

家畜堆肥诱导番茄对青枯病的抗性及其生理机制

赵 娜¹, 蔡昆争¹, 汪国平², 王 勇³

(1.华南农业大学热带亚热带生态研究所, 广东 广州 510642; 2. 华南农业大学园艺学院, 广东 广州 510642; 3. 广东省佛山市农业局, 广东 佛山 528000)

摘 要:以干式养殖模式生产的家畜粪便制作的有机堆肥为实验材料,研究了堆肥混土和堆肥浸渍液处理对番茄青枯病的控制效果和对叶片过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的影响。结果表明,不同堆肥使用方法及剂量对番茄青枯病均有一定控制效果,其中以 1:1、1:3 的浸渍液(V/V)和 10%的堆肥混土处理(W/W)控病效果较好,在接菌后 27 d 分别比不加堆肥处理降低病情指数 69.4%、31.5%和 13.0%。堆肥施用在一定程度上能增加番茄叶片保护酶的活性,浓度较高的处理增加幅度较大,这与控病效果是一致的。混土处理以 10%的效果最好,接菌后第 3 d 和第 5 d 对番茄叶片 POD 活性的增加幅度分别达 20.9%和 11.4%,POD 活性增加 61.9%和 267.0%,而对 PAL 活性影响不大。浸渍液处理则以 1:1 的增加幅度较大,在接菌后 5 d 对 POD、SOD、PAL 的增加幅度分别为 109.5%、185.1%和 48.2%;1:3 的次之,SOD 和 POD 活性的增加幅度分别为 55.1%和 31.67%。研究表明,堆肥的不同使用方法及剂量能在一定程度上控制番茄的青枯病,提高番茄叶片的保护酶活性,从而在增强作物的抗病性方面起重要作用,但混土处理和浸渍液的不同使用方法存在浓度差别。

关键词:番茄;青枯病;叶片;堆肥;保护酶

中图分类号:S141.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)05-2058-06

Induced Resistance of Tomato Plants to Bacterial Wilt by Livestock Wastes Compost and Its Physiological Mechanisms

ZHAO Na¹, CAI Kun-zheng¹, WANG Guo-ping², WANG Yong³

(1. Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. Foshan Agricultural Bureau of Guangdong Province, Foshan 528000, China)

Abstract:With the expanding of cultivation area of vegetable production, continuous cropping obstacles of vegetables are becoming a serious problem, which results in rapid increase in disease incidence in subsequent crop. Appropriate organic fertilization application can alleviate this problem and improve disease resistance of plants. Effects of application of the livestock waste compost in dry rearing model on tomato bacterial wilt and leaf protective enzymatic activities were investigated in pot experiment. Application of 1:1 and 1:3 compost extracts (V/V), as well as 10% compost /soil (W/W) reduced the disease index by 69.4%, 31.5% and 13.0%, respectively. Compost application also significantly increased the enzymatic activity of peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD) and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) in tomato leaves. Compared with control treatment, the 10% of compost/soil enhanced the activity of POD by 20.9% and 11.4%, SOD by 61.9% and 267.0% on the third day and fifth day after inoculation, respectively. The 1:1 compost water extracts treatment increased protective enzymatic activities of POD, SOD and PAL in tomato leaves by 109.5%, 185.1% and 48.2% on the fifth day after inoculation, respectively compared with the control, while 1:1 compost water extracts could increase SOD and POD activity by 55.1% and 31.67%. These results suggest that livestock waste compost in dry rearing model enhances tomato resistance to bacterial wilt probably through induction of protective enzymes of tomato plants.

Keywords: tomato;bacterial wilt;leaf; compost;protective enzymes

我国每年畜禽粪便排放量为 26.1 亿 t,许多未经处理直接排放污染环境。特别是集约化养殖,污染问题尤其突出^[1]。传统的养殖业是采用冲洗栏舍,用水量非常大,污水难以治理。德国、日本等国家相继采用了用木屑或稻草碎粒铺垫猪栏,不用水冲的养猪模式,达到了增产和环保的双重效果;类似的养猪模式在国内福建、广东、山东、江苏等地部分猪场也逐步试验推广。而通过这种养殖模式产生的家畜粪便制成的堆肥则可作为有机肥在生产上广泛使用,尤其适合在蔬菜、花卉、果树生产上应用。国内外已有报道表明堆肥和有机肥对提高土壤肥力和抗病性有一定作用^[2-5]。但不同的堆肥来源、堆肥的不同处理方式对不同植物材料的影响存在一定差异^[6]。本研究以猪场干式养殖生产模式制成的堆肥为实验材料,将不同比例的堆肥施入土壤,同时采用不同浓度的堆肥浸渍液处理,通过接种青枯病菌,研究不同堆肥使用方式对番茄的抗病效果及对叶片保护酶活性,包括过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的影响,揭示其抗性的生理机理,从而为堆肥的合理施用和提高番茄抗性提供一定的理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 材料

实验用的番茄品种为红樱桃,属于微型番茄品种,由华南农业大学园艺学院选育。该品种适应性较强,对土壤、气候等要求不严,适合我国南北各地种植,但易感青枯病,忌与茄科作物连作。供试堆肥:来源于猪场干式养殖粪便并经过堆制而成的堆肥,由佛山高明向日葵生物科技有限公司提供。其有机质含量 $400\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,总氮 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,磷酐含量 $18\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,氧化钾含量为 $15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,氧化钙含量为 $2.7\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,氧化镁含量为 $0.41\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。供试土壤采自华南农业大学农学院农场番茄连作土。供试菌株为广东番茄青枯小种 1 生化型Ⅲ强致病菌系。

1.2 实验设计及处理

实验包括不同比例堆肥混土和不同比例堆肥浸渍液实验,在接种番茄青枯病后研究不同堆肥使用方式及不同剂量对青枯病的控制效果及抗性机理。所有实验均采用盆栽实验,在光照培养箱中进行。培养箱光照条件为 $14\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$,光强 $200\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,昼夜温度为 $28\text{ }^{\circ}\text{C}/25\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 80%。

1.2.1 堆肥混土实验

添加重量比例为 1%、5%、10%的堆肥混入土壤,

代号分别为 D-1%、D-5%、D-10%,不加堆肥的作为对照,代号为 CK。每个处理 10 株番茄,4 个重复。每盆装风干土 0.5 kg ,每盆种 2 株番茄。育苗移栽后,当番茄植株长到 45 d(8~9 叶株龄),进行青枯病接种,在接菌后第 1、3、5、7 d 分别选取倒 2、3、4 片叶测定过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性。

1.2.2 堆肥浸渍液实验

盆栽装土后,每盆种 2 株番茄。育苗移栽后,当番茄幼苗生长到 3~4 叶株龄时,即进行浸渍液灌溉。在使用前 7 d 将堆肥加水浸泡,堆肥与水的体积比为 1:1,1:3 和 1:10,7 d 后用双层纱布过滤,滤液即为堆肥浸渍液,各处理代号为 J-1:1, J-1:3, J-1:10,以不施浸提液但施加等量水作为对照,代号 CK,每个处理 10 株番茄,4 次重复。每星期灌溉 2 次,每次 30 mL 。取样时间、方法及测定指标同堆肥混土实验。

1.2.3 青枯病接种实验

在堆肥混土或浸渍液处理的番茄苗长到 7~8 叶龄时,进行青枯病的接种。采用伤根灌注法接种,在每盆注入浓度约为 $6\times 10^8\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的菌悬液 5 mL 于番茄植株的根部。在接菌后 10 d,青枯病开始发病时,每隔 2~3 d 进行病情指数的调查。

1.3 指标测定及方法

1.3.1 病情指数的调查

接种后第 10 d 开始调查番茄发病情况,记载发病率及严重度,之后每隔 2~3 d 调查一次,直至番茄枯死为止,调查期间正常管理。严重度按下列标准分级:0 级:无症状;1 级:1 张叶片半萎蔫;3 级:2~3 片叶片萎蔫;5 级:除顶端 1~2 片叶片外,其余叶片均萎蔫;7 级:所有叶片均萎蔫;9 级:叶片和植株枯死。

病情指数 = Σ (病级株数 $\times$ 代表数值) / (株数总和 $\times$ 发病最重级的代表数值) $\times 100$

1.3.2 保护酶活性的测定

与植物抗病相关的过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)均属于植物防卫系统相关酶,因此可作为植物抗性的一个生理指标。

超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定:参照有关文献^[6]的方法,已知 SOD 活性单位以抑制 NBT 光化还原的 50% 为一个酶活性单位表示,以每 g 鲜重酶单位($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\text{ FW}$)表示。过氧化物酶(POD)酶活性:按袁庆华等^[6]的方法进行,以每 g 鲜重酶单位($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\text{ FW}$)表示。苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性:参考李靖等^[7]的方法

进行。取 0.3 g 叶片,加 1.5 mL 25 mmol·L⁻¹ 的硼酸缓冲液(pH 8.8,内含 5 mmol·L⁻¹ 巯基乙醇,加 2%的 PVP 溶解),冰浴中匀浆,15 000 r·min⁻¹ 离心 20 min,上清液用于测定 PAL 的活性。

1.3.3 数据分析

采用 SAS 统计软件进行方差分析、多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同堆肥使用方式对番茄青枯病的控制效果

不同堆肥处理方式对番茄青枯病的控制效果存在明显差异,见表 1。对于混土处理来说,10%的堆肥混土处理效果最好,在接菌后 10、12、15、18、21 d,番茄青枯病病情指数一直显著低于对照,而 5%和 1%的堆肥混土处理与对照没有明显差异。对于浸渍液处理来说,以 1:1 的效果最好,接菌基本上不发病,一直延续到接菌后 24 d 病情指数仍仅为 8.6%,而对照为 84.5%。当对照在接菌后 27 d 番茄植株染病全部死亡后,1:1 的堆肥浸渍液处理番茄植株的病情指数仍只有 30.6%,控制效果达 69.4%,非常显著;1:3 的处理控病效果次之,达 31.5%,1:10 处理发病前期也有比较明显的控制效果,到后期效果减弱。总体来讲,浸渍液比混土处理效果要好得多,但存在浓度效应。

2.2 不同堆肥处理对番茄叶片 POD 活性的影响

POD 是植物体内普遍存在的氧化还原酶,它不仅参与木质素、酚类物质及植保素的合成,使细胞壁增厚来抵御病菌的侵入和扩展,还作为整个代谢途径的调节子,是与植物抗病有关的一种重要酶。从图 1 可知,在无堆肥处理的对照(CK),接菌后番茄叶片

POD 活性出现上升-下降-再上升的趋势。而 10%混土处理在接菌后 1 d 与对照差异不明显,而到第 3 d 则显著增加,比对照增加 20.9%,第 5 d 增加 11.4%,后期有所减少,但未达显著水平;5%的处理在初期(1 d)和后期(7 d)比对照降低 25.1%和 36.8%,但没有达到显著水平,而在中期则相差不大;1%的处理在接菌后整个时期与对照相差不大。由此可知,与其他浓度的堆肥相比,施入 10%浓度的堆肥后,番茄叶片的过氧化物酶活性较高,这也与前面的抗病效果相对其他浓度较高相一致。

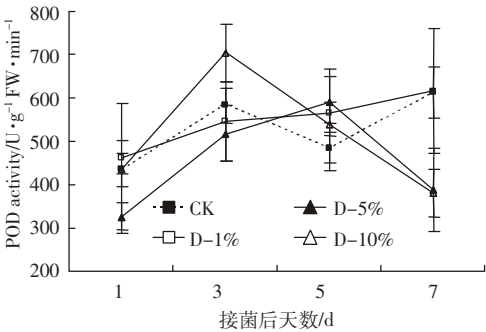


图 1 家畜堆肥混土处理对番茄叶片过氧化物酶(POD)活性的影响

Figure 1 Effects of compost mixed with soil on POD activity in leaf of tomato

不同浓度堆肥浸渍液对番茄叶片的 POD 酶活性见图 2。与对照(CK)相比,1:1 浓度的堆肥浸渍液提高 POD 活性的效果最好,除了接菌后第 3 d 与对照差异不大外,均能提高叶片的 POD 活性,在接菌后 1,5,7 d 增加幅度达 87.3%、109.5%、25.4%。1:3 的浓度在 1、3、5 d 有小幅增加,但与对照未达到显著差异;1:10 的

表 1 不同堆肥使用方式对番茄青枯病病情指数的影响(%)
Table 1 Effects of animal compost on disease index of bacteria wilt of tomato

处理	接菌后的天数/d						
	10	12	15	18	21	24	27
D-10%	0±0 e	0±0 b	1.2±1.2 b	14.5±8.6 c	27.1±14.2 b	70.4±23.9 a	87.0±10.3 ab
D-5%	37.7±7.2a	41.4±14.3 a	50.0±8.3 a	58.3±11.2 ab	74.1±1.9 a	80.3±2.5 a	100±0 a
D-1%	26.8±2.3 c	40.7±3.3 a	63.0±7.6 a	71.3±6.5 a	78.7±4.6 a	83.3±0 a	100±0 a
CK	28.1±2.8 b	40±9.7 a	50.4±3.3 a	77.8±3.2 a	79.6±1.8 a	84.5±3.4 a	100±0 a
J-1:1	0±0 e	0±0 b	0±0 c	0±0d	1.2±1.2c	8.6±8.6 c	30.6±19.5 c
J-1:3	0±0 e	0.9±0.9 b	19.4±11.2 b	19.4±11.2 c	31.1±13.6 b	29.8±5.7 b	68.5±3.3 b
J-1:10	4.6±1.9 d	12.0±10.7 b	23.5±10.4 b	46.3±7.2 b	63.0±14.8 a	69.2±8.6 a	95.1±4.9 ab

注:D-10%、D-5% and D-1% 分别表示堆肥重量占土壤重量的比例为 10%、5%和 1%;J-1:1、J-1:3、J-1:10 分别表示堆肥与水的浸渍比(V/V)为 1:1、1:3 和 1:10;CK 为对照,即不加堆肥。

Note: D-10%, D-5% and D-1% represent percentage of compost/soil (w/w), J-1:1, J-1:3, J-1:10 represent compost extracts (V/V), no compost application as CK

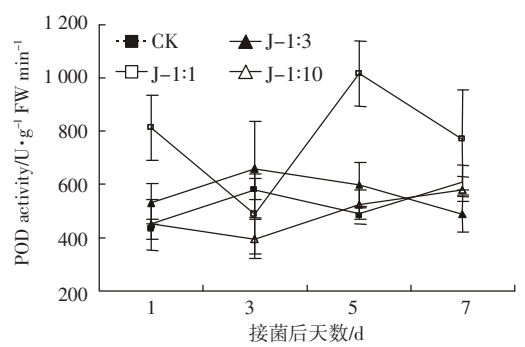


图 2 家畜堆肥浸渍液处理对番茄叶片过氧化物酶 (POD)活性的影响

Figure 2 Effects of compost extracts on POD activity in leaf of tomato

处理则与对照差异不大。

2.3 不同堆肥使用方式对番茄叶片 SOD 活性的影响

超氧化物歧化酶 (SOD) 是植物与病原物识别过程中产生初始抗性信息的一个关键酶,它的主要功能是通过歧化反应清除超氧阴离子自由基,因此 SOD 活性常作为植物的一种抗性指标。从图 3 可知,与对照 (CK) 相比,10% 的堆肥混土处理能显著增加叶片的 SOD 酶活性,在接菌后 1、3、5、7 d 分别增加 61.9%、188.4%、267.0% 和 63.0%,以 3 和 5 d 增加幅度最大,这与 POD 酶活性变化趋势一致;但 5% 处理的叶片 POD 在接菌后初期有下降趋势,而后期则有上升的趋势,但均未达到显著差异。

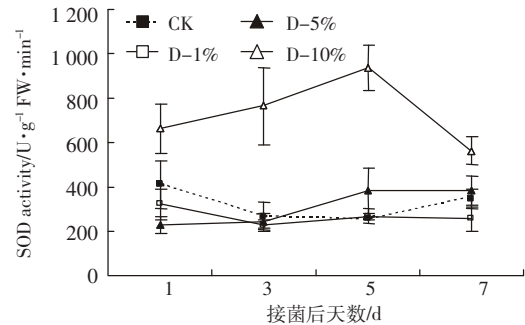


图 3 堆肥混土处理对番茄叶片超氧化物歧化酶 (SOD)活性的影响

Figure 3 Effects of compost mixed with soil on SOD activity in leaf of tomato

不同浓度堆肥浸渍液对叶片 SOD 活性的影响存在一定差异。从图 4 中可看出,1:1 的浸提液能显著增加叶片 SOD 活性。在接菌后 1、3、5、7 d 与对照相比增加幅度为 70.5%、41.1%、185.1%、92.8%,以接菌后 5 d 增加幅度最大;1:3 的浸渍液处理在接菌后 1、3 d 叶

片 SOD 活性与对照接近,差异不大,而在 5、7 d 则有明显增加,幅度为 55.1%、34.37%;1:10 的处理则前期 (1、3 d) 有一定程度下降,幅度分别为 21.5% 和 50.0%,后期 (5、7 d) 有所增加,幅度为 40.3%、13.1%。

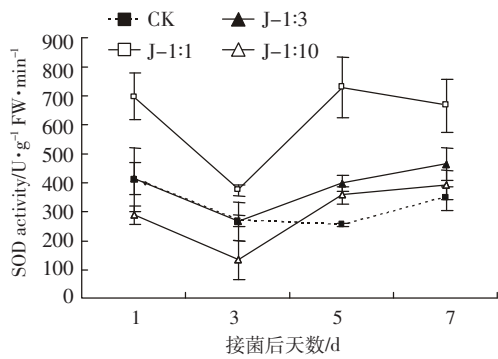


图 4 堆肥浸渍液处理对番茄叶片超氧化物歧化酶 (SOD)活性的影响

Figure 4 Effects of compost extracts on SOD activity in leaf of tomato

2.4 不同堆肥使用方式对番茄叶片 PAL 活性的影响

苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 是木质素与植保素沿苯丙烷类代谢途径合成的关键调节酶,在它们与酚类物质的合成中起重要的作用,其活性与植物抗病性密切相关。在不施用堆肥的情况下,番茄植株接菌后叶片的 PAL 活性先下降而后逐渐上升的趋势。与对照 (CK) 相比,10%、5% 和 1% 3 种浓度的堆肥混土处理对接菌后不同时期番茄叶片 PAL 活性有下降趋势 (图 5),但均未达到显著差异,其中以 10% 的处理与对照之间最接近,不同处理堆肥之间 PAL 活性差异也不显著。

不同比例的堆肥浸渍液对番茄叶片 PAL 活性的

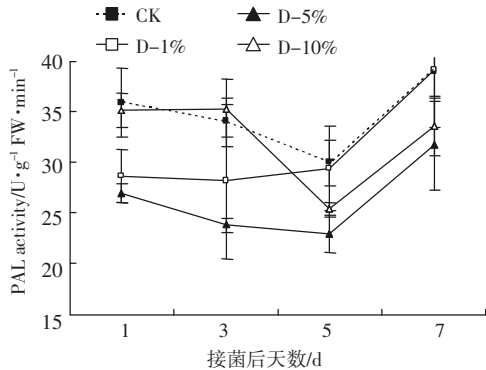


图 5 堆肥混土处理对番茄叶片苯丙氨酸解氨酶 (PAL)活性的影响

Figure 5 Effects of compost mixed with soil on PAL activity in leaf of tomato

影响见图6。与对照相比,1:1和1:3的浸渍液处理在接菌后不同时期均显著增加了PAL酶活性,其中1:1处理在接菌后1、3、5、7 d增加的幅度为79.2%、75.7%、48.2%和15.9%;1:3的增加幅度为31.9%、41.7%、31.6%和6.7%。而1:10在接菌后PAL活性一直与对照相差接近,没有明显差异。

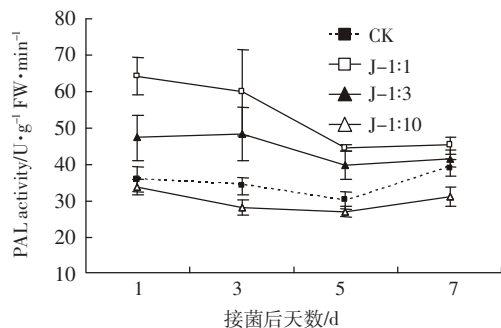


图6 堆肥浸渍液处理对番茄叶片苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的影响

Figure 6 Effects of compost extracts on PAL activity in leaf of tomato

3 讨论

堆肥和有机肥的施用,可以促进植株的生长发育,改善品质和提高产量^[4,8],也能不同程度地提高植物对土传病害的抗病能力^[9-11]。本研究表明,堆肥和土壤的不同混合比例、不同浓度的堆肥浸渍液均对番茄青枯病的控制存在一定效果,但存在浓度差异。其中以堆肥浸渍液1:1的比例和堆肥10%混土处理的效果最好,浸渍液处理比直接混土处理对于增强植株的抗性方面作用要更大。马利平等^[2]研究认为,使用堆肥浸渍液的好处在于可以提供可溶性的养料,作为液体肥料使用,使植物更易更好吸收养分,还同时具备抑制某些植物土传病的能力。而 Cronin^[12]研究认为,堆肥与水的比例影响发酵过程中氧的消耗,在制作浸渍液时,推荐堆肥与水的比例以1:10为好。

苯丙氨酸解氨酶(PAL)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)是与植物抗病相关的保护酶。其中PAL是植物抗病代谢(莽草酸途径)的关键酶和限速酶,在木质素的积累、植保素和酚类物质的合成中起重要作用。POD和PPO也是植保素、酚类物质合成的重要酶,因此这些酶活性的增加对植物抗病非常有利^[13]。本研究结果表明,堆肥的不同使用方式均可在不同程度上提高番茄叶片保护酶(POD、SOD、PAL)活性,但与堆肥的使用方式和浓度有关,抗病效果越好的处理,保护酶活性提高的幅度越大。10%的堆肥处

理能明显提高番茄叶片POD、SOD和PAL活性,而堆肥浸渍液则以1:1处理的番茄叶片保护酶活性较高,1:3次之,其他堆肥混土处理和浸渍液处理则影响不大。本研究表明施用堆肥能有效地控制番茄青枯病,其内在机理与堆肥能诱导植株激活自身体内的防御系统有关。施用堆肥后通过提高叶片或植株的PAL、POD的活性,增加木质素、植保素和酚类物质的合成来抵御致病菌的侵入,随后激发SOD活性的增强,清除番茄体内的活性氧,从而诱导番茄产生抗性。

此外,前人研究也表明,堆肥能提高植株的抗病性还可能与土壤中微生物的变化有关^[14,15]。堆肥中微生物数量或活性很高,菌群的环境适应性强,施入土壤后易发挥种群优势,并可能激发土壤中土著微生物的活性,从而起到抑菌防病、提高土壤解毒效果、净化土壤环境的效果。蔡燕飞等^[3]研究表明,施用生态有机肥能调控土壤微生物群落结构,促进有益微生物的生长,增强土壤生态系统的稳定性和抑病性,从而提高了土壤质量。

参考文献:

- [1] 孙永明, 李国学, 张夫道, 等. 中国农业废弃物资源化现状与发展战略[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 169-173.
SUN Yong-ming, Li Guo-xue, Zhang Fu-dao, et al. Status quo and developmental strategy of agricultural residues resources in China[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 169-173.
- [2] 马利平, 高 芬, 武英鹏, 等. 沤肥浸渍液对黄瓜霜霉病的抑制作用及其机理[J]. 植物保护学报, 1996, 23(1): 56-59.
MA Li-ping, GAO Fen, WU Ying-peng, et al. The inhibitory effects of compost extracts on cucumber downy mildew and the possible mechanism[J]. Acta Phytophylacica Sinica, 1996, 23(1): 56-59.
- [3] 蔡燕飞, 廖宗文, 章家恩, 等. 生态有机肥对番茄青枯病及土壤微生物多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(3): 349-353.
CAI Yan-fei, LIAO Zong-wen, ZHANG Jia-en, et al. Effect of ecological organic fertilizer on tomato bacterial wilt and soil microbial diversities[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(3): 349-353.
- [4] 盛下放, 钱永禄, 刘 丽. 不同处理有机肥对蔬菜品质和土壤肥力的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1): 77-80.
SHENG Xia-fang, QIAN Yong-lu, LIU Li. Effects of differently treated organic fertilizers on the quality of vegetables and soil fertilities[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(1): 77-80.
- [5] Termorshuizen A J, Van Rijn E. Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: Variability in pathogen response [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38(8): 2461-2477.
- [6] 袁庆华, 桂 枝, 张文淑, 等. 苜蓿抗褐斑病品种内超氧化物歧化酶、过氧化物酶和多酚氧化酶活性的比较 [J]. 草业学报, 2002, 11(2): 100-104.
YUAN Qing-hua, GUI Zhi, ZHANG Wen-shu, et al. Comparison of the

activities of SOD, POD and PPO with in alfalfa cultivars [J]. *Acta Pratacul Turae Sinica*, 2002, 11(2) : 100–104.

- [7] 李 靖, 利容千, 袁文静. 黄瓜感染霜霉病菌叶片中一些酶活性的变化[J]. *植物病理学报*, 1991, 21(4) : 277–283.

LI Jing, LI Rong-qian, YUAN Wen-jing. On the change of enzyme activities of cucumber leaf infected by pseudoperonospora cubensis rosws [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 1991, 21(4) : 277–283.

- [8] 张广臣, 叶景学, 张晓明. 有机肥对茄子生长发育及抗病性的影响[J]. *吉林农业大学学报*, 2003, 25(1) : 66–70.

ZHANG Guang-chen, YE Jing-xue, ZHANG Xiao-ming. Effect of organic manure on eggplant growth and disease resistance[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2003, 25(1) : 66–70.

- [9] Abbasi P A, Dahmani J, Sahin F, et al. Effect of compost amendments on disease severity and yield of tomato in conventional and organic production systems[J]. *Plant Disease*, 2002, 86(2): 156–161.

- [10] 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.

- [11] Cheuk W, Lo K V, Branion R, et al. Applying compost to suppress tomato disease[J]. *BioCycle*, 2003, 44(1): 50–51.

- [12] Cronin M J. Putative mechanism and dynamics of inhibition of the apple scab pathogen *Venturia inaequalis* by compost extracts [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1995, 28: 1241–1249.

- [13] Mehdy M C. Active oxygen species in plant defense against pathogens [J]. *Plant Physiology*, 1994, 105 : 467–472.

- [14] Hoitink, H A J, Stone A G, Han D Y. Suppression of plant disease by composts[J]. *Hortscience*, 1997, 32 : 184–187.

- [15] Ana P P, Ve'ronique E H, Claude A, et al. Response of soil microbial communities to compost amendments[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38: 460–470.