

# 黄瓜连作对土壤微生物多样性和酶活性的影响

霍琳, 杨思存, 王成宝, 姜万礼

(甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 在相同管理措施下对日光温室黄瓜不同连作年限土壤微生物种类和数量以及酶活性的变化进行了分析。结果表明, 随着连作年限的增加, 土壤细菌数量和放线菌数量均呈先增加后降低的趋势, 连作 10 a 时达到最高, 随着连作年限的进一步延长又逐渐降低; 真菌数量持续增加。土脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶和多酚氧化酶活性均呈先增加后降低的趋势, 在连作 8~10 a 时达到最大, 土壤过氧化氢酶活性呈连续降低的趋势。在黄瓜生长季节, 随着生育期的推移, 3 种土壤微生物的数量和 5 种土壤酶的活性均呈先上升后降低的趋势, 3—4 月份达到最大。

**关键词:** 连作年限; 土壤微生物种类和数量; 土壤酶活性; 日光温室; 兰州市

**中图分类号:** S154.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2018)10-0030-07

[doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2018.10.010](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2018.10.010)

## Effects of Continuous Cucumber Cropping on Soil Microbial Diversity and Enzyme Activity

HUO Lin, YANG Sicun, WANG Chengbao, JIANG Wanli

(Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** The changes of soil microbial species and quantity and enzyme activity in different continuous growing years of cucumber in solar greenhouse were analyzed under the same management measures. The results showed that the number of soil bacteria and actinomycetes increased first and then decreased with the increase of continuous cropping years. The number of soil bacteria and actinomycetes reached the highest level after 10 years of continuous cropping, and gradually decreased with the extension of continuous cropping years, but the quantity of soil fungus increased continuously. The activities of soil urease, alkaline phosphatase, sucrose and polyphenol oxidase increased at first and then decreased, and achieved the maximum at 8~10 years of continuous cropping, while the activities of soil catalase decreased continuously. During the cucumber growing season, the number of three soil microorganisms and the activity of five soil enzymes increased first and then decreased with the development of the cucumber growing season, and reached the highest in March to April.

**Key words:** Continuous cropping years; Soil microbial species and quantity; Soil enzyme activity; Solar greenhouse; Lanzhou City

蔬菜产业是兰州市农产品中商品量最大、市场潜力最好、外销量最高、发展最为活跃的重要优势产业。从 1994 年开始, 兰州市就实施了以日光温室为主的科技战略, 目前种植面积已超过了 2 000 hm<sup>2</sup>, 除满足全市冬春季新鲜蔬菜需求外, 还远销青海、新疆等地<sup>[1]</sup>。日光温室栽培具有位置相对固定、投入相对较高、水肥用量较大、土壤耕作频繁等特点, 且农民为了谋求设施生产的最大效益, 总会选择市场亏缺和产量、效益较好的黄瓜、番茄、茄子、辣椒等蔬菜种类, 从而形

成种植品种相对单一的特点, 促成并加剧了土壤的连作障碍, 导致土壤生态环境恶化、病虫害加重、蔬菜产量降低、品质变劣等一系列不良反应, 不仅严重影响了日光温室蔬菜生产的可持续发展和食品安全, 而且严重威胁着消费者的健康<sup>[2-3]</sup>。

土壤中的微生物和酶既是土壤有机质转化的执行者, 又是植物营养元素的活性库, 在植物残体降解、腐殖质形成及养分转化与循环中扮演着十分重要的角色, 其重要生理功能已引起学者们的足够重视<sup>[4-6]</sup>。许多研究表明, 土壤酶活性和土

收稿日期: 2018-07-10

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201503117); 甘肃省农业科学院科技创新专项(2015GAAS03)。

作者简介: 霍琳(1972—), 女, 甘肃甘谷人, 副研究员, 硕士, 主要从事土壤养分资源管理研究工作。Email: gshuolin@163.com。

壤微生物区系和群落结构等作为土壤生物学指标,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<sup>[7-8]</sup>。提高土壤酶和土壤微生物活性能够促进植物生长,防治和减轻病虫害危害,增加作物产量<sup>[9-10]</sup>。近年来,利用生物指标指示土壤质量或土壤健康已成为近年来国内外的研究热点<sup>[11-13]</sup>,与此同时,设施栽培条件下土壤微生物数量变化和酶活性的变化作为研究重点也受到了广泛关注,但由于试验条件不同,导致地区间差异较大<sup>[14-17]</sup>。兰州深处内陆腹地,经济和科技水平相对落后,农户经营管理水平不高,很多温室经过连年种植后土壤性质已明显变差,有些温室已弃耕,严重制约了这一产业的可持续发展。但关于本地温室栽培管理条件下连作障碍问题的研究尚鲜见报道。为此,我们于2014—2015年在榆中县来紫堡乡骆驼巷村开展了黄瓜连作对土壤微生物多样性和土壤酶活性影响的研究,旨在评价种植年限对土壤微生物群落结构和数量及土壤酶活性的影响,从微生物及土壤酶的角度揭示该地区日光温室发生连作障碍的机理。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

指示黄瓜品种为津春3号,采用靠接法与黑籽南瓜嫁接。

### 1.2 试验设计

分别选择3个棚龄为1、3、5、8、10、12、15 a的棚作为重复,温室宽度均为7.5 m,长度40~60 m,朝向相同。2014年9月18日开始育苗,11月5日定植,2015年1月6日收获第1茬瓜,6月6日全部收获结束。施肥量按试验区农户调查所得的平均值来确定,即:N 1 340 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 964 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 420 kg/hm<sup>2</sup>、优质有机肥 90

t/hm<sup>2</sup>,全部有机肥、全部磷肥、氮肥的40%、钾肥的50%作为基肥于定植前结合整地施入,剩余的60%氮肥分3次、50%钾肥分2次于盛瓜期追施。灌水采用膜下滴灌,自采收起每隔5~7 d灌水1次,每次灌溉定额约150 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。其他管理措施均按当地习惯进行。黄瓜定植后每隔30 d左右用5点采样法在每个棚内采土样1次,采样深度为0~20 cm,将5个点的土样充分混匀后分成2份,1份新鲜土样装入灭菌袋内在4℃下保存,用于测定土壤细菌、真菌、放线菌的数量;另1份土样自然风干保存,用于测定脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶和多酚氧化酶的活性。

### 1.3 测定方法

土壤中的细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基培养,放线菌采用改良高氏1号培养基(每300 mL培养基中加3%重铬酸钾1 mL,以抑制细菌和霉菌生长)培养,真菌采用马丁氏培养基(每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)培养。均采用平板法计数,结果用每克干土表示<sup>[18]</sup>。土壤过氧化氢酶活性测定采用容量法,脲酶活性测定采用靛酚比色法,多酚氧化酶活性测定采用邻苯三酚比色法,蔗糖酶活性采用磷钼酸比色法,碱性磷酸酶活性用苯磷酸二钠比色法测定<sup>[19]</sup>。

### 1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2007软件处理数据及制图,用SAS8.0统计软件进行相关的统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 黄瓜连作对土壤微生物多样性的影响

2.1.1 对土壤细菌数量的影响 由表1可见,黄瓜连作对土壤细菌数量有较大影响,连作10 a时达到最高,随着连作年限的进一步延长又逐渐降

表1 黄瓜不同连作年限土壤中的细菌数量

×10<sup>7</sup>/g

连作年限 /a	2014年测定日期/(日/月)			2015年测定日期/(日/月)				
	6/11	4/12	8/1	6/2	7/3	10/4	5/5	6/6
1	13.76 e	20.15 d	28.22 d	35.13 e	43.54 d	52.33 e	40.18 d	28.94 d
3	15.43 de	18.73 d	25.46 d	38.53 de	52.41 d	65.48 d	47.65 c	32.56 cd
5	18.75 c	33.45 c	39.06 c	41.77 d	75.12 c	93.85 c	63.46 b	42.08 b
8	22.36 b	42.58 b	56.45 b	83.74 b	100.28 b	127.14 b	87.62 a	56.38 a
10	29.84 a	50.87 a	71.23 a	98.54 a	122.05 a	142.37 a	88.63 a	45.34 b
12	16.62 cd	29.42 c	44.63 c	59.84 c	72.15 c	88.35 c	65.17 b	36.09 c
15	9.85 f	15.68 d	28.75 d	33.68 e	48.94 d	46.52 e	27.55 e	16.53 e

低。与种植 1 a 相比,连作 3 a 土壤细菌数量变化不大,平均增加了 13%,只 4、5 月份才达到差异显著水平;连作 5 a 与 12 a 的细菌数量基本相当,分别增加了 55%和 57%,只有 2、6 月份有显著差异;连作 8 a 和 10 a 时土壤细菌数量达到了最大值,分别增加了 120%和 147%,且差异显著,但连作 8 a 的土壤细菌数量在 6 月份显著高于连作 10 a;连作 15 a 时,土壤细菌数量与种植 1 a 相比,平均下降了 13%,但只有 11 月、5 月和 6 月份的差异达到了显著水平。从整个生育期来看,不同连作年限日光温室土壤细菌数量都呈先增加后降低的趋势,峰值均出现在 4 月份,平均为定植时(11 月 6 日)的 3.86 倍,12、1、2、3、5、6 月份与定植时相比,平均增加了 67%、132%、209%、306%、232%和 104%。

2.1.2 对土壤真菌数量的影响 由表 2 可知,黄瓜连作对土壤真菌数量也有较大影响,但土壤真菌表现出更强的适应性,随着连作年限的延长呈增加的趋势。与种植 1 a 相比,连作 3 a 土壤真菌数量平均增加了 23%,只在 1—4 月份差异达到显著水平;连作 5 a 土壤真菌数量平均增加了 44%,

但与连作 3 a 相比,只在 12 月、翌年 3 月和 4 月份差异达到显著水平;连作 8 a 和 10 a 的变化不大,分别增加了 76%和 86%;连作 12 a 和 15 a 时,土壤真菌数量达到了最大值,分别比种植 1 a 增加了 136%和 181%,在整个生育期内,连作 15 a 高于连作 12 a,但在 11 月和翌年 6 月份的差异不显著。从整个生育期来看,不同连作年限日光温室土壤真菌数量的变化趋势与土壤细菌相同,为先增加后降低,峰值均出现在 3、4 月份,比定植时(11 月 6 日)平均增加了 91%和 93%,12、1、2、5、6 月份比定植时平均增加了 17%、37%、66%、49%和 12%。

2.1.3 对土壤放线菌数量的影响 表 3 表明,不同连作年限日光温室土壤放线菌数量变化的趋势与土壤细菌一致,即连作 10 a 时达到最高,随着连作年限的进一步延长又逐渐降低。与种植 1 a 相比,连作 3 a 土壤放线菌数量平均增加了 15%,只有 4 月份差异不显著;连作 5 a 时土壤放线菌平均增加了 37%,在不同生长阶段均与连作 3 a 有显著差异;连作 8 a 与 12 a 土壤放线菌基本相当,平均数量分别增加了 57%和 55%,11、12 月份差异不

表 2 黄瓜不同连作年限土壤中的真菌数量

×10<sup>3</sup>/g

连作年限 /a	2014 年测定日期/(日/月)			2015 年测定日期/(日/月)				
	6/11	4/12	8/1	6/2	7/3	10/4	5/5	6/6
1	12.38 e	14.02 e	14.65 e	15.79 e	17.06 g	22.79 f	19.53 f	15.44 d
3	13.88 de	15.36 e	18.22 d	20.95 d	23.58 f	30.15 e	23.82 ef	16.57 cd
5	15.74 d	18.31 d	21.04 d	25.13 d	29.87 e	35.84 d	25.16 de	18.33 cd
8	18.96 c	23.56 c	29.48 c	32.42 c	36.95 d	41.17 c	28.83 cd	20.08 bc
10	23.05 b	25.14 c	27.00 c	35.49 c	43.52 c	35.23 d	30.74 bc	24.12 b
12	27.48 a	31.54 b	37.23 b	46.08 b	55.47 b	47.64 b	35.28 b	29.49 a
15	29.26 a	36.76 a	44.68 a	58.34 a	62.33 a	58.42 a	46.77 a	33.68 a

表 3 黄瓜不同连作年限土壤中的放线菌数量

×10<sup>4</sup>/g

连作年限 /a	2014 年测定日期/(日/月)			2015 年测定日期/(日/月)				
	6/11	4/12	8/1	6/2	7/3	10/4	5/5	6/6
1	322.58 e	403.17 e	494.62 f	533.35 f	547.78 f	699.45 e	476.28 e	373.54 d
3	384.47 d	455.64 d	506.37 f	642.88 e	679.42 e	706.24 e	624.77 d	418.43 c
5	442.95 c	513.44 c	579.33 e	724.53 d	866.38 d	948.72 d	736.52 c	477.56 b
8	516.53 b	565.16 b	622.74 d	818.69 b	1 052.76 c	1 139.65 b	801.93 b	524.84 a
10	564.28 a	679.88 a	813.64 a	1 168.50 a	1 542.33 a	1 387.25 a	873.66 a	512.97 a
12	488.36 b	574.92 b	705.46 b	747.25 cd	1 213.86 b	1 042.38 c	735.58 c	457.69 b
15	407.85 cd	519.24 c	648.62 c	802.57 bc	864.60 d	683.49 e	504.17 e	319.24 e

显著，但12月份之后均有显著差异，特别是翌年6月份，连作8a甚至高出了连作10a的放线菌数量。连作10a时，土壤放线菌数量达到了最大值，比种植1a平均增加了96%，除6月份低于连作8a处理但差异不显著外，大部分生育期内均显著高于其它连作年限处理；连作15a时土壤放线菌数量平均增加了23%，在11、12、3月份与连作5a处理差异不显著，但总体上呈下降趋势，与连作10a相比降低了37%。从整个生育期来看，不同连作年限日光温室土壤放线菌数量的变化趋势也是先增加后降低，峰值也是出现在3、4月份，比定植时平均增加了1.1倍，12、1、2、5月份分别增加了19%、40%、74%和52%，6月份又恢复到了定植时的水平。

### 2.2 黄瓜连作对土壤酶活性的影响

2.2.1 对土壤脲酶活性的影响 由图1可见，黄瓜连作对土壤脲酶活性的影响程度不大，与种植1a相比，连作3~15a的土壤脲酶活性只增加了13%~20%，且不同连作年限间差异不显著。但随着连作年限的增加，土壤脲酶活性也呈现出先增加后降低的趋势，连作5~8a时达到最高。从整个生育期来看，土壤脲酶活性呈双峰曲线变化，第1个峰值出现在3月份，平均为21.27 mg/g，比定植时平均增加了57%；第2个峰值出现在5月份，平均为14.79 mg/g，比定植时平均增加了9%；4月份最低，平均只有11.85 mg/g，比定植时平均降低了12%；12月、1月、2月份分别增加了8%、18%和40%，6月份降低了12%。

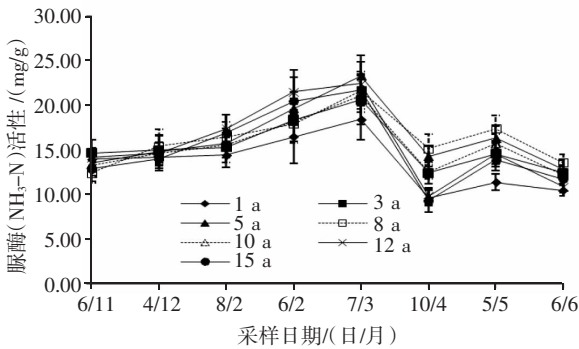


图1 黄瓜连作对土壤脲酶活性的影响

2.2.2 对土壤碱性磷酸酶活性的影响 从图2可看出，黄瓜连作对土壤碱性磷酸酶活性的影响较大，随着连作年限的增加而先增加后降低。连作10a时达到最大，平均为0.405 mg/g，与种植1a相比，增加了45%；连作3、5、8、12、15a时分

别增加了11%、23%、36%、38%和34%，且连作8、12、15a间差异不显著。从整个生育期来看，土壤碱性磷酸酶活性呈单峰曲线变化，但不同连作年限处理峰值出现的时间不同。种植1a和连作3、5年的出现在4月份，连作8a的出现在3月份，连作10、12、15年的均出现在2月份。从不同月份的平均值来看，定植时最低，只有0.233 mg/g；其次是6月份，平均为0.247 mg/g；3月份最高，平均为0.464 mg/g，比定植时平均增加了99%；12、1、2、4、5月份分别增加了26%、58%、96%、83%、44%。

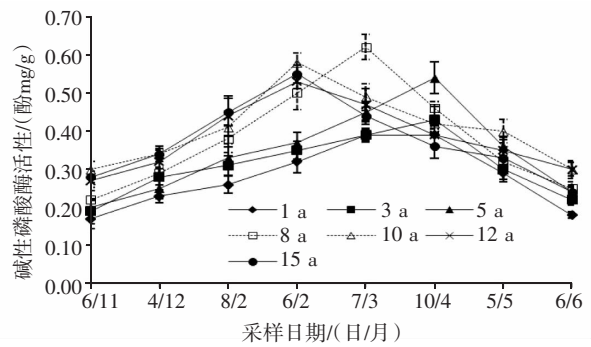


图2 黄瓜连作对土壤碱性磷酸酶活性的影响

2.2.3 对土壤蔗糖酶活性的影响 由图3可知，随着连作年限增加，土壤蔗糖酶活性先增加后降低。连作8a时达到最大，平均为115.57 mg/g，比种植1a增加了95%；连作3、5、10、12、15a分别增加了22%、60%、59%、40%、13%，除连作5a与10a、连作3a与15a之间差异不显著外，其他连作年限间差异均达到显著水平。从整个生育期来看，土壤蔗糖酶活性呈单峰曲线变化，不同连作年限处理峰值都出现在4月份，平均为117.36 mg/g，比定植时平均增加1.3倍；12、1、2、3、4、5、6月份分别增加了32%、58%、80%、105%、78%、30%。

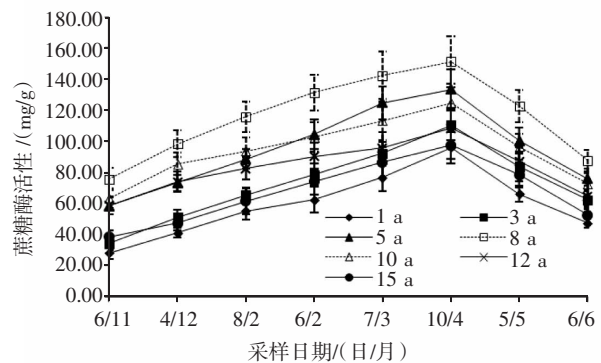


图3 黄瓜连作对土壤蔗糖酶活性的影响

2.2.4 对土壤过氧化氢酶活性的影响 由图4可见,随着连作年限的增加,土壤过氧化氢酶活性呈连续降低的趋势。种植1a的最大,平均为17.92 mL/g;连作15a的最低,平均为7.25 mL/g,降低了60%;连作3、5、8、10、12a则分别降低了7%、19%、31%、44%、52%,不同连作年限间均达到差异显著水平。从整个生育期来看,土壤过氧化氢酶活性也呈单峰曲线变化,种植1a和连作8a的峰值出现在4月份,连作3、5、10、12、15a的均出现在3月份。从不同月份的平均值来看,定植时最低,只有9.02 mL/g;3月份最大,平均为16.72 mL/g,比定植时增加了85%;12、1、2、4、5、6月份分别增加了12%、30%、50%、78%、43%、10%。

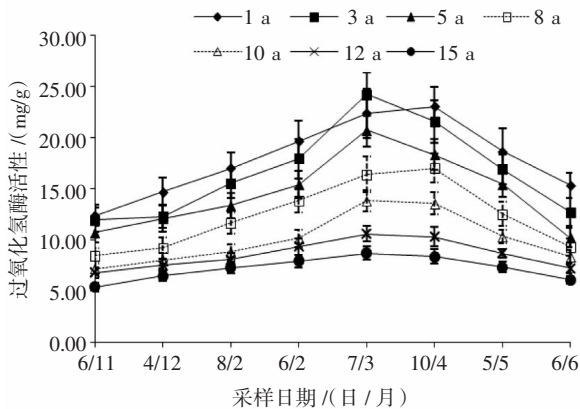


图4 黄瓜连作对土壤过氧化氢酶活性的影响

2.2.5 对土壤多酚氧化酶活性的影响 图5表明,随着连作年限增加,土壤多酚氧化酶活性呈先增加后降低趋势。与种植1a相比,连作10a最大,平均为0.74 mg/g,增加了77%;连作15a最低,平均为0.39 mg/g,降低了7%;连作3、5、8、12a分别增加了13%、31%、55%、48%,不同连作年限间均达到了差异显著水平。从整个生育期来看,土壤多酚氧化酶活性也呈单峰曲线变化,种

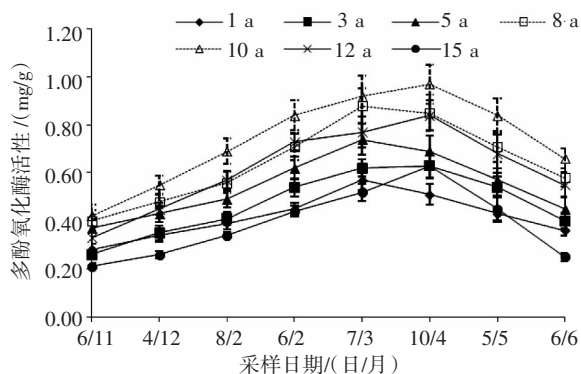


图5 黄瓜连作对土壤多酚氧化酶活性的影响

植1a和连作3、5、8a的峰值出现在3月份,连作10、12、15a的峰值出现在4月份。从不同月份平均值来看,定植时(11月6日)最低,只有0.32 mL/g;4月份达到最大,平均为0.73 mg/g,比定植时(11月6日)增加1.3倍;12、1、2、3、4、5、6月份分别比定植时(11月6日)增加26%、52%、91%、121%、86%、43%。

### 3 小结与讨论

连作年限对土壤微生物群落结构和数量均有影响,细菌数量和放线菌数量均呈先增加后降低的趋势,连作10a时达到最高,随着连作年限的进一步延长又逐渐降低,但真菌数量却持续增加。土壤酶活性表现出与土壤微生物数量相一致的变化规律,脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶和多酚氧化酶活性均呈先增加后降低的趋势,在连作8~10a时达到最大,土壤过氧化氢酶活性呈连续降低的趋势。在黄瓜生长季节内,由于受化肥、农药、灌水、光照、土壤耕作和作物根系等的影响,随着生育期的推移,3种土壤微生物的数量和5种土壤酶的活性均呈先上升后降低的趋势,3—4月份达到最高。

土壤微生物主要参与土壤有机质分解、腐殖质形成、土壤养分转化和循环等过程,是生态系统稳定性和可持续性的保障<sup>[20]</sup>。日光温室栽培条件下,人为的干扰作用加强,在相对密闭又固定的独特环境中,土壤耕作频繁、施肥量大、空气流动性差、有害气体作用强烈,土壤干湿交替不明显,造成在厌气条件下土壤生态结构发生变化,因而对土壤微生物的生长发育产生很大影响,但不同学者的研究结论也有不同。一些学者认为土壤微生物数量随着种植年限的增加而持续增加<sup>[21-23]</sup>,也有学者认为土壤微生物数量随着种植年限的增加先增加后降低<sup>[24-26]</sup>,其原因可能与采样时间、采样深度、采样点肥力水平差异等有关,特别是与所采样品的最高种植年限有关,因为最高种植年限不同,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。此外,不少学者还认为随种植年限增加,土壤微生物的群落结构也会发生变化,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<sup>[21,25,27]</sup>,这可能是由于连作条件下土壤容重增大,透气性降低,不利于耕层细菌繁殖,同时由于大量氮肥投入,

日光温室地表盐分得不到雨水淋洗,导致耕层土壤氮素逐渐积累,渗透压降低,会抑制放线菌生长<sup>[28]</sup>。此外,单一作物连作后,根系分泌产生的毒害物质致使有益真菌减少,而使某些特定的病原真菌得到富集,促使根际土壤微生物区系由高肥的“细菌型”土壤向低肥的“真菌型”土壤转化<sup>[29-30]</sup>。本研究将日光温室最高种植年限设定为15 a,结果表明随着连作年限延长,土壤细菌和放线菌都呈先增加后降低的趋势,且均在连作10 a时达到最高,随着连作年限的进一步延长又逐渐降低。但真菌数量却随着连作年限的延长而一直增加,这与杜连凤、Ge、Shen等人<sup>[25,29-30]</sup>的结论一致。

土壤酶是土壤中最活跃的组分之一,它与微生物一起推动着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,并对土壤肥力的演化产生着非常重要的影响<sup>[31-33]</sup>。国内外许多学者认为,土壤酶活性与土壤质量的很多理化和生物指标相互联系,并受到土壤有机无机复合体保护,具有一定的稳定性,能够比较全面地反映出土壤生物学肥力质量变化,并为土壤生态系统在环境胁迫及人为扰动下的变化提供早期预警<sup>[34-35]</sup>,可作为土壤肥力、土壤质量及土壤健康的重要指标<sup>[36-41]</sup>。日光温室栽培条件下,土壤中的物质转化、养分释放和固定过程与露地完全不同,特别是单一蔬菜品种的连作对土壤酶产生了较大影响。王文锋等<sup>[42]</sup>的研究表明,随着种植年限的延长,多数酶活性呈先增加后降低的趋势;吴凤芝等<sup>[43]</sup>的研究表明,随着连作年限的增加,过氧化氢酶、脲酶和转化酶的活性显著地降低,多酚氧化酶的活性显著升高;张国红等<sup>[21]</sup>的研究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。本研究表明,随着黄瓜连作年限的延长,土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶和多酚氧化酶活性均呈先增加后降低的趋势,在8~10 a时达到最大,过氧化氢酶活性呈连续降低的趋势,这与前人的研究结论基本上是一致的。同时土壤酶活性也表现出与土壤微生物数量相一致的变化规律,这与孟平红等<sup>[44]</sup>的研究结论一致,也进一步证明连作年限过长的土壤生物学活性、熟化程度和肥

力水平变差,有可能是因为连作产生了对土壤生物化学过程有抑制作用的物质。

#### 参考文献:

- [1] 杨思存,霍琳,王成宝,等.兰州市日光温室土壤盐分积累及离子组成变化特征[J].农业环境科学学报,2016,35(8):1541-1549.
- [2] 喻景权,周杰.“十二五”我国设施蔬菜生产和科技进展及其展望[J].中国蔬菜,2016,1(9):18-30.
- [3] 蒋卫杰,邓杰,余宏军.设施园艺发展概况、存在问题与产业发展建议[J].中国农业科学,2015,48(17):3515-3523.
- [4] 陶磊,褚贵新,刘涛,等.有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J].生态学报,2014,34(21):6137-6146.
- [5] 钱海燕,杨滨娟,黄国勤,等.秸秆还田配施化肥及微生物菌剂对水田土壤酶活性和微生物数量的影响[J].生态环境学报,2012,21(3):440-445.
- [6] 刘骅,林英华,张云舒,等.长期施肥对灰漠土生物群落和酶活性的影响[J].生态学报,2008,28(8):3898-3904.
- [7] ZELLES L. Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterisation of microbial communities in soil: A review[J]. Biology and Fertility of Soils, 1999, 29: 11-29.
- [8] 贺纪正,李晶,郑袁明.土壤生态系统微生物多样性-稳定性关系的思考[J].生物多样性,2013,21(4):411-420.
- [9] 林英杰,高芳,张佳蕾,等.不同种植方式对花生土壤微生物生物量及活性的影响[J].应用生态学报,2010,21(9):2323-2328.
- [10] 王书锦,胡江春,张宪武.新世纪中国土壤微生物学的展望[J].微生物学杂志,2002,22(1):36-39.
- [11] 张海燕,肖延华,张旭东,等.土壤微生物量作为土壤肥力指标的探讨[J].土壤通报,2006,37(3):422-425.
- [12] 龚伟,颜晓元,王景燕.长期施肥对土壤肥力的影响[J].土壤,2011,43(3):336-342.
- [13] 周丽霞,丁明懋.土壤微生物学特性对土壤健康的指示作用[J].生物多样性,2007,15(2):162-171.
- [14] 宋蒙亚,李忠佩,吴萌,等.不同种植年限设施菜地土壤微生物量和群落结构的差异[J].中国农业科学,2015,48(18):3635-3644.
- [15] 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.
- [16] 董艳,董坤,郑毅,等.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[J].农业环

- 境科学学报, 2009, 28(3): 527-532.
- [17] SCHUTTER M E, SANDENO J M, DICK R P. Seasonal, soil type, alternative management influences on microbial communities of vegetable cropping systems [J]. *Biology Fertility Soils*, 2001, 34, 397-410.
- [18] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 255-257.
- [19] 关松荫. 土壤酶学研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 260-359.
- [20] KENNYDY A C, SMITH K L. Soil microbial diversity index and the sustainability of agricultural soils [J]. *Plant and Soil*, 1995, 170: 75-86.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] RIETZ D N, HAYBES R J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35: 845-854.
- [24] 王亚男, 曾希柏, 王玉忠, 等. 设施蔬菜种植年限对氮素循环微生物群落结构和丰度的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(4): 1115-1124.
- [25] 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.
- [26] SARDINHA M, MULLER T, SCHMEISKY H, *et al.* Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions[J]. *Applied Soil Ecology*, 2003, 23: 237-244.
- [27] LIN X G, YIN R, ZHANG H Y, *et al.* Changes of soil microbiological properties caused by land use changing from rice-wheat rotation to vegetable cultivation[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2004, 26: 119-128.
- [28] 钟文辉, 蔡祖聪. 土壤管理措施及环境因素对土壤微生物多样性影响研究进展[J]. *生物多样性*, 2004, 12(4): 456-465.
- [29] GE T D, CHEN X J, YUAN H Z, *et al.* Microbial biomass, activity, and community structure in horticultural soils under conventional and organic management strategies[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2013, 58: 122-128.
- [30] SHEN W S, LIN X G, SHI W M, *et al.* Higher rates of nitrogen fertilization decrease soil enzyme activities, microbial functional diversity and nitrification capacity in a Chinese polytunnel greenhouse vegetable land [J]. *Plant and Soil*, 2010, 337: 137-150.
- [31] 万忠梅, 宋长春. 土壤酶活性对生态环境的响应研究进展[J]. *土壤通报*, 2009, 40(4): 951-956.
- [32] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 等. 长期定位施肥田土壤酶活性的动态变化特征[J]. *生态环境*, 2008, 17(5): 2059-2063.
- [33] 张孝存, 郑粉莉, 安 娟, 等. 黑土区坡耕地土壤酶活性与土壤养分关系研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(11): 106-110.
- [34] 唐玉妹, 魏朝富, 颜廷梅, 等. 土壤质量生物学指标研究进展[J]. *土壤*, 2007, 39(2): 157-163.
- [35] 隋跃宇, 焦晓光, 高崇生, 等. 土壤有机质含量与土壤微生物量及土壤酶活性关系的研究[J]. *土壤通报*, 2009, 40(5): 1036-1039.
- [36] AON M A, COLANERI A C. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil[J]. *Applied Soil Ecology*, 2001, 18: 255-270.
- [37] 曹 慧, 孙 辉, 杨 浩, 等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(1): 105-109.
- [38] 邱莉萍, 刘 军, 王益权, 等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(3): 277-280.
- [39] 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: 75-87.
- [40] 陈 军, 王立光, 叶春雷, 等. 栽培模式对甘肃旱区胡麻地土壤酶活性及胡麻产量的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2018(5): 42-46.
- [41] 孙文泰, 马 明, 刘兴禄, 等. 地表覆盖方式对陇东旱塬苹果园根际土壤微生物与酶活性的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2017(12): 64-68.
- [42] 王文锋, 李春花, 黄绍文, 等. 不同施肥模式对设施菜田土壤酶活性的影响[J]. *应用生态学*, 2016, 27(3): 873-882.
- [43] 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.
- [44] 孟平红, 肖厚军, 郭惊涛, 等. 蔬菜高效种植模式对土壤微生物区系和酶活性的影响[J]. *西南农业学报*, 2015, 28(2): 539-542.

(本文责编: 陈 伟)