

大蒜连作对其根际土壤微生物和酶活性的影响

刘素慧¹, 刘世琦¹, 张自坤¹, 尉辉², 齐建建¹, 段吉锋¹

(¹山东农业大学园艺科学与工程学院/作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018; ²山东农业管理干部学院, 济南 250100)

摘要: 【目的】研究大蒜长期连作对其根际土壤微生物数量和酶活性的影响。【方法】采用大蒜连作 0 (CK)、5、10、15 和 20 年的土壤再分别盆栽大蒜, 以大蒜根际土壤为研究对象, 分别测定根际土壤微生物区系和酶活性的变化以及两者间的相互关系。【结果】随连作年限的增加, 根际真菌数量持续上升, 连作 20 年的土壤约为对照的 2.88 倍。而其它微生物类群的数量及土壤酶活性只在短期内 (5—10 年) 呈上升趋势。与对照相比, 连作 10 年的大蒜根际土壤中的细菌、放线菌各增加了 8.72% 和 25.81%, 氨化细菌、硝化细菌和芳香族化合物降解菌分别为对照的 5.63、11.60 和 3.35 倍。连作 10 年的大蒜根系分泌物对过氧化氢酶、多酚氧化酶、脲酶、磷酸酶和蔗糖酶等土壤酶活性具有促进作用, 比对照分别增加了 26.67%、41.67%、203.13%、23.73% 和 43.65%, 但长期连作 (15—20 年) 后均呈现下降趋势。相关分析表明, 氨化细菌与脲酶、多酚氧化酶均呈显著正相关; 芳香族分解菌与脲酶、过氧化氢酶呈极显著正相关; 细菌、微生物总量分别与磷酸酶呈显著、极显著正相关。【结论】大蒜连作 5—10 年, 根际土壤微生物数量和土壤酶活性上升, 未发生连作障碍; 但连作 15—20 年, 根际土壤微生物结构失调, 土壤酶活性下降, 连作障碍明显。

关键词: 连作; 大蒜; 土壤微生物; 土壤酶活性

Influence of Garlic Continuous Cropping on Rhizosphere Soil Microorganisms and Enzyme Activities

LIU Su-hui¹, LIU Shi-qi¹, ZHANG Zi-kun¹, WEI Hui², QI Jian-jian¹, DUAN Ji-feng¹

(¹College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/ State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an 271018, Shandong; ²Shandong Agricultural Administrators College, Ji'nan 250100)

Abstract: 【Objective】 The objective of the experiment is to study the effect of garlic continuous cropping on rhizosphere soil microbial and enzyme activities. 【Method】 With the soils cropped garlic for 0(control), 5, 10, 15 and 20 years as test materials, a pot experiment was conducted to investigate the influence of garlic continuous cropping on rhizosphere soil microbial and enzyme activities. 【Result】 With the increasing of continuous cropping years, fungi number in rhizosphere soil increased gradually, the number of 20 years continuous cropping was 2.88 times higher, but the number of other microorganisms and the enzyme activities in the garlic rhizosphere soil were increased at the short-term (5-10 years) continuous cropping. The quantities of bacteria and actinomycetes were increased by 8.72% and 25.81%, respectively, and in the meantime, the ammonifier, nitrifying bacteria, and aromatic compounds-degrading bacteria increased by 5.63, 11.60 and 3.35 times. The root exudates of successively cropped garlic for 10 years increased the activities of catalase, polyphenoloxidase, urease, phosphatase and sucrose by 26.67%, 41.67%, 203.13%, 23.73% and 43.65%, respectively, but long-term (15-20 years) continuous cropping showed a downward trend. Correlation coefficients between ammonifying bacteria and urease, polyphenol oxidase, bacteria and phosphatase, total microbe quantity were significant at 0.05 levels, and correlation coefficients between aromatic decomposing bacteria and urease, catalase, phosphatase and total microbe quantity were significant at 0.01 levels. 【Conclusion】 The balance of rhizosphere soil microbial flora was destroyed and the enzyme activities of rhizosphere soil decreased in a long period of time (from 15 to 20 years), the obstacles of

收稿日期: 2009-07-23; 接受日期: 2009-12-02

基金项目: 农业部“948”滚动项目 (2003T-14)

作者简介: 刘素慧, 博士研究生。Tel: 0538-8246236; E-mail: liusuhui2003@163.com。通信作者刘世琦, 教授, 博士。Tel: 0538-8246818; E-mail: liulucky99@163.com

continuous cropping were obvious.

Key words: continuous cropping; garlic; soil microbial; soil enzyme activities

0 引言

【研究意义】大蒜是深受世界各国人民喜爱的保健蔬菜, 又是重要的调味品和医药原料, 也是中国重要的加工原料和出口创汇蔬菜^[1]。随着大蒜生产的不断发展, 大蒜主产区的连作现象日益严重。因此, 探讨大蒜连作对其根际土壤微生物及土壤酶活性的影响, 对阐明大蒜连作障碍形成机理及优化大蒜栽培技术具有重要价值。【前人研究进展】关于连作障碍的形成及加剧的原因是复杂的, 导致其发生的因子不是单一或者孤立的, 而是相互关联又相互影响的, 是植物—土壤系统内多种因子综合作用的结果^[2]。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, 作为评价土壤微生态环境质量的重要指标, 越来越受到人们的重视^[3-4]。关于连作与土壤酶活性、土壤微生物种类及数量的关系, 国内外做了大量研究^[5-14]。研究认为作物连作后, 土壤微生物种群结构破坏严重, 主要微生物数量和土壤酶活性不同程度的下降^[8-11]。但也有结论与之不同, 李春格等^[12]、马云华等^[13]和刘建国等^[14]研究发现, 随连作年限的延长, 主要微生物数量和土壤酶活性呈现先上升后下降的趋势。【本研究切入点】综上所述, 关于连作与土壤微生物和土壤酶活性的关系, 迄今认识尚不一致。目前中国还没有关于大蒜连作对其根际土壤微生物和土壤酶活性的影响及其相关性的研究报告。【拟解决的关键问题】本文试图通过连作对大蒜根际土壤微生物数量、生理类群及土壤酶活性变化及其相关性的研究, 探明连作对大蒜根际微生态环境的影响及大蒜连作障碍形成机理, 为大蒜优质丰产及可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2008 年 10 月 5 日在山东省泰安市马庄试验基地进行, 试验设 5、10、15 和 20 年 4 个连作处理, 以种植 0 年为对照。不同连作年限土壤于 2008 年 5 月取自山东省金乡县鸡黍镇、单县徐寨镇, 利用直径 4 cm 的土钻, 棋盘式布点法取样, 采集 0—20 cm 耕层土壤, 将土壤样品混匀。试验采用泥质陶盆, 盆上、下口径和高度分别为 25、23 和 25 cm。每盆装土 2.5 kg、

种植 4 株大蒜, 供试品种为苏联蒜(*Allium sativum* L.), 1957 年从苏联库班蔬菜研究所引进, 现已大面积推广, 成为目前中国大蒜出口及内销的重要品种之一。每盆土壤中加 0.25 kg 金正大集团生产的大蒜控释肥 (N:P:K=16:5:17), 并对大蒜进行相同的施肥。每个处理重复 3 次, 每个重复 8 盆, 随机排列。

1.2 样品采集

于 2009 年 4 月 10 日采集大蒜根际土壤。每个处理随机选取 5 盆, 取 0—20 cm 土层中的根系, 轻轻抖动出根际土壤, 混匀, 用灭菌的塑料袋包扎密封。一部分 4℃ 保存, 用于有关微生物数量的测定, 一部分风干, 过 1 mm 筛孔, 用于测定土壤酶活性; 每个处理随机取 10 盆进行产量测定。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 大蒜产量的测定 收获时, 每盆所产鳞茎和茎叶分别装袋, 烘干称重, 考察鳞茎和总生物量产量。

1.3.2 土壤微生物数量和生理类群的测定 采用稀释平板计数法测定土壤中细菌、真菌、放线菌的数量。在葡萄糖牛肉膏蛋白胨培养基、马丁氏培养基 (1 000 mL 培养基中加 1% 孟加拉红水溶液 3.3 mL、1% 链霉素 3 mL) 和改良高氏 1 号培养基 (在高氏 1 号培养基中写出如何配置成改良式的) 上, 分别进行大蒜根际土壤中细菌、真菌和放线菌的分离和计数。微生物计数的基本单位 CFU/(g 干土)。每克样品的菌数=同一个稀释度几次重复的菌落平均数 \times 5 \times 稀释倍数^[15]。

微生物生理类群氨化细菌、硝酸细菌和芳香族化合物降解菌均采用特化液体培养基进行培养, 采用最大或然计数法 (MPN) 进行测定, 根据试管中菌生长的情况由最大或然统计表查出近似值, 计算每种土壤中所含的活菌数^[15-16]。

1.3.3 土壤酶活性的测定 采用靛酚比色法测定脲酶, 结果以 24 h 后 1 g 土壤中 NH_4^+ -N 的毫克数表示; 用邻苯三酚比色法测定多酚氧化酶的活性, 以 2 h 后 1 g 土壤中生成的紫色没食子素的毫克数表示; 用高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶的活性, 其活性以 1 g 土所消耗的 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{KMnO}_4$ 溶液的毫升数表示; 用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定蔗糖酶的活性, 以 24 h 后 1 g 土重的 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 硫代硫酸钠溶液的毫升数表示; 用磷酸苯二钠法测定磷酸酶的活性, 以 24 h 后 1 g 土壤中释放出酚的毫克数表示^[17]。

1.4 数据统计分析

采用 DPS 统计软件对数据进行分析。

2 结果

2.1 连作对大蒜产量的影响

由图可见,大蒜连作年限对总生物量及鳞茎产量的影响十分显著,对照、连作 15 年和 20 年条件下的总生物量差异不显著,但与连作 5 年和 10 年条件下的差异分别达到显著水平;随连作年限的增加,大蒜总生物量和鳞茎产量均呈现先上升后下降的趋势,以连续种植 10 年的产量最高。与对照相比较,连作 5 年、10 年后的总生物量分别增加了 13.9%、28.9%,鳞茎产量分别增加了 17.2%、30.1%;连作 15 年后的总生物量及鳞茎产量分别增加 1.2%、2.5%,但差异不显著;而连作 20 年后的总生物量及鳞茎产量却分别下降了 3.2%、4.2%。

2.2 连作对根际土壤微生物的影响

2.2.1 对微生物生理类群的影响

从表 1 可以看出,根际土壤微生物各生理类群数量变化趋势基本一致:

表 1 连作对大蒜根际土壤中可培养微生物的影响

Table 1 Influence of continuous cropping on the cultivable microbial communities isolated from the rhizosphere soil of garlic

年限 Years	微生物类群 Microbial population (CFU·g ⁻¹)				微生物生理类群 Microbial flora		
	A	B	C	D	E	F	G
0	15.14bB	1.55bB	0.16dD	16.70cC	30.25E	9.50eD	4.56dD
5	15.67bAB	1.92aA	0.24cC	17.62bB	80.28cC	45.12cB	11.53bB
10	16.46aA	1.95aA	0.36bB	18.44aA	170.27aA	110.17aA	15.27aA
15	15.01bBC	1.47bcB	0.45aA	16.53cC	95.75bB	45.37bB	11.53bB
20	14.25cC	1.37cB	0.46aA	15.67dD	70.25dD	25.24dC	9.75cC

A: 细菌 Bacteria ($\times 10^6$); B: 放线菌 Actinomycetes ($\times 10^6$); C: 真菌 Fungi ($\times 10^3$); D: 微生物总量 Total microbial population ($\times 10^6$); E: 氨化细菌 Ammonifier ($\times 10^6$); F: 硝化细菌 Nitrifying bacteria ($\times 10^3$); G: 芳香族化合物降解菌 Aromatic compounds-degrading bacteria ($\times 10^2$)

表中同列不同小写字母表示 0.05 水平差异显著,大写字母表示 0.01 水平差异显著。下同

Small letters in each column indicate significance at 0.05 level. Capital letters in each row indicate significance at 0.01 level. The same as below

2.2.2 对主要微生物数量的影响

由表 1 可知,土壤中细菌数量随连作年限的增加呈现先上升后下降的趋势,其中连作 10 年最高,其次为连作 5 年,分别比种植 0 年(对照)增加 8.7%和 3.5%,但 10 年之后细菌数量下降,连作 15 和 20 年的土壤细菌数量分别为对照的 99.14%和 94.12%。

放线菌在连作大蒜土壤微生物中的含量仅次于细菌(表 1),随连作年限增加,数量的变化趋势与细菌的相同,连作 5 和 10 年之间的差异不显著,其数量

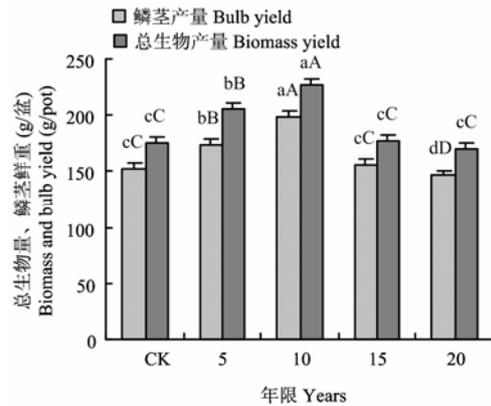


图 连作对大蒜总生物量和鳞茎鲜重的影响

Fig. Effects of continuous cropping on biomass and bulb yield of garlic

氨化细菌、硝化细菌和芳香族化合物降解菌的数量急剧上升,连作 10 年条件下的最多,与其它连作年限间的差异显著;随连作年限的进一步增加,各生理类群的数量急剧下降。

分别比对照增加 23.87%和 25.80%,连作 15 和 20 年的大蒜根际土壤放线菌数的量分别为对照的 94.84%和 88.39%。

从表 1 可以看出,连作大蒜根际土壤中真菌的含量最少,其数量随连作年限增加而增加,连作 5、10、15 和 20 年的真菌数量分别是对照的 1.50、2.25、2.81 和 2.88 倍,其中以连作 15 和 20 年的真菌数量最多,且两者之间无明显差异。

如表 1 所示,连作大蒜根际微生物总量受连作年

限的影响,连作 5 和 10 年的根际土壤微生物总量上升,分别比对照增加 5.51%和 10.42%;但连作 15 和 20 年的则分别比对照降低 1.02%和 6.17%。

2.3 连作对大蒜根际土壤酶活性的影响

2.3.1 对土壤过氧化氢酶活性的影响 过氧化氢酶能催化分解土壤中积累的过氧化氢,减轻过氧化氢对植物的毒害作用,过氧化氢酶还与土壤有机质含量密切相关。由表 2 可知,随连作年限的增加,土壤过氧化氢酶活性呈先上升后下降的趋势。连作 10 年为最高,为 $1.33 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$,其次为连作 5 年,为 $1.30 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$,二者之间的差异不显著。连作 10 年之后的土壤过氧化氢酶活性稳步下降,连作 15 和 20 年分别比 10 年减少

7.52%和 9.77%。

2.3.2 对土壤多酚氧化酶活性的影响 研究表明,导致植物连作障碍的化感物质主要是酚酸类物质^[18-21],因此,对连作大蒜根际土壤中的多酚氧化酶的研究非常必要。大蒜连作后根际土壤中多酚氧化酶活性表现为连作 10 年>15 年>20 年>5 年>对照,呈现先上升后下降趋势。连作 10 年最高,为 $0.85 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,其次为 15 年,为 $0.83 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,二者间的差异不显著。连作 10 年之后,土壤多酚氧化酶活性是稳步下降的,但长期连作(连作 20 年)土壤多酚氧化酶的活性还是高于短期连作(连作 5 年)的,且二者之间的差异显著。

表 2 连作对大蒜根际土壤酶活性的影响

Table 2 Effects of garlic continuous cropping on rhizosphere soil enzymes activities

处理 Treatment	过氧化氢酶 Catalase ($0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ KMnO}_4$)	多酚氧化酶 Polyphenoloxidase ($\text{mg}/\text{g soil}$)	脲酶 Urease ($\text{H}_3\text{-N mg}/\text{g soil}$)	磷酸酶 Phosphatase ($\text{mg phenol}/\text{g soil}$)	蔗糖酶 Sucrase ($\text{mg}/\text{g soil}$)
CK	1.05dC	0.60dD	0.64dC	0.59dD	4.49bB
5	1.30aA	0.65cC	1.68cB	0.67bB	4.71bB
10	1.33aA	0.85aA	1.94aA	0.73aA	6.45aA
15	1.23bA	0.83abAB	1.87aA	0.62cC	6.21aA
20	1.20cB	0.80Bb	1.78bB	0.57eD	3.74cC

2.3.3 对土壤脲酶活性的影响 土壤脲酶直接参与土壤有机氮的转化。除对照外,不同连作年限对大蒜根际土壤脲酶活性影响不大,总体随连作年限增加呈先升后降的趋势。连作 5、10、15 和 20 年分别是对照土壤脲酶活性的 2.63、3.03、2.92 和 2.78 倍。

2.3.4 对土壤磷酸酶活性的影响 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。根际土壤磷酸酶活性与过氧化氢酶、多酚氧化酶和脲酶活性变化趋势相同,不同的是增幅和降幅比较缓和。连作 10 年最高,依次为连作 5 年、15 年、对照和 20 年,各处理间差异均达显著水平。

2.3.5 对土壤蔗糖酶活性的影响 蔗糖酶活性强弱反映土壤熟化程度和肥力水平,对增加土壤中营养物质起重要作用。随连作年限增加,大蒜根际土壤蔗糖酶活性呈先升后降趋势,表现为连作 10 年>15 年>5 年>对照>20 年,且连作 10、15 年之间的差异不显著,对照和连作 5 年间的差异也未达到显著水平。

2.4 大蒜根际土壤微生物数量与主要土壤酶活性的相关分析

大蒜根际土壤酶来源于植物根系及其残体、土壤

动物及其遗骸和各种微生物的分泌活动,其中微生物的分泌活动是酶的主要来源^[22]。所以,大蒜根际土壤微生物与土壤酶之间,是应该存在密切相关关系的。由表 3 可以看出,大蒜根际土壤中的脲酶与氨化细菌呈显著正相关,相关系数为 0.875,与芳香族分解菌的相关系数为 0.995,达极显著水平,但与微生物总量呈负相关;磷酸酶与真菌呈负相关,但与细菌呈显著正相关,与微生物总量呈极显著正相关,相关系数分别为 0.992 和 0.886;过氧化氢酶与芳香族分解菌相关系数为 0.997,达极显著相关;多酚氧化酶与氨化细菌呈显著正相关,相关系数为 0.893。

3 讨论

3.1 连作对大蒜根际微生物的影响

微生物生理类群在土壤微生态中发挥着重要的作用,在物质转化中具有特定的功能^[23]。本研究结果表明,短期连作(5—10 年)对土壤中氨化细菌、硝化细菌和芳香族化合物降解菌具有促进作用,这使大蒜根际土壤的氨化作用和硝化作用加强,从而加快了土壤氮素代谢与利用,减少氮素损失;芳香族化合物降

表 3 连作大蒜根际土壤微生物变化与土壤酶活性相关性矩阵

Table 3 Correlations between changes of microbial and enzymes activities in rhizosphere soil of garlic continuous cropping

土壤酶 Soil enzymes activities	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes	微生物总量 Total microbial population	氨化细菌 Ammonifier	硝化细菌 Nitrifying bacteria	芳香族分解菌 Aromatic compounds- degrading bacteria
脲酶 Urease	0.191	0.809	0.314	-0.193	0.875*	0.741	0.995**
磷酸酶 Phosphatase	0.992**	-0.512	0.727	0.886*	0.543	0.714	0.116
蔗糖酶 Sucrase	0.702	0.360	0.262	0.494	0.835	0.770	0.656
过氧化氢酶 Catalase	0.275	0.772	0.348	-0.106	0.864	0.774	0.997**
多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	0.255	0.684	-0.081	0.074	0.893*	0.849	0.706

**：在 0.01 水平上显著；*：在 0.05 水平上显著。 **：Significant at 0.01 probability level; *：Significant at 0.05 probability level

解菌可降低芳香族化合物在土壤中的含量，减轻对植物的毒害作用，这与李琼芳等研究结论相反^[8]。但长期连作（15—20 年）有一定的抑制作用。

土壤微生物是土壤活的有机体，是最活跃的土壤肥力因子之一。本研究中，不同连作年限下，土壤中 3 大微生物类群的组成比例大体一致，即细菌最多，放线菌次之，真菌最少。随连作年限的增加，细菌、放线菌和微生物总量均呈倒“马鞍”形，其中微生物总量具体表现为：连作 10 年 > 5 年 > 对照 > 15 年 > 20 年，但真菌数量持续上升。这一结果与马云华等的报道相似^[13]，但与其他学者研究结果不同^[10-12,24]，说明不同作物根际微生物对连作的响应是不同的。连作大蒜根际微生物数量的变化可能与根系分泌物有关。有研究^[25]认为连作使根系分泌物数量、种类发生变化，进而影响根际微生物的区系组成的定向改变，有益菌减少，有害菌增多，破坏根际微生物的平衡，减弱或消除了有益菌对有害菌的拮抗作用，造成了植物的连作障碍。大蒜短期连作时间内，根系分泌物中碳水化合物和氨基酸的累积为根际微生物提供所需的能源，促进根际微生物的生长和繁殖；但长期连作条件下，根系分泌的酚酸类物质对土壤有益微生物生长的抑制以及对自身的毒害作用占主导地位，进而破坏了大蒜根际土壤原有的微生物群落及其结构的平衡。具体原因还有待下一步研究。

3.2 连作对大蒜根际土壤酶活性的影响

土壤酶活性是反映生物化学过程的重要指标，本文着重选取了过氧化氢酶、多酚氧化酶、脲酶、磷酸酶和蔗糖酶进行研究。本试验结果表明，随连作年限的增加，过氧化氢酶、多酚氧化酶、脲酶、磷酸酶和蔗糖酶活性的变化均呈倒“马鞍”形，这一变化趋势与马云华等的结果相似^[13]，不同的是峰值出现的年限不同，本试验出现在连作 10 年，而后者出现在连作 5

年，这可能是不同作物耐连作能力不同造成的。张淑香等^[20]发现，大豆连作条件下土壤多酚氧化酶活性高于正茬土壤，但蔗糖酶和淀粉酶的活性降低；吴凤芝等^[26]研究结果显示，连作 7 年的黄瓜根际土壤多酚氧化酶活性高于 2 年，连作 18 年保护地黄瓜根际土壤的过氧化氢酶和脲酶的活性均比连作 3 年略有升高^[27]；在对怀牛膝根际土壤酶活性的研究中，连作 2 和 20 年的土壤脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶活性均显著高于对照土壤，但连续种植 20 年后，脲酶和蔗糖酶活性显著降低^[28]。由此可见，连作对不同作物乃至同一作物根际土壤酶影响的研究结果并不一致。也有研究称，随着酚酸类物质增多，土壤酶活性相应升高，影响作物的生长发育，但达到一定浓度时，酚酸类物质又会抑制酶活性^[29]，但这一结果能否解释大蒜连作对土壤酶的影响，将是下一步研究的重点。

3.3 大蒜根际土壤微生物数量与主要土壤酶活性的相关性

相关分析发现，大蒜根际土壤细菌显著促进磷酸酶活性，而真菌对磷酸酶活性则有抑制作用；土壤氨化细菌对脲酶和多酚氧化酶均有促进作用；土壤中芳香族化合物降解菌显著促进脲酶和过氧化氢酶活性。因此，抑制土壤真菌的大量滋生，增加土壤细菌，特别是氨化细菌和芳香族化合物降解菌的数量，可能是提高土壤中脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性，缓解或解除大蒜连作障碍的一个重要对策。周晓芬等试验表明对连续种植 12 年的大棚黄瓜施用生物肥料，能改善黄瓜生长状况，减轻黄瓜枯萎病，提高产量，配合 EM 菌剂效果更佳^[30]。生物肥料及 EM 菌剂能否缓解大蒜的连作障碍，尚待进一步研究证明，该部分试验正在进行中。

4 结论

本研究结果表明，短期连作（5—10 年）细菌、

放线菌数量急剧增加, 真菌数量缓慢增加, 土壤酶活性逐渐上升, 微生态环境向良性方向发展, 大蒜产量也显著增加; 但连作 15—20 年土壤氨化细菌、放线菌等数量下降, 真菌数量增加, 土壤酶活性降低, 土壤微生态环境呈变劣趋势, 大蒜产量也随之显著下降, 连作障碍较为明显。因此, 为了维护大蒜根际微生态环境的平衡, 减少植物病害的发生, 提高土壤肥力, 最好不要长期连作大蒜, 且连作年限在 10 年以下较好。对已出现长期连作的大蒜主产区, 可通过一些耕作措施, 调控大蒜根际微生态环境良性发展, 这为将来的研究提供一个参考和方向, 对大蒜的生产实践也具有一定的指导意义。

References

- [1] 刘世琦. 蔬菜栽培学. 北京: 化学工业出版社, 2007: 173-178.
Liu S Q. *Vegetable Cultivation*. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 173-178. (in Chinese)
- [2] 张晓玲, 潘振刚, 周晓峰, 倪吾钟. 自毒作用与连作障碍. 土壤通报, 2007, 38(4): 781-784.
Zhang X L, Pan Z G, Zhou X F, Ni W Z. Autotoxicity and continuous cropping obstacles. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(4): 781-784. (in Chinese)
- [3] 杜慧玲, 李恋卿, 潘根兴, 王建锁, 姚永平, 张俊珍. 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, 2001, 10(1): 20-22.
Du H L, Li L Q, Pan G X, Wang J S, Yao Y P, Zhang J Z. Effects of applying coal ash and fertilizers on soil microbial biomass and enzyme activity. *Soil and Environmental Sciences*, 2001, 10(1): 20-22. (in Chinese)
- [4] 宋 日, 吴春升, 牟今明, 姜 岩, 郭继勋. 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, 2002, 13(3): 303-306.
Song R, Wu C S, Mou J M, Jiang Y, Guo J X. Effects of maize stubble remaining in field on dynamics of soil microbial biomass C and soil enzyme activities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(3): 303-306. (in Chinese)
- [5] Fragoior S, Magna N. Enzymetic activity, osmotic stress and degradation of pesticide mixtures in soil extract liquid broth inoculated with *Phanerochaete chrysosporium* and *Trametes versicolor*. *Environmental Microbiology*, 2005, 7: 348-355.
- [6] Bossio D A, Girvan M S, Verchot L, Bullimore J, Borelli T, Albrecht A, Scow K M, Ball A S, Pretty J N, Osborn A M. Soil microbial community response to land use change in an agricultural landscape of western Kenya. *Microbial Ecology*, 2005, 49: 50-62.
- [7] Schmidt K R, Chand S, Gostomski P A, Boyd-Wilson K S H, Ford C, Walter M. Fungal inoculum properties and its effect on growth and enzyme activity of *Trametes versicolor* in soil. *Biotechnology Progress*, 2005, 21: 377-385.
- [8] 李琼芳. 不同连作年限麦冬根际微生物区系动态研究. 土壤通报, 2006, 37 (3): 563-565.
Li Q F. Dynamics of the Microbial flora in the liriopie rhizosphere and outrhizosphere during continuous cropping years. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37 (3): 563-565. (in Chinese)
- [9] 孙秀山, 封海胜, 万书波, 左学青. 连作花生主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用. 作物学报, 2001, 27(5): 617-621.
Sun X S, Feng H S, Wan S B, Zuo X Q. Changes of main microbial strains and enzymes activities in peanut continuous cropping soil and their interactions. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(5): 617-621. (in Chinese)
- [10] 陈 慧, 郝慧荣, 熊 君, 齐晓辉, 张重义, 林文雄. 地黄连作对根际微生物区系及土壤酶活性的影响. 应用生态学报, 2007, 18 (12): 2755-2759.
Chen H, Hao H R, Xiong J, Qi X H, Zhang Z Y, Lin W X. Effects of successive cropping *Rehmannia glutinosa* on rhizosphere soil microbial flora and enzyme activities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18 (12): 2755-2759. (in Chinese)
- [11] 胡元森, 刘亚峰, 吴 坤, 窦会娟, 贾新成. 黄瓜连作土壤微生物区系变化研究. 土壤通报, 2006, 7(1): 126-129.
Hu Y S, Liu Y F, Wu K, Dou H J, Jia X C. Variation in microbial communities structure in relation to successive cucumber cropping soil. *Chinese Journal of Soil Sciences*, 2006, 37(1): 126-129. (in Chinese)
- [12] 李春格, 李晓鸣, 王敬国. 大豆连作对土体和根际微生物群落功能的影响. 生态学报, 2006, 26 (4): 1144-1150.
Li C G, Li X M, Wang J G. Effect of soybean continuous cropping on bulk and rhizosphere soil microbial community function. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1144-1150. (in Chinese)
- [13] 马云华, 魏 珉, 王秀峰. 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, 2004, 15: 1005-1008.
Ma Y H, Wei M, Wang X F. Variation of microflora and enzyme activity in continuous cropping cucumber soil in solar greenhouse. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15: 1005-1008. (in Chinese)
- [14] 刘建国, 张 伟, 李彦斌, 孙艳艳, 卞新民. 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, 2009, 42(2): 725-733.
Liu J G, Zhang W, Li Y B, Sun Y Y, Bian X M. 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*, 2009, 42(2): 725-733. (in Chinese)
- [15] 喻子牛, 何绍江, 李阜棣. 农业微生物学实验技术. 北京: 农业出版社, 1996: 69-89.
- Yu Z N, He S J, Li F D. *Agricultural Microbiology Experimental Technique*. Beijing: Agriculture Press, 1996: 69-89. (in Chinese)
- [16] Ahn T, Oke M, Schofield A, Paliyath G. Effects of phosphorus fertilizer supplementation on antioxidant enzyme activities in tomato fruits. *Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53: 1539-1545.
- [17] 关松荫. 土壤酶及研究方法. 北京: 农业出版社, 1986: 274-332.
- Guan S Y. *Soil Enzyme and Research Method*. Beijing: China Agricultural Press, 1986: 274-332. (in Chinese)
- [18] 朱丽霞, 章家恩, 刘文高. 根系分泌物与根际微生物相互作用研究综述. *生态环境*, 2003, 12(1): 102-105.
- Zhu L X, Zhang J E, Liu W G. Review of studies on interactions between root exudates and rhizospheric microorganisms. *Ecology and Environment*, 2003, 12 (1): 102-105. (in Chinese)
- [19] 胡元森, 李翠香, 杜国营, 刘亚峰, 贾新成. 黄瓜根系分泌物中化感物质的鉴定及其化感效应. *生态环境*, 2007, 16(3): 954-957.
- Hu Y S, Li C X, Du G Y, Liu Y F, Jia X C. Identification of allelochemicals in cucumber root exudates and its allelopathy to radicle and *Fusarium oxysporum*. *Ecology and Environment*, 2007, 16(3): 954-957. (in Chinese)
- [20] 张淑香, 高子勤, 刘海玲. 连作障碍与根际微生态研究III. 土壤酚酸物质及其生物学效应. *应用生态学报*, 2000, 11(5): 741-744.
- Zhang S X, Gao Z Q, Liu H L. Continuous cropping obstacle and rhizospheric microecology. III. Soil phenolic acids and their biological effect. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(5): 741-744. (in Chinese)
- [21] Martineí-Toledo M V, Rubia T, Moreno J, Gonzalez-Lopez. Root exudates of zea mays and production of auxins gibberellins and cytokinins by *Azotobacter chroococcum*. *Plant and Soil*, 1988, 110: 149-155.
- [22] 何跃军, 钟章成, 刘济明, 刘锦春, 金 静, 李青雨. 石灰岩退化生态系统不同恢复阶段土壤酶活性研究. *应用生态学报*, 2005, 16(6): 1077-1081.
- He Y J, Zhong Z C, Liu J M, Liu J C, Jin J, Li Q Y. Soil enzyme activities of limestone degraded ecosystem at its different restoration phases. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(6): 1077-1081. (in Chinese)
- [23] 黄益宗, 冯宗炜, 张福珠. 化感物质对土壤硝化反应影响的研究. *土壤与环境*, 1999, 8(3): 203-207.
- Huang Y Z, Feng Z W, Zhang F Z. Effect of allelochemicals on nitrification in soil. *Soil and Environmental Sciences*, 1999, 8(3): 203-207. (in Chinese)
- [24] 李振高, 李良谟, 潘映华, 吴胜春. 小麦苗期根系分泌物对根际反硝化细菌的影响. *土壤学报*, 1995, 32(4): 408-413.
- Li Z G, Li L M, Pan Y H, Wu S C. Influence of the root exudates of wheat shoots on the denitrifiers in rhizosphere. *Acta Pedologica Sinice*, 1995, 32(4): 408-413. (in Chinese)
- [25] 王茹华, 张启发, 周宝利, 廉 华, 马光恕. 浅析植物根分泌物与根际微生物的相互关系. *土壤通报*, 2007, 38(1): 167-172.
- Wang R H, Zhang Q F, Zhou B L, Lian H, Ma G S. Analysis on the Interaction between root exudates and rhizosphere microbes. *Chinese Journal of Soil Sciences*, 2007, 38(1): 167-172. (in Chinese)
- [26] 吴凤芝, 孟立君, 王学征. 设施蔬菜轮作与连作土壤酶活性的研究. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(4): 554-558.
- Wu F Z, Meng L J, Wang X Z. Soil enzyme activities in vegetable rotation and continuous cropping system of under shed protection. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(4): 554-558. (in Chinese)
- [27] 吴凤芝, 赵凤艳, 谷思玉. 保护地黄瓜对土壤化学性质的影响. *农业系统科学与综合研究*, 2002, 18(1): 20-22.
- Wu F Z, Zhao F Y, Gu S Y. Effect of the continuous cultivating cucumber on the biochemical properties of soil in the plastic greenhouse. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2002, 18(1): 20-22. (in Chinese)
- [28] 郝慧荣, 李振方, 熊 君, 陈 慧, 张重义, 林文雄. 连作杯牛膝根际土壤微生物区系及酶活性的变化研究. *中国生态农业学报*, 2008, 16(2): 307-311.
- Hao H R, Li Z F, Xiong J, Chen H, Zhang Z Y, Lin W X. Variation of microbial flora and enzyme activity in rhizospheric soil under continuous cropping of *Achyranthes bidentata*. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(2): 307-311. (in Chinese)
- [29] 马云华, 王秀峰, 魏 珉, 亓延凤, 李天来. 黄瓜连作土壤酚酸类物质积累对土壤微生物和酶活性的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(11): 2149-2153.
- Ma Y H, Wang X F, Wei M, Qi Y F, Li T L. Accumulation of phenolic acids continuously cropped cucumber soil and their effects of soil microbes and enzyme activities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(11): 2149-2153. (in Chinese)
- [30] 周晓芬, 杨军芳. 不同施肥措施及EM菌剂对大棚黄瓜连作障碍的防治效果. *河北农业科学*, 2004, 8(4): 89-92.
- Zhou X F, Yang J F. The effects of different fertilization and EM microbial agent on the problem of the continuous cote planting. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2004, 8(4): 89-92. (in Chinese)