

种植年限和种植模式对设施土壤微生物区系和酶活性的影响

董 艳¹, 董 坤², 郑 毅¹, 田芝花³, 鲁 耀¹, 汤 利¹

(1.云南农业大学资源与环境学院, 云南 昆明 650201; 2.云南农业大学食品学院, 云南 昆明 650201; 3.云南省牟定县农业技术推广中心, 云南 楚雄 675500)

摘 要:为探讨大棚种植年限和不同种植模式对土壤质量的影响,分析土壤质量退化的原因,对昆明郊区蔬菜、花卉主产区典型大棚土壤进行取样,分析测定了土壤微生物区系和酶活性的变化。结果表明,随设施种植年限的增加,土壤细菌、放线菌、微生物总数、B/F 比值及土壤过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性先增加后降低,以种植 6~8 a 时最高而 20 a 时最低;真菌数量持续增加而微生物多样性指数和均匀度指数持续降低。与连作相比,轮作有利于增加土壤细菌、放线菌数量而降低真菌数量,有利于提高过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性,其中花-花轮作效果最好,菜-菜轮作效果最差。研究结果表明大棚种植初期(4~6 a)土壤生态环境较好,6~8 a 后土壤微生物区系失调,酶活性显著下降,从而影响土壤生物化学过程,土壤质量的稳定性和可持续利用性大大降低;轮作种植能有效调节土壤微生物区系,有利于微生物群落多样性和稳定性的提高,有利于土壤质量的改善。

关键词:种植年限;种植模式;土壤微生物区系;土壤酶活性

中图分类号:X172 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)03-0527-06

Soil Microbial Community and Enzyme Activities in Greenhouse with Different Cultivation Years and Planting System

DONG Yan¹, DONG Kun², ZHENG Yi, TIAN Zhi-hua³, LU Yao¹, TANG Li¹

(1.College of Resources and Environment, Yunnan Agriculture University, Kunming 650201, China; 2.College of Food Science and Technology, Yunnan Agriculture University, Kunming 650201, China; 3.Mouding Agricultural Technology Experimental Centre, Chuxiong 675500, China)

Abstract: Soil microbial community and enzyme activities of selected protected soils in Kunming suburb were determined for illustrating the effects of cultivation years and cropping system on soil quality and soil quality degradation. Results showed that the amount of bacteria, actinomycetes, total microbe and B/F as well as catalase, urease, sucrase activities of soils increased in the beginning (4~6 years) and then decreased with the cultivation years, the peak of those were observed with 6~8 years protected soils and the lowest were with 20 years protected soils. The amount of fungi continuing increased and the Shannon-Wiener diversity index, Simpson diversity index continuing decreased with the cultivation years. In relation with crop rotation, flower-flower crop rotation system was most beneficial for increasing the amount of bacteria and actinomycetes and catalase, urease, sucrase activities of protected soils; Vegetable-vegetable crop rotation system was the least beneficial for increasing those of protected soils. Results indicated that in the early years of cultivation (4~6 years), the quality of protected soils were good, but after 6~8 years cultivation, the soil microbial flora gradually become imbalanced, enzyme activities decreased, and soil quality and productivity deteriorated. Crop rotation practice could regulate soil microbial flora and improve diversity and stability of microbial community and soil quality.

Keywords: cropping years; planting system; soil microbial community; soil enzyme activity

设施农业是我国农业增效、农民增收最直接有效的途径。然而,由于设施栽培缺乏科学合理的管理

措施,设施的可持续利用周期较短。随着设施使用年限的延长,生产上便会出现作物生长不良、病害严重等问题,从而造成作物严重减产,究其原因则在于设施内土壤环境质量的恶化^[1-2]。研究表明土壤理化性状和生物性状的变化是导致土壤质量下降的重要原因^[3]。从以往的研究看,土壤物理和化学属性一直被用来作为表征土壤生产力、肥力和健康质量的指标,传统的理化指标已难以满足对土壤质量研究的需要。

收稿日期:2008-05-08

基金项目:云南省教育厅资助项目(A003026);国家自然科学基金项目(30860157、30460061);973 计划前期研究专项资助项目(2008CB117011)

作者简介:董 艳(1975—),女,在读博士,讲师,主要从事土壤微生物、植物营养与病害控制方面的教学和科研工作。

E-mail: dongyanx@yahoo.com.cn

通讯作者:汤 利 E-mail: ltang@ynau.edu.cn

近年来,越来越多的证据表明,土壤生物学性质能敏感地反映出土壤质量的变化,是土壤质量评价不可缺少的指标且越来越受到重视^[4]。生物学指标包括土壤上生长的植物、土壤动物、土壤微生物等,其中应用最多的是土壤微生物指标^[5]。土壤酶活性作为农业管理实践中土壤质量演变的生物活性指标已被广泛接受,能够反映出土壤质量在时间序列或各种不同条件下的变化,其测值能合理估测某一个时刻土壤质量的状况^[6]。吴凤芝等^[7]研究认为设施种植年限和栽培制度对土壤微生物和酶活性具有重要影响。目前,设施栽培对土壤理化性状的影响及其与土壤质量变化的关系方面已经开展了大量的研究工作,并取得了显著的进展^[8-10]。而有关设施栽培对土壤微生物区系和土壤酶活性影响的研究较少^[1],尤其是随设施种植年限的延长和种植模式的改变对土壤生物学方面影响的研究还相对较少。本文通过分析不同种植年限和种植模式对大棚土壤微生物区系的影响及酶活性变化特征,探讨土壤质量下降的原因,旨在通过调整种植年限和确定合理的轮作模式,创造良好的设施土壤生态环境,为促进设施农业的可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 取样地点和方法

取样地点:云南昆明郊区设施栽培发展迅速,种植规模大,种植时间长的出口花卉和主要蔬菜生产基地呈贡县。

取样方法:分别采集种植 2、4、6、8、10 和 20 a 的大棚土壤及相邻露地土壤以及连作大棚和菜-菜、菜-花和花-花轮作大棚土壤,每个大棚按 S 型进行 5 点取样混合法混合为一个土样,取样深度为 20 cm,混匀,过筛,4℃保存,用于土壤微生物分析和土壤酶

活性测定。

连作和轮作土壤均取自呈贡县斗南村,连续种植西芹的大棚土壤称为连作土壤,轮作种植的大棚土壤称为轮作土壤,有菜-菜(西芹-生菜-紫甘蓝)、菜-花(西芹-银边翠),花-花(鞭尾菊-香雪兰)3 种轮作模式。

1.2 样品测定方法

土壤微生物数量的测定:采用稀释平板法进行培养计数,细菌用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌用马丁氏培养基,放线菌用高氏一号培养基^[11];

微生物多样性指数^[11]:

Shannon-Wiener 指数(H)= $-\sum (ni/N)\ln(ni/N)$

Simpson 指数(D)= $1-\sum (ni/N)\ln(ni/N)$

式中: ni 为第 i 个物种的个体数; N 为群落中所有物种的个体数。

Shannon 均匀度指数 $E=H/\ln S$ (S 为群落中的总物种数)

土壤酶活性的测定:脲酶采用靛酚蓝比色法,蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法,过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法^[12]。

文中数据采用 SPSS 11.5 单因素程序进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限设施土壤微生物的变化

从表 1 可看出,设施土壤微生物数量变化与种植年限密切相关。随着大棚种植年限的增加,土壤细菌、放线菌数量和微生物总数都呈现先增加后降低的趋势,采用保护地种植 4 a 时土壤细菌数量和微生物总数显著高于露地土壤,种植 8 a 时达到最高,分别是露地土壤的 5.0 倍和 4.5 倍,而土壤放线菌数量在种植 4 a 时达到最高,是露地土壤的 2.3 倍,种植 20 a

表 1 不同种植年限设施土壤微生物区系和多样性的变化
Table 1 Change of soil microbe populations and diversity in greenhouse soil with different planting age

种植年限	样品数	细菌/ ×10 ⁶ CFU·g ⁻¹	真菌/ ×10 ⁴ CFU·g ⁻¹	放线菌/ ×10 ⁵ CFU·g ⁻¹	微生物总数/ ×10 ⁶ CFU·g ⁻¹	B/F 比值/ ×10 ³	Shannon-Wiener 指数	Simpson 指数	Shannon 均匀度指数
0	4	30.36e	7.81e	48.19d	35.26d	3.98b	0.414a	0.377a	0.240a
2	3	36.35e	10.61ce	65.04c	42.96d	3.69bc	0.443a	0.403a	0.262a
4	4	63.37c	12.97ce	108.76a	74.38c	4.94b	0.429a	0.390a	0.253a
6	3	91.57b	15.13c	77.22b	99.44b	6.50a	0.285b	0.259b	0.147b
8	9	152.55a	23.06b	71.98bc	159.98a	6.79a	0.196c	0.179c	0.090c
10	3	79.58bc	32.42a	31.05e	83.01bc	2.47cd	0.185c	0.169c	0.080c
20	11	37.35e	35.05a	9.70f	38.67d	1.09d	0.172c	0.157c	0.069c

注:同列不同小写字母表示 0.05 水平下差异显著,下同。
Note:Different small letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level. The same below.

时土壤细菌、放线菌数量和微生物总数急剧降低,细菌数量和微生物总数比种植 8 a 时分别降低 75.5%和 75.8%,放线菌数量比种植 4 a 时降低 91.1%。细菌、放线菌数量随设施种植年限的增加先增加后减少的现象在黄瓜连作土壤中也有过类似的报道^[13]。细菌、放线菌数量和微生物总数在露地土壤、设施土壤及设施不同种植年限间的差异说明设施种植 4 a 以后,土壤水分、空气及温度状况得到改善,又由于大量有机肥的施入,土壤有机质含量增加,积累了大量微生物可利用的碳和氮,为微生物的活动提供了良好的生存环境和营养条件,有利于微生物繁殖和积累;而种植 10 a 以后的保护地由于多年大量施肥,产生了土壤酸化和盐渍化^[10],使微生物处于胁迫状态,抑制了细菌和放线菌的繁殖,说明肥料尤其是化肥的大量施用可能是影响大棚土壤中细菌和放线菌数量的主要因素。这与郭天财等^[14]研究认为适宜的氮肥用量促进细菌和放线菌数量的繁殖,而高量氮肥出现了相反结果的结论一致。

土壤真菌数量则随种植年限的增加而增加,种植 6 a 后真菌数量显著增加,种植 20 a 时数量最多,为露地土壤的 4.5 倍。有研究认为土壤酸化是导致露地和大棚土壤细菌数量减少而真菌数量增多的主要原因^[15],随种植年限的延长设施土壤酸化呈加重趋势^[16]。真菌数量增加可能导致土壤病原菌增加,加重作物的病害^[3]。

土壤中细菌和真菌的比值(B/F)是土壤微生物区系结构的一个重要的特征指标,从表 1 可看出,随种植年限增加,设施土壤 B/F 比值先增加后降低,种植 8 a 时 B/F 比值最高,比露地土壤增加 70.6%,而种植 10 和 20 a 时 B/F 比值显著低于露地,分别降低 37.9%和 72.6%,这是因为大棚种植初期适宜的环境条件促进了细菌的增殖,使 B/F 比值升高,种植 8 a 后土壤酸化和盐渍化的环境抑制了细菌的增殖而显著地促进真菌的增加^[3],使 B/F 比值下降。在本研究区域已经发现大棚土壤盐分随种植年限延长而增加,pH 值则降低的趋势^[16],说明设施种植条件下土壤的养分管理是造成 B/F 比值变化的重要原因,B/F 比值随种植年限的变化反映出大棚种植 8 a 时土壤腐熟程度高,环境质量依然较好,种植 10 a 后土壤环境质量下降,已经发生严重的地力衰竭。

土壤微生物群落结构和组成的多样性与均匀性是衡量生态系统稳定和健康的—个重要指标^[17],从表 1 可看出,设施土壤 Shannon-Wiener 指数、Simpson

指数和 Shannon 均匀度指数在种植 2 a 时达到最高且高于露地,而后随种植年限延长而降低,且种植 6、8、10 和 20 a 的设施土壤微生物多样性与均匀度指数都显著低于露地,种植 20 a 时,比露地降低 58.4%~71.5%。说明由露地栽培改为设施栽培初期,由于水热条件的改善和养分供应量的增加,使土壤微生物多样性和均匀度比露地土壤有所增加,而种植 6 a 以后,土壤酸化、盐渍化现象日趋严重,微生物间比例失调,导致微生物多样性和均匀度显著降低,土壤生态系统稳定性下降,抗干扰能力降低,是设施土壤障碍加重的可能原因之一。

2.2 不同种植年限大棚土壤酶活性变化

土壤酶是表征土壤中物质、能量代谢旺盛程度和土壤质量水平的一个重要生物指标^[18]。由表 2 可以看出,土壤酶活性与土壤微生物数量变化规律基本相同,随种植年限的增加,土壤过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性均表现出随种植年限的增加先增加后降低的趋势,土壤过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性都以种植 6 a 时达到最高值,分别比露地土壤增加 90.0%、90.0%和 107.3%,从而可加速土壤养分矿化、改善速效养分的供给水平,增强土壤的解毒作用,说明此时土壤环境质量较高,有利于土壤的持续利用。种植 20 a 时土壤过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性显著低于露地土壤,分别比露地土壤降低 30.0%、26.7%和 33.4%,酶活性降低反映了土壤中有机养分的转化速率下降,可溶性营养物质含量降低,土壤中氧化作用变弱,过氧化氢的分解受抑制,使根系的自毒作用加重而引起土壤障碍^[19],土壤的生产能力严重下降。

综合表 1、表 2 结果分析可看出大棚在使用 6~8 a 时,土壤微生物数量和多样性能保持良好的状态,土壤酶活性较高,而后土壤微生物数量和多样性发生显著变化,土壤酶活性显著降低,土壤生态环境质

表 2 不同种植年限设施土壤酶活性变化
Table 2 Change of soil enzyme activities in greenhouse soil with different planting age

种植 年限/a	样品 数	过氧化氢酶 (0.1 mol·L ⁻¹ KMnO ₄ /mL·g ⁻¹)	脲酶 (NH ₃ -N/mg·g ⁻¹)	蔗糖酶 (葡萄糖/mg·g ⁻¹)
0	4	4.00d	3.71ce	14.88bc
2	3	4.40d	3.68ce	18.80b
4	4	6.18b	5.19b	20.90b
6	3	7.60a	7.05a	30.85a
8	9	5.40c	5.45b	21.02b
10	3	3.90bd	4.44bc	16.32bc
20	11	2.80e	2.72e	9.91c

量明显下降,严重影响土壤的生产能力和可持续利用,需采取相应的措施进行土壤改良或轮作种植,才能保证设施土壤的可持续利用和设施农业的可持续发展。

2.3 不同种植模式对土壤微生物区系的影响

从表 3 可看出,菜-花、花-花和菜-菜 3 种轮作模式下土壤细菌、放线菌和微生物总数及 B/F 比值均有增加,其中土壤放线菌数量和 B/F 比值 3 种轮作模式均显著高于连作土壤,土壤细菌数量和微生物总数以菜-花和花-花轮作模式显著高于连作土壤,但菜-菜轮作与连作模式之间差异不显著,这是因为不同作物轮作更有利于作物根系生长和对土壤的养分吸收,有利于增加有机肥对设施土壤 pH 的缓冲效果,土壤不容易发生酸化^[16],从而有利于微生物的生长和繁殖,而同类型作物不同品种轮作时,有机肥对土壤 pH 的缓冲效果不明显,土壤容易酸化,从而抑制土壤微生物的增殖。

3 种轮作模式下土壤真菌数量显著低于连作土壤,这是因为连作条件下由于作物对肥力的吸收是单一的,加之根系长期分泌同一种物质,因此可使某些特定的微生物群落得到富集,特别是植物病原真菌,不利于土壤中微生物种群的平衡,加剧作物病害的发生,而轮作增加了作物种类,使土壤中根系分泌物的种类和数量发生相应改变,对土壤微生物起到调节作用,抑制土壤由“细菌型”向“真菌型”转化,使土壤向稳定健康的方向发展。轮作种植与连作相比,显著增加了土壤放线菌数量,提高了 B/F 比值,说明轮作能克服连作土壤中的不利生物因素,抑制了病原菌的繁殖和对植株的侵染。

轮作土壤的 Shannon 均匀度指数、Shannon—Weaver 指数和 Simpson 指数与连作相比均有一定程度提高,原因是轮作种植增加了植物种类,导致进入到土壤中的物质、能量流的多样性和数量的增加,为根际土壤中微生物繁殖提供了丰富的能源和碳源,能提高土壤生物多样性,从而改善土壤的微生态环境。

2.4 不同种植模式对土壤酶活性的影响

从表 4 可以看出,轮作土壤中过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶活性分别比连作土壤增加 38.6%、60.2%和 40.8%,其中 3 种轮作模式下过氧化氢酶和蔗糖酶活性都显著高于连作土壤,菜-花和花-花轮作模式下土壤脲酶活性显著高于连作土壤,说明合理的轮作能促进土壤生物化学过程,有利于提高土壤酶活性;同时,轮作比连作向土壤中输入的物质种类和数量要多,使土壤的微生物多样性增加,更有利于土壤的良性发育,因此土壤酶活性显著提高。在 3 种轮作模式中,土壤酶活性高低依次是花-花轮作>菜-花轮作>菜-菜轮作,有研究表明 3 种轮作种植中养分投入高低恰好相反,为菜-菜轮作>菜-花轮作>花-花轮作^[20],说明养分投入多反而抑制土壤的酶活性。

表 4 不同种植类型土壤酶活性的变化
Table 4 Change of soil enzyme activities in greenhouse soil under different planting systems

种植类型	样品数	过氧化氢酶(0.1 mol·L ⁻¹ KMnO ₄ /mL·g ⁻¹)	脲酶(NH ₃ -N/mg·g ⁻¹)	蔗糖酶(葡萄糖/mg·g ⁻¹)
连作	18	4.60b	4.41b	10.80c
菜-菜轮作	18	5.96a	5.57ab	15.26b
菜-花轮作	18	6.36a	6.34a	17.51ab
花-花轮作	18	6.81a	6.73a	19.13a

综合表 3 和表 4 结果分析,可看出轮作能改善设施土壤微生物区系,增加微生物多样性,提高土壤酶活性,从而改善土壤生态环境,其中最好的轮作模式是花-花轮作,其次是菜-花轮作,而菜-菜轮作最差。

3 讨论

3.1 种植年限对设施土壤微生物区系和酶活性的影响

设施土壤是一个人为干扰作用强、相对密闭的独特环境。土壤利用方式、土壤肥力以及土壤环境状况对土壤微生物生长发育有较大影响。许多学者研究了不同种植年限设施土壤微生物区系的变化,有微生物

表 3 不同种植类型土壤微生物区系和多样性的变化
Table 3 Change of soil microbe populations and diversity in greenhouse soil under different planting systems

种植类型	样品数	细菌/ ×10 ⁶ CFU·g ⁻¹	真菌/ ×10 ⁴ CFU·g ⁻¹	放线菌/ ×10 ⁵ CFU·g ⁻¹	微生物总数/ ×10 ⁶ CFU·g ⁻¹	B/F 比值	Shannon—Wiener 指数	Shannon 均匀度指数	Simpson 指数
连作	18	47.85b	33.63a	36.42c	51.83b	1.98b	0.303a	0.276a	0.151a
菜-菜轮作	18	70.05ab	23.84b	54.27b	75.69ab	3.83a	0.314a	0.286a	0.164a
菜-花轮作	18	82.30a	20.70b	67.73a	89.28a	4.97a	0.322a	0.293a	0.172a
花-花轮作	18	92.52a	20.50b	80.14a	100.74a	5.55a	0.324a	0.295a	0.175a

数量随种植年限增加而持续增加^[1-2]和先增加后降低^[3]两种结论。出现不同结论的原因可能与很多因素有关,如采样时间、采样深度、采样点肥力水平差异等,因为不同采样时间和不同采样点,土壤的理化性状、土壤温湿度、土壤 pH 值、土壤有机质含量、土壤肥力水平等特性的差异等都在一定程度上对土壤微生物产生较大影响^[1],但更重要的一个原因可能是与所采样品的最高种植年限有关,最高种植年限不同,土壤理化性状的变化也不同,土壤的结构、通气性、水分状况、养分状况等对土壤微生物均有重要影响。有研究表明,土壤中真菌数量增加而 B/F 比值减小,将不利于作物的生长,是大棚土壤土传病害增加的可能原因之一^[1]。本研究中,设施种植随年限增加,土壤真菌数量逐渐增加而 B/F 比值先增加后降低,种植 8 a 时 B/F 比值最高,种植 10 和 20 a 的 B/F 比值显著低于露地土壤,这充分说明了大棚土壤质量与种植年限有密切关系,种植 8 a 后土壤质量已显著下降。既然 B/F 比值在一定程度上能反映土壤的稳定健康程度,如果能够得出一个合理的比值范围,对连作障碍的克服极有意义,值得进一步研究。

土壤中微生物区系的变化是土壤质量变化的主要参数之一^[3]。不少学者研究认为,随种植年限增加会使土壤从细菌型向真菌型转化,导致地力衰竭,真菌数量越多土壤肥力越差^[1,3,15],本研究结果与上述结论一致。但费颖恒等^[21]却发现 B/F 值随大棚使用年限升高,微生物区系并未从“细菌型”向“真菌型”转化,使用 20 a 的大棚土壤微生物区系仍然保持良好的状态,土壤环境质量仍然较高。由此可见,大棚种植年限对土壤微生物的影响比较复杂,种植年限对土壤微生物的影响及其与土壤质量间的关系尚需进一步研究。

土壤酶是土壤中最活跃的组分之一,它参与土壤中各种生物化学过程,如腐殖质的分解与合成,动植物残体和微生物残体的分解及其有机物的合成、水解与转化和土壤养分循环等,影响土壤生物的因子同样能影响土壤中酶的活性。国内外许多学者认为,土壤酶活性可以作为土壤肥力、土壤质量及土壤健康的重要指标^[12]。设施种植年限对土壤酶有较大影响,马云华等^[13]研究表明,随着设施种植年限的延长,多数酶活性呈先增加后降低的趋势;张国红等^[1]的研究结果也表明脲酶和过氧化氢酶活性在种植 1~2 a 的新日光温室中酶的活性较小,种植 3~4 a 的温室土壤达到较高水平,之后呈下降趋势。本研究也证实了以上结论并表现出与土壤微生物数量相一致的变化规

律,说明土壤酶活性能在一定程度上反映土壤生物学状况并能敏感地指示土壤质量的变化。

3.2 种植模式对土壤微生物区系和多样性的影响

有研究报道人参与紫穗槐轮作,土壤真菌、放线菌及细菌均有变化,而细菌种群类型变化最明显^[22]。轮作对土壤质量的影响,与轮作后改善微生物群落结构、抑制植物病原菌的种群数量有密切的关系。通常,不同种植模式下土壤的养分管理会有一些的差异^[20],加之进入到土壤中有有机物质含量的差异,会对土壤的理化性质产生影响,进而影响到土壤微生物的生长。在本研究中发现,轮作种植显著增加了细菌、放线菌数量、微生物总数和 B/F 比值,而显著降低了土壤真菌数量,这充分说明轮作能改善土壤微生态环境,有利于克服土壤连作障碍。

在设施农业生产中,尽管近年来养分投入和土壤肥力水平的提高已经达到很高的水平,但是农业生态系统生产力并没有随之提高,反而有降低的趋势。设施栽培中长期养分大量投入及连作使土壤微生物区系失调,多样性和均匀度下降,导致土壤生态环境逐渐恶化,使土壤生产力和生物产量下降,而轮作种植较连作种植能提高微生物数量和多样性。因此,建立科学的平衡施肥制度和轮作种植是改善和提高设施土壤质量的有效措施。

4 结论

(1)本研究结果表明,种植年限对土壤微生物区系、多样性和酶活性都产生了显著的影响,大棚最适宜的种植年限是 4~6 a,超过 8 a,将导致微生物种群平衡被破坏,根际微生态平衡失调,土壤酶活性下降,土壤生态环境恶化,这可能是设施土壤质量下降的主要原因之一。

(2)与连作相比,轮作种植能有效调节土壤微生物区系的定向发展,提高土壤酶活性,从而改善土壤质量,有利于克服连作障碍。

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.
ZHANG Guo-hong, REN Hua-zhong, GAO Li-hong, et al. The soil microbe populations and enzyme activities in helio-greenhouse of Beijing Suburbs[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(7): 1447-1452.
- [2] 王 珊,李廷轩,张锡洲,等.设施土壤微生物学特性变化研究[J].水土保持学报,2006,20(5):82-86.
WANG Shan, LI Ting-xuan, ZHANG Xi-zhou, et al. Study on changes

- of microbial characters in greenhouse soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(5):82-86.
- [3] 杜连凤, 张维理, 武淑霞, 等. 长江三角洲地区不同种植年限保护菜地土壤质量初探[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(1):133-137.
DU Lian-feng, ZHANG Wei-li, WU Shu-xia, et al. Influence of planting age of greenhouse vegetable on soil quality degradation in Yangtze Delta area[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(1):133-137.
- [4] 黎 宁, 李华兴, 朱凤娇, 等. 菜园土壤微生物生态特征与土壤理化性质的关系[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(2):285-290.
LI Ning, LI Hua-xing, ZHU Feng-jiao, et al. Relationships between soil microbial ecological characteristics and physical-chemical properties of vegetable garden soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(2):285-290.
- [5] 路 鹏, 苏以荣, 牛 铮, 等. 土壤质量评价指标及其时空变异[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(4):190-194.
LU Peng, SU Yi-rong, NIU Zheng, et al. Soil quality assessment indicators and their spatial-temporal variability[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(4):190-194.
- [6] Hamel C, Vujanovic V, Jeannotte R, et al. Negative feedback on a perennial crop: fusarium crown and root rot of asparagus is related to changes in soil microbial community structure[J]. *Plant and Soil*, 2005, 268(1):75-87.
- [7] 吴凤芝, 王学征. 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[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(10):2274-2280.
WU Feng-zhi, WANG Xue-zheng. Effect of monocropping and rotation on soil microbial community diversity and cucumber yield, quality under protected cultivation[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(10):2274-2280.
- [8] 王 辉, 董元华, 李德成, 等. 不同种植年限大棚蔬菜地土壤养分状况研究[J]. *土壤*, 2005, 37(4):460-462.
WANG Hui, DONG Yuan-hua, LI De-cheng, et al. Nutrient variation in plastic greenhouse soils with the years of cultivation[J]. *Soils*, 2005, 37(4):460-462.
- [9] 王 柳, 张福漫, 高丽红. 京郊日光温室土壤养分特征的研究[J]. *中国农业大学学报*, 2003, 8(1):62-66.
WANG Liu, ZHANG Fu-man, GAO Li-hong. Characteristics of soil nutrients in solar greenhouse in Beijing Suburb[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2003, 8(1):62-66.
- [10] 杜新民, 吴忠红, 张永清, 等. 不同种植年限日光温室土壤盐分和养分变化研究[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(2):78-80.
DU Xin-min, WU Zhong-hong, ZHANG Yong-qing, et al. Study on changes of soil salt and nutrient in greenhouse of different planting years[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(2):78-80.
- [11] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其试验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
YAO Huai-ying, HUANG Chang-yong. Soil microbial ecology and test technology[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [12] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006:117-136.
WU Jin-shui, LIN Qi-mei, HUANG Qiao-yun, et al. Methods of soil microbial biomass analysis and its application[M]. Beijing: Meteorological Press, 2006:117-136.
- [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[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(6):1005-1008.
MA Yun-hua, WEI Min, WANG Xiu-feng. Variation of microflora and enzyme activity in continuous cropping cucumber soil in solar greenhouse[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(6):1005-1008.
- [14] 郭天财, 宋 晓, 马冬云, 等. 氮素营养水平对小麦根际微生物及土壤酶活性的影响[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(3):129-131.
GUO Tian-cai, SONG Xiao, MA Dong-yun, et al. Effect of nitrogen fertilizer on soil enzymatic activity and rhizosphere microorganisms of wheat [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(3):129-131.
- [15] 尹 睿, 张华勇, 黄锦法, 等. 保护地菜田与稻麦轮作田土壤微生物学特征的比较[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(1):57-62.
YIN Rui, ZHANG Hua-yong, HUANG Jin-fa, et al. Comparison of microbiological properties between soils of rice-wheat rotation and vegetable cultivation [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(1):57-62.
- [16] 邓玉龙, 张乃明. 设施土壤 pH 值与有机质演变特征研究 [J]. *生态环境*, 2006, 15(2):367-370.
DENG Yu-long, ZHANG Nai-ming. Soil pH and organic matter in greenhouse[J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(2):367-370.
- [17] Celine J, Francois V, Claude A, et al. Soil health through soil disease suppression: which strategy from descriptors to indicators[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39(1):1-23.
- [18] 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.
CHEN Hui, HAO Hui-rong, XIONG Jun, et al. Effects of successive cropping *rehmannia glutinosa* on rhizosphere soil microbial flora and enzyme activities[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12):2755-2759.
- [19] 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.
WU Feng-zhi, MENG Li-jun, WANG Xue-zheng. Soil enzyme activities in vegetable rotation and continuous cropping system of under shed protection[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(4):554-558.
- [20] 王 静, 张维理, 郑 毅, 等. 滇池流域环境友好作物轮作模式的选择[J]. *云南农业大学学报*, 2006, 21(5):663-669.
WANG Jing, ZHANG Wei-li, ZHENG Yi, et al. Selection of environmental friendly crop rotation pattern in Dianchi catchment[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2006, 21(5):663-669.
- [21] 费颖恒, 黄 艺, 严昌荣, 等. 大棚种植对农业土壤环境的胁迫[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(1):243-247.
FEI Ying-heng, HUANG Yi, YAN Chang-rong, et al. Influence of greenhouse cultivation on agricultural soil environment[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(1):243-247.
- [22] 张 薇, 魏海雷, 高洪文, 等. 土壤微生物多样性及其环境影响因子研究进展[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(1):48-52.
ZHANG Wei, WEI Hai-lei, GAO Hong-wen, et al. Advances of studies on soil microbial diversity and environmental impact factors[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(1):48-52.