

哈茨木霉菌对水稻幼苗根际土壤微生物和酶活性的影响

官占元^{1,2}, 张国庆¹, 于文莹¹, 黄丹丹¹, 范文艳¹

(1. 黑龙江八一农垦大学农学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 东北农业大学, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要: 采用钵盘育苗试验, 研究了哈茨木霉菌在调节水稻苗床土壤微生物群落及土壤酶活性中的作用。研究表明: 哈茨木霉菌能有效调节水稻幼苗根际土壤微生物群落组成; 哈茨木霉菌对细菌、真菌和放线菌数量的影响程度明显不同, 播种 28 天后, 哈茨木霉菌接种处理的水稻幼苗根际土壤细菌和放线菌数量较对照分别增加 50.70% 和 48.56%, 而真菌数量较对照减少 16.15%, 并且哈茨木霉菌数量较刚播种时增加了 138.46%; 哈茨木霉菌也能显著提高土壤脲酶、磷酸酶和蔗糖酶的活性, 分别较对照提高 8.55%、18.31% 和 49.61%。研究表明, 哈茨木霉菌具有改善土壤微生态环境的作用。

关键词: 哈茨木霉菌; 水稻; 土壤微生物; 土壤酶活性
中图分类号: S154.3; S154.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)04-0167-05

Effects of *Trichoderma harzianum* on microorganisms and enzymatic activities in rhizosphere soil during rice seedling stage

GONG Zhan-yuan^{1,2}, ZHANG Guo-qing¹, YU Wen-ying¹, HUANG Dan-dan¹, FAN Wen-yan¹

(1. College of agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China;
2. Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: The role of *Trichoderma harzianum* in regulating soil enzymatic activities and soil microbial community were studied by using a pot seeding experiment. The results showed that *T. harzianum* could effectively regulated soil microbial community in rhizosphere soil during rice seedling stage, however, it produced different effects on bacteria, fungi and actinomycete. In the 28th day after sowing, the amount of bacteria and actinomycete under inoculation treatment was increased by 50.70% and 48.56%, respectively, but the amount of fungi was reduced by 16.15%, compared with those under control; moreover, the amount of *T. harzianum* under inoculation treatment was 138.46% more than that in the sowing day. *T. harzianum* could also improve the activities of urease, phosphatase and invertase, which were increased by 8.55%, 18.31% and 49.61%, respectively, under inoculation treatment. These results showed that *T. harzianum* had the ability to improve soil micro-ecological environment.

Keywords: *Trichoderma harzianum*; rice; soil microorganism; soil enzymatic activity

水稻是黑龙江省主要农作物之一, 其种植面积已达到 333.3 万公顷, 占全省农作物面积的四分之一。育秧是水稻生产中的重要环节, 提高秧苗素质是保证水稻高产、稳产的基础关键措施, 同时也是提高水稻抗灾害能力的有效途径。因此, 有关水稻壮秧理论与技术研究受到广泛关注。随着绿色农业、有机农业和生态农业的发展, 有机壮秧剂和生物壮秧剂等水稻育秧配套技术也得到了快速发展。许多研究表明, 哈茨木霉菌 (*Trichoderma harzianum*) 不仅对多种植物病原菌具有拮抗作用^[1-3], 而且也能促进植物的生长^[4-5]和提高植物的抗逆性^[6-7]。因此, 哈茨木霉菌是具有较好开发前景的农用微生物菌株。

土壤微生物和土壤酶是构成土壤微生态环境的两个重要组分, 并且是决定土壤功能的两个关键性因素。土壤微生物在促进腐殖质形成、养分吸收、养

收稿日期: 2013-02-10
基金项目: 黑龙江省农垦总局科技攻关项目 (HNK11A-02-08)
作者简介: 官占元 (1972—), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 在读博士研究生, 副研究员, 主要从事作物栽培方面的研究工作。E-mail: kjczy@163.com。
通讯作者: 范文艳, E-mail: fwyjsj@sohu.com。

分固定、养分释放等方面有重要作用^[8-9],土壤酶参与土壤中各类生化反应,并与土壤中多种生态过程密切相关^[10],因此,土壤微生物和土壤酶在土壤生态系统的物质和能量循环以及有机物质转化等过程中扮演重要角色。

目前有关哈茨木霉菌对土壤微生态环境影响的研究报道较少。为此,笔者开展了哈茨木霉菌对水稻苗根际土壤酶活性和土壤微生物影响的研究,探索哈茨木霉菌在调节土壤微生态环境中的作用,为利用哈茨木霉菌研制水稻苗床生物壮秧剂提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试菌株为本实验室分离的哈茨木霉菌(*Trichoderma harzianum*),供试水稻品种为合江 19。哈茨木霉使用 PDA 培养基,采用平板培养法,在 25℃ ~ 26℃ 恒温黑暗条件下培养 5 d,用无菌水洗脱菌株孢子,配制成孢子悬浮液备用。

1.2 试验方法

1.2.1 育苗处理 育苗土取自黑龙江八一农垦大学试验站,土壤为草甸黑钙土,土壤有机质含量 21.6 g·kg⁻¹,碱解氮 160.65 mg·kg⁻¹,速效磷 9.74 mg·kg⁻¹,速效钾 145.60 mg·kg⁻¹,pH 7.74。土壤用 0.5 cm 筛子过筛。苗床土用 1% 浓度硫酸调酸,pH 4.5~5.5。采用塑料软盘育苗方法,育秧盘规格为 575 mm×275 mm×26 mm,648 个方孔,方孔大小为 15 mm×15 mm。每孔播 4 粒种子,出苗后每孔定苗 3 株。试验设喷洒无菌水处理和喷施哈茨木霉孢子悬浮液处理,孢子悬浮液浓度为 10⁶ 个孢子·mL⁻¹,每孔喷液量为 0.05 mL。每个处理播种 4 盘。

1.2.2 土壤微生物的分离 播种 0、7、14、21、28 d 后,从穴盘中取 50 穴土壤样品,将土壤样品混合,用于土壤微生物的分离。土壤微生物的分离采用平板稀释法^[11]。细菌分离采用牛肉膏蛋白胨琼脂(NA)培养基;放线菌分离采用改良高氏一号琼脂培养基;真菌分离采用马丁氏(Martin)琼脂培养基。土壤含水量采用 105℃ 烘干法,通过换算得到每克干土中微生物的数量,即 cfu·g⁻¹干土。

1.2.3 水稻土壤酶活性的测定 土壤取样方法同上。土壤脲酶活性、蔗糖酶活性、碱性磷酸酶活性和纤维素酶活性测定分别采用靛酚比色法、3,5-二硝基水杨酸比色法、磷酸苯二钠法和蒽酮比色法^[12]。土壤脲酶活性以 1 小时后 1 g 土壤中 NH₃-N 的 μg 数表示;蔗糖酶活性以 1 小时后 1 g 土壤中葡萄糖

的 mg 数表示;碱性磷酸酶活性以 1 小时后 1 g 土壤中释放出酚的 mg 数表示;纤维素酶活性以 1 小时后 1 g 土壤中葡萄糖的 μg 数表示。

1.3 数据统计分析

采用 SPSS10.0 统计软件对数据进行差异显著性和相关分析。

2 结果与分析

2.1 哈茨木霉菌定殖及其对水稻幼苗根际土壤微生物数量的影响

由图 1 可知,对照处理的苗床土壤中哈茨木霉菌数量较少,并且 5 个不同取样时期的数量差异不明显。接种哈茨木霉菌的苗床土壤中哈茨木霉菌数量明显高于对照处理,并且不同取样时期的哈茨木霉菌数量差异显著($P < 0.01$)。水稻幼苗生长 28 天后,苗床土壤中哈茨木霉菌数量较刚播种时增加了 138.46%。

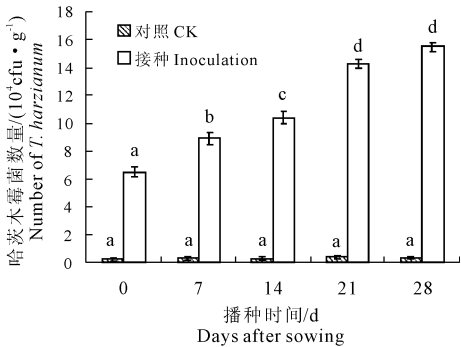


图 1 哈茨木霉菌在水稻幼苗根际定殖情况

Fig.1 Colonization of *T. harzianum* in rhizosphere soil during rice seedling stage

注:小写字母表示 0.01 水平的差异显著性。

Note: Small letters represent the significance at $P < 0.01$.

从表 1 可以看出,对照处理苗床幼苗根际土壤细菌和土壤真菌数量随着水稻幼苗的生长呈现增加的趋势,而土壤放线菌的数量表现出先增加后下降的趋势。接种处理的幼苗根际土壤细菌和放线菌数量均呈现出随着水稻幼苗的生长而增加趋势。在水稻幼苗生长 21 天后,接种处理的幼苗根际土壤细菌和放线菌数量均明显高于对照处理,分别增加 26.47% 和 36.90%。接种处理的土壤真菌数量呈现先增加后下降的趋势。水稻幼苗生长 21 天后,接种处理土壤真菌数量较对照处理降低 5.62%,水稻幼苗生长 28 天后,接种处理的土壤真菌数量较对照处理降低了 16.15%。以上结果表明,接种哈茨木霉菌可以提高水稻幼苗根际土壤微生物数量,并能调节土壤微生物群落结构。在改善水稻苗床土壤养分

转化和循环方面具有积极的作用。

表 1 哈茨木霉菌对水稻幼苗根际可培养微生物数量的影响

Table 1 Effect of *T. harzianum* on culturable microorganisms in rhizosphere soil during rice seedling stage

播种时间/d Days after sowing	细菌/(10 ⁶ cfu·g ⁻¹) Bacteria			真菌/(10 ⁵ cfu·g ⁻¹) Fungi			放线菌/(10 ⁵ cfu·g ⁻¹) Actinomycete		
	接种处理 Inoculation	对照 CK	增长率/% Increase rate	接种处理 Inoculation	对照 CK	增长率/% Increase rate	接种处理 Inoculation	对照 CK	增长率/% Increase rate
0	2.62 ± 0.21	2.54 ± 0.18	3.15 a	7.83 ± 0.67	7.86 ± 0.56	- 0.38 bc	15.46 ± 1.13	15.62 ± 1.05	- 1.02 a
7	3.61 ± 0.23	3.12 ± 0.35	15.71 b	9.03 ± 0.89	8.62 ± 0.61	4.76 c	18.95 ± 1.37	17.23 ± 1.61	9.98 b
14	3.95 ± 0.32	3.42 ± 0.26	15.49 b	12.95 ± 0.95	11.58 ± 0.87	11.8 d	20.35 ± 1.76	18.54 ± 1.27	9.76 b
21	4.73 ± 0.48	3.74 ± 0.33	26.47 c	12.25 ± 1.05	12.98 ± 1.10	- 5.62 b	22.63 ± 1.21	16.53 ± 1.22	36.90 c
28	6.48 ± 0.45	4.30 ± 0.37	50.70 d	11.84 ± 1.12	14.12 ± 0.86	- 16.15 a	24.78 ± 1.44	16.68 ± 1.34	48.56 d

注:不同小写字母表示 0.01 水平的差异显著性。
Note: Different small letters represent the significance at *P* < 0.01.

2.2 哈茨木霉菌对水稻幼苗根际土壤脲酶活性的影响

由图 2 可知,随着水稻幼苗的生长,土壤脲酶活性呈现上升趋势。水稻播种 7 天和 14 天后,接种哈茨木霉菌处理的水稻根际土壤脲酶活性与对照处理之间差异不显著。接种 21 天和 28 天处理的土壤脲酶活性显著高于对照处理(*P* < 0.01),分别增强 10.23%和 8.53%。这一结果说明,哈茨木霉菌对提高水稻幼苗根际土壤脲酶活性具有积极的作用。

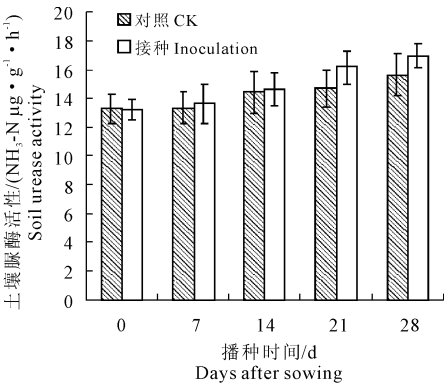


图 2 哈茨木霉菌对土壤脲酶活性的影响
Fig.2 Effect of *T. harzianum* on soil urease activity

2.3 哈茨木霉菌对水稻幼苗根际土壤蔗糖酶活性的影响

图 3 可知,水稻播种 21 天前,水稻苗床土壤蔗糖酶活性呈上升趋势,之后呈现下降。接种哈茨木霉菌处理的水稻苗床土壤蔗糖酶活性高于对照处理。播种 21 天后,接种哈茨木霉菌处理的土壤蔗糖酶活性较对照处理高出 25.1%。虽然播种 28 天后,接种和对照处理的土壤蔗糖酶活性均明显下降,但接种处理较对照处理高出 49.61%。

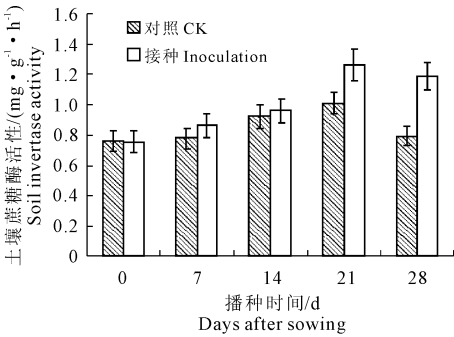


图 3 哈茨木霉菌对土壤蔗糖酶活性的影响
Fig.3 Effect of *T. harzianum* on soil invertase activity

2.4 哈茨木霉菌对水稻幼苗根际土壤碱性磷酸酶活性的影响

土壤磷酸酶能促使土壤有机磷的矿化与分解,有助于植物对磷的吸收,其活性是表征土壤供磷能力的重要指标之一。由图 4 可知,接种处理与对照处理的土壤碱性磷酸酶活性变化趋势基本相似,但播种 28 天后,接种处理的土壤碱性磷酸酶活性显著增强,较对照处理的磷酸酶活性高 18.31%。这一结果表明,水稻苗床施入哈茨木霉菌可以在一定程度上提高土壤磷酸酶的活性。

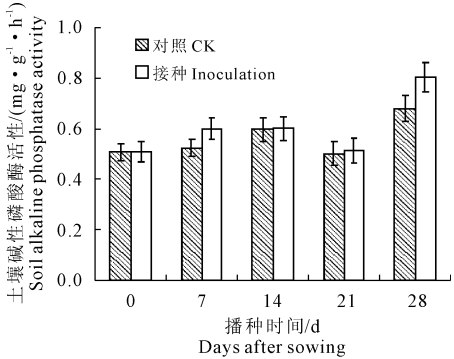


图 4 哈茨木霉菌对土壤碱性磷酸酶活性的影响
Fig.4 Effect of *T. harzianum* on soil alkaline phosphatase activity

2.5 哈茨木霉菌对水稻幼苗根际土壤纤维素酶活性的影响

从图 5 可以看出,对照处理的水稻幼苗根际土壤纤维素酶活性随着水稻生长总体呈上升趋势,而接种哈茨木霉菌处理的水稻幼苗根际土壤纤维素酶活性在播种 14 天前呈上升趋势,而后呈现下降趋势。在接种处理中,水稻播种 21 天和 28 天后,苗床土壤纤维素酶活性较播种 14 天处理的酶活性分别降低 11.02% 和 13.89%。播种 21 天和 28 天后,接种处理较对照处理的土壤纤维素酶活性分别降低了 4.78% 和 18.42%。

2.6 土壤酶活性与土壤微生物数量的相关性分析

由表 2 可知,接种哈茨木霉处理苗床的土壤脲酶和土壤蔗糖酶活性均与细菌、真菌、放线菌和哈茨木霉菌数量呈显著或极显著正相关;对照处理的土壤脲酶活性仅与细菌、真菌数量呈极显著相关性,但

与哈茨木霉菌数量相关性较小。土壤蔗糖酶活性与细菌、真菌、放线菌和哈茨木霉菌数量未显现出显著相关性。接种和对照处理的土壤碱性磷酸酶活性仅与细菌数量呈显著正相关。对照处理的纤维素酶活性与细菌和真菌数量呈现显著正相关,而接种处理的纤维素酶活性与各类微生物数量无显著相关性。

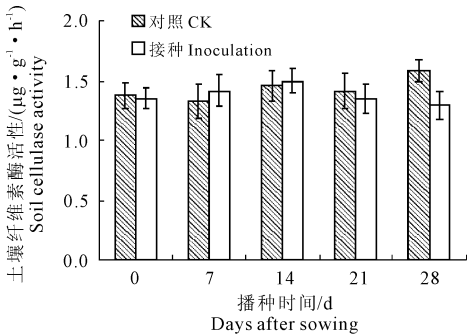


图 5 哈茨木霉菌对土壤纤维素酶活性的影响
Fig.5 Effect of *T. harzianum* on soil cellulase activity

表 2 土壤酶活性与微生物数量的相关性

土壤微生物 Soil microbial	接种处理 Inoculation				对照 CK			
	脲酶 Urease	蔗糖酶 Invertase	碱性磷酸酶 Phosphatase	纤维素酶 Cellulase	脲酶 Urease	蔗糖酶 Invertase	碱性磷酸酶 Phosphatase	纤维素酶 Cellulase
细菌 Bacteria	0.949 * *	0.836 *	0.811 *	- 0.500	0.952 * *	0.358	0.714 *	0.822 *
真菌 Fungi	0.932 * *	0.918 * *	0.596	- 0.190	0.984 * *	0.448	0.688	0.855 *
放线菌 Actinomycete	0.961 * *	0.919 * *	0.676	- 0.342	0.166	0.356	0.334	0.135
哈茨木霉 <i>T. harzianum</i>	0.989 * *	0.969 * *	0.581	- 0.448	0.562	0.532	0.410	0.246

注: * 表示土壤酶活性与土壤微生物的相关性在 $P < 0.05$ 达到显著水平, * * 表示土壤酶活性与土壤微生物的相关性在 $P < 0.01$ 达到极显著水平。

Note: * means significant correlation at $P < 0.05$; * * means significant correlation at $P < 0.01$.

3 讨论与结论

农田生态系统的功能主要是土壤微生物通过调节土壤养分循环和作物残体分解等方面来实现,并直接影响作物生长和作物的重量与品质,因此,土壤微生物在维持农田生态系统的健康和生产效率方面起着重要作用^[13]。虽然农田生态系统的功能是由土壤微生物群落的动态所决定,而农业措施可对土壤微生物群落产生直接的影响作用^[14]。保护性耕作措施^[15-16]、施有机肥^[17-18]和施生物菌剂^[19-20]等农业措施均可以增加土壤微生物量,调节微生物群落结构,改善土壤质量。肥力状况好的土壤中,微生物数量通常较多,并且细菌比例较大,而肥力状况差的土壤中,微生物总量一般较少,真菌和放线菌比例相对较高^[21]。因此,调节水稻苗床土壤微生物群落结构有利于形成健康的水稻幼苗根际土壤微生态环境。

本试验结果表明,水稻苗床接种哈茨木霉菌可

显著增加水稻幼苗根际土壤细菌和放线菌数量,细菌和放线菌是促进土壤有机物和无机物转化的重要生物因子,其数量的增加则有利于土壤腐殖质的合成,并提高土壤的肥力。此外,接种哈茨木霉菌也显著提高水稻幼苗根际土壤微生物群落中细菌和放线菌所占的比例,优化了水稻苗床土壤微生物区系结构,使水稻根际形成了以细菌为主导的微生物土壤类型,这对于抑制水稻苗床土传病害和改善苗床土壤环境及提高秧苗素质具有重要作用。

水稻苗床接种哈茨木霉菌后导致水稻幼苗根际土壤真菌数量相对降低可能与哈茨木霉菌的抑菌作用有关。目前许多研究表明,哈茨木霉菌对多种病原真菌具有较强的抑菌作用,如水稻恶苗病菌 (*Fusarium monilif*)^[22]、根腐病菌 (*Fusarium solani*)^[23]、西瓜枯萎病菌 (*Fusarium oxysporum f. sp. niveum*)^[24]、烟草赤星病 (*Alternaria alternata*)^[25]。本实验结果显示,苗床接种哈茨木霉菌后,苗床土壤中的哈茨木霉菌数量随着水稻生长呈上升趋势。在播

种 28 天后,接种处理的水稻苗床土壤中哈茨木霉菌数量较刚播种时增加了 138.46%,并且接种处理的土壤真菌数量较对照处理降低了 16.15%。这一结果表明,接种处理苗床土壤真菌数量降低与哈茨木霉菌的快速增殖抑制了土壤中其它真菌的繁殖有关。

土壤酶活性是反映土壤中生物化学过程的重要指标。脲酶是一种专属酶,能催化酰胺化合物水解为氨,土壤中脲酶活性的提高,将加速土壤有机氮的转化^[26]。水稻苗床接种哈茨木霉菌可显著提高水稻幼苗根际土壤脲酶活性,这将加快土壤含氮有机中间产物转化为氨态氮的速度,有助于提高水稻幼苗根际有效态氮的含量。土壤磷酸酶能促进土壤中有有机磷化合物或无机磷酸盐转化为植物能利用的无机态磷。试验表明,哈茨木霉菌可提高水稻幼苗根际土壤碱性磷酸酶活性,表明水稻苗床接种哈茨木霉菌可以促进土壤中有有机磷化合物或无机磷酸盐转化,改善苗床土壤磷素的供应水平。此外,哈茨木霉菌也显著提高了水稻幼苗根际土壤蔗糖酶活性。土壤蔗糖酶活性强弱是反映土壤肥力水平的重要指标之一,土壤蔗糖酶活性升高,说明土壤生物活性高,土壤状况良好。接种哈茨木霉菌处理的蔗糖酶活性和土壤脲酶活性与土壤微生物数量呈显著或极显著正相关,表明接种哈茨木霉菌处理的水稻幼苗根际土壤脲酶活性和蔗糖酶活性增加与哈茨木霉菌提高了苗床土壤微生物数量密切相关。

综上所述,水稻苗床接种哈茨木霉菌可优化水稻幼苗根际土壤微生物群落构成,提高土壤脲酶、蔗糖酶和磷酸酶活性,改善水稻根际微生态环境和土壤肥力状况,有利于水稻秧苗素质提高。

参 考 文 献:

[1] 姚 彬,王傲雪,李景富.哈茨木霉对 4 种番茄病原真菌抑制作用的研究[J].东北农业大学学报,2009,40(5):26-31.

[2] Martínez-Medina A, Roldán A, Pascual JA. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum* under conventional and low input fertilization field condition in melon crops: Growth response and *Fusarium wilt* biocontrol[J]. Applied Soil Ecology, 2011,47(2):98-105.

[3] Perazzolli M, Roatti B, Bozza E, et al. *Trichoderma harzianum* T39 induces resistance against downy mildew by priming for defense without costs for grapevine[J]. Biological Control, 2011,58:74-82.

[4] Nzanza B, Marais D, Soundy P. Yield and nutrient content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* and *Glomus mosseae* inoculation[J]. Scientia Horticulturae, 2012,144(6):55-59.

[5] Sofo A, Tataranni G, Dichio B, et al. Direct effects of *Trichoderma harzianum* strain T-22 on micropropagated shoots of GiSeLa6® (*Prunus cerasus* × *Prunus canescens*) rootstock[J]. Environmental and Experimental Botany, 2012,76:33-38.

[6] Mastouri F, Björkman T, Harman G E. Seed treatment with *Trichoderma*

harzianum alleviates biotic, abiotic and physiological stresses in germinating seeds and seedlings[J]. Phytopathology, 2010,100:1213-1221.

[7] Shukla N, Awasthi R P, Rawat L, et al. Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* under drought stress[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2012,54:78-88.

[8] Roy S, Singh JS. Consequences of habitat heterogeneity for availability of nutrients in a dry tropical forest[J]. Journal of Ecology, 1994,82:503-509.

[9] Cortez J, Bouché M. Decomposition of Mediterranean leaf litters by *Nicodrilus meridionalis* (Lumbricidae) in laboratory and field experiments[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001,33:2023-2035.

[10] 张玉兰,陈利军,张丽莉.土壤质量的酶学指标研究[J].土壤通报,2005,36(4):598-604.

[11] 李顺鹏,李玉祥.微生物学试验指导[M].北京:中国农业出版社,2003:13-16.

[12] 严昶升主编.土壤肥力研究方法[M].北京:农业出版社,1988:243-279.

[13] Pankhurst CE, Ophel-Keller K, Doube BM, et al. Biodiversity of soil microbial communities in agricultural systems[J]. Biodiversity and Conservation, 1996,5(2):197-209.

[14] Germida J J, Siciliano SD. Taxonomic diversity of bacteria associated with the roots of modern, recent and ancient wheat cultivars[J]. Biology and Fertility of Soils, 2001,33:410-415.

[15] 杨江山,张恩和,黄高宝,等.保护性耕作对麦药轮作土壤酶活性和微生物数量的影响[J].生态学报,2010,30(3):824-829.

[16] Helgason B L, Walley F L, Germida J J. Long-term no-till management affects microbial biomass but not community composition in Canadian prairie agroecosystems[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2010,42:219-2202.

[17] 王 英,王 爽,李伟群,等.长期定位施肥对土壤微生物区系的影响[J].东北农业大学学报,2007,38(5):632-636.

[18] 周艺敏,小仓宽典,吉田彻志.天津半干旱地区不同种植年限菜田土壤微生物变化特性的研究[J].植物营养与肥料学报,2000,6(4):424-429.

[19] 范文艳,陈 瑾,姜述君,等.复合生防菌群对连作大豆根际土壤可培养微生物区系的影响[J].中国油料作物学报,2012,34(6):286-293.

[20] 谭晓燕,杨润亚,薛 军,等. AM 菌剂对葡萄根围土壤微生物数量及酶活性的影响[J].鲁东大学学报(自然科学版),2012,28(1):50-53.

[21] Albiach R, Canet R, Pomanes F, et al. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil[J]. Bioresource Technology, 2000,75:43-48.

[22] 产祝龙,丁克坚,檀根甲,等.哈茨木霉对水稻恶苗病菌的拮抗作用[J].植物保护,2003,29(3):35-39.

[23] 覃柳燕,蒋 妮,唐美琼,等.木霉菌对山豆根根腐病菌的拮抗作用[J].中药材,2011,34(4):499-502.

[24] 陈方新,齐永霞,戴庆怀,等.哈茨木霉对几种植物病原真菌的拮抗作用及其抗药性测定[J].中国农学通报,2005,21(11):314-317.

[25] Gveroska B, Ziberoski J. *Trichoderma harzianum* as a biocontrol agent against *Alternaria alternata* on tobacco[J]. Applied Technologies & Innovations, 2012,7(2):67-76.

[26] 李振高,骆永明,滕 应.土壤与环境微生物研究法[M].北京:北京科学出版社,2008.