX20161502-2、KJCX20180708);北京市科技计划(编号:Z151100001215014);河北省自然科学基金(编号:C2014407021)。
作者简介:李兰君(1991—),女,河北沧州人,硕士研究生,主要从事土壤连作障碍微生物响应研究。E-mail:1902213527@qq.com。
通信作者:朱英波,博士,教授,主要从事资源微生物与植物病害生物防治研究。E-mail:zhu_yb@126.com。

3.4 结论

在本试验中,传统栽培区河北安国所产荆芥种子的质量最优,微酸条件和覆薄土适宜荆芥种子萌发,这个结论可以为荆芥的规范化栽培提供参考依据。

参考文献:

- [1]国家药典委员会.中华人民共和国药典:一部[S].2015年版.北京:中国医药科技出版社,2015:232-234.
- [2]钱雯,单鸣秋,丁安伟.荆芥的研究进展[J].中国药业,2010,19(22):17-20.
- [3]周丽娜.荆芥的化学成分及药理作用研究[J].中医学刊,2004,22(10):1935-1945.
- [4]张新军,郭凌云.香药草——荆芥栽培技术[J].新疆农垦科技,2004(4):23-24.
- [5]汪晓峰,景新明,郑光华.含水量对种子贮藏寿命的影响[J].植物学报,2001,43(6):551-557.
- [6]刘小丽,王敬远,孙小婷,等.不同含水量对荆芥种子活力的影响[J].阜阳师范学院学报(自然科学版),2012,29(2):42-46.

- [7]王倩,杨梅,裴瑾,等.含水量对川牛膝种子活力的影响及其抗老化机制分析[J].中国中药杂志,2016,41(7):1222-1226.
- [8]杨艳芳,付尧,魏建和,等.不同含水量对柴胡种子活力的影响[J].种子,2009,28(4):41-45.
- [9]陶玉祥.影响种子发芽率的因素[J].种子科技,2012(1):37-38.
- [10]高峰,陈敏,汪付田,等.荆芥及其混淆品的种子比较研究[J].中国中药杂志,2008,35(5):577-579.
- [11]赵立子,魏建和.中药荆芥最新研究进展[J].中国农学通报,2013,29(4):39-43.
- [12]李清芳,辛天蓉,马成仓,等.pH值对小麦种子萌发和幼苗生长代谢的影响[J].安徽农业科学,2003,31(2):185-187.
- [13]和根强,薛润光,郭承刚,等.丹参种子的萌发特性研究[J].种子,2014,33(4):82-85.
- [14]李青,高润宏.不同温度、光照和覆土厚度对百里香种子萌发的影响[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2008,29(4):34-38.
- [15]黄燕芬,潘春柳,陈韵.不同温度、光照和覆土厚度对血见愁种子萌发的影响[J].种子,2011,30(1):90-91.

动中具有不可替代的作用^[10-11]。土壤微生物群落结构及土壤酶活性是土壤生态系统中最活跃的部分,能敏感地反映出土壤的质量和状态,是评价土壤环境的重要指标^[12-13]。大量研究表明,土壤连作障碍与微生物的关系密切^[14-16]。长期连作使土壤微生物生态环境失衡^[17-18]。随着连作年限的增加,土壤细菌数量下降而土壤真菌数量上升^[19],真菌与细菌比值上升,土壤由肥力高的细菌型转变为肥力低的真菌型。Mazzola 研究表明连作病害多来自真菌^[20]。马宁宁等对设施番茄的研究表明,连作使土壤可培养微生物的种类下降,部分土著微生物灭绝^[21]。马海燕等对非洲菊的研究表明,脲酶含量随连作年限的增加先增加后下降^[22]。土壤中过氧化氢酶活性随番茄连坐年限增加缓慢增加而后逐渐下降,也有研究表明土壤过氧化氢酶活性随着连作年限的增加而上升^[23]。本研究对北京市房山区的设施番茄连作土壤进行了理化指标、微生物指标和酶活性指标的综合分析,明确了不同指标的变化规律及指标之间的相关性,以期为设施连作土壤的改良提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2015 年 12 月在北京市房山地区的设施蔬菜大棚选取番茄连作土壤作为试验土壤样品,共 10 个试验区,设施蔬菜的连作年限分别为 0、1、3、5、6、7、8、9、10、20 年。取得样品后当天带回实验室,一部分样品在于 4℃ 保存,用于微生物测定;一部分土壤样品在阴凉处风干,捡出植物残体、石块及其他杂物。将风干后土壤样品碾碎,通过 1 mm 及 0.25 mm 筛子的土壤样品备用。

1.2 土壤理化性质的测定

土壤有机质含量测定采用 K₂Cr₂O₇ 氧化-外加加热法,全氮含量测定采用凯氏定氮法,速效钾含量测定采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法,有效磷含量测定采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法,电导率使用电导率仪测定,pH 值使用 pH 仪测定,水:土=5:1^[24]。

1.3 微生物纯培养试验及 DNA 提取方法

土壤微生物数量采用稀释平板法测定,细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基培养 2~3 d 后计数,真菌采用 PDA 培养基培养 3~5 d 后计数。

土壤细菌、真菌 DNA 分别使用细菌基因组 DNA 提取试剂盒(离心柱型)、真菌基因组 DNA 提取试剂盒(离心柱型)提取,细菌 16S rDNA 扩增,引物为 27F(5'-AGAGTTTGAT-CCTGGCTCAG-3')和 1492R(5'-TACGGCTACCTTCGACTT-3'),真菌 ITSrDNA 扩增,引物为 ITS1(5'-TCCGTAGGTGAA-GCGG-3')和 ITS4(5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3')^[25]。扩增后的 PCR 产物由北京诺赛基因组研究中心有限公司测序分析。

1.4 土壤酶活性测定方法

土壤过氧化氢酶活性采用 KMnO₄ 滴定法测定,以 1 g 土消耗的 0.1 mol/L KMnO₄ 的体积(mL)表示。土壤脲酶活性采用比色法测定,以 3 h 后 1 g 土含有的 NH₄⁺-N 的量(mg)表示^[25]。

1.5 数据分析

采用 SPSS 22.0 软件对数据分析处理。

2 结果与分析

2.1 连作年限对设施番茄土壤理化性质的影响

研究发现,随着连作年限的增加,设施番茄土壤的全氮、速效钾、有效磷含量均逐渐增高然后下降,分别在连作 7 年、7 年、6 年达到最高值,比未连作土壤增加幅度分别达 87.50%、751.93%、497.09%(表 1)。其中土壤全氮含量在连作 20 年与未连作土壤相比差异不显著,其他连作年限全氮含量显著高于未连作土壤,土壤速效钾、有效磷含量皆显著高于未连作土壤。土壤有机质含量变化趋势与土壤的全氮、速效钾、有效磷含量变化趋势类似,在连作 6 年达到最高值,比未连作土壤增加幅度达到 122.45%。由此可见,在连作过程中土壤有机质、全氮、速效钾、有效磷处于先积累后消耗的状态。

随着连作年限的增加,土壤 pH 值显著下降,在连作 8 年达到最低值,较未连作土壤下降了 0.7,在连作 20 年土壤 pH 值有所恢复。随着连作年限的增加,土壤电导率先上升后下降,在连作 5 年达到最大值,较未连作土壤增加幅度达到 8.34%,连作 1 年到连作 6 年与未连作土壤差异不显著,连作 7 年到连作 20 年土壤电导率显著低于未连作土壤。

2.2 连作年限对可培养土壤微生物的影响

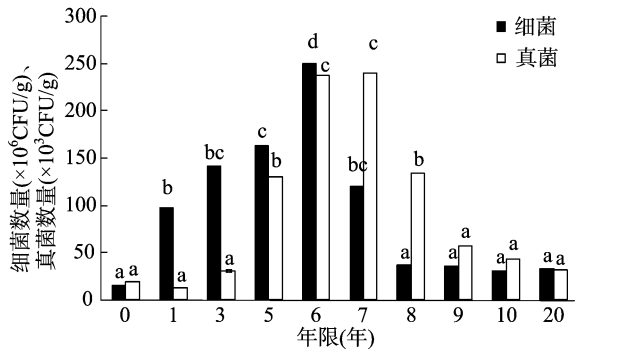
2.2.1 连作年限对设施番茄土壤可培养土壤微生物数量的影响 研究发现,随着连作年限的增加,设施番茄土壤细菌数

表 1 连作年限对设施番茄土壤理化性质的影响

处理	全氮含量 (%)	有机质含量 (%)	速效钾含量 (mg/kg)	pH 值	电导率 (μS/cm)	有效磷含量 (mg/kg)
0	0.16±0.01a	1.96±0.02a	181.0±3.0a	7.43±0.03de	111.5±3.8de	110.1±4.7a
1	0.19±0.01bc	2.67±0.02cd	427.0±2.0c	7.40±0.03cde	101.2±0.9cd	194.7±0.9b
3	0.20±0.01bc	2.91±0.02de	540.0±3.0d	7.27±0.03cd	113.2±2.8de	278.5±2.0c
5	0.20±0.01c	3.11±0.06e	519.0±3.0d	7.23±0.03bc	120.8±3.1e	300.9±10.6d
6	0.28±0.01e	4.36±0.09h	783.0±15.0f	7.06±0.03b	110.5±3.2de	657.4±1.9f
7	0.30±0.01e	4.00±0.12f	1 542.0±7.0h	6.76±0.03a	89.4±2.4bc	455.6±3.4e
8	0.25±0.01d	3.50±0.05g	668.0±5.0g	6.73±0.03a	83.0±1.4b	294.9±2.5cd
9	0.19±0.01bc	2.45±0.05c	800.0±8.0f	6.73±0.03a	69.0±2.6a	281.4±3.5cd
10	0.18±0.01b	2.40±0.05bc	616.0±3.0e	6.80±0.06a	64.0±0.9a	204.9±2.5b
20	0.15±0.01a	2.11±0.06ab	342.0±4.0b	7.46±0.03e	65.2±1.8a	451.7±3.1e

注:表中数值为平均值±标准差(n=3),同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

量呈先上升后下降趋势(图1)。在连作6年达到最高值,增加幅度为1 566.67%,连作8年后,细菌数量稳定,与未连作土壤差异不显著。真菌数量变化趋势类似于细菌变化趋势,在连作7年达到最高值,增加幅度为1 209.09%,连作6年与连作7年真菌数量差异不显著;连作9年后真菌数量趋于稳定,与未连作土壤差异不显著。设施番茄土壤微生物总量变化趋势类似于细菌、真菌变化趋势,随着连作年限的增加设施番茄土壤微生物总量呈先上升后下降趋势,在连作6年达到最高值(图2)。土壤中细菌数量最多,细菌是土壤可培养微生物的优势群体,但随着土壤连作年限增加,土壤细菌/真菌一直降低,在连作8年达到最低值,连作9年后土壤细菌/真菌开始上升,与连作8年土壤细菌/真菌差异显著,与未连作土壤差异不显著(图3)。



柱上不同小写字母表示不同年限处理间差异显著($P<0.05$)。下同
图1 连作年限对设施番茄土壤可培养细菌、真菌数量的影响

2.2.2 连作年限对设施番茄土壤可培养土壤微生物种类的影响 随着番茄连作年限增加,土壤可培养微生物的种类也发生了很大的变化(表2)。土壤可培养真菌的种类随连作年限的增加而缓慢减少,连作前6年真菌种类基本是不变的,连作7年后真菌种类开始减少。土壤可培养细菌种类连作前6

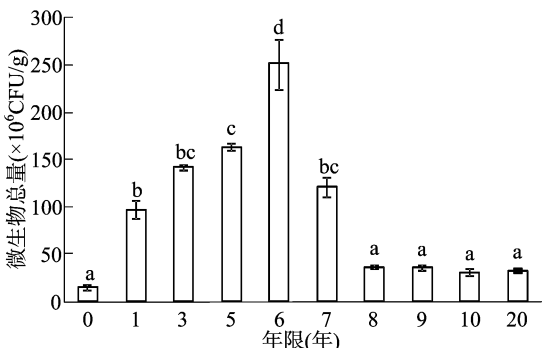


图2 连作年限对设施番茄土壤可培养微生物总量的影响

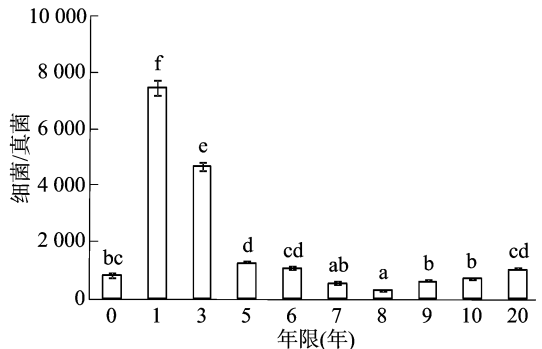


图3 连作年限对设施番茄土壤可培养细菌/真菌的影响

年逐渐增加,其中连作3年开始出现微杆菌属(*Microbacterium* sp.)、溶杆菌属(*Lysobacter* sp.) (表3)。连作6、7、8、9、10年均检测到寡养假单胞菌属(*Stenotrophomonas* sp.)。连作7年后土壤可培养细菌种类开始减少,一些土壤细菌开始消失,其中连作1年出现的坚强芽孢杆菌(*Bacillus firmus*),在连作10、20年都没有发现;地衣芽孢杆菌(*B. licheniformis*)存在于连作3~8年,连作9、10、20年均未发现该菌。

表2 连作年限对设施番茄土壤可培养真菌种类的影响

年限	黑孢属	曲霉属	毛壳菌属	木霉属	疫霉属	漆斑菌属	食线虫真菌属	被孢霉属	青霉属	镰刀菌属	双足囊菌属	毛霉属
0	1	1	1	1	1							
1	1		1			1		1				
3		1		1				1	1	1		
5		1	1	1					1		1	
6		1	1		1		1		1			1
7		2	2									
8				1						1		1
9		1	1									
10										1		1
20		3				1						

注:表中数字为该属真菌的种类数量。

2.3 连作年限对设施番茄土壤酶活性的影响

土壤酶广泛参与土壤中各种生物化学过程,其活性反应了土壤养分转化能力及土壤微生物的活性。其中过氧化氢酶参与土壤中各种化合物的氧化反应,并且能促进过氧化物的分解,避免其对植物的毒害作用。脲酶直接参与土壤中的氮循环,能在一定程度上反映土壤的供氮能力。随着连作年限的增加,设施番茄土壤过氧化氢酶活性先增加后下降,在连作6年达到最高值,增加幅度为19.18%,连作6、7年过氧化氢酶活性显著高于未连作土壤,连作20年过氧化氢酶活性显著

低于未连作土壤,其他连作年限过氧化氢酶活性与未连作土壤差异不显著(图4)。随着连作年限的增加,设施番茄土壤脲酶活性先显著上升后显著下降,在连作5年达到最高值,增加幅度为27.03%,连作3、5、6年脲酶活性显著高于未连作土壤,连作7年后脲酶活性显著低于未连作土壤,连作9、10、20年之间脲酶活性差异不显著(图5)。

2.4 连作番茄土壤理化性质、酶活性、微生物数量相关性分析

研究发现,土壤脲酶活性与土壤电导率相关系数最大,为

表 3 连作年限对设施番茄土壤可培养细菌种类的影响

年限	芽孢菌属	芽孢八叠球菌属	假单胞菌属	地杆菌属	节杆菌属	微杆菌属	溶杆菌属	短杆菌属	黄杆菌属	寡养假单胞菌属	无色杆菌属
0	2	1									
1	3		1	1	1						
3	3					1	1				
5	4		1			1		1			
6	4		1	1			1		1	1	
7	3					1	1			1	1
8	2			1		1	1			1	
9	2		1								
10	1					1	1			1	
20	1		1			1	1				1

注:表中数字为该属细菌的种类数量。

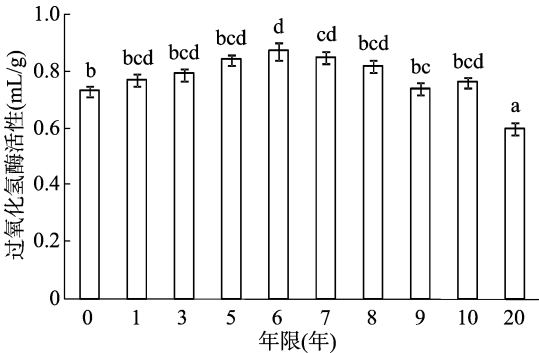


图4 连作对设施番茄土壤过氧化氢酶活性的影响

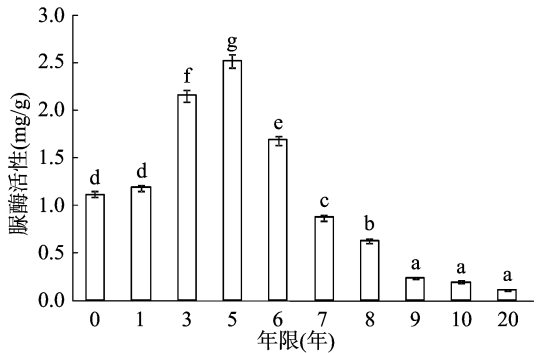


图5 连作对设施番茄土壤脲酶活性的影响

0.935(表4)。土壤过氧化氢酶活性与土壤全氮含量、有机质含量相关性较大,相关系数分别为0.804、0.828,说明土壤全氮含量、有机质含量较高时,土壤过氧化氢酶活性随之增加。土壤细菌数量、真菌数量与土壤有机质含量相关系数都较高,分别达到0.759、0.925,土壤有机质含量较高时,适于土壤真菌、细菌的生长。土壤有效磷含量与土壤真菌数量、细菌数量相关系数为0.753、0.659,土壤速效钾含量与土壤真菌数量、细菌数量相关系数为0.760、0.303。真菌数量和细菌数量均与有机质含量的相关性最大。

3 讨论与结论

长期连作条件下,土壤理化性质、土壤微生物总量、微生物多样性、土壤酶活性都会改变,从而影响作物生长发育,降低作物产量。土壤微生物是植物根际最活跃的部分,能敏感地反映出土壤生态系统的变化^[12-13,26-27]。本试验结果表明,随连作年限增加,土壤细菌、真菌数量呈先增加后降低趋势,细菌与真菌比值则一直降低甚至连作7年后低于未连作土

表 4 连作番茄土壤理化性质与酶活性、微生物数量相关系数

土壤因子	相关系数					
	全氮含量	有机质含量	速效钾含量	pH 值	电导率	有效磷含量
脲酶活性	0.207	0.371	-0.093	0.370	0.935 **	0.086
过氧化氢酶活性	0.804 **	0.828 **	0.544	-0.445	0.547	0.262
细菌数量	0.592	0.759 *	0.303	0.078	0.645 *	0.659 *
真菌数量	0.924 **	0.925 **	0.760 *	-0.491	0.196	0.753 *

注:“ ** ”表示相关性在 0.01 水平上显著,“ * ”表示相关性在 0.05 水平上显著。

壤,土壤由细菌型向真菌型转变,这与前人研究结果^[28-30]一致。此外,连作前期可培养真菌种类较为稳定,连作7年后可培养真菌种类减少,连作9、10年仅有2种可培养真菌。连作9、10、20年均未发现木霉属(*Trichoderma* sp.)真菌,而目前发现的生防菌多为木霉属真菌,并且在此之前多属真菌渐渐消失。可培养细菌种类随连作年限先上升后下降,连作10仅有4种可培养细菌,连作7年后芽孢杆菌种类减少,连作3年后开始出现微杆菌,连作6年后开始出现寡养假单胞杆菌,芽孢杆菌被证实对植物生长有促进作用^[31-32],为根际有益微生物,其他多属细菌逐渐消失,总体细菌多样性减少。因此,长期连作使土壤环境趋向单一化,对土壤微生物进行定向选择,土壤有益菌减少,有害菌增加。

土壤中酶来源于土壤微生物和根际分泌物,可以催化土壤中有机的转化,其中过氧化氢酶可以分解腐殖质形成过程中产生的过氧化氢,减少其对植物的伤害,脲酶能促进土壤中有氮向无机氮转化,提高土壤的供氮能力^[26]。本试验结果表明,土壤过氧化氢酶活性随连作年限先增加后下降,总体变化不明显,仅有连作20年土壤过氧化氢酶活性低于未连作土壤。脲酶活性变化明显,连作前5年增加,之后开始迅速降低,连作7年低未连作土壤。

受温室大棚过量施肥、肥料利用率低及得不到雨水充分淋洗等条件影响,设施菜地土壤的有机质、全氮、速效钾、有效磷水平普遍较高^[33-34],且均高于露天土壤。本试验结果表明,连作前期土壤有机质、全氮、速效钾、有效磷水平随连作年限增加均升高,并且全氮与速效钾水平在连作7年到达最大值,有机质和速效磷水平在连作6年达到最大值,而后开始降低。pH值随连作年限增加不断降低,一直处于6.50~7.50间,土壤属于中性土。电导率先随连作年限的增加而升高,连作5年达到最大值,连作7年后降低幅度较大,与有机质、全

氮、速效钾、有效磷变化趋势类似。但根据全国土壤养分分级标准(6 级制),设施番茄土壤各连作年限有机质含量都达到 3 级,其中连作 6、7 年达到 1 级;土壤全氮含量都达到 3 级,其中连作 5、6、7、8 年达到 1 级;土壤速效钾、有效磷含量都达到 1 级。说明设施番茄施肥量非常充足,甚至已经过量。

由番茄连作土壤理化性质、酶活性、微生物数量相关性分析得出,土壤脲酶活性与电导率相关极显著,土壤过氧化氢酶活性与土壤全氮含量、有机质含量相关性极显著。土壤真菌数量、细菌数量分别与土壤有机质含量相关极显著、显著。土壤脲酶活性受土壤电导率影响较大,土壤微生物数量受土壤有机质含量影响较大。

本试验结果表明,长期连作条件下,土壤细菌与真菌的比值一直下降,土壤由细菌型转向真菌型,连作前期土壤微生物多样性、酶活性、土壤养分均处于一个较高水平,土壤生态环境良好。连作 6、7 年后土壤微生物多样性降低,土壤微生物数量降低,酶活性减少,土壤养分减少,土壤质量下降,土壤生态环境转向恶劣,出现普遍的连作障碍问题。因此,在设施番茄生产中应尽量避免连作,对于长期连作的番茄产区可以通过与其他作物间作、调节 pH 值、合理施肥、施用微生物菌剂等方法防治连作障碍。

参考文献:

- [1] 张国红,任华中,高丽红,等. 京郊日光温室土壤微生物状况和酶活性[J]. 中国农业科学,2005,38(7):1447-1452.
- [2] 李文嘉,黎炎,王益奎,等. 广西田阳县番茄生产现状及主栽品种[J]. 中国蔬菜,2011,1(7):32-34.
- [3] 王益奎,黎炎,赵兴爱,等. 广西番茄的生产现状及潜力品种推荐[J]. 长江蔬菜,2011(5):4-6.
- [4] 王蕾,成英,陈迪娟. 设施瓜果类蔬菜连作障碍成因分析及防治措施[J]. 上海蔬菜,2016(4):37-39.
- [5] 刘素慧,刘世琦,张自坤,等. 大蒜连作对其根际土壤微生物和酶活性的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(5):1000-1006.
- [6] 郑军辉,叶素芬,喻景权. 蔬菜作物连作障碍产生原因及生物防治[J]. 中国蔬菜,2004,1(3):56-58.
- [7] 吴道铭,傅友强,于智卫,等. 我国南方红壤酸化和铝毒现状及防治[J]. 土壤,2013,45(4):577-584.
- [8] 伊田,梁东丽,王松山,等. 不同种植年限对设施栽培土壤养分累积及其环境的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2010(7):111-117.
- [9] 康亚龙,景峰,孙文庆,等. 加工番茄连作对土壤理化性状及微生物量的影响[J]. 土壤学报,2016,53(2):533-542.
- [10] Acosta-Martínez V, Upchurch D R, Schubert A M, et al. Early impacts of cotton and peanut cropping systems on selected soil chemical, physical, microbiological and biochemical properties[J]. Biology and Fertility of Soils, 2004, 40(1):44-54.
- [11] Garbeva P, van Veen J A, van Elsas J D. Microbial diversity in soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness[J]. Annual Review of Phytopathology, 2004, 42(42):243-270.
- [12] Acosta-Martínez V, Bell C W, Morris B L, et al. Long-term soil microbial community and enzyme activity responses to an integrated cropping-livestock system in a semi-arid region[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2010, 137(3):231-240.
- [13] Sharma S, Aneja M K, Mayer J, et al. RNA fingerprinting of microbial community in the rhizosphere soil of grain legumes[J]. FEMS Microbiology Letters, 2004, 240(2):181-186.
- [14] Li C G, Li X M, Kong W D, et al. Effect of monoculture soybean on soil microbial community in the Northeast China[J]. Plant and Soil, 2010, 330(1/2):423-433.
- [15] Nayyar A, Hamel C, Lafond G, et al. Soil microbial quality associated with yield reduction in continuous-pea[J]. Applied Soil Ecology, 2009, 43(1):115-121.
- [16] Zhou X, Wu F. Dynamics of the diversity of fungal and *Fusarium* communities during continuous cropping of cucumber in the greenhouse[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2012, 80(2):469-478.
- [17] 李坤,郭修武,孙英妮,等. 葡萄连作对土壤细菌和真菌种群的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(12):3109-3114.
- [18] 刘来,黄保健,孙锦,等. 大棚辣椒连作土壤微生物数量、酶活性与土壤肥力的关系[J]. 中国土壤与肥料,2013(2):5-10.
- [19] 华菊玲,刘光荣,黄劲松. 连作对芝麻根际土壤微生物群落的影响[J]. 生态学报,2012,32(9):2936-2942.
- [20] Mazzola M. Elucidation of the microbial complex having a causal role in the development of apple replant disease in Washington[J]. Phytopathology, 1998, 88(9):930-938.
- [21] 马宁宁,李天来. 设施番茄长期连作土壤微生物群落结构及多样性分析[J]. 园艺学报,2013,40(2):255-264.
- [22] 马海燕,徐瑾,郑成淑,等. 非洲菊连作对土壤理化性状及生物性状的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(18):3733-3740.
- [23] 陈慧,郝慧荣,熊君,等. 地黄连作对根际微生物区系及土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(12):2755-2759.
- [24] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986:260-360.
- [25] 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,2010:192-251.
- [26] 代会会,胡雪峰,曹明阳,等. 豆科间作对番茄产量、土壤养分及酶活性的影响[J]. 土壤学报,2015,52(4):911-918.
- [27] 张海春,张浩,胡晓辉. 不同间作模式对温室连作番茄产量、土壤微生物和酶的影响[J]. 西北农业学报,2016,25(8):1218-1223.
- [28] Guan G, Tu S X, Yang J C, et al. A field study on effects of nitrogen fertilization modes on nutrient uptake, crop yield and soil biological properties in rice-wheat rotation system[J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(8):1254-1261.
- [29] 杨琴,李良. 种植年限对蔬菜日光温室土壤微生物区系和酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(9):2539-2544.
- [30] 杨凤军,安子靖,杨薇薇. 番茄连作对日光温室土壤微生物及土壤理化性状的影响[J]. 中国土壤与肥料,2016(1):42-46.
- [31] Berg G. Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2009, 84(1):11-18.
- [32] 周文杰,吕德国,杨丹丹,等. 根际优势细菌对甜樱桃幼树光合及根系活力的影响[J]. 吉林农业大学学报,2015,37(5):555-561,567.
- [33] 孙艳,王益权,刘军,等. 日光温室蔬菜栽培对土壤物理质量的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(8):2054-2060.
- [34] 王克安,杨宁,李絮花,等. 不同种植年限日光温室土壤养分变化规律研究[J]. 山东农业科学,2010(9):56-59.