

# 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

李 威, 程智慧\*, 孟焕文, 周 静, 梁 静, 刘雪娇

(西北农林科技大学园艺学院, 农业部西北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 陕西杨凌 712100)

**摘 要:** 为明确轮作不同蔬菜对预防基质栽培番茄连作障碍的效果, 于大棚番茄冬闲季节在连作两茬番茄的有机基质中分别轮作蒜苗 (*Allium sativum*)、白菜 (*Brassica campestris* ssp. *chinesis* var. *communis*) 和莴苣 (*Lactuca sativa*), 后茬继续种植番茄, 测试轮作不同蔬菜后基质中微生物种群与数量和酶活性的差异, 以及对后茬番茄生长和产量的影响。结果表明: 轮作蒜苗、白菜和莴苣均能显著增加基质中微生物总量、细菌数量和细菌/真菌比例, 降低真菌数量; 基质中蔗糖酶、脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性也都表现较高水平; 各轮作处理与对照 (冬闲) 相比, 以上指标差异均达到显著水平。在 3 种轮作蔬菜中, 轮作蒜苗效果优于白菜和莴苣, 其微生物种群更平衡且 4 种酶活性均最高, 后茬番茄根系活力在整个生长期都高于对照, 产量最高。因此, 冬闲季节轮作蔬菜可改善大棚番茄连作基质的微生物种群平衡和酶活性, 预防连作障碍, 且增收轮作蔬菜; 3 种轮作蔬菜中以轮作蒜苗效果最好。

**关键词:** 番茄; 轮作; 有机基质; 连作; 微生物种群; 基质酶活性

**中图分类号:** S 641.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2012) 01-0073-08

## Effect of Rotating Different Vegetables on Micro-biomass and Enzyme in Tomato Continuous Cropped Substrate and Afterculture Tomato Under Plastic Tunnel Cultivation

LI Wei, CHENG Zhi-hui\*, MENG Huan-wen, ZHOU Jing, LIANG Jing, and LIU Xue-jiao

(College of Horticulture, Northwest A & F University, Key Laboratory of Horticultural Plant Germplasm Resource Utilization in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Garlic seedling, no-heading Chinese cabbage or leaf lettuce was rotated with two season continuous cropping tomato during winter fallow season under plastic tunnel substrate cultivation. Microorganism groups, biomass and enzyme activity of the rotated substrate and yield and root vigor of afterculture tomato were measured to test the effect of rotating different vegetables on preventing of the continuous cropping obstacle of tomato. It showed that rotating with garlic seedling, no-heading Chinese cabbage and leaf lettuce significantly increased the number of total micro-biomass, bacteria number and ratio of bacteria to fungus in substrate. However the number of fungus decreased. Besides, relatively higher level of sucrase, urease, alkaline phosphatase and catalase activity in the substrate was recorded in all the rotating treatments. Among the three vegetables, garlic seedling showed the best rotating effect on

**收稿日期:** 2011 - 09 - 29; **修回日期:** 2011 - 12 - 15

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (31171949); 国家公益性行业 (农业) 科研专项 (200903018-7); 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2007BAD57B03)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: chengzh@nwsuaf.edu.cn)

microorganism group and enzyme activity of substrate and yield and root vigor of the afterculture tomato during the whole growth season. In conclusion, rotating vegetables in substrate can improve the microorganism environment, increase the enzyme activity, and prevent the obstacle of continuous cropping of tomato and increase the harvest of rotating vegetables.

**Key words:** tomato; rotation; organic substrate; continuous cropping; microorganism amount; enzyme activity

无土栽培是解决土壤连作障碍和盐碱荒沙地高效利用的一条有效途径。近年来,随着可持续生态农业的发展,以农业生物质为主要原料的蔬菜有机基质设施栽培发展很快。但是,由于种植习惯和降低基质成本的需要,基质培养中果菜连作重复利用较为普遍,导致的连作障碍问题也日益突出,成为有机基质果菜栽培高效可持续发展亟待解决的问题。

连作障碍是个量变到质变的积累过程,其发生原因很多,但根本原因是由于连续单一种植同一作物引起了土壤(基质)中生物多样性破坏,作物根际微生态平衡失调,微生物种群结构失衡,微生物总数和土壤酶活性的最终下降(郑军辉等,2004;刘亚锋等,2006;刘建国等,2009;刘素慧等,2010)。微生物是生态系统的重要组成部分,是物质循环的原动力,推动着自然界营养元素的生物地球化学循环(章家恩和刘文高,2001)。根际土壤微生物种群结构及土壤酶活性是土壤根际微生态环境中生理活性最强的部分,是评价土壤微生态环境质量和土壤生产力的重要指标(杜慧玲等,2001;宋日等,2002;邱丽萍等,2004;张雪艳等,2011)。杨丽娟等(2000)的研究表明,菜园土壤的磷酸酶、过氧化氢酶、转化酶和脲酶活性与黄瓜产量呈显著或极显著正相关。樊军和郝明德(2003)认为不同栽培方式和作物茬口对土壤酶活性有不同的影响。

轮作是预防和减轻连作障碍的根本措施,迄今关于连作和轮作与土壤微生物及土壤酶活性的关系已有大量研究,但认识尚不尽一致。本研究旨在明确冬闲季节轮作不同蔬菜对番茄连作基质微生物种群和数量、酶活性及后茬番茄生长与产量的影响,为通过蔬菜轮作预防栽培基质连作障碍提供理论和技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

田间试验于2009年11月—2010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。2009年11月前茬栽培番茄,2009年11月—2010年3月为蔬菜轮作期,2010年3月—2010年7月为后茬测试作物番茄生长期。供试番茄品种为目前生产主栽品种‘金棚一号’,白菜(*Brassica campestris* ssp. *chinesis* var. *communis*)品种‘四季小白菜’、莴苣(*Lactuca sativa*)中的油麦菜品种‘广东千里香’,种子均购于西北农林科技大学农城种业科技中心,大蒜(*Allium sativum*)品种‘汉中红皮’由课题组自繁。基质配方中的玉米芯、稻壳、菇渣均为杨凌地区农业生产的副产物。

### 1.2 试验方法

基质配方为课题组前期试验筛选的可替代以草炭为主要原料的有机基质配方,其组成为稻壳:玉米芯:菇渣=5:2:3(体积比)。大棚冬闲季节,将已栽培两茬番茄的该基质均分为4份,其中3份分别盆栽蒜苗(每盆12株)、白菜(每盆6株)和莴苣(每盆6株),另一份冬闲作为对照1。为了比较连作基质重复利用效果,同时按该配方新配有机基质作为对照2,并以过去生产上常用的以

草炭为主要原料的常规基质为对照 3，进行比较试验。轮作或冬闲后茬均种植番茄，新配基质直接种植番茄（表 1）。

表 1 试验处理  
Table 1 Treatments of the experiment

处理 Treatment	基质配比 Substrate proportion	基质状态 Substrate state	填闲作物 Catch crop	后茬作物 Aftercrop
轮作蒜苗 Rotating garlic seedling	稻壳 5：玉米芯 2：菇渣 3 Corn cob2：Used mushroom medium3	Rice husk5：已连作 2 茬 Continuous cropped for two seasons	蒜苗 Garlic seedling	番茄 Tomato
轮作白菜 Rotating no-heading Chinese cabbage	稻壳 5：玉米芯 2：菇渣 3 Corn cob2：Used mushroom medium3	Rice husk5：已连作 2 茬 Continuous cropped for two seasons	白菜 No-heading Chinese cabbage	番茄 Tomato
轮作茼蒿 Rotating leaf lettuce	稻壳 5：玉米芯 2：菇渣 3 Corn cob2：Used mushroom medium3	Rice husk5：已连作 2 茬 Continuous cropped for two seasons	茼蒿 Leaf lettuce	番茄 Tomato
冬闲（对照 1） Winter fallow（Control 1）	稻壳 5：玉米芯 2：菇渣 3 Corn cob2：Used mushroom medium3	Rice husk5：已连作 2 茬 Continuous cropped for two seasons	冬闲 Winter fallow	番茄 Tomato
新配稻壳基质（对照 2） Fresh rice husk substrate（Control 2）	稻壳 5：玉米芯 2：菇渣 3 Corn cob2：Used mushroom medium3	Rice husk5：新配 New	-	番茄 Tomato
新配草炭基质（对照 3） Fresh peat substrate（Control 3）	草炭 Peat 2：珍珠岩 Perlite 1	新配 New	-	番茄 Tomato

采用随机区组设计，3 次重复。盆栽，每小区 2 行，每行 9 盆。盆外径 29.5 cm，内径 17.5 cm，高 21.5 cm。2010 年 3 月 22 日轮作蔬菜收获后各处理同时栽植番茄，每盆 1 株，株距 30 cm，行距 35 cm。生长期间采取统一追肥管理，定植后 15 d 开始进行第 1 次追肥，以后随植株生长每隔 10 d 追肥 1 次，追肥分为有机肥和无机肥，有机肥为消毒鸡粪，无机肥为深圳市芭田生态工程股份有限公司生产的芭田复合肥（N 21%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 11%、K<sub>2</sub>O 13%）。番茄留 5 穗果后摘心，其它按照常规管理。

1.3 测定项目

基质样品的采集：于后茬番茄定植前采集基质样品，每处理随机选取 6 盆，采集 0～20 cm 深，离植株约 5 cm 处的基质，混合均匀后一部分置于 4℃ 冰箱保存，用于基质中微生物区系分析；另一部分风干保存，用于基质中酶活性测定。

基质中微生物和酶活性测定：细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基；放线菌采用改良高氏 1 号培养基（每 300 mL 培养基中加入 3% 重铬酸钾 1 mL，以抑制细菌和霉菌生长）；真菌采用 PDA 培养基（每 1 000 mL 培养基中加入 3 mL 乳酸）。不同酶活性参照严昶升（1988）的方法。过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法；脲酶采用苯酚一次氯酸钠比色法；转化酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法；碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法。

番茄生长和产量测定：在定植后 25 d，每处理取样 5 株，清洗干净，吸干表面水分后，分别测定地上部和地下部的鲜质量，然后分装于牛皮纸信封内，鼓风干燥箱内 105℃ 杀青 15 min，75℃ 恒温干燥 48 h，转于干燥器内冷却至室温后称取干质量。在番茄果实成熟后，连续记载各处理每次采收的果实数 and 小区果实产量，计算单果质量。

用 Excel 软件处理数据作折线图分析，用 DPS 软件进行数据差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理基质中微生物种群的比较

基质中微生物主要由细菌、放线菌、真菌组成，对于基质肥力的形成、作物营养的转化均起到重要的作用。由表 2 可以看出，在轮作后番茄定植前，以新配稻壳基质中微生物总量最多，其次是轮作蒜苗后的基质，最低的为新配草炭基质，前二者中微生物总量分别是新配草炭基质的 6.01 倍和

4.49 倍，且 6 个处理间微生物总量差异显著。各处理中细菌数量和微生物总量相似。6 个处理中真菌数量亦是新配稻壳基质最高，其次是冬闲处理，分别达到  $213.00 \times 10^4$  和  $50.43 \times 10^4$  cfu · g<sup>-1</sup>，分别是新配草炭基质的 23.48 倍和 5.56 倍。除轮作白菜处理和冬闲处理外，其他各处理真菌数量差异达到显著水平。在 6 个处理中，以轮作蒜苗和轮作白菜的细菌比例最高，达到 91.57%和 91.38%，分别比冬闲处理高 18.28%和 18.03%。而真菌比例最高的为新配稻壳基质，其次为冬闲处理，比例最低的为轮作蒜苗处理。从细菌与真菌的比值看，轮作蒜苗的处理最高，为 436.05；其次为轮作白菜的处理，为 351.46，二者分别是冬闲处理的 8.05 倍和 6.49 倍。

在 6 个处理中，新配稻壳基质的微生物总量、细菌数量、放线菌数量、真菌数量均最高，这可能与前期发酵时添加发酵微生物有关。

表 2 轮作后不同处理对基质中微生物数量的影响  
Table 2 Effect of different treatments on biomass of microorganism in substrate after rotating

处理 Treatment	微生物总量/ ( $\times 10^6$ cfu · g <sup>-1</sup> ) Micro-biomass	细菌/ ( $\times 10^6$ cfu · g <sup>-1</sup> ) Bacteria	放线菌/ ( $\times 10^6$ cfu · g <sup>-1</sup> ) Actinomyce	真菌/ ( $\times 10^4$ cfu · g <sup>-1</sup> ) Fungi	比例/% Percentage			细菌/真菌 Bacteria/ fungi
					细菌 Bacteria	放线菌 Actinomyce	真菌 Fungi	
轮作蒜苗 Rotating garlic seedling	59.09 ± 0.88 b	54.11 ± 0.64 b	4.86 ± 0.36 e	12.13 ± 0.35 d	91.57	8.22	0.21	436.05
轮作白菜 Rotating no-heading Chinese cabbage	58.56 ± 0.52 c	53.51 ± 0.47 c	4.90 ± 0.40 d	15.07 ± 0.35 c	91.38	8.37	0.26	351.46
轮作茼蒿 Rotating leaf lettuce	54.68 ± 0.34 d	47.31 ± 0.31 d	6.88 ± 0.61 c	49.01 ± 0.35 b	86.52	12.58	0.90	96.13
冬闲 (对照 1) Winter fallow (Control 1)	35.16 ± 0.31 e	27.22 ± 0.31 e	7.43 ± 0.21 b	50.43 ± 0.21 b	77.42	21.13	1.43	54.14
新配稻壳基质 (对照 2) Fresh rice husk substrate (Control 2)	79.10 ± 0.34 a	66.01 ± 0.36 a	11.05 ± 0.67 a	213.00 ± 0.25 a	83.45	13.97	2.69	31.02
新配草炭基质 (对照 3) Fresh peat substrate (Control 3)	13.16 ± 0.38 f	11.41 ± 0.30 f	2.07 ± 0.21 f	9.07 ± 0.21 e	83.66	15.72	0.69	121.25

注：同列数据后不同的小写字母表示 5%水平差异显著。下同。  
Note: Different letters in the same column mean significant difference at 5% level. The same below.

2.2 不同处理基质中酶活性的比较

基质酶活性是基质肥力的重要标志，与基质的物理特性和水热状况、农业技术措施等密切相关。由表 3 可知，在 6 个处理中，轮作蒜苗的基质中蔗糖酶活性最高，其次是新配稻壳基质，最低的是新配草炭基质。除新配稻壳基质和轮作茼蒿处理外，其他处理基质蔗糖酶活性差异达到显著水平。

表 3 轮作叶菜后不同处理对基质中酶活性的影响  
Table 3 Effect of different treatments on enzyme activities in substrate after leaf vegetable rotating

处理 Treatment	蔗糖酶/(mg · g <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup> ) Sucrase	脲酶/(mg · g <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup> ) Urease	碱性磷酸酶/(mg · g <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup> ) Alkaline phosphatase	过氧化氢酶/(mL · g <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> ) Catalase
轮作蒜苗 Rotating garlic seedling	11.24 ± 0.02 a	2.40 ± 0.03 b	33.43 ± 0.15 a	6.17 ± 0.09 b
轮作白菜 Rotating no-heading Chinese cabbage	8.21 ± 0.03 c	2.49 ± 0.02 a	28.30 ± 0.11 d	4.92 ± 0.10 c
轮作茼蒿 Rotating leaf lettuce	8.94 ± 0.03 b	2.34 ± 0.01 c	30.58 ± 0.14 c	3.68 ± 0.03 d
冬闲 (对照 1) Winter fallow (Control 1)	6.17 ± 0.04 d	2.15 ± 0.01 d	23.55 ± 0.11 e	3.61 ± 0.09 d
新配稻壳基质 (对照 2) Fresh rice husk substrate (Control 2)	8.99 ± 0.05 b	1.98 ± 0.02 e	31.69 ± 0.25 b	5.05 ± 0.03 c
新配草炭基质 (对照 3) Fresh peat substrate (Control 3)	2.08 ± 0.02 e	1.12 ± 0.04 f	4.47 ± 0.11 f	9.68 ± 0.11 a

轮作白菜的基质中脲酶活性最高，达到  $2.49 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ，其次是轮作蒜苗的处理，其基质脲酶活性为  $2.40 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ，前二者分别比冬闲处理基质脲酶活性高 15.35% 和 11.63%，且处理间差异显著。6 个处理基质中碱性磷酸酶活性大小顺序为轮作蒜苗 > 新配稻壳基质 > 轮作茼蒿 > 轮作白菜 > 冬闲 > 新配草炭基质，各处理间的差异达到显著水平。新配草炭基质中过氧化氢酶活性最高，其次是轮作蒜苗的处理，过氧化氢酶活性最低的是冬闲处理，前二者过氧化氢酶活性分别比后者高 169.89% 和 71.11%。

### 2.3 不同处理对后茬番茄不同生长期根系 TTC 还原强度的影响

由图 1 可以看出，后茬番茄在不同生长期根系还原强度不同，呈单峰曲线变化，同一时期各处理间根系还原强度亦不同。

轮作蒜苗、轮作白菜、新配稻壳基质和新配草炭基质的根系还原强度在结果盛期达到高峰。轮作茼蒿和冬闲处理与其他处理的变化趋势一致，但在结果前期达到峰值。轮作蒜苗和轮作白菜的处理番茄根系还原强度在整个生长期都高于基质冬闲处理。

### 2.4 不同处理对后茬番茄干物质分配和产量的影响

从表 4 可以看出，不同处理基质后茬番茄的干物质质量和番茄产量差异均达到显著水平。新配草炭基质中番茄干物质质量最高；其次是轮作蒜苗处理，但地上部干物质质量与新配草炭基质无显著性差异；番茄干物质质量最小的是冬闲，显著低于其它各处理和各对照。较多的干物质积累，为番茄产量形成了物质基础。从番茄产量性状看，平均单果质量和小区产量均以新配草炭基质最高，其次是轮作蒜苗和新配稻壳基质，冬闲最低；小区产量前三者分别比冬闲高 124.69%、116.18% 和 95.89%，差异均达到显著水平，但轮作蒜苗处理与新配草炭基质的产量无显著差异；轮作白菜和轮作茼蒿的产量也都显著高于冬闲处理，但轮作白菜的番茄产量又显著高于轮作茼蒿。

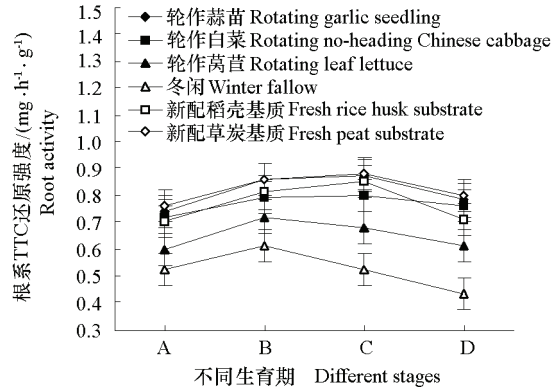


图 1 轮作后不同处理番茄不同生育期根系还原强度的变化

A: 坐果期; B: 结果前期; C: 结果盛期; D: 结果后期。

Fig. 1 The effect of different treatments on root vigor of tomato at different stages after rotating

A: Fruit setting stage; B: Early fruiting stage;

C: Middle fruiting stage; D: Late fruiting stage.

表 4 轮作后不同处理番茄的干物质分配和产量

Table 4 Effect of different treatments on dry matter distribution and yield of tomato after rotating

处理 Treatment	地上部干质量/g Shoot dry weight	地下部干质量/g Root dry weight	平均单果质量/g Weight per fruit	小区产量/kg Plot yield
轮作蒜苗 Rotating garlic seedling	60.63 ± 0.61 ab	8.67 ± 0.05 b	111.22 ± 7.32 a	38.35 ± 2.08 a
轮作白菜 Rotating no-heading Chinese cabbage	58.80 ± 0.17 b	8.16 ± 0.03 c	90.31 ± 6.68 b	27.66 ± 1.15 c
轮作茼蒿 Rotating leaf lettuce	54.37 ± 0.45 c	7.47 ± 0.03 d	77.63 ± 5.21 b	21.67 ± 1.01 d
冬闲 (对照 1) Winter fallow (Control 1)	46.20 ± 0.85 d	5.48 ± 0.04 e	72.73 ± 5.09 b	17.74 ± 0.98 e
新配稻壳基质 (对照 2) Fresh rice husk substrate (Control 2)	60.10 ± 2.00 ab	8.61 ± 0.03 b	106.18 ± 7.06 a	34.75 ± 1.78 b
新配草炭基质 (对照 3) Fresh peat substrate (Control 3)	61.96 ± 1.19 a	8.95 ± 0.26 a	113.23 ± 8.54 a	39.86 ± 2.36 a

因此, 从后茬番茄的生长和产量看, 轮作 3 种蔬菜均可有效预防有机基质培番茄的基质连作障碍, 以轮作蒜苗的效果最好, 其次为轮作白菜。

### 3 讨论

吴凤芝等(2008)研究表明, 小麦和大豆轮作茬口均显著提高了黄瓜土壤真菌、细菌和放线菌数量。张雪艳等(2009)研究表明, 填闲和轮作制度对黄瓜连作土壤质量有一定的修复效果, 夏茬休闲期种植速生叶菜和青蒜增加了土壤微生物量碳含量、微生物总量和蔗糖酶活性, 尤以填闲茼蒿和青蒜效果明显。杨建霞等(2005)研究表明, 连作条件下土壤根际微生物数量表现出较明显的温室效应, 土壤中真菌数量明显增加, 微生物总量、放线菌数量和细菌数量均呈现降低趋势; 李刚等(2006)试验认为, 黄瓜与番茄交替种植比黄瓜单一种植更有利于细菌、真菌和放线菌积累。本研究表明, 大棚冬闲季节在连作番茄的有机基质中轮作蒜苗和白菜, 基质中微生物总量和细菌数比冬闲基质显著增加, 同时真菌数和真菌/细菌比例下降, 这一结果与前人在土壤中的研究结论一致。本试验中新配稻壳基质中微生物总量、细菌、放线菌和真菌数均最高, 这可能与新配基质前期原料发酵过程中加入了发酵菌剂有关。

许多研究表明, 土壤酶活性的变化能较早地预测土壤质量的变化, 也是土壤健康的决定性因素(Zelles, 1999; 马云华 等, 2004)。吴凤芝和王学征(2007)研究认为, 设施栽培制度对土壤微生物和酶活性具有重要影响。合理轮作能促进土壤生物化学过程, 有利于提高土壤酶活性(姚槐应和黄昌勇, 2006)。Bandick 和 Dick(1999)研究表明, 轮作、增施绿肥使土壤酶活性明显上升。因此, 与连作相比, 轮作、间作、增施绿肥能够提高土壤的生物活性, 缓解土壤质量退化。蔗糖酶活性强弱反映基质熟化程度和肥力水平, 对增加基质中营养物质起重要作用; 脲酶直接参与基质的有机氮的转化; 磷酸酶能促进土壤中有机磷化合物或无机磷酸盐转化为植物能利用的无机态磷; 过氧化氢酶能催化分解土壤中累积的过氧化氢, 减轻其毒害作用, 过氧化氢酶还与土壤有机质含量密切相关。本试验表明, 大棚冬闲季节在连作番茄的有机基质中轮作蒜苗、白菜和茼蒿, 基质中 4 种酶活性均高于连作基质, 以轮作蒜苗的蔗糖酶和碱性磷酸酶活性最高, 轮作白菜的脲酶活性最高。这可能由于轮作相对于连作来说, 增加了生物多样性, 向基质(土壤)中输入的物质种类和数量更丰富, 有利于基质(土壤)的良性发育, 因此基质(土壤)酶活性显著提高(何奇镜 等, 2004)。

研究表明, 不同植物或同一植物在不同生育期, 其根系微生物的数量、种类等存在很大差异(陈双臣 等, 2010; 谢芝春 等, 2010), 这与植物根系释放有机物质的种类和数量有关。越来越多的试验证明, 作物连作障碍与根分泌物中的化感物质密切相关(Bandick & Dick, 1999)。细菌对根系微生物生态的稳定及根际养分的供应起重要作用。放线菌数量虽少于细菌, 但单个放线菌的生物量很大, 因此放线菌对植物生长发育也起着重要作用。真菌种类很多, 一些真菌的菌丝与高等植物的根系可形成一种联合体(如菌根), 有利于提高植物对不良环境的抗御能力, 促进植物生长, 但通常植物的病原物也以真菌最多。一般认为, 土壤细菌化是土质改善的重要标志之一(徐瑞富和任永信, 2003)。本试验结果表明, 连作和轮作对番茄根系活力影响的趋势是一致的, 大棚冬闲季节在连作番茄的有机基质中轮作蒜苗和白菜, 后茬番茄根系活力显著高于基质冬闲处理。这可能是因为不同轮作作物的根系分泌物的成分和含量不同, 导致基质中微生物数量、种类和酶活性有差异, 而微生物和土壤酶又作用于下茬番茄根系的结果。

本试验结果表明, 大棚冬闲季节在连作番茄的有机基质中轮作蒜苗、白菜和茼蒿, 能显著增加基质中微生物总量、细菌数量和细菌/真菌比例, 显著降低真菌数量, 同时显著提高基质中蔗糖酶、脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性水平。在 3 种蔬菜中, 以轮作蒜苗效果最佳, 其微生物种群和

4 种酶活性均最好, 而且后茬番茄根系活力在整个生长期都高于基质冬闲处理, 番茄产量最高; 其次是轮作白菜和茼蒿。轮作蔬菜改善了基质微生物环境, 提高了番茄产量, 也说明基质中微生物状况和酶活性与番茄生长及产量有密切关系。比较不同处理基质中微生物数量和酶活性, 以及后茬番茄的生长和产量, 尤其是轮作蔬菜与冬闲处理, 表明轮作蔬菜均可以有效预防基质连作障碍, 尤以轮作蒜苗效果最好。因此, 建议在大棚连茬种植番茄的有机基质中, 冬闲季节轮作蒜苗, 以预防或克服有机基质重复利用中基质连作障碍现象, 实现大棚番茄有机基质高效可持续利用。

## References

- Bandick A K, Dick R P. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 1471 - 1479.
- Chen Shuang-chen, Liu Ai-rong, He Chao-xing, Zou Zhi-rong. 2010. Microbial and enzyme activities in tomato rhizosphere with organic soil cultivation in solar greenhouse. *Chinese Journal of Soil Science*, 41 (4): 815 - 818. (in Chinese)
- 陈双臣, 刘爱荣, 贺超兴, 邹志荣. 2010. 有机土栽培和土壤栽培番茄根际基质微生物和酶活性的比较. *土壤通报*, 41 (4): 815 - 818.
- Du Hui-ling, Li Lian-qing, Pan Gen-xing, Wang Jian-suo, Yao Yong-ping, Zhang Jun-zhen. 2001. Effects of applying coal ash and fertilizers on soil microbial biomass and enzyme activity. *Soil and Environmental*, 10 (1): 20 - 22. (in Chinese)
- 杜慧玲, 李恋卿, 潘根兴, 王建锁, 姚永平, 张俊珍. 2001. 粉煤灰结合施肥对土壤微生物和酶活性的效应. *土壤与环境*, 10 (1): 20 - 22.
- Fan Jun, Hao Ming-de. 2003. Study on long-term experiment of crop rotation and fertilization in the Loess Plateau I. Effect of crop rotation and continuous planting on soil enzyme activities. *Nutrition and Fertilizer Science*, 9 (1): 9 - 13. (in Chinese)
- 樊 军, 郝明德. 2003. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究 I. 长期轮作与施肥对土壤酶活性的影响. *植物营养与肥料学报*, 9 (1): 9 - 13.
- He Qi-jing, Tong Pei-sheng, Bian Shao-feng, Zhang Li-hua. 2004. The influence of long-term minimum tillage on corn yield and soil ecological surroundings (1983 - 2002). *Journal of Maize Sciences*, 12 (Suppl): 99 - 102, 104. (in Chinese)
- 何奇镜, 佟培生, 边少锋, 张丽华. 2004. 长期少耕对玉米产量和土壤生态环境的影响 (1983 - 2002). *玉米科学*, 12 (增刊): 99 - 102, 104.
- Li Gang, Wen Jing-zhi, Wu Feng-zhi, Zhang Qi-feng, Ye Nan. 2006. Microbial population structures and variation of microbial communities in rhizosphere of cucumber potted in the soil obtained from continuous cropping green house. *Journal of Northeast Agricultural University*, 37 (4): 444 - 448. (in Chinese)
- 李 刚, 文景芝, 吴凤芝, 张齐凤, 叶 楠. 2006. 连作条件下设施黄瓜根际微生物种群结构及数量消长. *东北农业大学学报*, 37 (4): 444 - 448.
- Liu Jian-guo, Zhang Wei, Li Yan-bin, Sun Yan-yan, Bian Xin-min. 2009. Effects of long-term continuous cropping system of cotton on soil physical-chemical properties and activities of soil enzyme in oasis in Xinjiang. *Scientia Agricultura Sinica*, 42 (2): 725 - 733. (in Chinese)
- 刘建国, 张 伟, 李彦斌, 孙艳艳, 卞新民. 2009. 新疆绿洲棉花长期连作对土壤理化性状与土壤酶活性的影响. *中国农业科学*, 42 (2): 725 - 733.
- Liu Su-hui, Liu Shi-qi, Zhang Zi-kun, Wei Hui, Qi Jian-jian, Duan Ji-feng. 2010. Influence of garlic continuous cropping on rhizosphere soil microorganisms and enzyme activities. *Scientia Agricultura Sinica*, 43 (5): 1000 - 1006. (in Chinese)
- 刘素慧, 刘世琦, 张自坤, 尉 辉, 齐建建, 段吉锋. 2010. 大蒜连作对其根际土壤微生物和酶活性的影响. *中国农业科学*, 43 (5): 1000 - 1006.
- Liu Ya-feng, Sun Fu-lin, Zhou Yi, Jia Xin-cheng. 2006. The effects of continuous cucumber cropping on microbial communities structure I -Based on quantitative analysis of culturable microbial population. *China Vegetables*, (7): 4 - 7. (in Chinese)
- 刘亚锋, 孙富林, 周 毅, 贾新成. 2006. 黄瓜连作对土壤微生物区系的影响 I —基于可培养微生物种群的数量分析. *中国蔬菜*, (7): 4 - 7.
- Ma Yun-hua, Wei Min, Wang Xiu-feng. 2004. Variation of microflora and enzyme activity in continuous cropping cucumber soil in solar greenhouse. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15 (6): 1005 - 1008. (in Chinese)
- 马云华, 魏 珉, 王秀峰. 2004. 日光温室连作黄瓜根区微生物区系及酶活性的变化. *应用生态学报*, 15 (6): 1005 - 1008.
- Qiu Li-ping, Liu Jun, Wang Yi-quan, Sun Hui-min, He Wen-xiang. 2004. Research on relationship between soil enzyme activities and soil fertility. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 10 (3): 277 - 280. (in Chinese)
- 邱莉萍, 刘 军, 王益权, 孙慧敏, 和文祥. 2004. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究. *植物营养与肥料学报*, 10 (3): 277 - 280.
- Song Ri, Wu Chun-sheng, Mou Jin-ming, Jiang Yan, Guo Ji-xun. 2002. Effects of maize stubble remaining in field on dynamics of soil microbial

- biomass C and soil enzyme activities. Chinese Journal of Applied Ecology, 13 (3): 303 – 306. (in Chinese)
- 宋 日, 吴春胜, 牟金明, 姜 岩, 郭继勋. 2002. 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. 应用生态学报, 13 (3): 303 – 306.
- Wu Feng-zhi, Liu De, Wang Dong-kai, Luan Fei-shi, Wang Wei, Kong Xian-ming. 1997. The effects of different years of continuous cropping on the vitality of root systems and their qualities in the plastic house tomatoes. Journal of Northeast Agricultural University, 28 (1): 33 – 38. (in Chinese)
- 吴凤芝, 刘 德, 王东凯, 栾非时, 王 伟, 孔鲜鸣. 1997. 大棚番茄不同连作年限对根系活力及其品质的影响. 东北农业大学学报, 28 (1): 33 – 38.
- Wu Feng-zhi, Wang Xue-zheng. 2007. Effect of monocropping and rotation on soil microbial community diversity and cucumber yield, quality under protected cultivation. Scientia Agricultura Sinica, 40 (10): 2274 – 2280. (in Chinese)
- 吴凤芝, 王学征. 2007. 设施黄瓜连作和轮作中土壤微生物群落多样性的变化及其与产量品质的关系. 中国农业科学, 40 (10): 2274 – 2280.
- Wu Feng-zhi, Wang Xue-zheng, Pan Kai. 2008. Effects of wheat and soybean stubbles on soil microbial ecological characteristics in cucumber field. Chinese Journal of Applied Ecology, 19 (4): 794 – 798. (in Chinese)
- 吴凤芝, 王学征, 潘 凯. 2008. 小麦和大豆茬口对黄瓜土壤微生物生态特征的影响. 应用生态学报, 19 (4): 794 – 798.
- Xie Zhi-chun, Cheng Zhi-hui, Meng Huan-wen, Yu Yan-hui, Xue Shu-hao, Liu Xiao-yun. 2010. Variation of microbial biomass in different culture media of *Gerbera jamesoni* at different growth and developmental periods. Acta Horticulturae Sinica, 37 (1): 89 – 96. (in Chinese)
- 谢芝春, 程智慧, 孟焕文, 于艳辉, 薛书浩, 刘晓云. 2010. 非洲菊不同生育期配方栽培基质中微生物的变化. 园艺学报, 37 (1): 89 – 96.
- Xu Rui-fu, Ren Yong-xin. 2003. Effect of peanut continuous cropping on soil microbiological population. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 19 (1): 33 – 38. (in Chinese)
- 徐瑞富, 任永信. 2003. 连作花生田土壤微生物群落动态与减产因素分析. 农业系统科学与综合研究, 19 (1): 33 – 38.
- Yan Chang-sheng. 1988. The research method biology of soil fertility. Beijing: Agriculture Press: 277 – 279. (in Chinese)
- 严昶升. 1988. 土壤肥力研究方法. 北京: 农业出版社: 277 – 279.
- Yang Li-juan, Qiu Zhong-xiang, Xu Hui, Liu Yong-qing. 2000. Relationship between activities of enzyme and cucumber yield in vegetable soil. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 6 (1): 113 – 116. (in Chinese)
- 杨丽娟, 丘忠祥, 须 晖, 刘永青. 2000. 菜田土壤酶活性与黄瓜产量之间的关系. 植物营养与肥科学报, 6 (1): 113 – 116.
- Yang Jian-xia, Fan Xiao-feng, Liu Jian-xin. 2005. Influence of cucumber continuous cropping on rhizosphere soil microorganisms in greenhouse. Scientia Agricultura Zhejiangensis, 5 (6): 441 – 443. (in Chinese)
- 杨建霞, 范小峰, 刘建新. 2005. 温室黄瓜连作对根际微生物区系的影响. 浙江农业科学, 5 (6): 441 – 443.
- Yao Huai-ying, Huang Chang-yong. 2006. Microbial ecology and experimental technology. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 姚槐应, 黄昌勇. 2006. 土壤微生物生态学及其实验技术. 北京: 科学出版社.
- Zelles L. 1999. Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterisation of microbial communities in soil: A review. Biology and Fertility of Soils, 29: 111 – 129.
- Zhang Jia-en, Liu Wen-gao. 2001. Utilization of microbes resources and sustainable development of agriculture. Soil and Environmental Sciences, 10 (2): 154 – 157. (in Chinese)
- 章家恩, 刘文高. 2001. 微生物资源的开发利用与农业可持续发展, 土壤与环境, 10 (2): 154 – 157.
- Zhang Xue-yan, Tian Yong-qiang, Gao Yan-ming, Gao Li-hong. 2011. The effect of different cultivation systems in greenhouse cucumber on soil microbial function structure. Acta Horticulturae Sinica, 38 (7): 1317 – 1324. (in Chinese)
- 张雪艳, 田永强, 高艳明, 高丽红. 2011. 温室黄瓜不同栽培制度对土壤微生物群落功能结构的影响. 园艺学报, 38 (7): 1317 – 1324.
- Zhang Xue-yan, Tan Yong-qiang, Liu Jun, Gao Li-hong. 2009. Changes of soil biological characters beneath greenhouse cucumber under different cultivation systems. Chinese Journal of Applied Ecology, 20 (4): 829 – 835. (in Chinese)
- 张雪艳, 田永强, 刘 军, 高丽红. 2009. 不同栽培制度下温室黄瓜土壤生物学特性的变化. 应用生态学报, 20 (4): 829 – 835.
- Zheng Jun-hui, Ye Su-fen, Yu Jing-quan. 2004. The reason was caused by vegetables continuous cropping and biological control. China Vegetables, (3): 56 – 58. (in Chinese)
- 郑军辉, 叶素芬, 喻景权. 2004. 蔬菜作物连作障碍产生原因及生物防治. 中国蔬菜, (3): 56 – 58.