

任旭琴,陈伯清,彭 莉,等. 凹土和有益微生物菌液对淮安红椒连作土壤养分和酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(10):491-494.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.141

# 凹土和有益微生物菌液对淮安红椒连作土壤养分和酶活性的影响

任旭琴<sup>1,2</sup>, 陈伯清<sup>1,2</sup>, 彭 莉<sup>1</sup>, 朱园园<sup>1</sup>, 杨万里<sup>1</sup>, 谭 斌<sup>1</sup>

(1. 淮阴工学院, 江苏淮安 223003; 2. 江苏省凹土资源利用重点实验室, 江苏淮安 223003)

**摘要:**在分析淮安红椒连作 10 年大棚土壤养分含量和土壤酶活性变化基础上,研究了早春和秋延迟红椒施用有益微生物菌液、凹土 + 有益微生物菌液后连作土壤中有有机质、有效养分和酶活性的变化。结果表明,与露地相比,红椒连作土壤中的有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量显著升高,脲酶、蔗糖酶、蛋白酶活性显著降低,过氧化氢酶活性显著升高;有益微生物菌液能够显著促进红椒对土壤有机质和有效养分的吸收和利用,降低土壤中有有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量,能够显著改善根际土壤微生态,提高土壤脲酶、蔗糖酶、蛋白酶活性,降低过氧化氢酶活性;凹土和有益微生物能够进一步促进土壤养分的吸收利用,降低连作土壤有机质和有效养分含量,使土壤酶活性更接近露地水平。

**关键词:**有益微生物;凹土;连作;土壤养分;土壤酶;酶活性;淮安红椒;连作障碍;土壤生态修复

**中图分类号:**S344.4;S641.304;X171.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)10-0491-03

淮安是江苏省的辣椒主产区,淮安红椒在全国鲜红椒市场有着举足轻重的地位,可以影响全国各个地区鲜红椒市场的行情。“淮安红椒”已成为国家地理标志证明商标。由于长期周年生产,淮安红椒种植出现了严重的连作障碍现象,对红椒产业发展产生了严重影响。凹土是一种具有优良吸附性能和胶体性能的天然富镁铝硅酸盐黏土矿物,是搭载微生物的友好载体,还能吸附土壤中的营养元素,增加土壤团粒结构,保持并调节土壤肥力,调节 pH 值,促进植物生长,被广泛应用于环境保护、肥料控释技术及土壤改良等方面<sup>[1-2]</sup>。微生物菌剂是一类能共生的、有互补作用的、人工培植的微生物菌群经混合后制成的活性物质,它含有大量的有益活菌物质及多种天然发酵活性物质,能够在根区土壤繁殖形成有利于作物生长的微生物优势菌群,来调节根际营养环境,制造和协助作物吸收营养,改善和恢复土壤微生态平衡<sup>[3]</sup>。利用微生物进行土壤生态修复,改变土壤微生物种群结构,重建土壤微生物系统动态平衡,已成为克服土壤连作障碍的重要手段。目前尚未见到凹土和益生菌在防治辣椒连作障碍上的应用。本研究在分析淮安红椒连作土壤养分和酶活性基础上,研究了凹土和有益微生物菌液对淮安红椒连作土壤中有有机质、有效养分和土壤酶活性的影响,希望为缓解淮安红椒连作障碍提供技术支持和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

红椒品种为中华红巨椒,穴盘苗购自淮安市蔬菜研究所;

凹土原土采自江苏省盱眙白虎山,由江苏省凹土资源利用重点实验室提供,经研磨并筛分至 1 mm 以下;有益微生物菌液为光合菌、乳酸菌、酵母菌为主体的多种有益微生物复合制剂,微生物含量为 200 亿/mL,购自康源绿洲生物科技(北京)有限公司;有机肥购自淮安柴米河农业科技发展有限公司;复合肥购自江苏省淮安市蔬菜研究所,含 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 均为 15%。

### 1.2 试验设计

本试验在江苏省淮安市清浦区淮安红椒示范基地进行,供试土壤为连作 10 年的塑料大棚,连作障碍严重。

于 2013 年 8 月至 2014 年 7 月在相同地块分别种植秋延后和春提早两茬红椒,每 667 m<sup>2</sup> 施入有机肥 1 500 kg,复合肥 50 kg,定植 6~7 叶期辣椒幼苗,株行距 40 cm×50 cm。结合整地做畦进行土壤施肥处理,具体包括 L0(有机肥):以大棚土壤施有机肥为连作土壤对照;L1(有机肥+有益微生物菌液):将有益微生物菌液与有机肥拌匀,比例为 1 mL:1 kg,保持有机肥含水量 60%~75%,堆放 20 d,施入大棚土壤;L2(有机肥+有益微生物菌液+凹土):将有益微生物菌液与有机肥拌匀,比例为 1 mL:1 kg,再按 750 kg/hm<sup>2</sup> 拌入凹土,混匀,保持有机肥含水量 60%~75%,堆放 20 d,施入大棚土壤;CK(对照):以相邻露地施有机肥为非连作土壤对照。每处理 120 株,3 次重复。秋延后和春提早辣椒大棚常规管理。

2014 年 7 月 10 日左右,采集根围 0~20 cm 土样,风干后捣碎过筛,测定土壤养分指标,同时挖取生长完好、有代表性的辣椒植株,取其根际土壤(根系抖落的土壤),用于测定土壤酶活性。

### 1.3 测定项目及方法

土壤有机质含量测定采用重铬酸钾-外加热法<sup>[4]</sup>;碱解氮含量测定采用碱解扩散法<sup>[4]</sup>;速效磷含量测定采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法<sup>[4]</sup>;速效钾含量测定采用醋酸铵浸提-火焰光度法<sup>[4]</sup>;土壤脲酶含量测定采用靛酚比色法<sup>[5]</sup>;

收稿日期:2015-08-10

基金项目:江苏省科技支撑计划(编号:BE2013376);江苏省大学生实践创新计划(编号:201511049057X,201511049015Z)。

作者简介:任旭琴(1973—),女,山西高平人,博士,副教授,从事园艺植物环境与营养生理研究。E-mail:824332973@qq.com。

蔗糖酶含量测定采用二硝基水杨酸比色法<sup>[6]</sup>;蛋白酶活性测定采用茚三酮比色法<sup>[7]</sup>;过氧化氢酶活性测定采用高锰酸钾滴定法<sup>[5]</sup>。

2 结果与分析

2.1 凹土和有益微生物菌液对淮安红椒连作土壤有机质含量的影响

随着红椒种植年限增加,连作障碍加重,椒农开始有意识地通过增施有机肥来改良土壤,导致近几年大棚土壤有机肥投入量较大,但是大棚密闭特殊环境不能使有机质充分分解利用,大棚土壤中有机质显著升高,较露地相比,有机质含量增高 72.45% (表 1)。有益微生物菌液和有机肥拌匀堆放,有利于微生物繁殖增殖,施入连作土壤后有益微生物与原土壤中的有害微生物产生竞争,能够改变土壤中微生物种群结构和数量,丰富微生物多样性,对土壤微生态有明显改善,导致连作土壤的有机质含量显著下降,有机质被分解利用率提高,与 L0 相比,有机质下降 22.6% (表 1)。凹土是微生物良好的载体介质,对有机肥中的养分和微量元素有良好的吸附性能,从表 1 可以看出,加入凹土后,土壤中有机质含量降低幅度更大,较 L1 下降 13.82%,说明凹土和益生菌互作能更好地促进有机质的吸收利用。

2.2 凹土和有益微生物菌液对淮安红椒连作土壤有效养分含量的影响

从表 1 可以看出,红椒连作能够造成大棚土壤中碱解氮、速效磷、速效钾含量显著增加,与露地相比,速效磷富集最严重,增加幅度达到 121.9%,这与磷肥施用量大和当季利用率低有关。研究认为,磷肥只有 10% ~ 25% 能被当季作物吸收利用,加上多年种植蔬菜和连年施用有机肥与磷素化肥,磷素就在土壤中迅速积累起来了<sup>[7]</sup>。多年连作中化肥施用量大,施肥种类单一,加上设施内不受雨淋,也造成了氮肥和钾肥在耕层中富集,造成土壤盐渍化严重。用有益微生物菌液连续处理两茬辣椒后,连作土壤中的碱解氮、速效磷和速效钾含量

显著下降。与 L0 相比,L1 的碱解氮含量下降 25.9%;添加凹土和有益微生物能够使碱解氮含量进一步降低,L2 的碱解氮较 L0 下降 33.8%,接近露地(CK)水平。凹土和有益微生物对速效磷的分解利用也有显著影响,从表 1 可以看出,虽然 L1 和 L2 的速效磷含量仍显著高于 CK,但 2 个处理都能够使大棚土壤的速效磷含量显著下降,与 L0 相比,速效磷含量分别下降 12.8% 和 16.3%。速效钾表现出相似的变化规律,经过有益微生物菌液处理后,大棚土壤中速效钾含量显著下降,凹土和有益微生物互作进一步使速效钾含量下降,但二者的速效钾含量仍均显著高于露地。

表 1 凹土和有益微生物菌液对淮安红椒连作土壤有机质和有效养分的影响

处理	有机质含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
CK	27.99d	115.2c	83.6c	110.5d
L0	48.27a	182.1a	185.5a	190.4a
L1	37.34b	134.9b	161.7b	165.1b
L2	32.18c	120.6c	155.3b	140.7c

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

2.3 凹土和有益微生物菌液对淮安红椒根际土壤酶活性的影响

作为土壤的重要组成部分,土壤酶参与包括土壤生物化学过程在内的自然界物质循环,在土壤的发生发育以及土壤肥力的形成过程中起重要作用<sup>[8]</sup>。连作土壤熟化程度和肥力水平低、有害物质积累和土壤病害严重,与土壤微生态变化密切相关。脲酶、蔗糖酶和蛋白酶都属于水解酶,过氧化氢酶属于氧化酶,它能促进过氧化氢分解成水和氧气,从而解除过氧化氢对生物和土壤的毒害作用,其活性与解毒强度呈正相关。由图 1 可知,连作 10 年后,大棚土壤中脲酶、蔗糖酶、蛋白酶活性较露地(CK)显著降低,而过氧化氢酶活性则显著增强;有益微生物菌液(L1)处理后,淮安红椒根际土壤酶活性均有显著变化,与 L0 相比,脲酶、蔗糖酶、蛋白酶活性显著增

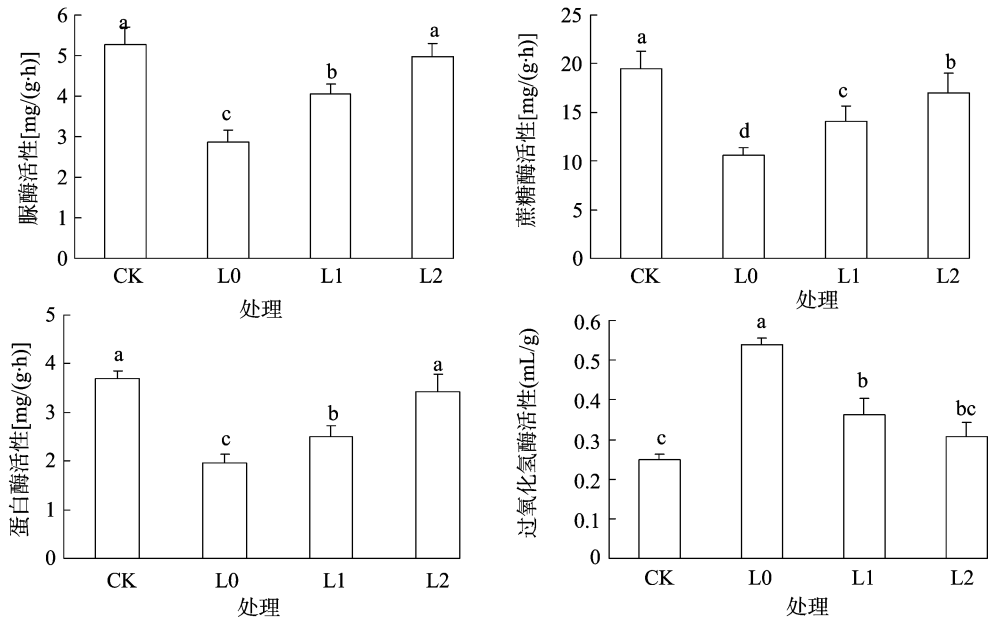


图1 凹土和有益微生物菌液对淮安红椒根际土壤酶活性的影响

强,而过氧化氢酶活性显著降低;凹土和益生菌处理则能够进一步增强土壤中脲酶、蔗糖酶和蛋白酶的活性,抑制过氧化氢酶活性。

### 3 结论与讨论

长期连作往往施肥具有相对固定性,而特定作物对肥料具有选择性吸收,易造成土壤养分的不均衡。范亚娜等研究表明,连作使土壤养分失衡,N、P、K比失调,土壤盐渍化程度高<sup>[9]</sup>。在大棚土壤盐渍化过程中,硝态氮是增加最多的一种阴离子,它的积累是引起土壤次生盐渍化的原因之一<sup>[10]</sup>。高慧等研究表明,大棚内土壤有效养分含量均高于露地,0~20 cm土层的含量随种植年限的增加而增加<sup>[11]</sup>。郭红伟等发现,连作6年后的大棚辣椒土壤明显出现养分富集现象和次生盐渍化现象<sup>[12]</sup>。张振华等研究表明,大棚土壤有机质、全氮含量明显高于露地,速效磷和速效钾呈高度富集状况<sup>[13]</sup>,本研究结果这与其基本一致。土壤酶活性与土壤养分含量有密切的相关性,能加速土壤有机质的化学反应,其活性的改变将影响土壤养分释放,从而影响作物生长。连作会影响土壤酶活性,但不同作物乃至同一作物连作后土壤酶活性的研究结果不一致。董艳等认为设施种植年限和栽培制度对土壤微生物多样性和土壤酶活性产生显著影响,随着连作年限增加,土壤酶活性降低,土壤生态环境恶化<sup>[14]</sup>。孙秀山等报道,随花生连作年限的增加,土壤的碱性磷酸酶、蔗糖酶、脲酶活性均有逐年降低趋势<sup>[15]</sup>。西瓜随着种植年限的增加,蛋白酶、多酚氧化酶也同样呈现先升后降趋势,脲酶整体呈下降趋势,蔗糖酶呈上升趋势<sup>[16]</sup>。辣椒连作后土壤脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性显著上升<sup>[17]</sup>。本研究发现,红椒长期连作使土壤脲酶、蔗糖酶、蛋白酶活性显著降低,而过氧化氢酶活性显著增强,这与何志刚等的研究结果<sup>[18]</sup>相符。

添加有益微生物可以改善和平衡设施生态环境中微生物的群落结构和多样化,抑制土壤病原菌,修复土壤生态。研究表明,施用生物有机肥能显著提高土壤酶活性,活化土壤养分,从而增加耕层土壤氮、磷、钾养分含量,提高土壤肥力<sup>[19-20]</sup>。范洁群等利用微生物菌肥提高了桃园土壤的有效磷、有机质含量等,促进了桃树的生长<sup>[21]</sup>。孙倩等通过秸秆生物反应堆和菌肥配套处理,发现该处理能显著改善温室连作生物反应堆和菌肥配套处理,发现该处理能显著改善温室连作土壤,增加作物产量<sup>[22]</sup>。王涛等认为4种微生物菌肥能改善黄瓜连作土壤,其中多功能木霉菌肥处理能降低连作土壤容重,提高土壤孔隙度<sup>[23]</sup>。本研究中,菌液中的光合菌、乳酸菌、酵母菌等有益微生物施入大棚土壤后,有益微生物的竞争性大大增强,大棚土壤微生态被显著改善,导致大棚土壤有机质和有效养分的利用率提高,土壤中养分富集减少,土壤脲酶、蔗糖酶和蛋白酶活性增强,过氧化氢酶活性降低。

凹土具有良好的吸附性、离子交换性、分散性及环境友好性等特征。刘总堂等研究认为,施加有机黏土可以使六六六有效固定在土壤中,减少其对环境的危害<sup>[24]</sup>。任旭琴等研究表明,凹土能够吸附土壤中的邻苯二甲酸二丁酯,修复邻苯二甲酸二丁酯对辣椒造成的自毒作用<sup>[25]</sup>,同时,凹土基修复剂能够通过降低土壤中邻苯二甲酸二丁酯和邻苯二甲酸二异丁酯的有效含量,使土壤酶活性增强,改善土壤微生态,通过增

强根系保护酶活性,降低膜脂过氧化,扩大根系活跃吸收面积,增强根系活力,从而提高有效养分利用率,促进辣椒生长<sup>[26]</sup>。另外,凹土作为微生物的良好载体和保护剂,对微生物具有良好的生物亲和性。赵玉萍等研究指出,凹土对嗜酸乳杆菌、粪链球菌和保加利亚乳杆菌的最大吸附率分别达到89.08%、84.24%、89.42%<sup>[27]</sup>。马喜君研究指出,凹土陶粒固定微生物对处理农村生活污水有显著效果<sup>[28]</sup>。本研究用凹土和有益微生物菌液处理连作土壤后发现,土壤有效养分利用率进一步提高,土壤养分富集进一步减少,土壤酶活性变化更加显著。推测不仅益生菌对土壤环境有显著改善作用,凹土对营养元素的吸附缓释作用也是重要原因,另外凹土和益生菌之间应该存在显著互作性,凹土更有利于益生菌的存活、繁殖和竞争。

### 参考文献:

- [1] 范迪富,黄顺生,廖启林,等. 不同量剂凹凸棒石黏土对镉污染菜地的修复实验[J]. 江苏地质,2007,31(4):323-328.
- [2] 刘左军,陈正宏,袁惠君. 凹凸棒石黏土对土壤团粒结构及小麦生长的影响[J]. 土壤通报,2010,41(1):142-144.
- [3] 解开治,徐培智,张发宝,等. 接种微生物菌剂对猪粪堆肥过程中细菌群落多样性的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(8):2012-2018.
- [4] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2005.
- [5] 李振高,骆永明,滕应. 土壤与环境微生物研究方法[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [6] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [7] 何娜,梁成华,周云成,等. 长期施肥对设施土壤磷素积累及释放的影响[J]. 中国农学通报,2005(7):21.
- [8] 和文祥,黄英锋,朱铭莪,等. 汞和镉对土壤脲酶活性影响[J]. 土壤学报,2002,39(3):412-420.
- [9] 范亚娜,赵国栋. 陇东地区设施蔬菜连作土壤性质变化趋势[J]. 水土保持通报,2007,27(6):116-119.
- [10] 李刚,张乃明,毛昆明,等. 大棚土壤盐分累积特征与调控措施研究[J]. 农业工程学报,2004,20(3):44-47.
- [11] 高慧,殷水良,冯中勇,等. 蔬菜大棚土壤养分变化和盐分累积特征研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(22):6863-6865.
- [12] 郭红伟,郭世荣,黄保健. 大棚辣椒不同连作年限土壤理化性质研究[J]. 江苏农业科学,2011,39(5):452-455.
- [13] 张振华,姜冷若,胡永红,等. 设施栽培大棚土壤养分,盐分调查分析及其调控技术[J]. 江苏农业科学,2003(1):73-75.
- [14] 董艳,董坤,郑毅. 种植年限和种植模式对设施土壤微生物系和酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报,2009,28(3):527-532.
- [15] 孙秀山,封海胜,万书波,等. 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[J]. 作物学报,2001,27(5):617-621.
- [16] 赵萌,李敏,王森淼,等. 西瓜连作对土壤主要微生物类群和土壤酶活性的影响[J]. 微生物学通报,2008,35(8):1251-1254.
- [17] 刘来,黄保健,孙锦,等. 大棚辣椒连作土壤微生物数量,酶活性与土壤肥力的关系[J]. 中国土壤与肥料,2013(2):5-10.
- [18] 何志刚,王秀娟,董环,等. 日光温室辣椒连作不同年限土壤微生物种群变化及酶活性研究[J]. 中国土壤与肥料,2013(1):38-42.

陈辉辉, 金磊磊, 喻 静, 等. 互花米草生物质及其侵染性海洋真菌特性研究[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 494–498.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.142

# 互花米草生物质及其侵染性海洋真菌特性研究

陈辉辉<sup>1,2</sup>, 金磊磊<sup>2</sup>, 喻 静<sup>2</sup>, 喻镇东<sup>1,2</sup>, 姜晓龙<sup>1,2</sup>, 许 伟<sup>2</sup>, 陈集双<sup>1</sup>, 绍 荣<sup>2</sup>

(1. 盐城工学院, 江苏盐城 224005; 2. 南京工业大学生物资源工程研究所, 江苏南京 210009)

**摘要:**测定了互花米草秸秆主要的化学组成: 灰分 8.73%, 热水抽提物 10.97%, 1% NaOH 抽提物 37.95%, 苯-醇抽提物 4.22%, 克拉森木素 24.62%, 综纤维素 69.60%, 戊聚糖 23.75%; 互花米草的纤维形态特征: 平均纤维长度 1.06 mm, 长宽比 92.00, 壁腔比 0.37; 研究结果预测互花米草若应用于化学制浆, 用碱量较高, 化学药剂用量高, 导致成本加大, 灰分含量较高, 黑液性能可能较差, 黑液碱回收困难, 将对环境造成污染。利用互花米草热磨机械浆与化学浆板复配生产纸浆模塑产品为互花米草的利用开辟了一条新的道路。侵染互花米草的海洋真菌 *Buergenerula spartinae* YDC07 为兼性海洋真菌, 最适生长的盐浓度为 2.5%; 该海洋真菌侵染互花米草秸秆可以使其纤维素、半纤维素和木质素的含量降低。互花米草生物质及侵染互花米草的海洋真菌特性的基础性研究对实现互花米草的资源化利用具有重要的铺垫作用。

**关键词:**互花米草; 化学成分; 纤维形态; 海洋真菌; 最适盐浓度; 纤维分解

**中图分类号:** S182; S184 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)10-0494-05

互花米草 (*Spartina alterniflora*) 自 1979 年引入我国以来, 在很多方面发挥着积极作用, 如减缓风暴潮压力、保护滩堤、促进围垦、消除近海污染等<sup>[1]</sup>, 但是由于互花米草的耐受力 and 繁殖能力等都比较强, 也有许多消极的影响出现, 如占据贝类栖息地、导致生物多样性降低、导致沿海滩涂景观改变、和当地物种形成竞争等方面<sup>[2]</sup>, 因此已经逐渐成为影响我国沿海的最主要的入侵物种<sup>[3]</sup>。

制浆造纸过程中, 植物纤维本身的化学组成和生物结构直接影响所得浆的品质<sup>[4]</sup>, 通过对纤维形态、长宽度的测定、纤维细胞形态特点、化学成分分析等方面进行研究, 为利用互花米草制浆提供理论根据。

从具有重要生态价值的盐沼物种互花米草中分离的相关海洋真菌并没有被彻底研究清楚, 根据对 Kohlmeyer 1979

年<sup>[5]</sup>发表的相关资料的更新以及 Kohlmeyer 和 Volkmann – Kohlmeyer 1991 年<sup>[6]</sup>相关报道的补充和纠正, 发现目前已经报道的来自互花米草的专性和兼性海洋真菌有 39 种<sup>[7-8]</sup>, 但前人对互花米草中海洋真菌的长期研究告诉我们仍有很多未知海洋真菌有待于被发现。

真菌已经被证实沿海沼泽地 C、N 的生化循环中扮演着非常重要的角色, 例如美国东南部的沼泽地区真菌的产量达到了 500 g/(m<sup>2</sup>·年)<sup>[9]</sup>, 并且菌丝生物量相当于冬季沼泽地所有活体有机物的 1/3<sup>[10]</sup>。真菌执行分解作用, 它们可以有效地将植物有机物转化为以真菌菌丝或生殖结构存在的真菌生物量<sup>[10]</sup>, 更确切地说真菌建立了一个从真菌到细菌到动植物粉碎机的一个最具生产力的海洋生态循环系统<sup>[9-10]</sup>。美国东南部盐沼地的互花米草分解系统是少有的真菌发挥作用的天然生态系统, 直接通过显微观察, 一些子囊菌物种已经被证实是互花米草植株的主要分解者<sup>[10-12]</sup>。同时, 这些海洋真菌具有很强的分解木质纤维素和动植物尸体的能力<sup>[13-14]</sup>, 具有潜在的应用价值。

本研究以江苏沿海滩涂盐碱地互花米草植株及前期研究得到的侵染互花米草的海洋真菌 *Buergenerula spartinae* YDC07 为材料, 一方面对互花米草的化学组成和纤维形态进

收稿日期: 2015-09-11

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 30971898)。

作者简介: 陈辉辉(1988—), 男, 江苏南京人, 硕士, 主要从事植物真菌及真菌病毒的相关研究。E-mail: huihui\_chen2012@163.com。

通信作者: 邵 荣, 博士, 教授, 主要从事生物化工方面研究。

E-mail: shaor1973@163.com。

[19] 刘国伟. 长期施用生物有机肥对土壤理化性质影响的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.

[20] 胡 诚, 曹志平, 胡 菊, 等. 长期施用生物有机肥土壤的氮矿化[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 2080–2086.

[21] 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(1): 51–54.

[22] 孙 婧, 田永强, 高丽红, 等. 秸秆生物反应堆与菌肥对温室番茄土壤微环境的影响[J]. 农业工程学报, 2014(6): 153–164.

[23] 王 涛, 辛世杰, 乔卫花, 等. 几种微生物菌肥对连作黄瓜生长及土壤理化性状的影响[J]. 中国蔬菜, 2011(18): 52–57.

[24] 刘总堂, 许 敏, 林云青, 等. 有机黏土对污染土中 HCH 的固定

及黑麦草生长的影响[J]. 中国环境科学, 2010, 30(4): 533–538.

[25] 任旭琴, 高 军, 陈伯清, 等. 凹土对辣椒自毒作用修复的生理生化机制研究[J]. 土壤, 2014, 46(5): 908–912.

[26] 任旭琴, 高 军, 陈伯清, 等. 辣椒 DBP/DIBP 胁迫及其修复剂优化和机理研究[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(6): 1121–1126.

[27] 赵玉萍, 黄颖娟, 吴 洁, 等. 以凹土为载体的新型益生菌制剂的制备[J]. 食品工业科技, 2013, 34(19): 141–144.

[28] 马喜君. 凹土陶粒固定微生物对农村生活污水的处理效果[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(26): 14612–14613.