

## 西瓜连作对土壤主要微生物数量、酶活性及果实品质的影响

张冬明, 郑道君, 曾建华, 吉清妹, 符传良, 谢良商

(海南省农业科学院 农业环境与土壤研究所/农业部海南耕地保育科学观测实验站/

海南省耕地保育重点实验室, 海口 571100)

**摘要:**以“小富”西瓜为试材,在同一地块采用相同管理模式连续种植,测定了连作5茬西瓜土壤中细菌、放线菌和真菌数量和土壤主要酶活性及土壤理化性状。结果表明:随着连作茬数增加,土壤pH逐渐降低,理化性状变化不明显;连作使土壤中细菌、放线菌数量呈现出先增加后下降的趋势,真菌数量变化与之相反;蛋白酶活性、过氧化氢酶活性和脲酶活性均处在一直下降的状态;相关性分析表明,放线菌数量与土壤中蛋白酶活性、过氧化氢酶活性和碱解氮含量呈现较好的正相关关系;连作还会降低西瓜维生素C含量,影响西瓜品质。

**关键词:**西瓜;连作障碍;土壤微生物;酶活性

**中图分类号:**S 651.606<sup>+</sup>.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)04-0155-04

作物连作,因其种植制度和田间管理水平基本相同,为土壤及根际微生物创造了相对稳定的微生态环境,定向影响着土壤及根际微生物的生长发育和繁殖,造成土壤微生物区系变化,根际正常的微生物群落及其结构被打破,微生物种群失衡,微生物多样性水平降低,病原拮抗菌减少<sup>[1-2]</sup>,连作障碍已在黄瓜<sup>[3]</sup>、大豆<sup>[4]</sup>、花生<sup>[5-6]</sup>、人参<sup>[7]</sup>、地黄<sup>[8]</sup>等作物中得

到证实。由于连作后土壤酶活性和微生物活性的降低,抑制了对有害物质的分解,加重了病虫害危害,降低了作物对土壤养分的有效利用。西瓜是一种极易发生连作障碍的作物,主要表现为植株矮小、生长发育缓慢、病害发生严重、产量下降、品质劣变,甚至植株死亡<sup>[9]</sup>,连作障碍问题已严重制约着西瓜产业的健康发展。

海南岛自然条件优越,非常适合发展西瓜种植产业。近年来,受经济效益的驱动,西瓜种植面积的再不断扩大,生产上呈设施化、基地化及专业化发展趋势;然而,耕地资源的稀少不可避免造成了西瓜连作。虽然,目前生产推广应用西瓜嫁接苗在一定程度上缓解了西瓜连作障碍问题,长期使用西瓜嫁接苗不仅增加了生产成本,而且受砧木特性的影响西瓜的品质越发失去竞争性。此外,长期的嫁接苗连作也会引发根结线虫和砧木枯萎病。课题组研究认为,解决西瓜连作的根本方法仍然是基于对连作本身的研究,包括连作对土壤理化性状、土壤微生物

**第一作者简介:**张冬明(1982-),男,江西井冈山人,硕士,助理研究员,现主要从事土壤改良与土壤微生物等研究工作。  
E-mail: dongming\_03@163.com.

**责任作者:**谢良商(1958-),男,海南东方人,硕士,研究员,现主要从事作物营养与高效施肥及土壤改良等研究工作。  
E-mail: Lshxie@163.com.

**基金项目:**海南省自然科学基金资助项目(312082);海南省重大科技专项资助项目(HNGDhs201501);海南省农业科学院农业科技创新专项资助项目(琼农院[2013]32)。

**收稿日期:**2016-09-29

studied. The results showed that, by reducing fertilizer application and increasing biological organic compound fertilizer could significantly improve the lettuce plant height, width, length, fresh weight per plant and the yield of lettuce. And the contents of protein, vitamin C, soluble sugar, amino acid of lettuce stems and leaves increased significantly, the content of nitrate in lettuce stems and leaves significantly reduced.

**Keywords:** chemical fertilizer reduced; bioorganic compound fertilizer; lettuce; yield; quality

数量和种群、土壤主要酶的活性的变化程度和特征以及果实品质方面的内容。课题组拟采用同一地块、同一种植管理水平多茬连续栽种的方法,从上述研究内容入手,发掘西瓜连作障碍的真正原因,针对性提出克服连作障碍的生产措施,旨在为西瓜产业的健康可持续发展提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于海南省农业科学院农业环境与土壤研究所试验大棚,土壤为砖红壤,质地为黏土,土壤 pH 5.41,有机质含量  $14.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,碱解氮、有效磷、速效钾含量分别为 129.90、35.40、177.80  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

### 1.2 试验材料

供试西瓜品种为“小富”(桂审瓜 2011019 号),由寿光先正达种子有限公司选育。全生育期 87~95 d,果实成熟期 30 d 左右,果实长椭圆形,表皮绿色布深绿齿条带,果肉红色,剖面好,肉质松脆,口感好,耐贮藏;全生育期  $667 \text{ m}^2$  用量为纯 N 18 kg、 $\text{P}_2\text{O}_5$  5 kg、 $\text{K}_2\text{O}$  16 kg;供试肥料为尿素(含 N 46.4%,富岛)、钾肥(含  $\text{K}_2\text{O}$  60%,挪威)、磷肥(含  $\text{P}_2\text{O}_5$  16%,广东湛江)。底肥采取撒肥覆土、追肥为水肥,氮磷钾肥的施肥结构为:底肥(氮肥 45%,磷肥 65%,钾肥 30%);蔓期(氮肥 30%,磷肥 100%,钾肥 30%);果肥(氮肥 25%,磷肥 35%,钾肥 75%)。

### 1.3 试验方法

课题组拟采用同一地块、同一种植管理水平多

茬连续栽种的方法,试验小区面积  $60 \text{ m}^2$ ,3 次重复,小区中间用红砖砌墙隔开,栽种期间采用 5 点取样法,分别采集不同茬口不同生育期西瓜根际和非根际 0~20 cm 耕层土壤,将采集土样混匀后,一部分在  $4^\circ\text{C}$  下保存,用于测定微生物种类与数量;一部分风干保存,用于测定土壤理化性状和土壤酶活性。

### 1.4 项目测定

微生物数量测定采用平板稀释计数法<sup>[10]</sup>;土壤酶活性测定参照关松荫<sup>[11]</sup>方法;土壤理化性状测定参照鲍士旦<sup>[12]</sup>的方法;西瓜品质主要测定可溶性总糖(GB/T 6194)、总酸度(GB/T 12456)、可溶性固形物(GB/T 12295)和维生素 C(GB/T 6195)含量。该研究共连作 5 茬,第 5 茬时连作障碍严重已无果实收获,共采集根际土样、非根际土样各 41 份(不计重复样);果实样品 12 份,供测试分析用。

### 1.5 数据分析

数据采用 Excel 2007 和 SAS 9.3 统计软件进行方差分析和多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 连作茬数对土壤理化性质的影响

由表 1 可知,土壤 pH 随着茬数的增加,土壤渐显酸性;而有机质含量在第 2 茬出现了一个高峰值;土壤有效磷含量和速效钾含量的变化规律较一致,均在第 2 茬出现一个峰值,从第 3 茬开始,在土壤中的含量逐渐降低;碱解氮含量的变化不同其它养分,从第 1 茬到第 5 茬逐渐缓慢下降,由于连作过程中补充了化肥,因此,各养分下降幅度并不大。

表 1 连作茬数对土壤基本理化性状的影响

Influences of cropping number on soil basic physical and chemical properties					
连作茬数	pH	有机质含量	碱解氮含量	有效磷含量	速效钾含量
Cropping number		Organic matter content	Alkaline hydrolysis nitrogen content	Available phosphorus content	Available potassium content
		$/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$
种植前	5.41	14.2	129.9	35.4	177.8
第 1 茬	6.09aA	14.2bAB	146.1aA	162.2abAB	98.8bB
第 2 茬	5.98abA	16.3aA	139.4aA	193.3aA	158.3aA
第 3 茬	5.77bcAB	14.6abAB	120.3bAB	169.9aAB	112.9bAB
第 4 茬	5.62cBC	13.3bB	111.3bBC	136.1bcB	104.4bAB
第 5 茬	5.33dC	13.4bB	93.7cC	125.3cB	94.2bB

注:各列不同大写和小写字母分别表示  $P<0.01$  和  $P<0.05$  水平差异显著,下同。

Note: Different capital and lowercase letters in columns mean significant difference at  $P<0.01$  and  $P<0.05$  levels, respectively. The same as below.

### 2.2 西瓜连作对土壤微生物数量及类群分布的影响

由表 2 可见,在第 2 茬连作中,土壤中细菌和放线菌得到了积累,表现出增长的趋势,但是伴随着连作茬数的增加,土壤中细菌数量急剧减少,有益的放

线菌数量也较为稀少,真菌数量有所增加。不同连作茬数的土壤中,微生物总量与组成也呈现较大差异,以连作第 2 次为界限,微生物总量呈现前期增多,后期减少趋势,而同一连作茬数土壤中微生物组成相对数量变化不大,仍以细菌为主。但随着连作

表 2

西瓜连作土壤主要微生物数量的变化

Table 2

Changes of microbe number in watermelon replanting soil

连作茬数	微生物总数	真菌 Fungi		细菌 Bacteria		放线菌 Actinomycete	
Cropping number	Total/( $\times 10^4$ cfu $\cdot$ g $^{-1}$ DW)	/( $\times 10^3$ cfu $\cdot$ g $^{-1}$ DW)	%	/( $\times 10^4$ cfu $\cdot$ g $^{-1}$ DW)	%	/( $\times 10^4$ cfu $\cdot$ g $^{-1}$ DW)	%
种植前	1 813.60	13.3aB	0.20	1 625.40	89.62	184.20	10.16
第1茬	1 828.20bA	21.10aB	0.19	1 682.50abA	92.03	141.50bA	7.74
第2茬	2 139.90aA	40.20	0.22	1 961.80aA	91.68	173.10aA	8.09
第3茬	1 801.60bA	42.40aA	0.23	1 650.70bA	91.62	146.50abA	8.13
第4茬	1 128.30cB	43.80aA	0.24	1 036.90cB	91.90	89.30cB	7.91
第5茬	663.80dC	50.30aA	0.24	611.00dC	92.05	51.50dC	7.76

茬数的增加,真菌在微生物总量中所占比例逐渐增加,由 0.19% 上升到 0.24%,细菌和放线菌的比例呈现出相反的变化趋势。

### 2.3 西瓜连作对土壤主要酶活性的影响

在不同连作茬数土壤中,土壤酶活性也表现出了不同程度的变化(表 3),连作第 2 茬的土壤,表现出了较高的蛋白酶活性,而第 5 茬时,其活性急剧下降到  $\text{NH}_2\text{-N}$  0.36  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ;土壤中过氧化酶活性也表现出了与蛋白酶活性相同的变化趋势,在连作 2 茬时,达到 0.53  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$  的最高水平;随着连作年限增加土壤中脲酶活性逐渐降低。

表 3 表明,蛋白酶活性和过氧化氢酶活性的变化趋势基本一致,总体上呈现出随着种植茬数的增加而逐渐减弱,蛋白酶活性和脲酶活性的峰值出现在第 2 茬,而最低值均出现在第 5 茬,与种植前相比,脲酶活性和蛋白酶活性首先是降低,然后又升高,第 3 茬开始一直降低,而过氧化氢酶活性的变化没有波动起伏,从一开始就一直处于下降的状态。

表 3 西瓜连作对土壤酶活性的影响

Table 3 Influences of watermelon replanting on activities of soil enzymes

连作茬数	蛋白酶活性	过氧化氢酶活性	脲酶活性
Cropping number	Proteases activity	Catalase activity	Urease activity
number	/( $\text{NH}_2\text{-N}$ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	/( $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ )	/( $\text{NH}_3\text{-N}$ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )
种植前	0.62	0.39	0.56
第1茬	0.57bA	0.45bA	0.55aA
第2茬	0.68aA	0.53aA	0.45aAB
第3茬	0.57bA	0.45bA	0.35aAB
第4茬	0.41cB	0.26cB	0.29bBC
第5茬	0.36cB	0.25cB	0.14bC

### 2.4 连作土壤微生物数量与土壤酶活性及土壤理化性状相关性分析

相关分析发现,土壤微生物主要类群数量与土壤蛋白酶、过氧化酶、脲酶活性及理化性状有着极大的关系。由表 4 可知,碱解氮含量对微生物数量影响较大;真菌数量与所有酶均呈显著负相关;细菌数量与土壤酶活性呈显著正相关;真菌与土壤中的速效钾含量养分均呈现一定的正相关,与其余养分含

量呈现负相关,与碱解氮含量负相关程度最大,与有机质含量负相关程度最小;而细菌则与土壤养分均呈现正相关性,与碱解氮含量、土壤有效磷含量达到极显著正相关,与 3 种酶均呈现极显著正相关;放线菌只与土壤中碱解氮含量、蛋白酶活性和过氧化氢酶活性呈现显著正相关,其中相关程度最大的是土壤蛋白酶活性,相关系数达到 0.985。

表 4 连作土壤微生物变化与土壤酶活性剂及土壤理化性状相关性

Table 4 Correlations among microbial strains, activities of enzymes and physical chemical characteristics in replanting soil

	真菌 Fungi	细菌 Bacteria	放线菌 Actinomycetes
蛋白酶活性 Proteases activity	-0.499	0.982 **	0.985 **
过氧化氢酶活性 Catalase activity	-0.525	0.968 **	0.969 **
脲酶活性 Urease activity	-0.512	0.986 **	0.940 *
碱解氮含量 Alkali solution nitrogen content	-0.733	0.957 **	0.975 **
有效磷含量 Available phosphorus content	-0.390	0.965 **	0.719
速效钾含量 Available potassium content	0.046	0.692	0.858
有机质含量 Organic matter content	-0.186	0.841	0.601

### 2.5 连作对西瓜果实品质的影响

从图 1 可看出,随着种植茬数的增加,各品质指标(除可溶性总糖含量外)均表现逐渐下降的趋势,而可溶性总糖含量在第 3 茬的果实中呈现一个峰值;但经 LSD 多重比较发现,总酸度和可溶性总糖含量各茬果实差异均不显著;维生素 C 含量第 1 茬和第 4 茬差异极显著,可溶性固形物含量差异显著,但

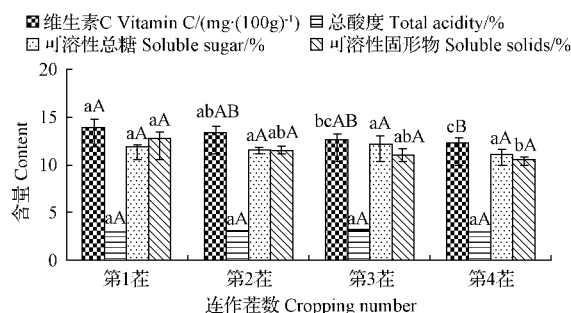


图 1 不同茬口西瓜果实品质

Fig. 1 Quality of watermelon in different cropping number

未达到极显著。

### 3 结论

该研究结果表明,连作对土壤的养分、pH 及有机质含量影响不明显。2 茬以上的连作会导致土壤放线菌数量减少、真菌数量逐渐增加,细菌总量急剧减少,微生物构成仍以细菌为主;但真菌在微生物总量中所占比例呈增加的趋势,细菌和放线菌则表现出相反的趋势。随着连作茬数的增加,土壤酶活性也表现了不同程度的变化规律,蛋白酶活性、过氧化酶、脲酶活性均有不同程度的降低。放线菌与土壤中的酶活性和土壤养分含量呈现较好的正相关性,尤其与蛋白酶活性、过氧化氢酶活性和碱解氮含量达到极显著相关;而真菌则表现出相反的规律,仅仅与土壤速效钾含量有一定的正相关。西瓜果实的品质呈现出逐渐下降的规律,维生素含量是主要原因。

#### 参考文献

[1] 庞欣,张福锁,王敬国. 不同供氮水平对根际微生物量氮及微生物活度的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2000,6(4):476-480.

[2] YANG C H, CROWLEY D E, MENGE J A. 16S rDNA finger printing of rhizosphere bacterial communities associated with healthy and phytophthora infected avocado toots [J]. FEMS Microbiology Ecology, 2000,35(2):129-136.

[3] 吴凤芝,赵凤艳,谷思玉. 保护地黄瓜连作对土壤生物化学性质的影响[J]. 农业系统科学与综合研究,2002,18(1):20-22.

[4] 邹莉,袁晓颖,李玲,等. 连作对大豆根部土壤微生物的影响研究[J]. 微生物学杂志,2005,25(2):27-30.

[5] 徐瑞富,王小龙. 花生连作田土壤微生物群落动态与土壤养分关系研究[J]. 花生学报,2003,32(3):19-24.

[6] 孙秀山,封海胜,万书波,等. 连作花生田主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用[J]. 作物学报,2001,27(5):617-621.

[7] 李世昌. 老参地与土壤微生物生态[J]. 生态学杂志,1984(5):62-65.

[8] 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.

[9] 丁金城,喻衣蓉,居玉铃,等. 西瓜连作障碍及其对策的初步研究[J]. 华北农学报,1989(4):82-87.

[10] 赵斌,何绍江. 微生物学试验[M]. 北京:科学出版社,2002.

[11] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.

[12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社,2000.

## Effects of Continuous Cropping on Microorganism and Enzymes in the Soil and the Quality of Watermelon Fruit

ZHANG Dongming, ZHENG Daojun, ZEN Jianhua, JI Qingmei, FU Chuanliang, XIE Liangshang

(Institute of Agricultural Environment and Soil Research, Hainan Academy of Agricultural Sciences/Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation(Hainan), Ministry of Agriculture/Key Laboratory of Arable Land Conservation of Hainan Province, Haikou, Hainan 571100)

**Abstract:** Taking watermelon of 'Xiaofu' as test material, watermelon of 'Xiaofu' was continuously grown in five croppings on the plot with the same cultivating management to seek the variation appearances of pH, nutrient contents, microorganisms, enzymes activity in the soil, and to explore the quality character of watermelon fruit. The results showed that soil pH gradually decreased with increasing cropping frequency; and the changes of soil organic matter, N, P and K contents were not obvious; the quantities of bacteria and actinomycetes in the soil increased before the third cropping and decreased at the sequent cropping, but an opposite trend was found on fungi; the activities of proteinase, catalase and urease in the soil were in a state of decline during the experimental period; positive correlation was found among the quantities of actinomycetes and the activities of proteinase, catalase, alkali solution N in the soil; vitamin C content of watermelon fruit decreased under continuous corpping condition.

**Keywords:** watermelon; continuous cropping barrier; microorganism; enzymatic activity