

# 不同套作模式对温室连作番茄生长产量及土壤微生物与酶活性的影响

张 浩<sup>1,2,3</sup>, 李福云<sup>1</sup>, 徐志然<sup>1,2,3</sup>, 胡晓辉<sup>1,2,3</sup>, 赵九洲<sup>1,2,3</sup>

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 农业部西北设施园艺工程重点实验室, 陕西 杨凌 712100;  
3. 西北农林科技大学, 旱区作物逆境生物学国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**将莴苣和芹菜 2 种作物分别与番茄套作, 研究了套作对番茄生长、产量、品质及根系土壤微生物数量和酶活性的影响, 以期明确不同套作模式对番茄连作障碍的影响。结果表明: 套作处理可以显著增加连作土壤中微生物总量、细菌数量和细菌/真菌比例, 显著降低真菌数量, 同时提高土壤中蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性, 从而减轻连作对番茄生长的影响, 提高番茄产量, 缓解番茄连作障碍。

**关键词:**套作; 连作障碍; 番茄; 产量; 土壤微生物; 土壤酶

**中图分类号:**S 641. 2; S 621 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)13-0046-04

番茄(*Solanum lycopersicum*)是我国设施蔬菜生产中主要的栽培种类之一, 由于栽培种类单一且连年种植, 导致蔬菜根际生态环境恶化, 微生物区系改变; 土壤病原真菌数量增加, 有益拮抗菌数量减少, 由“细菌型”土壤向“真菌型”土壤转化; 土壤病虫害基数增加, 根际土

壤放线菌密度降低等一系列不良现象的发生, 严重影响了番茄的生长发育, 从而导致大幅减产甚至绝产。因而, 连作障碍已成为果菜栽培高效可持续发展中亟待解决的问题。连作障碍的发生是植物-土壤系统内多种因子综合作用的结果, 根际土壤微生物种群结构及土壤酶活性是评价土壤微生态环境质量的重要指标<sup>[1-3]</sup>。研究表明, 连作土壤的微生物种群结构破坏严重, 主要微生物数量和土壤酶活性都有不同程度的下降<sup>[4]</sup>。科学的种植模式和种植制度可以合理利用土壤养分, 增强土壤酶活性, 减少病、虫、杂草危害, 改善土壤的微生物区系, 为作物生长创造良好的土壤环境, 提高作物的产量和品质, 增加经济效益, 对防治设施蔬菜连作障碍、实现设施蔬菜可持续生产具有重要意义<sup>[3]</sup>, 这也是目前应用较广

**第一作者简介:**张浩(1988-), 男, 河南灵宝人, 硕士研究生, 研究方向为作物逆境和连作障碍。E-mail: zhagnhao. well@163. com.

**责任作者:**胡晓辉(1977-), 女, 河北滦县人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 现主要从事蔬菜作物逆境生理等研究工作。E-mail: hxl1977@163. com.

**基金项目:**国家“十二五”科技支撑计划资助项目(2011BAD12B03-03); 陕西省科技攻关资助项目(2011K01-19)。

**收稿日期:**2014-03-13

## The Compared Experiment of Coriander New Varieties Introduction

ZHANG Li-wei<sup>1,2</sup>, LI Xiao-mei<sup>2</sup>, DAI Zhong-ren<sup>2</sup>, ZHANG Jing-tao<sup>2</sup>

(1. Horticultural College, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030; 2. Harbin Academy of Agricultural Science, Harbin, Heilongjiang 150029)

**Abstract:** Selected 9 foreign coriander germplasm and 1 domestic variety Thailand thermal coriander as material, with local variety 'Wuyuan' as control, cultivation compare test was conducted, to select domestic suitable coriander variety. The results showed that Ames19089, Ames24907 and CORI318 were high yield, disease resistance, heat resistance, late bolting, were good for extending in China, and CORI401, CORI371, PI664510 were very late bolting, under using reagent to control pests, varieties advantage showed more strong, more suitable for high temperature season cultivation in China, others should be observed and evaluated further.

**Key words:** coriander; introduction; compared experiment; Heilongjiang

且效果明显的措施之一。该试验研究了番茄-莴苣和番茄-芹菜 2 种套作模式对番茄产量及土壤环境的影响,以探讨不同套作模式对连作土壤的修复效应及其关键技术。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试番茄品种为目前生产中常用主栽品种“金棚一号”、莴苣品种“美国大速莴苣”和芹菜品种“高优他西芹”,种子均购于西北农林科技大学农城种业科技中心。供试土壤为连作番茄 4 a 的土壤,取土前,栽培番茄植株已表现出生长减缓低矮,产量降低,品质下降,病虫害多发的连作障碍症状。

### 1.2 试验方法

田间试验于 2011 年 9 月至 2012 年 7 月在西北农林科技大学园艺场试验基地塑料大棚中进行。日光温室内穴盘育苗,子叶展开移苗,待番茄幼苗长到 3 叶 1 心时,定植到不同连作土壤中。采用槽栽方式,每个栽培槽做 2 个栽培垄,垄宽 60 cm,高 30 cm,定植株距 30 cm,行距 60 cm。缓苗 7 d,莴苣和芹菜(催芽后) 2 种套作物播种在番茄栽培垄的两侧,距番茄植株 5 cm 处,采用条播。试验处理为:连作 4 a 土壤栽培(CS);连作土壤套作莴苣栽培(CSL);连作土壤套作芹菜栽培(CSC);以非连作土壤栽培为对照(CK)。每处理 3 个栽培槽,每个处理随机排列。常规方法管理,留 4 穗花打顶。

在番茄果实膨大期,随机选取每个处理的 3 株,拔出番茄植株后,用刷子小心取下根际土壤(离植株根系约 5 cm 处的土壤),剔除杂质,混合均匀后分为 2 个部分。一部分置于 4℃ 冰箱保存,用于土壤中微生物区系分析;另一部分风干保存,用于土壤中酶活性和土壤养分的测定,各项指标测定前将土壤样过 1 mm 筛。

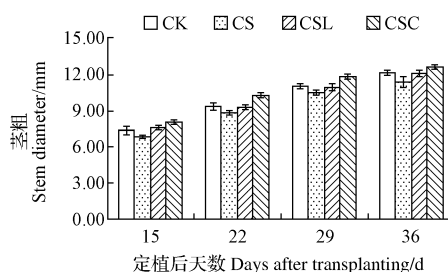
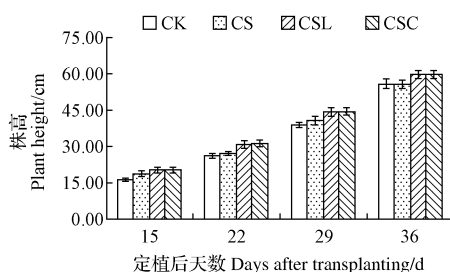


图 1 不同处理对番茄生长的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on growth of tomato

### 2.2 不同处理对土壤中微生物种群的影响

由表 1 可以看出,与对照(CK)相比,连作(CS)处理的微生物总量显著低于 CK,降低了 49.21%。连作条件下套作莴苣(CSL)和芹菜(CSC)处理的微生物数量增加,分别比 CS 增加了 89.83%和 109.67%。CS 处理的

### 1.3 项目测定

1.3.1 土壤微生物的测定 细菌、真菌、放线菌采用平板培养计数法,恒温培养箱培养记数。细菌分离采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基,放线菌分离采用改良高氏一号琼脂培养基,真菌分离采用孟加拉红培养基。微生物计数的基本单位 CFU/g 干土<sup>[5-6]</sup>。

1.3.2 土壤酶活性的测定 土壤蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定,其活性以 24 h 后 1 g 风干土中葡萄糖的毫克数(glucose mg/g 干土)表示;土壤脲酶采用苯酚钠比色法测定,其活性以 24 h 后 1 g 风干土中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  毫克数( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  mg/g 干土)表示;土壤过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法测定,其活性以 1 h 后 1 g 风干土消耗的 0.02 N 的  $\text{KMnO}_4$  的毫升数(0.02 N  $\text{KMnO}_4$  mL/g 干土)表示;磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法测定,其活性 24 h 后 1 g 土壤中释出的酚毫克数(phenols mg/g 干土)表示<sup>[7]</sup>。

1.3.3 番茄产量与品质分析 在番茄果实成熟后,连续记载各处理每次采收的果实数和小区果实产量。番茄果实可溶性糖含量测定采用日本爱宕 PAL-1 数字糖度计;有机酸含量测定采用常规酸碱中和滴定法,根据酚酞指示剂的变化范围确定终点;维生素 C 含量测定采用钼蓝比色法<sup>[8]</sup>。

### 1.4 数据分析

采用 Excel 2003、SAS 8.2 软件进行处理,用 Duncan 多重比较法( $P < 0.05$ )进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对番茄生长的影响

由图 1 可以看出,CS 处理的株高与 CK 相比差异不大,但茎粗显著低于 CK。套作后,CSL 与 CSC 都能促进株高生长和茎粗增加,其中 CSC 的茎粗显著高于 CS。

土壤细菌和放线菌数量显著低于 CK 处理,分别比 CK 处理降低了 52.38%和 32.30%;而 CS 处理的真菌数量显著高于 CK 处理,比 CK 处理增加了 209.83%。CSL 和 CSC 处理可以显著增加土壤中细菌和放线菌数量,降低真菌数量。在土壤中,细菌类群占主要比例,其活性

表 1

不同处理对根际土壤微生物的影响

Table 1

Effects of different treatments on the quantities of microbial communities in rhizosphere soil

处理 Treatment	细菌数量(所占比例) Quantity of bacteria(Propotion) / $\times 10^5$ CFU $\cdot$ g $^{-1}$ 干土(%)		真菌数量(所占比例) Quantity of fungi(Propotion) / $\times 10^3$ CFU $\cdot$ g $^{-1}$ 干土(%)		放线菌数量(所占比例) Quantity of actinomycetes(Propotion) / $\times 10^4$ CFU $\cdot$ g $^{-1}$ 干土(%)		总微生物数量 Quantity of total microorganism / $\times 10^5$ CFU $\cdot$ g $^{-1}$ 干土	细菌数量/真菌数量 Quantity of bacteria/ fungi
CK	171.28 $\pm$ 19.65a	(85.40)	19.03 $\pm$ 5.44c	(0.11)	290.94 $\pm$ 26.78b	(16.99)	200.56 $\pm$ 10.78ab	900.05
CS	81.57 $\pm$ 12.46b	(80.08)	58.96 $\pm$ 14.59a	(0.72)	196.98 $\pm$ 22.29d	(24.15)	101.86 $\pm$ 2.01c	138.35
CSL	172.10 $\pm$ 16.87a	(89.01)	18.24 $\pm$ 4.80c	(0.11)	210.76 $\pm$ 14.67c	(12.25)	193.36 $\pm$ 11.69b	943.53
CSC	177.06 $\pm$ 18.23a	(82.91)	31.25 $\pm$ 18.04b	(0.18)	361.94 $\pm$ 14.50a	(20.44)	213.57 $\pm$ 2.31a	566.59

注:不同字母表示处理间差异达到 5% 显著水平。下同。

Note: Different letters at the same sampling date mean significant at 5% level. The same below.

的高低直接影响土壤中有有机物的降解效率<sup>[9]</sup>。从细菌和真菌的比值来看,CS 处理显著低于 CK 处理,而不同套作模式可以增加连作土壤细菌/真菌比值。

### 2.3 不同套作处理对土壤中酶活性的影响

土壤酶活性是土壤肥力的重要标志,与土壤的理化性质和水热状况、农业技术措施等密切相关。由表 2 可以看出,连作土壤的脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶

活性显著低于对照处理。CSL 处理的脲酶和过氧化氢酶活性与 CS 处理无显著差异,磷酸酶和蔗糖酶活性显著高于 CS 处理,分别增加了 154.60% 和 158.41%。与 CS 处理相比,CSC 处理的脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性显著增加,分别比 CS 处理增加了 22.73%、168.83%、237.12% 和 33.82%。

表 2

不同套作处理对土壤酶活性的影响

Table 2

Effect of different rotation treatments on soil enzymes activities

处理 Treatment	脲酶 Urease/ $\text{NH}_4^+ \cdot \text{N}$ mg $\cdot$ g $^{-1}$ 干土	磷酸酶 Phosphatase/phenols mg $\cdot$ g $^{-1}$ 干土	蔗糖酶 Sucrase/glucose mg $\cdot$ g $^{-1}$ 干土	过氧化氢酶 Catalase/ $0.02\text{N KMnO}_4$ mL $\cdot$ g $^{-1}$ 干土
CK	0.99 $\pm$ 0.02a	79.82 $\pm$ 1.69c	1646.59 $\pm$ 63.65c	3.03 $\pm$ 0.05a
CS	0.66 $\pm$ 0.02c	62.56 $\pm$ 1.38d	781.30 $\pm$ 54.68d	2.04 $\pm$ 0.19c
CSL	0.65 $\pm$ 0.03c	159.28 $\pm$ 2.05b	2018.92 $\pm$ 84.25b	2.07 $\pm$ 0.38c
CSC	0.81 $\pm$ 0.03b	168.18 $\pm$ 5.33a	2633.93 $\pm$ 157.48a	2.73 $\pm$ 0.11b

### 2.4 对番茄产量和品质的影响

由表 3 可以看出,CS 处理的单位面积产量显著低于 CK。与 CS 相比,CSL 的单位面积产量显著增加了 43.62%;CSC 的单位面积产量显著增加了 37.44%。CS 处理的果实有机酸含量显著高于 CK,CSL 和 CSC 处理

的番茄果实有机酸含量显著低于 CS。CS 处理的番茄果实可溶性糖显著低于 CK,CSL、CSC 与 CS 处理间无显著差异。CS 处理的糖酸比低于 CK,其它处理也显著的高于 CS。CS 处理的番茄果实维生素 C 含量显著高于 CK,而其它处理显著低于 CK 和 CS 处理。

表 3

套作对连作番茄果实产量和品质的影响

Table 3

Effect of rotation on fruit yield and quality of continuous cropping tomato

处理 Treatment	产量 Yield/kg $\cdot$ m $^{-2}$	可溶性糖含量 Soluble sugar content/%	有机酸含量 Organic acid content/%	糖酸比 S/A	维生素 C 含量 Content of vitamin C/mg $\cdot$ (100g) $^{-1}$
CK	22.95 $\pm$ 1.02b	5.35 $\pm$ 0.05a	7.24 $\pm$ 0.12b	0.74	21.54 $\pm$ 1.01b
CS	17.47 $\pm$ 0.98c	4.93 $\pm$ 0.15b	8.76 $\pm$ 0.28a	0.56	24.24 $\pm$ 1.23a
CSL	25.09 $\pm$ 1.02a	4.82 $\pm$ 0.05b	6.08 $\pm$ 0.16c	0.79	15.83 $\pm$ 1.19c
CSC	24.01 $\pm$ 0.80ab	4.81 $\pm$ 0.09b	5.56 $\pm$ 0.21c	0.87	13.65 $\pm$ 0.67d

## 3 讨论与结论

姜忠延等<sup>[9]</sup>研究发现,套作可以促进西瓜生长,缓解西瓜的连作障碍。该试验中,连作土壤的细菌数量显著降低,而套作后可以增加土壤细菌数量,进而改善番茄作物根系微生态环境,同时为根际提供养分,促进番茄的生长发育。有研究表明,放线菌可以转化土壤有机养分、分泌特异性抗生素、向作物根际周围释放具有广谱抗菌性的酶制剂,抑制土壤病害的病源微生物活性,调控西瓜枯萎病和立枯病的发生<sup>[10]</sup>。该试验中,套作处理可以在番茄整个生长期提高土壤放线菌数量,缓解连作障碍中由土传病害对番茄产生的不利影响。套作处

理的细菌数量占根际土壤总微生物数量的比例高,土壤微生物群落表现为真菌型向细菌型的良性转化,这与部分研究学者的结果一致,也有研究表明细菌和放线菌数量增多能够促进番茄植株生长及生物量合成<sup>[11]</sup>。因而套作处理的土壤细菌和放线菌数量的增加促进了番茄的生长发育。

设施连作栽培情况下,土壤酶活性下降,有害物质积累、土传病虫害加重和植物的自毒作用加剧了连作障碍的产生和危害<sup>[12]</sup>。研究表明蔗糖酶活性高的土壤生物活性较好、土壤肥力较高、土壤状况良好<sup>[14]</sup>。番茄连作土壤碱性磷酸酶活性随着连作年限的延长而增加,过

氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶活性则下降,其中过氧化氢酶活性和脲酶的下降幅度较大,蔗糖酶活性下降幅度较小<sup>[15-16]</sup>。该试验中,连作土壤的酶活性下降与前人研究结果一致,但套作芹菜显著增加了土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶的活性,套作茼蒿则显著提高了土壤磷酸酶和蔗糖酶的活性。

研究表明,连作土壤抑制番茄种子萌发和生长发育,并降低番茄产量和品质,造成这种现象的主要原因是连作土壤的物理化学性状严重恶化,根系分泌累积有毒物质,叶根茎的化感自毒物质积聚<sup>[17]</sup>。该试验中,连作土壤显著降低了番茄产量,品质变劣<sup>[13]</sup>。在该试验条件下,连作土壤套作茼蒿和芹菜可以显著促进番茄生长发育,并增加番茄产量和品质。套作茼蒿由于地上部冠幅小,对番茄幼苗光合利用率影响小,而套作物芹菜,地上部叶片相对高,水肥利用率较高,与番茄幼苗竞争部分养分,同时影响番茄幼苗的光合作用,对番茄前期生长的促进作用不如套作物茼蒿的效果明显。

综上所述,套作处理改善了连作番茄生长、土壤中根系微生物数量和土壤酶活性。套作处理可以显著增加连作土壤中微生物总量、细菌数量和细菌/真菌比例,显著降低真菌数量,同时提高土壤中蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性,从而减轻连作对番茄生长的影响,提高番茄产量。

#### 参考文献

- [1] 张晓玲,潘振刚,周晓峰,等. 自毒作用与连作障碍[J]. 土壤通报, 2007,38(4):781-784.
- [2] 宋日,吴春胜,牟金明,等. 玉米根茬留田对土壤微生物量碳和酶活性动态变化特征的影响[J]. 应用生态学报,2002,13(3):303-306.
- [3] 李威,程智慧,孟焕文,等. 轮作不同蔬菜对大棚番茄连作基质中微生物与酶及后茬番茄的影响[J]. 园艺学报,2012,39(1):73-80.
- [4] 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.
- [5] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京:科学出版社,1985:263-275.
- [6] 许光辉,郑宏元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京:农业出版社:1986:214.
- [7] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [8] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [9] 姜忠廷,刘林德,郑宪清,等. 三种套作模式对连作西瓜生长和土壤微生物区系的影响[J]. 上海农业学报,2012,28(1):60-64.
- [10] 纪春艳,王新荣,程路明,等. 新疆棉花立枯病根际拮抗放线菌的筛选[J]. 植物保护,2008,3(1):53-56.
- [11] 孙艳艳,蒋桂英,刘建国,等. 加工番茄连作对农田土壤酶活性及微生物区系的影响[J]. 生态学报,2010,30(13):3599-3607.
- [12] Huang H C,Chou C H,Erickson R S. Soil sickness and its control[J]. Allelo Pathy J,2006,18:1-21.
- [13] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,等. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(4):406-410.
- [14] 吴凤芝,奕非时,王东凯,等. 大棚黄瓜连作对根系活力及根际土壤酶活性影响的研究[J]. 东北农业大学学报,1996,27(3):255-258.
- [15] 杜社妮. 种植模式对日光温室黄瓜、番茄生长发育及土壤生物学特性的影响[J]. 杨凌:西北农林科技大学,2005.
- [16] 吴凤芝,孟立君,王学征. 设施蔬菜轮作和连作土壤酶活性的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(4):554-558.
- [17] 吴凤芝,赵凤艳,刘元英. 设施蔬菜连作障碍原因综合分析防治措施[J]. 东北农业大学学报,2000,31(3):241-247.

## Effects of Different Relay Intercropping Patterns on Continuous Cropping Tomato Growth,Yield and Soil Microflora and Enzymes Activities in Solar Greenhouse

ZHANG Hao<sup>1,2,3</sup>,LI Fu-yun<sup>1</sup>,XU Zhi-ran<sup>1,2,3</sup>,HU Xiao-hui<sup>1,2,3</sup>,ZHAO Jiu-zhou<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Key Laboratory of Protected Horticultural Engineering in Northwest, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100; 3. State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** Relay intercropping experiments with lettuce and tomato, celery and tomato were carried out to study the tomato growth, yield and microflora characteristics and enzymes activities in the soil where tomato continuous cropping obstacle occurred. The results showed that relay intercropping significant increased the number of total micro-biomass, bacteria number and ratio of bacteria to fungi in the continuous cropping soil, and increased the activities of sucrase, urease, phosphatase and catalase in the continuous cropping soil. Thus, relay intercropping could promote the tomato growth, and increase the yield, and prevent the obstacle of continuous cropping of tomato.

**Key words:** relay intercropping; continuous cropping obstacle; tomato; yield; soil microflora; soil enzyme