

陈美标,谢小林,吴天福,等. 微生物有机肥对香蕉幼苗生长、镉胁迫及枯萎病防治的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(13):149-153.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.13.037

# 微生物有机肥对香蕉幼苗生长、镉胁迫及枯萎病防治的影响

陈美标<sup>1</sup>, 谢小林<sup>1</sup>, 吴天福<sup>1</sup>, 周莲<sup>1</sup>, 姚青<sup>2</sup>, 朱红惠<sup>1</sup>

(1. 广东省微生物研究所/广东省菌种保藏与应用重点实验室/广东省微生物应用新技术公共实验室/广东省科技部共建的华南应用微生物国家重点实验室, 广东广州 510070; 2. 华南农业大学园艺学院, 广东广州 510642)

**摘要:**通过盆栽试验研究施用微生物有机肥对由尖孢镰刀菌引起的香蕉枯萎病防治效果以及在重金属镉(Cd)胁迫下对香蕉生长情况和土壤中微生物群落组成的影响。结果表明:(1)与对照组(CK、CK+ Cd)相比,施用微生物有机肥(BIO、BIO+ Cd)后可显著增加香蕉幼苗根、叶生物量及其总生物量( $P < 0.05$ )。此外,还能显著增加土壤中细菌总数 $35.1 \times 10^7$  CFU/g,降低真菌总数,使香蕉幼苗病情指数由3.8降低到2.8,显著降低了香蕉幼苗枯萎病发病率。(2)Cd胁迫下,施用微生物有机肥能显著降低香蕉幼苗叶片、根中Cd含量,分别降低21.35、41.33 mg/kg( $P < 0.01$ ),香蕉幼苗对Cd的富集系数和转运系数分别为0.291和0.470,均显著低于对照组的0.719和0.507。(3)香蕉幼苗叶片中MDA和POD含量分别为109 nmol/g(FW)和928 U/(g·min)(FW),均大于对照组CK+ Cd植物根系中MDA[82 nmol/g(FW)]和POD含量[176 U/(g·min)(FW)],而根中SOD活性461 U/g(FW)要显著高于CK+ Cd根中SOD活性140 U/g(FW)。总之,施用微生物有机肥可显著促进香蕉幼苗生长、增强其抗逆性,并对香蕉枯萎病有一定的防治效果。

**关键词:**微生物有机肥;尖孢镰刀菌;香蕉枯萎病;重金属;土壤微生物

**中图分类号:** S668.106 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)13-0149-04

香蕉(*Musa nana* Lour.)属芭蕉科芭蕉属植物,是我国南方亚热带地区重要的经济作物,广东省作为中国香蕉主要产区之一,其种植面积和产量均居全国首位<sup>[1]</sup>。随着香蕉种植面积的逐步扩大,各种香蕉病虫害也日益加重,其中对香蕉产业危害最严重的病害就是香蕉枯萎病。香蕉枯萎病别称巴拿马病、黄叶病,是由尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, FOC)侵染而导致香蕉维管束坏死的一种真菌类土传病害<sup>[2]</sup>,其孢子存活率高、致病力强、蔓延速度快<sup>[3]</sup>,发病率一般在30%~50%,重病区可达90%以上<sup>[4]</sup>,一旦发病将对蕉园造成毁灭性的危害。目前,香蕉枯萎病的防治措施主要包括选育抗性品种、化学防治、轮作、生物防治等方法<sup>[5]</sup>,抗病品种选育周期长、品质方面难以突破<sup>[6]</sup>;化学防治造成农药残留、环境污染及病原菌易产生耐药性<sup>[7]</sup>;由于我国蕉田比较分散、灌溉系统不一旦没有合理的轮作作物与机制,轮作模式不能起到很好的防治效果;生物防治具有防与治双重效果且对环境友好,不会引起病原菌产生抗性,对人畜绿色安全<sup>[8]</sup>。

近年来,随着我国经济的快速发展,土壤重金属污染问题越来越严重,尤其是在珠江三角洲地区,农村种植型土壤重金属镉严重超标,超标率超过26.1%<sup>[9]</sup>。镉(Cd)是植物生长的非必需元素,对植物具有很强的毒性,通过抑制植物光合作用和蒸腾作用<sup>[10]</sup>、破坏含硫基蛋白及相关蛋白酶活性引起对植物氧化胁迫<sup>[11-12]</sup>、产生活性氧(activated oxygen species, AOS)使细胞膜系统受损等<sup>[13-14]</sup>,引起植物叶片变黄卷曲、根茎生长缓慢,抑制幼苗正常生长甚至导致植物死亡<sup>[15]</sup>,此外土壤中重金属Cd含量超标会在植物体内富集,也会严重影响农作物品质和危害人类健康。微生物有机肥是一种将生防菌与有机肥混为一体制成药肥两用的新型肥料,既可以补充植物生长所需要的营养物质、增强植物抗病及抗逆性、提高农作物产量与品质,又能减少化肥用量、提高土壤肥力和酶活性、改善土壤结构和有益微生物种群数量<sup>[16-18]</sup>,控制土传病害的发生,显示出了良好的应用和发展前景,符合社会绿色发展要求,备受人们关注。然而,微生物有机肥对镉胁迫下植株体内镉分布及生长情况、枯萎病的防治效果和土壤中微生物群落间的交互作用研究较少。因此,本研究旨在探讨镉胁迫、接种尖孢镰刀菌后,施用微生物有机肥对香蕉幼苗生长、枯萎病防治及土壤微生物群落与香蕉幼苗间交互作用的影响。

## 1 材料与与方法

### 1.1 供试材料

1.1.1 供试土壤 盆栽试验所用土壤取自广东省广州市神岗柑橘园(113°50'E、23°53'N)的沙壤土,经检测,盆栽土壤基础数据如下:有机质含量29.30 g/kg、全氮含量1.16 g/kg、全

收稿日期:2018-12-10

基金项目:广东省省级科技计划(编号2016B090918090、2017A020224022);广东省肇庆市科技计划(编号:2017B010136108);广东省科学院实施创新驱动发展能力建设专项(编号:2018GDASCX-0909)。

作者简介:陈美标(1981—),男,广东汕头人,硕士,工程师,主要从事微生物发酵利用研究。E-mail:12226900@qq.com。

通信作者:朱红惠,博士,研究员,主要从事微生物资源挖掘、保藏及应用。E-mail:zhuhh@gdim.cn。

磷含量 0.16 g/kg、全钾含量 5.42 g/kg、速效氮含量 91.90 mg/kg、速效磷含量 9.33 mg/kg、速效钾含量 33.60 mg/kg, pH 值 3.43。

1.1.2 供试生物有机菌肥 本试验所用的生物有机菌肥是菌菇栽培木屑与家禽羽毛按一定比例(C : N = 30 : 1)混合后,加入复合微生物菌剂经生物发酵堆制腐熟,然后与 GIMN1.004 发酵菌液混合均匀而成,有机质含量  $\geq 60\%$ ,总养分含量 3.56%, pH 值 8.5。菌株 GIMN1.004 是本研究所于广东省大宝山重金属污染土壤中分离出的新种<sup>[19]</sup>。

1.1.3 供试香蕉 盆栽试验所选用的香蕉幼苗为含 4~5 张叶的香蕉幼苗。

1.1.4 尖孢镰刀菌(FOC)菌悬液制备 接种 FOC 到 PDA 培养基中,置于恒温培养箱中 28 °C 培养 7 d,用含 0.2% 吐温 80 无菌水刮洗成熟的 FOC 孢子,用血球计数板调制成  $1 \times 10^6$  CFU/mL 孢子悬液。

## 1.2 试验设计

将土壤经过沙筛筛去根段和沙砾后与草炭土按体积比为 1 : 2 混合均匀后作为栽培用混合土壤,每盆装 4 kg 混合土壤,每个处理设置 3 个重复,每个重复 4 盆平行,每盆种植 2 株香蕉幼苗,所有试验均在广东省微生物研究所大棚中进行,6 种试验盆栽处理见表 1。香蕉盆栽生长 6 个月后(2017 年 4—10 月),采集盆栽土壤和全株香蕉样品进行分析,分别测定植株高度、茎围,茎叶和根系生物量及 Cd 累积量,土壤中总细菌、真菌和放线菌数量;调查香蕉病害指数;分别定量测定根系和叶片中的丙二醛(MDA)含量和过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)活性,并对其进行定量分析;测定香蕉幼苗富集系数(BCF)、生物富集系数(BCA)、分配系数(PC)和转运系数(TC)。

表 1 试验设计

处理	20% 微生物肥有机肥	20% 草炭土	Cd 含量 (mg/kg)
CK	-	+	
CK + FOC	-	+	
CK + Cd	-	+	50
BIO	+	-	
BIO + FOC	+	-	
BIO + Cd	+	-	50

注:表中“+”和“-”分别表示添加和不添加。CK 表示在盆栽土壤剖面中,未施用生物有机肥,但添加了草炭土;CK + FOC 表示在未施用生物有机肥但添加草炭土的盆栽土壤剖面中,30 d 后接种尖孢镰刀菌孢子悬浮液,获得菌浓度为  $10^5$  CFU/g 的土壤;CK + Cd 表示在盆栽土壤剖面中,未施用生物有机肥,但添加了耕层土壤和 50 mg/kg Cd( $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ );BIO 表示在盆栽土壤中添加生物有机肥和未经处理的土壤;BIO + FOC 表示施用生物有机肥的盆栽土壤和添加草炭土的盆栽土壤剖面中,30 d 后接种枯萎病菌孢子悬浮液,获得菌浓度为  $10^5$  CFU/g 的土壤;BIO + Cd 表示在盆栽土壤剖面中,添加生物有机肥和未处理土壤,加 50 mg/kg Cd( $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ )。下表同。

## 1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤微生物数量测定 土壤微生物数量采用稀释涂布平板法测定。土壤中细菌、真菌和放线菌分别采用 LB 培养基、孟加拉红培养基和高氏培养基。采样深度为 5~

15 cm。

1.3.2 香蕉植株各生理指标测定 香蕉生长 6 个月后分别测定香蕉植株干质量、株高、茎围。香蕉植株干质量具体测定方法:香蕉植株收获后地上部和根系分别剪开,用双重水冲洗干净后置于 105 °C 烘箱中杀青 15 min,再置于 70 °C 烘箱中烘至恒质量,分别称质量;株高以从基部到生长点为准。

1.3.3 病情调查 病情分级参照张志红等的方法<sup>[16]</sup>,病情指数和防病效果具体公式如下:

$$\text{病情指数} = \left[ \frac{\sum (\text{各级病株数} \times \text{该级级数总株数})}{\text{总株数} \times \text{最高级级数值}} \right] \times 100\%$$

$$\text{防病效果} = \left[ \frac{\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}}{\text{对照病情指数}} \right] \times 100\%$$

1.3.4 重金属 Cd 含量测定 采用硝酸-高氯酸联合消煮,原子吸收分光光度法测定植株中 Cd 含量,具体如下:

$$\text{富集系数(BCF)} = \frac{\text{植株中重金属含量}}{\text{土壤中重金属含量}}$$

$$\text{生物富集量(BCA)} = \text{植株中重金属元素质量分数} \times \text{植株生物量}$$

$$\text{分配系数(PC)} = \frac{\text{植株某器官重金属元素的富集量}}{\text{植株重金属元素总富集量}}$$

$$\text{转运系数(TC)} = \frac{\text{地上部重金属含量}}{\text{地下部重金属含量}}$$

1.3.5 香蕉幼苗中相关物质的测定 MDA 含量的测定参照 Sudhakar 等的硫代巴比妥酸法<sup>[20]</sup>;POD 活性的测定采用 Kraus 等的方法<sup>[21]</sup>;SOD 活性的测定参照李合生的方法<sup>[22]</sup>。

## 1.4 统计与分析

利用 SPSS 17.0 进行统计分析,通过方差分析(ANOVA)和新复极差法(Duncan's)检验处理间差异的显著性水平,用 Origin 8.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 对香蕉幼苗生长和病害指数的影响

由表 2 可看出,不同施肥处理对植物生长和病害指数有不同程度的影响。与 CK 相比,施用 BIO 后可显著促进香蕉幼苗生长,增加香蕉幼苗总生物量;与 CK + Cd 相比,施用 BIO + Cd 后可显著促进香蕉幼苗生长,增加香蕉幼苗地上部生物量及其总生物量。此外,2 组不同处理组间相比,香蕉枯萎病发病率均有显著下降,其中 BIO 处理组病害指数最低 2.8;镉胁迫下香蕉枯萎病病害指数均有所偏高,但 BIO + Cd 组病害指数 4.0 要显著低于 CK + Cd 组病害指数 4.7;与 CK + FOC 相比,BIO + FOC 组可显著促进香蕉幼苗生长(株高 44.45 cm)和总生物量增加(2 株香蕉苗干质量 103.96 g)。表明施用微生物有机肥不仅能有效抑制尖孢镰刀菌引发的枯萎病病害,而且能显著促进香蕉幼苗生长和总生物量增加。

### 2.2 土壤微生物种群数量的影响

由图 1 中可看出,6 个月盆栽试验后,与 CK、CK + Cd 组相比,经 BIO + Cd、BIO 处理后香蕉幼苗根际土壤中细菌总数显著增加,其中 BIO 组细菌总数最高( $35.1 \times 10^7$  CFU/g),但 BIO + FOC 组和 CK + FOC 组相比土壤中细菌总数减少,可能是接种后 FOC 菌群占主导优势而抑制了其他细菌的生长;施用微生物有机肥的处理(BIO + FOC、BIO + Cd、BIO)与其他各

表2 微生物有机肥、Cd胁迫和镰刀菌枯萎病对香蕉幼苗生长参数及病害指数的影响

处理	生物量(g)			株高(cm)	茎围(mm)	病情指数(%)
	地上部分	根系	全株			
CK	79.16a	23.04bc	102.19b	32.64b	29.71c	3.8b
CK + FOC	62.94b	16.33d	79.27c	31.89b	28.37c	4.8a
CK + Cd	52.42b	20.74cd	73.17c	31.65b	29.55c	4.7a
BIO + FOC	79.79a	24.17abc	103.96b	44.45a	37.23ab	4.5a
BIO + Cd	81.89a	27.51ab	109.40ab	48.06a	36.61ab	4.0b
BIO	93.35a	29.85a	123.20a	48.64a	39.54a	2.8c

注:表中干质量指的是2株香蕉苗的干质量。同列数据后有不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

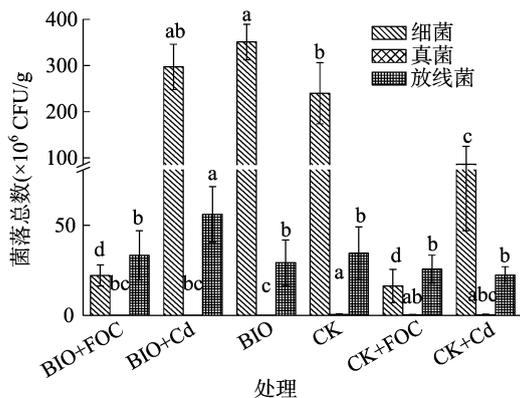


图1 不同处理对土壤细菌、真菌和放线菌总数的影响

处理相比,土壤中真菌总数均有不同程度的降低,特别是BIO处理组,真菌总量仅为 $9.1 \times 10^5$  CFU/g;BIO + Cd处理组与对

照组相比放线菌总数最高 $56.0 \times 10^6$  CFU/g,而其他处理组间放线菌总数变化均不显著。结果表明,施用微生物有机肥可显著增加土壤中细菌数量,降低真菌数量;尖孢镰刀菌能显著影响土壤中细菌菌群数量,降低有益菌群数量。

### 2.3 香蕉幼苗生长的影响

从表3可看出,与CK + Cd相比,经BIO + Cd处理后的香蕉幼苗植株中Cd含量显著下降,远远低于未使用微生物有机肥处理香蕉幼苗植株的Cd含量。BIO + Cd处理后,香蕉幼苗叶片和根Cd含量分别为14.575、31.233 mg/kg,分别极显著低于CK + Cd处理组( $P < 0.01$ );此外,BIO + Cd处理中香蕉幼苗对Cd的富集系数(BCF)和转运系数(TC)分别为0.291和0.470,均显著低于对照组的0.719和0.507。以上结果说明香蕉幼苗在Cd胁迫下,施用微生物有机肥后可显著提升香蕉幼苗的抗逆性,抑制 $Cd^{2+}$ 向地上部分运输,减少重金属Cd在植株枝叶部分的积累。

表3 微生物有机肥、Cd胁迫对香蕉幼苗Cd含量、BCF、BCA、PC和TC的影响

处理	Cd含量(mg/kg)		BCF	BCA(mg)	PC		TC
	叶片	根系			叶片	根系	
CK + Cd	35.928	72.562	0.719	3.390	0.558	0.442	0.507
BIO + Cd	14.575**	31.233**	0.291*	2.048*	0.582	0.418	0.470

注: \*、\*\* 分别表示差异显著、极显著。

### 2.4 对香蕉幼苗中MDA含量、POD和SOD活性的影响

如图2所示,接种尖孢镰刀菌6个月后,香蕉幼苗叶片、根系中MDA含量最高,分别为163.103 nmol/g(FW),说明尖孢镰刀菌能严重损伤香蕉幼苗的膜系统。POD、SOD活性对香蕉幼苗的影响与MDA含量相似。Cd胁迫下,香蕉幼苗叶片中MDA含量和POD活性分别为109 nmol/g(FW)和928 U/(g·min)(FW),均大于对照CK + Cd植物根系中MDA含量和POD活性[82 nmol/g(FW)和176 U/(g·min)(FW)]。BIO + Cd根中SOD含量为461 U/g(FW)要显著高于CK + Cd根中SOD活性[140 U/g(FW)],香蕉幼苗叶中SOD含量则相反。以上结果表明,Cd胁迫下施用微生物有机肥可明显提高香蕉幼苗叶片中POD活性、根系中SOD含量以及香蕉幼苗的抗逆性。

## 3 讨论与结论

香蕉枯萎病是一种对香蕉产业造成巨大危害的土传病害,此种病害在世界各地蕉园中有进一步蔓延的趋势。目前,香蕉枯萎病的防治主要利用化学法,此种方法虽然见效快,但长期大量使用易使病原菌产生耐药性且对自然环境和人畜等

有毒害,现人们多采用将生防菌与有机肥料混合制成新型药肥已达到防治病害的目的。

微生物有机肥不仅发挥着肥料的作用,为植物提供生长所需要的营养成分,还可在不同程度上提高土壤酶活性<sup>[23]</sup>,提高土壤肥力,促进植物对营养物质的高效吸收,增强植物抗逆性。本研究结果表明,盆栽试验条件下,施用微生物有机肥可明显增加植株总生物量、促进香蕉幼苗快速生长。此外,施用微生物有机肥还可以调节根际土壤中微生物群落数量,降低香蕉枯萎病发病率。有关研究表明,细菌和放线菌菌群数量的增加会对尖孢镰刀菌产生抑制作用<sup>[5]</sup>;丁文娟等研究表明,香蕉枯萎病病情指数与土壤中细菌、放线菌数量呈显著负相关,与真菌数量呈显著正相关<sup>[23]</sup>。本试验中,与CK相比,处理BIO香蕉幼苗根际土壤中细菌总数显著增加,真菌总数明显降低,而且BIO处理的病害指数(2.8)远低于对照处理(3.8),这也与以上研究结果相一致。本研究结果还表明,经BIO + Cd处理后的香蕉幼苗植株中Cd含量远远低于CK + Cd处理的香蕉幼苗中的Cd含量。薛高尚等研究表明,微生物有机肥可改变土壤中微生物群落,如土壤中细菌、藻类等对重金属具有解毒作用<sup>[24]</sup>;蔡信德等也表明,土壤中有益微生物

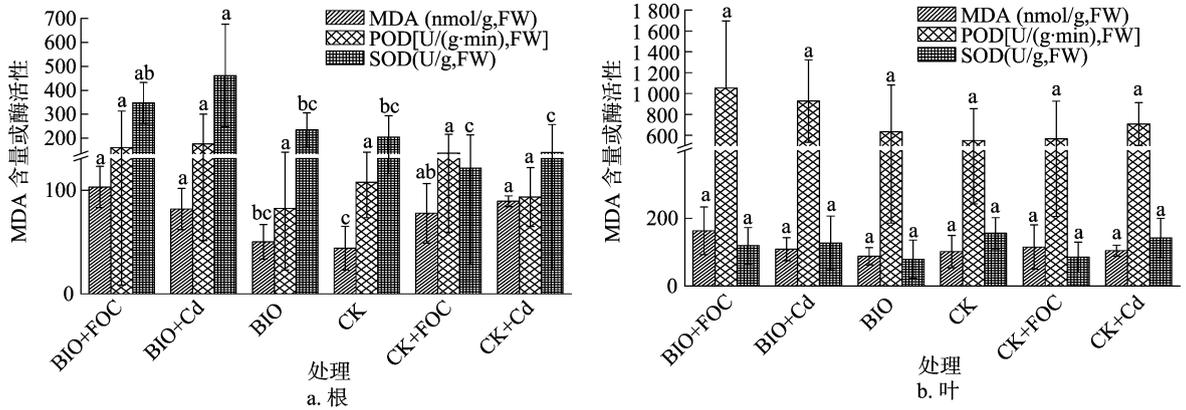


图2 不同处理对香蕉幼苗根和叶中MDA含量、POD活性和SOD活性的影响

物及有机质对重金属有吸收作用和吸附作用<sup>[25]</sup>,微生物代谢分泌物也可将离子态的重金属转变成金属-有机物结合态,降低重金属对土壤的毒性<sup>[26]</sup>。还有研究表明,某些细菌分泌出的有机酸能与多种金属离子如 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{pb}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$ 等重金属形成络合物,从而降低土壤中 $\text{Cd}^{2+}$ 含量<sup>[27-28]</sup>。本研究BIO+Cd和CK+Cd处理的香蕉幼苗叶Cd含量均小于根Cd含量,但CK+Cd叶片中Cd含量仍显著高于BIO+Cd叶片中Cd含量,可能由于植物自身的防御系统起作用,当重金属浓度低于最大耐受限度时,植物根系内的转运蛋白可将已进入细胞中的 $\text{Cd}^{2+}$ 排出体外<sup>[25]</sup>及植物中的凯氏带也可起到屏障作用,阻止重金属向地上部分运输,使大部分 $\text{Cd}^{2+}$ 保留在植物根部<sup>[29]</sup>。施用微生物有机肥后可显著提高植物根系中相关酶活性及植物抗逆性,将绝大部分 $\text{Cd}^{2+}$ 排出体外,减少 $\text{Cd}^{2+}$ 对植株的毒害作用。细胞质膜是细胞与外界环境进行信息交流、物质交换、能量传递的界面及与外界环境相隔离的屏障,本研究结果表明,接种尖孢镰刀菌后,香蕉幼苗叶片和根系中MDA含量显著升高,破坏了香蕉幼苗的脂质过氧化系统,可能是由于 $\text{Cd}^{2+}$ 胁迫下自由基的积累导致MDA含量增加;与CK+Cd相比,Cd胁迫下施用微生物有机肥后可显著增加香蕉幼苗POD和SOD活性,提高根系膜系统稳定性,从而将 $\text{Cd}^{2+}$ 阻留在土壤或植物根系中,减少 $\text{Cd}^{2+}$ 向地上部分运输。

综上所述,施用微生物有机肥不仅可明显增加总生物量、促进香蕉幼苗的生长,还能有效抑制由尖孢镰刀菌引发的香蕉枯萎病。施用微生物有机肥后可显著增加土壤中细菌和放线菌数量,减少真菌数量,而接种尖孢镰刀菌后与土壤有益菌数量变化呈显著负相关性,增加了枯萎病的发病率。此外,Cd胁迫下,施用微生物有机肥后可显著增强香蕉幼苗的抗逆性,将绝大部分 $\text{Cd}^{2+}$ 排出植物体外或阻留在植物根系内,抑制 $\text{Cd}^{2+}$ 向地上部分运输,减少重金属Cd在植株枝叶部分的积累,减轻重金属对植物正常生长的毒害作用,提高香蕉品质与产量。

#### 参考文献:

- [1] 吴雪珍,周灿芳,万忠,等. 2010年广东香蕉产业发展现状分析[J]. 广东农业科学,2011,38(5):18-20.
- [2] Pegg K G, Moore N Y, Bentley S. *Fusarium wilt* of banana in Australia;a review [J]. Journal of Agricultural Research, 1996, 47(5):637-650.
- [3] 刘绍钦,梁张慧,黄焯辉. 香蕉枯萎病的防治策略[J]. 广西农业科学,2006,37(6):686-687.
- [4] 周登博,井涛,谭昕,等. 施用拮抗菌饼肥发酵液和土壤消毒剂对香蕉枯萎病区土壤细菌群落的影响[J]. 微生物学报,2013,53(8):842-851.
- [5] 李进,张立丹,刘芳,等. 碱性肥料对香蕉枯萎病发生及土壤微生物群落的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(2):429-436.
- [6] 张茂星,张明超,陈鹏,等. 硝、铵营养对香蕉生长及其枯萎病发生的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(5):1241-1247.
- [7] 林兰稳,奚伟鹏,黄赛花. 香蕉镰刀菌枯萎病防治药剂的筛选[J]. 生态环境,2003,12(2):182-183.
- [8] Tennant P F, Gonsalves C, Linget K S, et al. Differential protection against papaya ringspot virus isolates in coat protein gene transgenic papaya and classically cross-protected papaya[J]. Phytopathology, 1994,84(11):1359-1366.
- [9] 罗小玲,郭庆荣,谢志宜,等. 珠江三角洲地区典型农村土壤重金属污染现状分析[J]. 生态环境学报,2014(3):485-489.
- [10] Das P, Samantaray S, Rout G R. Studies on cadmium toxicity in plants: a review [J]. Environmental Pollution, 1997, 98(1):29-36.
- [11] 张军,束文圣. 植物对重金属镉的耐受机制[J]. 植物生理与分子生物学报,2006,32(1):1-8.
- [12] Stohs S J, Bagchi D. Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions[J]. Free Radical Biology and Medicine,1995,18(2):321-336.
- [13] Liao V H, Jie D, Freedman J H. Molecular characterization of a novel, cadmium-inducible gene from the nematode *Caenorhabditis elegans*—a new gene that contributes to the resistance to cadmium toxicity[J]. Journal of Biological Chemistry, 2002, 277(44):42049-42059.
- [14] Heiss S, Wachter A, Bogs J, et al. Phytochelatin synthase (PCS) protein is induced in *Brassica juncea* leaves after prolonged Cd exposure[J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54(389):1833-1839.
- [15] 李洋,于丽杰,金晓霞. 植物重金属胁迫耐受机制[J]. 中国生物工程杂志,2015,35(9):94-104.
- [16] 张志红,李华兴,韦翔华,等. 生物肥料对香蕉枯萎病及土壤微生物的影响[J]. 生态环境,2008,17(6):2421-2425.
- [17] 范洁群,褚长彬,吴淑杭,等. 不同微生物菌肥对桃园土壤微生物活性和果实品质的影响[J]. 上海农业学报,2013,29(1):51-54.

董 静,魏福友,邢锦城,等. 马齿苋幼苗对盐碱胁迫的生理响应[J]. 江苏农业科学,2019,47(13):153-157.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.13.038

# 马齿苋幼苗对盐碱胁迫的生理响应

董 静<sup>1</sup>,魏福友<sup>2</sup>,邢锦城<sup>1</sup>,刘 冲<sup>1</sup>,朱小梅<sup>1</sup>,赵宝泉<sup>1</sup>,温祝桂<sup>1</sup>,洪立洲<sup>1</sup>

(1. 江苏沿海地区农业科学研究所,江苏盐城 224002; 2. 盐城市新洋农业试验站,江苏盐城 224002)

**摘要:**分别将2种中性盐(NaCl:Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>摩尔比为9:1)和2种碱性盐(NaHCO<sub>3</sub>:Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>摩尔比为9:1)混合模拟不同强度的盐、碱胁迫条件,对马齿苋进行胁迫处理,研究盐、碱胁迫对马齿苋幼苗叶片水分含量、活性氧代谢、渗透调节物质积累以及离子平衡的影响。结果表明:(1)马齿苋幼苗叶片含水量随着2种盐浓度增大呈下降趋势,其中在碱性盐胁迫下叶片含水量明显低于中性盐胁迫。(2)2种盐胁迫下,O<sub>2</sub><sup>-</sup>产生速率及MDA含量一直持续升高,但碱性盐胁迫下O<sub>2</sub><sup>-</sup>产生速率与MDA含量与上升幅度均高于同等浓度的中性盐胁迫。随着盐浓度的增加,除了50 mmol/L碱性盐胁迫下叶片中CAT活性下降外,其余处理组中SOD、POD、CAT活性均呈现出先升高后降低趋势。在高浓度碱性盐胁迫条件下,这3种酶活性的变化幅度都明显高于中性盐胁迫。(3)碱性盐胁迫下,除可溶性蛋白外,脯氨酸、可溶性糖含量与对照相比均有不同程度的增加,且均高于相同浓度的中性盐胁迫。(4)随着盐、碱胁迫浓度的增加均造成马齿苋叶片中Na<sup>+</sup>含量显著增加,而K<sup>+</sup>含量和K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>比值则持续降低。与中性盐胁迫相比,碱性盐胁迫下的马齿苋叶片积累了更多的Na<sup>+</sup>。该研究结果表明在相同浓度胁迫下,尤其是高浓度胁迫下,碱性盐胁迫对马齿苋造成的伤害比中性盐胁迫大。

**关键词:**马齿苋;盐碱胁迫;活性氧代谢;离子平衡;渗透调节物质

**中图分类号:** Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)13-0153-05

全世界超过20%的农业灌溉土壤正受到盐害的影响,预计到2050年,一半以上的耕地会发生盐碱化<sup>[1]</sup>。据不完全统计,我国盐碱土面积约为1.0×10<sup>8</sup> hm<sup>2</sup>,占世界盐碱地的

10%<sup>[2]</sup>。盐碱土和土壤次生盐碱化问题严重制约着农业生产和生态环境的发展<sup>[3]</sup>。因此筛选和培育耐盐碱性强的作物品种并直接种植于盐碱地,对现代农业的发展及生态环境的改善具有重要意义<sup>[4]</sup>,已成为现阶段开发利用盐碱地最为经济有效的途径。

收稿日期:2018-03-21

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(15)1005];江苏省自然科学基金(编号:BK20151301)。

作者简介:董 静(1988—),女,江苏盐城人,硕士,助理研究员,主要从事植物逆境生理方面的研究。E-mail:dongjingyc@163.com。

通信作者:洪立洲,硕士,研究员,主要从事土壤肥料与盐土农业工程研究。E-mail:yehonglz@163.com。

马齿苋(*Portula caoleracea* L.)为马齿苋科马齿苋属一年生肉质草本植物,其茎叶营养丰富,是我国卫生部认定的药食同源植物之一,广泛分布于沿海滩涂地区。目前,有关马齿苋盐胁迫下的生理响应研究报道较多,包括盐胁迫下马齿苋生长指标及叶片光合作用变化的研究,以及盐离子在幼苗体内

[18] 吴江利,罗学刚,李宝强,等. 微生物菌肥作用下荒漠土壤微生物群落结构和功能研究[J]. 中国农学通报,2015,31(9):216-223.

[19] Zhu H H, Guo J H, Chen M B, et al. *Burkholderia dabaoshanensis* sp. nov., a heavy-metal-tolerant bacteria isolated from Dabaoshan mining area soil in China [J]. PLoS One, 2012, 7(12):e50225.

[20] Sudhakar C, Lakshmi A, Giridarakumar S. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity[J]. Plant Science, 2001, 161(3):613-619.

[21] Kraus T E, Fletcher R A. Paclobutrazol protects wheat seedlings from heat and paraquat injury is detoxification of active oxygen involved[J]. Plant and Cell Physiology, 1994, 35(1):45-52.

[22] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:164-165.

[23] 丁文娟,曹 群,赵兰凤,等. 生物有机肥施用期对香蕉枯萎病

及土壤微生物的影响[J]. 农业环境科学学报,2014,33(8):1575-1582.

[24] 薛高尚,胡丽娟,田 云,等. 微生物修复技术在重金属污染治理中的研究进展[J]. 中国农学通报,2012,28(11):266-271.

[25] 韩 旭,丁国华. 植物对重金属的耐受性和吸收·转运特性的研究进展[J]. 安徽农业科学,2016,44(4):106-109.

[26] 蔡信德,仇荣亮,陈桂珠. 微生物在镍污染土壤修复中的作用[J]. 云南地理环境研究,2005,17(3):9-12,17.

[27] Ulla A J, Patrick A H, Ulla S L, et al. Organic acids produced by mycorrhizal *Pinus sylvestris* exposed to elevated aluminium and heavy metal concentrations [J]. New Phytologist, 2000, 146(3):557-567.

[28] David L J. Organic acids in the rhizosphere—a critical review[J]. Plant and Soil, 1998, 205(1):25-44.

[29] Allassimone J, Roppolo D, Geldner N, et al. The endodermis - development and differentiation of the plant's inner skin[J]. Protoplasma, 2012, 249(3):433-443.