

林 英,王纪章,赵青松,等. 堆肥对植物土传病害抑制作用研究进展[J]. 江苏农业科学,2014,42(12):168-171.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.12.056

堆肥对植物土传病害抑制作用研究进展

林 英¹,王纪章¹,赵青松¹,李萍萍^{1,2}

(1. 江苏大学农业工程研究院现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室/江苏省重点实验室,江苏镇江 212013;

2. 南京林业大学森林资源与环境学院,江苏南京 210037)

摘要:对现代堆肥特点进行了介绍,并重点阐述了堆肥在防治土传病害上应用的主要形式:以土壤添加剂的形式施入;作为无土栽培基质使用;制成堆肥浸提液使用。此外,从理化作用、微生物作用、诱导系统抗性等方面对堆肥对土传病害的抑制机理进行了较全面论述,其中微生物对植物病原菌抑制作用的机理主要包括营养竞争、拮抗作用、重寄生。影响堆肥对土传病害抑制效果的因素主要有:碳氮比、pH值和导电率、堆肥的腐熟程度。最后,指出了堆肥用于土传病害存在的问题及解决办法。

关键词:堆肥;土传病害;抑制效果;抑制机理;影响因素

中图分类号: S432;S141.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)12-0168-04

土传病害是指病原体生活在土壤中,以土壤为媒介进行传播的植物病害的统称^[1]。土传病害的暴发通常会造成长大经济损失,因而对土传病害防治的研究一直是一个热点和难点问题^[1]。防治土传病害的常用方法有轮作、嫁接、选用抗病品种、太阳能消毒、化学药剂消毒、使用拮抗微生物等。上述方法虽然都能取得一定效果,但也都存在一定不足,如轮作只能对病原物寄主范围窄的病害有效;嫁接成本太高;病原菌具有丰富的遗传多样性,抗病品种通常并不能完全抵抗病原菌的侵入;太阳能消毒存在地域性和季节性;化学药剂的使用会影响人体健康并污染环境;许多拮抗微生物在室内试验中虽然表现出了较强的拮抗效应,但由于土壤环境的复杂性及拮抗菌在植物根部难定植等原因,单独使用拮抗微生物在大田实践应用中一般很难表现出较好的抑制效果^[2-4]。而已有研究表明,堆肥及堆肥浸提液在室内盆栽和大田试验中对土传病害均具有明显的抑制效果^[5-8]。

1 堆肥对土传病害的抑制效果

堆肥是指在自然或人工强化接种微生物的情况下通过高温发酵使有机物矿质化、腐殖化和无害化变成腐熟肥料的过程。随着对农业生物环境保护的重视,堆肥技术已从传统的自然堆肥发展到以技术环节标准化、工艺化、机械化为重要特征的工厂化生产。堆肥原料扩展到了农作物秸秆、园林废弃物、城市生活垃圾、污水污泥等各种废弃物,堆肥的产品也已从单一有机肥扩大到了农林植物的栽培基质和土壤改良剂等。

人类将堆肥作为肥料用于农业种植来提高作物产量已有

几个世纪的历史^[9-10],但科学地研究、详细地量化堆肥的益处始于20世纪初。20世纪中叶以来,国际上开展了堆肥对土传病害抑制作用的研究,其中畜禽粪便堆肥、城市生活垃圾堆肥、污泥堆肥、菜籽饼堆肥、农作物秸秆堆肥均对土传病害起到了较好的抑制作用^[5,11-14]。如Serra-Wittling等发现在土壤中添加城市垃圾堆肥对亚麻枯萎病有明显的抑制作用^[12],Lewis等试验结果表明,连续4年使用污水淤泥堆肥可以有效地防治棉花和豌豆的猝倒病^[13],Huang等发现蟹壳堆肥、大豆秸堆肥、苜蓿堆肥、家禽粪肥、小麦秸秆堆肥对棉花黄萎病都有不同程度的抑制作用^[14]。

2 堆肥在防治土传病害上的应用形式

堆肥可以开发成肥料和无土栽培基质2种形式。根据国家规定,当基质中氮磷钾含量高于5%时,该基质可称为有机肥。目前,堆肥在防治植物土传病害上的应用主要有3种形式:以土壤添加剂的形式施入;作为无土栽培基质使用;制成堆肥浸提液使用。

2.1 土壤添加剂的形式

有机改良剂是防治植物土传病害的一种重要途径,而堆肥又是研究最多的有机改良剂。Bonanomi通过分析250篇文献中2423个试验个例后发现,堆肥是最有效的抑制土传病害的有机改良剂,50%以上的堆肥对植物病害都表现出了明显的抑制作用^[15]。Huang等将由作物秸秆、动物粪便、工业副产品发酵而成的87种堆肥分别按不同的比例添加到接有核盘菌的土壤中发现,当堆肥以3%质量百分比添加时,共有46种堆肥对核盘菌子实体萌发有明显的抑制作用,当堆肥以2%质量百分比添加时,共有21种堆肥对核盘菌子实体萌发有明显的抑制作用^[16]。将蚯蚓堆肥作为土壤添加剂用于猝倒病、枯萎病、根腐病等土传病害的防治也早有报道^[17]。由于堆肥具有明显的抑制病害效果,近几年来还出现了将堆肥固剂与木霉、芽胞杆菌、荧光假单胞菌等拮抗微生物的菌液相结合,制成具有综合效果的生物有机肥,例如袁英英等以鸡

收稿日期:2014-03-17

基金项目:国家星火计划(编号:2010GA69001);江苏省研究生创新计划项目(编号:21200025)。

作者简介:林 英(1985—),女,博士研究生,研究方向为设施园艺工程与技术。E-mail:jslinying@163.com.

通信作者:李萍萍,教授,博士生导师,从事设施农业与农业生态工程研究。E-mail:lipingping@uj.s.edu.cn.

粪、稻壳、木屑堆制成的腐熟有机肥为载体,添加功能复合菌剂制成生物有机肥,将其按一定比例添加到土壤后,发现番茄青枯病的发生率明显降低,番茄株高、茎粗、鲜重、干重显著高于对照^[18]。沈其荣等将拮抗菌与固体废弃物发酵后制得的生物有机肥添加到土壤中发现,不仅作物产量明显高于对照,而且多种作物土传病害得到了明显抑制^[2,19-20]。

2.2 无土栽培基质的形式

无土栽培由于在某种程度上能克服土壤盐渍、土传病害等优点,因此在设施园艺上有着重要的应用价值。较常用的无土栽培基质是泥炭,由于泥炭是一种不可再生资源,并且泥炭对丝核菌、腐霉菌等病原菌几乎没有抑制作用,因此将各种堆肥开发成无土栽培基质越来越广泛。现有试验结果表明,堆肥作为泥炭的部分或完全替代基质对某些病原菌表现出了明显的抑制效果。Pane 等将牛粪堆肥、葡萄渣堆肥、城市垃圾堆肥分别按 10%、20% 体积百分比添加到泥炭基质中,发现混配后的基质对独行菜的多种病害都具有明显的抑制作用^[21]。Trillas 等发现软木堆肥、葡萄渣堆肥、橄榄渣堆肥、蘑菇堆肥都对由丝核菌引发的黄瓜立枯病具有明显的抑制作用^[22]。Bernal - Vicente 等发现由柑橘渣、淤泥和柑橘枝叶按照一定比例堆制而成的堆肥,对甜瓜枯萎病有明显的抑制作用^[23]。

2.3 堆肥浸提液的形式

堆肥浸提液是指堆制腐熟的有机物料经各种方法发酵后的水浸提液。通常堆肥浸提液是将腐熟的堆肥和水以 1:5 到 1:10 的比例混合,发酵一定的时间后过滤而成^[24]。已有研究表明,将堆肥浸提液灌溉到土壤或无土栽培基质中,对土传病害都有一定的抑制作用,如马利平等研究结果表明,家畜沤肥浸渍液对青椒枯萎病和黄瓜枯萎病都有显著的抑制效果^[25-26]。李春霄等通过室内孢子萌发试验发现,药用植物砂地柏和马齿苋残渣堆肥浸提液对黄瓜灰霉病菌和炭疽病菌孢子萌发的抑制率分别达到了 78.69%、60.28%,地柏残渣堆肥浸提液对黄瓜炭疽病菌孢子萌发抑制率也达到了 59.75%,并且盆栽试验发现砂地柏残渣堆肥浸提液和马齿苋残渣堆肥浸提液对黄瓜灰霉病的抑制效果分别为 61.02%、76.75%^[27]。El - Masry 等将水果堆肥浸提液、果园落叶堆肥浸提液、作物堆肥浸提液与 PDA (马铃薯葡萄糖琼脂培养基) 以一定比例混合后,发现它们对腐烂菌、尖孢镰刀菌、小核菌菌丝的生长都有不同程度的抑制作用^[28]。同样 Alfano 等发现将橄榄渣堆肥浸提液和 PDA 以 1:1 的比例混合配制后能明显抑制尖孢镰刀菌、腐霉菌、晚疫病菌、核盘菌、黄萎病菌^[29]。

3 堆肥对土传病害抑制机理研究

堆肥在堆制过程中发酵产生的高温杀死了大多数病原菌,腐熟的堆肥不含病原菌或所含病原菌数量较低而不会对植物产生危害。此外,堆肥对土传病害的抑制机理还包括以下几个方面的内容:

3.1 理化作用

堆肥作为有机改良剂添加到土壤,土壤中有有机质、氮和腐殖质的含量均得到了提高,增加了土壤肥力。此外,堆肥的施用还能够改善土壤理化性质,据报道,将堆肥按 300 m³/hm² 的

比例分别添加到壤土和黏土中,土壤容重分别下降了 19.7%、16.7%,土壤的孔隙度分别提高了 32.8%、9.9%,土壤饱和电导率分别提高了 2%、4%^[5]。堆肥的施用还能增加土壤的持水能力,据 Strauss 报道,模拟降雨后,添加了堆肥的土壤水土流失量是没有添加堆肥土壤水土流失量的 1/3^[30]。这些理化性质的改变有利于植物的生长,能提高植物对病害的抵抗能力。

3.2 微生物作用

堆肥是一个携带着众多具有特殊功能种群优势微生物的资源库,这些微生物在堆肥抑制植物病原菌的过程中发挥着极其重要的作用。关于微生物对植物病原菌抑制作用的机理目前认为主要有营养竞争、拮抗作用、重寄生。

3.2.1 营养竞争 植物病原菌孢子的萌发需要外源营养物质,如氨基酸、碳水化合物、铁离子等。当病原菌和堆肥中其他活跃的微生物存在营养竞争时,病原菌孢子的萌发和生长必然会受到抑制。O'sullivan 等发现假单胞菌能分泌荧光铁载体,荧光铁载体对 Fe³⁺ 具有强烈的亲和能力,当堆肥中含有大量假单胞菌时,病原菌会因竞争不到 Fe³⁺ 而引起其厚垣孢子的萌发和生长受到抑制^[31]。Chen 等研究发现从同一堆肥温度较低的区域取得的堆肥对由终级腐霉引发的黄瓜猝倒病具有明显的抑制效果,从同一堆肥高温区域取得的堆肥反而加剧了黄瓜猝倒病的发生,且在温度较低区域的堆肥中添加营养物质后,其抑制病害的能力亦消失。其原因是,低营养物质是堆肥能抑制黄瓜猝倒病的主要原因,在温度较低区域的堆肥中微生物多,吸收的营养物质也多,导致病原菌在和其他微生物竞争营养过程中活力下降,从而能抑制病害的发生^[32]。

3.2.2 拮抗作用 堆肥中拮抗微生物的存在是堆肥能抑制植物病害的一个重要原因。这些特定的拮抗微生物能产生种类众多、结构多样的代谢产物如抗生素类、拮抗蛋白、肽类等,如荧光假单胞菌能产生抗生素 2,4 - 二乙酰基间苯三酚,枯草芽孢杆菌能产生表面活性剂、伊枯草菌素、丰原素等脂肽物质,木霉菌能产生挥发性或非挥发性的抗菌素类物质^[24,33]。这些代谢产物的产生能使病原菌细胞膜的机能受到损害、蛋白质的合成受到抑制、能量代谢系统发生紊乱,进而抑制病原菌的生长。有的拮抗菌则是通过分泌一些水解蛋白或胞外酶如纤维素酶、果胶酶、木聚糖酶、蛋白酶、几丁质酶等,作用于真菌的细胞壁,溶解菌体,从而达到防治病害的目的^[34]。

3.2.3 重寄生作用 植物病原物被其他生物寄生的现象叫重寄生作用。在堆肥中还有一类微生物,它们能通过重寄生来加强病原菌休眠体的瓦解或抑制其孢子的萌发,从而减少病害的发生。目前已经发现木霉菌至少可寄生 18 个属的 29 种植物病原真菌。在木霉对疫霉重寄生时发现,木霉菌丝缠绕着疫霉菌丝,于菌丝接触点处产生吸器或类似吸器的结构穿入或穿透疫霉菌的菌丝,导致疫霉菌丝消解并液泡化,原生质体聚焦,并最终凝聚^[35]。

3.3 诱导系统抗性

堆肥处能抑制叶片或根部病害外,还能提高植物抵抗病害的能力,尽管具有诱导植物抗病性特性的堆肥不到 10%^[36]。如 Krause 发现,固体废弃物堆肥能诱导萝卜抵抗由黑腐病菌引发的叶斑病^[37]。Yogev 等通过分根体系发现,西

红柿植物残体和牛粪混合堆肥既能诱导甜瓜的系统抗性,提高甜瓜对由尖孢镰刀菌引发的枯萎病的抵抗能力,又能提高黄瓜和甜瓜对由灰葡萄孢引发的叶片灰霉病^[38]。对堆肥能提高植物对病害抵抗能力的机理,目前普遍认为可能是堆肥中的某些有益微生物能诱导植物增加病程相关蛋白的表达,如 β -1-3葡聚糖酶、几丁质酶、过氧化物酶、脂氧合酶、多酚氧化酶或刺激植物产生抗微生物化合物,来提高植物对多种真菌、细菌及病毒的侵害,甚至能提高对一些害虫和线虫的抵抗力^[39-40]。

4 影响堆肥对土传病害抑制效果的因素

4.1 碳氮比

碳氮比被认为是影响堆肥对植物病害抑制能力的一个重要因素。研究发现,堆肥含有高的C/N比和低的铵态氮时,能更有效地抑制由尖孢镰刀菌引发的枯萎病;当堆肥具有较低的C/N比和高的铵态氮时,反而能增加枯萎病的发病率,其原因可能是因为较高的铵态氮能加速病原菌孢子的繁殖^[41]。Raviv等发现,由牛粪、橘子皮、西红柿皮堆制而成的3种堆肥中,西红柿皮堆肥中C/N比明显高于橘子皮堆肥,铵态氮含量明显低于橘子皮堆肥,且西红柿堆肥抑制黄瓜枯萎病和黄瓜根茎腐病的效果最好^[42]。

4.2 pH值和导电率

研究结果表明堆肥的pH值会影响堆肥的抑制效果,如Borrero等发现堆肥基质的pH值与基质对由*F. oxysporum*病原菌引发的枯萎病的抗病能力存在显著的正相关,这主要是因为高的pH值能降低基质中大量元素和微量元素的可利用性^[41]。一方面P、Mg、Cu、Zn、Fe等营养元素的缺乏会抑制*F. oxysporum*孢子的萌发和生长,通常植物对营养元素缺乏的耐受性要比病原菌对营养元素缺乏的耐受性要高得多。另一方面,Fe营养元素的缺乏会导致堆肥基质中能产铁载体的拮抗菌的活性增强,诱导更多铁载体产生,从而导致病原菌能竞争到的Fe元素更少,不利于其生长和繁殖^[43]。Segarra等发现当向含有10 $\mu\text{mol/L}$ Fe的非酸性土壤中接种棘孢木霉T34时,由尖孢镰刀菌引发的西红柿枯萎病明显低于对照组。但在含Fe浓度高的土壤(100~1 000 $\mu\text{mol/L}$)接种木霉T34时西红柿枯萎病发病率虽有所降低,但效果不明显^[44]。此外,具有较高导电率的堆肥能抑制病原菌的繁殖,从而对植物病害也具有很好的抑制作用^[43]。

4.3 堆肥的腐熟程度

没有腐熟好的堆肥抑制病害的效果明显低于腐熟好了的堆肥。Trillas等发现,堆制0.5~1.5年的4种堆肥中,只有木屑堆肥渣堆肥对黄瓜由立枯丝核引发的立枯病有明显的抑制效果,而堆制1.5~3年的所有堆肥对黄瓜立枯病都具有明显的抑制效果。这主要是因为没有腐熟的堆肥中含有较多不稳定的小分子物质,如葡萄糖和氨基酸等,这些小分子物质减少了生防菌分泌酶的必要性,并且在没有完全腐熟的堆肥中有益微生物不能完全定植,此外没有腐熟的堆肥还可能含有某些毒素而加重病原菌对植物的侵染,从而其抑制病害的效果差^[22]。

5 堆肥化利用中存在的问题及解决途径

使用堆肥来抑制植物病害,也存在一定的风险。这主要

有以下几方面原因:(1)堆肥原料、堆肥方法和条件不同,导致实验效果及结果不稳定;(2)由于土传病原菌种类繁多,作物品种不一,同一堆肥可能只对特定作物的某一类型的土传病害具有抑制效果,对其他作物品种的其他病害没有抑制效果或反而使病害加剧;(3)堆肥腐熟程度不够,对植物病害也会起到加剧作用;(4)在堆肥发酵的过程中,大多数植物病原菌会被杀死,但是堆肥中可能会幸存人类致病菌,这些病原菌能大量繁殖进入作物体内,人类采食这些作物后会带来健康问题^[11,45]。

因此在堆肥过程中要加强堆肥的管理,规范堆肥工艺,在堆肥使用之前,要对堆肥致病菌进行检测,确保堆肥中无人类致病菌,并且针对不同的作物病害要选用不同的堆肥。但总的来看堆肥成本低、操作简便,不仅具有良好的肥效,而且对土传病害具有明显的抑制效果。将堆肥加工成土壤改良剂和无土栽培基质,也具有很好的市场前景。通过堆肥可将各种废弃物变为宝贵的资源,既缓解了各种废弃物处理的压力,又开发了新的肥料渠道和无土栽培基质,有利于农业的可持续发展,因而堆肥在循环农业上具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1]叶云峰,付岗,袁高庆,等. 植物土传病害安全防控技术[J]. 山西农业科学,2009,37(7):64-66.
- [2]Zhao Q Y, Dong C X, Yang X M, et al. Biocontrol of *Fusarium* wilt disease for *Cucumis melo melon* using bio-organic fertilizer[J]. Applied Soil Ecology, 2011, 47(1):67-75.
- [3]Alabouvette C, Olivain C, Steinberg C. Biological control of plant diseases: the European situation[J]. European Journal of Plant Pathology, 2006, 114(3):329-341.
- [4]Nguyen M T. Soil-borne antagonists for biological control of bacterial wilt disease caused by *Ralstonia solanaceum* in tomato and pepper[J]. Journal of Plant Pathology, 2010, 92(2):395-405.
- [5]Stan V, Virsta A, Dusa E M, et al. Waste recycling and compost benefits[J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2009, 37(2):9-13.
- [6]Stone A G, Vallad G E, Cooperband L R, et al. Effect of organic amendments on soilborne and foliar diseases in field-grown snap bean and cucumber[J]. Plant Disease, 2003, 87(9):1037-1042.
- [7]Noble R, Coventry E. Suppression of soil-borne plant diseases with composts; a review[J]. Biocontrol Science and Technology, 2005, 15(1):3-20.
- [8]Scheuerell S J, Mahaffee W F. Compost tea as a container medium drench for suppressing seedling damping-off caused by *Pythium ultimum*[J]. Phytopathology, 2004, 94(11):1156-1163.
- [9]Quilty J R, Cattle S R. Use and understanding of organic amendments in Australian agriculture: a review[J]. Soil Research, 2011, 49(1):1-26.
- [10]Wei Y S, Fan Y B, Wang M J, et al. Composting and compost application in China[J]. Resources Conservation and Recycling, 2000, 30(4):277-300.
- [11]Noble R. Risks and benefits of soil amendment with composts in relation to plant pathogens[J]. Australasian Plant Pathology, 2011, 40(2):157-167.
- [12]Serra-Wittling C, Houot S, Alabouvette C. Increased soil suppressiveness to *Fusarium* wilt of flax after addition of municipal solid

- waste compost [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, 28 (9) : 1207 – 1214.
- [13] Lewis J A, Lumsden R D, Millner P D, et al. Suppression of damping – off of peas and cotton in the field with composted sewage sludge [J]. *Crop Protection*, 1992, 11 (3) : 260 – 266.
- [14] Huang J L, Li H L, Yuan H X. Effect of organic amendments on *Verticillium* wilt of cotton [J]. *Crop Protection*, 2006, 25 (11) : 1167 – 1173.
- [15] Bonanomi G, Antignani V, Pane C, et al. Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments [J]. *Journal of Plant Pathology*, 2007, 89 (3) : 311 – 324.
- [16] Huang HC, Erickson R S, Chang C, et al. Organic soil amendments for control of apothecial production of *Sclerotinia sclerotiorum* [J]. *Plant Pathology Bulletin*, Taipei, 2002, 11 : 207 – 214.
- [17] Ersahin Y S, Haktanir K, Yanar Y. Vermicompost suppresses *Rhizoctonia solani* Kuhn in cucumber seedlings [J]. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2009, 116 (4) : 182 – 188.
- [18] 袁英英, 李敏清, 胡伟, 等. 生物有机肥对番茄青枯病的防治及对土壤微生物的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30 (7) : 1346 – 1350.
- [19] Zhang N, Wu K, He X, et al. A new bioorganic fertilizer can effectively control banana wilt by strong colonization with *Bacillus subtilis* N11 [J]. *Plant and Soil*, 2011, 344 (1/2) : 87 – 97.
- [20] Ling N, Xue C, Huang Q W, et al. Development of a mode of application of bioorganic fertilizer for improving the biocontrol efficacy to *Fusarium* wilt [J]. *BioControl*, 2010, 55 (5) : 673 – 683.
- [21] Pane C, Spaccini R, Piccolo A, et al. Compost amendments enhance peat suppressiveness to *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia minor* [J]. *Biological Control*, 2011, 56 (2) : 115 – 124.
- [22] Trillas M I, Casanova E, Cotxarrera L, et al. Composts from agricultural waste and the *Trichoderma asperellum* strain T – 34 suppress *Rhizoctonia solani* in cucumber seedlings [J]. *Biological Control*, 2006, 39 (1) : 32 – 38.
- [23] Bernal – Vicente A, Ros M, Tittarelli F, et al. Citrus compost and its water extract for cultivation of melon plants in greenhouse nurseries. Evaluation of nutriactive and biocontrol effects [J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99 (18) : 8722 – 8728.
- [24] Boulter J I, Gj B, Trevors J T. Compost: a study of the development process and end – product potential for uppression of turfgrass disease [J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2000, 16 (2) : 115 – 134.
- [25] 马利平, 乔雄梧, 高芬, 等. 家畜沤肥浸渍液对青椒枯萎病的防治及作用机理 [J]. *应用与环境生物学报*, 2001, 7 (1) : 84 – 87.
- [26] 马利平, 高芬, 乔雄梧. 家畜沤肥浸渍液对黄瓜枯萎病的防治及作用机理探析 [J]. *植物病理学报*, 1999, 29 (3) : 270 – 274.
- [27] 李春霄, 张双玺, 袁旭超, 等. 两种药用植物残渣堆肥浸提液对黄瓜 3 种病害防治效果 [J]. *西北农业学报*, 2009, 18 (1) : 208 – 212.
- [28] El – Masry M H, Khalil A I, Hassouna M S, et al. In situ and *in vitro* suppressive effect of agricultural composts and their water extracts on some phytopathogenic fungi [J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2002, 18 (6) : 551 – 558.
- [29] Alfano G, Lustrato G, Lima G, et al. Characterization of composted olive mill wastes to predict potential plant disease suppressiveness [J]. *Biological Control*, 2011, 58 (3) : 199 – 207.
- [30] Strauss P R. Soil erosion and related physical properties after 7 years of compost application [J]. *Applying Compost Benefits and Needs*, 2003, 219 : 851 – 865.
- [31] O’Sullivan D J, O’Gara F. Traits of fluorescent *Pseudomonas* spp. involved in suppression of plant root pathogens [J]. *Microbiological Reviews*, 1992, 56 (4) : 662 – 676.
- [32] Chen W D, Hoitink H, Schmitthenner A F, et al. The role of microbial activity in suppression of damping – off caused by *Pythium ultimum* [J]. *Phytopathology*, 1988, 78 (3) : 314 – 322.
- [33] Ongena M, Jourdan E, Adam A, et al. Surfactin and fengycin lipopeptides of *Bacillus subtilis* as elicitors of induced systemic resistance in plants [J]. *Environmental Microbiology*, 2007, 9 (4) : 1084 – 1090.
- [34] Leelasuphakul W, Sivanunsakul P, Phongpaichit S. Purification, characterization and synergistic activity of β – 1, 3 – glucanase and antibiotic extract from an antagonistic *Bacillus subtilis* NSRS 89 – 24 against rice blast and sheath blight [J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2006, 38 (7) : 990 – 997.
- [35] 陈雪, 赵克明. 土传病害生物防治微生物的研究进展 [J]. *现代农业*, 2011 (7) : 34 – 35.
- [36] Avilés M, Borrero C, Trillas M I. Review on compost as an inducer of disease suppression in plants grown in soilless culture [M] // Special Issue Compost III – dynamic plant, dynamic soil. Global Science Books, 2011 : 1 – 11.
- [37] Krause M S, de Ceuster T J, Tiquia S M, et al. Isolation and characterization of rhizobacteria from composts that suppress the severity of bacterial leaf spot of radish [J]. *Phytopathology*, 2003, 93 (10) : 1292 – 1300.
- [38] Yogev A, Raviv M, Hadar Y, et al. Induced resistance as a putative component of compost suppressiveness [J]. *Biological Control*, 2010, 54 (1) : 46 – 51.
- [39] Zhang W, Han D Y, Dick W A, et al. Compost and compost water extract – induced systemic acquired resistance in cucumber and *Arabidopsis* [J]. *Phytopathology*, 1998, 88 (5) : 450 – 455.
- [40] Hadar Y, Papadopoulou K K. Suppressive composts: microbial ecology links between abiotic environments and healthy plants [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2012, 50 : 133 – 153.
- [41] Borrero C, Trillas M I, Ordovás J, et al. Predictive factors for the suppression of *Fusarium* wilt of tomato in plant growth media [J]. *Phytopathology*, 2004, 94 (10) : 1094 – 1101.
- [42] Raviv M, Yuji O, Katan J, et al. High – nitrogen compost as a medium for organic container – grown crops [J]. *Bioresource Technology*, 2005, 96 (4) : 419 – 427.
- [43] Cotxarrera L, Trillas – Gay M I, Steinberg C, et al. Use of sewage sludge compost and *Trichoderma asperellum* isolates to suppress *Fusarium* wilt of tomato [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34 (4) : 467 – 476.
- [44] Segarra G, Casanova E, Avilés M, et al. *Trichoderma asperellum* strain T34 controls *Fusarium* wilt disease in tomato plants in soilless culture through competition for iron [J]. *Microbial Ecology*, 2010, 59 (1) : 141 – 149.
- [45] Griffin D E. Managing abiotic factors of compost to increase soilborne disease suppression [J]. *Journal of Natural Resources & Life Sciences Education*, 2012, 41 (1) : 31 – 34.