

几种纤维素分解菌在有机质转化中的作用

刘淑霞¹, 王鸿斌¹, 赵兰坡¹, 吴海文², 张洪梅¹, 秦治家³

(1. 吉林农业大学资源与环境学院, 吉林 长春 130118; 2. 吉林农业大学中药材学院, 吉林 长春 130118; 3. 吉林省东辽县金洲农业站, 吉林 东辽 136615)

摘要:采用培养实验,研究了在添加有机物料的条件下几种纤维素分解菌在土壤有机质转化中的作用。目的在于探讨黑土有机质变化的微生物机理,并从中筛选出活性较高的菌株及其组合,以期将之用于秸秆还田,提高土壤肥力,充分发挥微生物在生态系统中的作用。结果表明,在添加有机物料培养条件下土壤有机质的转化与纤维素分解菌的种类与数量有一定的相关性,不同的纤维素分解菌在有机质转化中的作用不同,多种菌株联合接种比单一接种对有机质转化的作用要强。所选择的4株菌株中哈茨木霉(*Trichoderma harzianum* Rifai, Mycol)比绿色木霉(*Trichoderma atroviride* P.karsten,Finl.)、桔青霉(*Penicillium citrinum* Thom.)和黑曲霉(*Aspergillus niger* v.Tiegh.)在有机质转化中的作用大。

关键词:纤维素分解菌;玉米秸秆;土壤有机质;转化

中图分类号:X172 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)03-0991-06

Effect of Several Cellulose-decomposing Microorganisms on Soil Organic Matter Transformation

LIU Shu-xia¹, WANG Hong-bin¹, ZHAO Lan-po¹, WU Hai-wen², ZHANG Hong-mei¹, QIN Zhi-jia³

(1.College of Resource and Environmental Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. College of Chinese Medicinal Materials, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 3.Jinzhou Agriculture Station of Dongliao County in Jilin Province, Dongliao 136615, China)

Abstract: In order to investigate the microbial mechanism of organic matter transformation and to screen higher active strain and the combination from all the isolated strain in black soils for applying the straw return to fields, increasing soil fertility and exerting the function of microorganism on agricultural ecological system. The incubation experiment was carried out to study the effect of several cellulose-decomposing microorganisms on the soil organic matter transformation. Firstly, 14 genera, 27 species were identified and three of them were recorded in Jilin of China from 181 black soil samples from April in 2003 to December in 2004. There were 14 genera and 24 species in upper layer soil (0~20 cm) and 11 genera and 19 species in the sub-upper layer soil (20~40 cm). 11 genera and 19 species were the same in tested soil. *Penicillium* and *aspergillus* were dominant among cellulose-decomposing microorganisms with the relative amount 33.33% and 25.93%, respectively. The capability for decomposing cellulose was different, *Penicillium citrinum* Thom., *Aspergillus niger* v.Tiegh., *Trichoderma harzianum* Rifai, Mycol and *Trichoderma atroviride* P.karsten, Finl were stronger than *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.)Lind. and *Geotrichum candidum* Link. The application of fertilizer, especially chemical-organic fertilizer, can increase the number of cellulose-decomposing microorganisms. Four strains were selected from all the isolated strains in black soils in an incubation experiment. The effect of cellulose-decomposing microorganisms on soil organic matter transformation was prominent, which varied with different cellulose-decomposing microorganisms. The interaction effect between different cellulose-decomposing microorganisms in mixed incubation was stronger than the effect of different cellulose-decomposing microorganisms in separate incubation in organic matter transformation. Among the selected four strains, *Trichoderma harzianum* Rifai, Mycol had more effect on soil organic matter transformation than *Trichoderma atroviride* P.karsten, Finl, *Penicillium citrinum* Thom and *Aspergillus niger* v.Tiegh.

Keywords: cellulose-decomposing microorganisms; corn straw; soil organic matter; transformation

收稿日期:2007-10-25

基金项目:863 计划(2006AA10A309);沃土工程(2006BAD25B05);吉林农业大学博士后基金资助

作者简介:刘淑霞(1969—),女,博士,副教授,主要从事植物营养与环境生态研究。E-mail:liushuxia2005824@163.com

通讯作者:赵兰坡 E-mail:zhaolanpo12@163.com

土壤有机质是土壤养分的主要来源,可以改善土壤结构,增强土壤的保水、保肥性和透气性,对土壤肥力具有重要的作用^[1]。同时土壤有机质对重金属的污染、农药污染和全球碳平衡等都有较大的影响,在农业生态系统环境中也具有重要的作用^[2]。长期以来人们对土壤有机质的数量方面做了大量工作^[3],但在土壤有机质形成与转化机理方面研究较少^[4]。土壤有机质的形成与转化受各种因素的影响^[5]。微生物在土壤有机质的形成过程中起着非常重要的作用,尤其是纤维素分解菌^[6]。

纤维素分解菌是自然界中能分解纤维素的微生物,包括有细菌、真菌和放线菌,主要是好气性纤维分解菌和嫌气性纤维素分解菌^[7]。除细菌外,某些真菌与放线菌类群也具有分解纤维素的能力,而且真菌的分解能力强于细菌和放线菌。真菌中对纤维素作用较强的菌株多是木霉属(*Trichoderma*)、曲霉属(*Aspergillus*)、青霉属(*Penicillium*)和枝顶孢霉属(*Acremonium*)的菌株,特别是绿色木霉(*Trichoderma viride*)及其远缘的菌株^[7]。纤维素分解菌是土壤有机残体分解的中心环节,其分解强度反映了土壤微生物对有机残体分解的程度和速度,直接关系到土壤有机质的形成与积累^[8]。因此,本试验从以往研究中分离的纤维素分解菌株中选择了4株具有代表性的纤维素分解菌菌株,通过培养试验研究了纤维素分解菌在土壤有机质转化中的作用,目的在于探讨黑土有机碳变化的微生物机理,从中筛选出活性较高的菌株及其组合,以期将之用于秸秆还田,提高土壤肥力,充分发挥微生物在生态系统中的作用。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤采自吉林农业大学试验田耕层。土壤的

基本性质为:有机质 29.7 g·kg⁻¹、碱解氮(N)127 mg·kg⁻¹、速效磷(P) 48.3 mg·kg⁻¹、速效钾(K) 228.5 mg·kg⁻¹、全氮 1.18 g·kg⁻¹、pH6.2。

1.2 供试有机物料

供试有机物料为玉米秸秆,采自吉林农业大学试验站。将玉米秸秆用铡草机铡成 1~5 cm 的小段,在干燥箱中于 50 ℃烘干至恒重,用粉碎机粉碎,过 60 目筛。该玉米秸秆含有机碳 426.6 g·kg⁻¹、全氮 4.8 g·kg⁻¹、全磷 5.6 g·kg⁻¹、全钾 4.3 g·kg⁻¹、C/N 比约为 90。

1.3 供试菌株

1 号:绿色木霉(*Trichoderma atroviride* P.karsten, Finl.),2 号:桔青霉(*Penicillium citrinum* Thom.),3 号:黑曲霉(*Aspergillus niger* v.Tiegh.),4 号:哈茨木霉(*Trichoderma harziamum* Rifai, Mycol)。4 种菌株均是通过吉林黑土进行分离、纯化所筛选出的菌株。

1.4 培养试验

将土样粉碎过 1 mm 筛子,每 kg 土壤加 50 g 玉米秸秆和蛭石(蛭石和玉米秸秆的比例为 49:1),混匀,调节含水量为田间持水量的 60%,装于试管中^[4]。每管装 50 g,加棉塞包扎,121 ℃灭菌 3 h,按 20 mL·kg⁻¹ 接种量分别接种各菌液(即每个试管接种量为 1 mL),28 ℃下培养 120 d。定期补充无菌水,保持湿度(含水量为田间持水量的 60%)。初始培养时间为 2005 年 5 月 21 日,取样时间为培养的第 120 d。试验采用 11 因素 4 水平(根据完全试验方案方法,在预试验的基础上来安排实验因素与水平),重复 3 次。具体方案见表 1。

1.5 分析方法

1.5.1 土壤纤维素分解菌分离、计数、菌株鉴定

1.5.1.1 纤维素分解菌数量的测定:

采用 MPN 方法(最大然值法)^[9]。

①好气性纤维素分解菌的测定:用依姆歇涅茨基纤维素培养基进行培养-稀释法进行测定 (培养基/g·

表 1 试验方案设计
Table 1 The experimental design

处理	微生物种类										
	A	B	C	D	AB	AD	BC	ABC	ABD	ABCD	CK
1	A-I	B-I	C-I	D-I	AB-I	AD-I	BC-I	ABC-I	ABD-I	ABCD-I	CK-I
2	A-II	B-II	C-II	D-II	AB-II	AD-II	BC-II	ABC-II	ABD-II	ABCD-II	CK-II
3	A-III	B-III	C-III	D-III	AB-III	AD-III	BC-III	ABC-III	ABD-III	ABCD-III	CK-III
4	A-IV	B-IV	C-IV	D-IV	AB-IV	AD-IV	BC-IV	ABC-IV	ABD-IV	ABCD-IV	CK-IV

注:处理 1:灼烧土,处理 2:黑土,处理 3:灼烧土+秸秆,处理 4:黑土+秸秆。A:绿色木霉,B:桔青霉,C:黑曲霉,D:哈茨木霉,AB, AD,BC,ABC,ABD, ABCD 等代表不同菌混合,CK:灭菌不接种(其他处理相同)。
Note: 1: ignited soil; 2: black soil; 3: ignited soil + corn straw; 4: black soil+ corn straw; A: *Trichoderma atroviride* P.karsten,Finl.; B: *Penicillium citrinum* Thom.; C: *Aspergillus niger* v.Tiegh.;D: *Trichoderma harziamum* Rifai,Mycol.; AB, AD,BC,ABC,ABD,ABCD denote combinations of different fungi; CK: sterization without inoculation

L⁻¹:K₂HPO₄ 1,FeCl₃· 6H₂O 0.1,MgSO₄·7H₂O 0.3,CaCl₂ 0.1,NaCl 0.1,NaNO₃ 2.5,蒸馏水 1 L,pH7.2~7.4)。

②嫌气性纤维素分解菌的测定:用奥曼梁斯基培养基进行培养-稀释法进行测定(培养基/g·L⁻¹: (NH₄)₂SO₄ 1,MgSO₄·7H₂O 0.5,K₂HPO₄ 1,NaCl 0.2,Ca-CO₃ 2,蒸馏水 1 L)。

1.5.1.2 纤维素分解菌菌株的鉴定

①纤维素分解菌分离纯化培养基-赫奇逊培养基(g·L⁻¹):KH₂PO₄ 1,MgSO₄·7H₂O 0.3, NaCl 0.1,NaNO₃ 2.5, FeCl₃ 0.01,CaCl₂ 0.1,琼脂 20,蒸馏水 1 L,pH7.2~7.3。

②保存菌种培养基-马铃薯琼脂培养基(PDA)(g·L⁻¹): 马铃薯 200,葡萄糖 20,琼脂 15~20,维生素 B₂, 水 1 L。

③纤维素分解菌鉴别培养基-羧甲基纤维素钠平板(g·L⁻¹):K₂HPO₄ 2.5,Na₂HPO₄ 2.5,琼脂 14.00,CMC-Na 20,蛋白胨 2.00,酵母膏 0.5,蒸馏水 1 L,pH 7.0~7.5。

④菌株鉴定:通过个体发育产孢结构和孢子形态特征等进行鉴定^[9]。

1.5.2 腐殖物质的提取和分离测定

以 0.1 mol·L⁻¹ 焦磷酸钠和 0.1 mol·L⁻¹ 氢氧化钠的混合液提取腐殖物质,1:1HCl 分离胡敏酸(HA)和富里酸(FA),用重铬酸钾-硫酸容量法(外加热)测定有机碳的含量^[10]。

1.5.3 土壤活性有机碳的测定

0.4 mol·L⁻¹ K₂Cr₂O₇-1:3H₂SO₄ 混合液,在 130~140℃与土壤样品共煮 5 min, 其余方法同有机碳总量的测定^[10]。

1.5.4 其他养分测定采用常规测定方法^[10]。

1.6 数据统计分析

采用 DPS 软件和 Execell2003 进行。

2 结果与分析

在加菌液前,首先抽样检测灭菌的培养管的灭菌效果,合格后进行各试验菌接种,然后进行培养。培养结束后,再一次对各处理培养管中微生物进行分离检测,结果表明,各培养管中只有相应的接种菌生长,说明培养过程中无杂菌污染。

2.1 不同类型纤维素分解菌对土壤有机质的影响

表 2 是黑土加入秸秆灭菌后,再加入纤维素分解菌混合培养后有机质变化的显著性分析。由表 2 可以看出不同种类的纤维素分解菌在土壤有机质总量变化中的作用不同,接种单一菌株和多种菌株处理土壤与 CK 相比都达到了极显著性水平,其中接种单一菌株处理土壤培养后,接种菌株 D(哈茨木霉 *Trichoderma harzianum* Rifai,Mycol.) 的有机质总量与 CK 相比减少最多,其次是接种菌株 C (黑曲霉 *Aspergillus niger* v.Tiegh.), 接种菌株 B (桔青霉 *Penicillium citrinum* Thom.), 变化最小的是接种菌株 A (绿色木霉 *Trichoderma atroviride* P.karsten,Finl.)的土壤。这说明,在添加有机物料培养条件下与其他纤维素分解菌相比,哈茨木霉(*Trichoderma harzianum* Rifai,Mycol.)在有机质转化过程中的作用最大。但是各个处理之间没有达到显著性水平。

从表 2 还可以看出,接种多种菌株处理土壤混合培养可以加速有机质的分解、转化,并且在有机质的

表 2 黑土+秸秆纤维素分解真菌混合培养土壤有机质显著性分析

Table 2 Significance analysis of soil organic in black soil +corn straw treated with cellulose decomposition fungus												
有机质组分/ 显著水平/		微生物种类										
g·kg ⁻¹	%	CK	A	B	C	D	AB	BC	AD	ABC	ABD	ABCD
总有机质 (TOM)	平均值	53.49	45.21	44.88	44.30	43.50	43.27	43.14	42.16	41.05	40.88	40.71
	0.05	a	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
	0.01	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
胡敏酸(HA)	平均值	2.54	2.89	2.89	4.32	4.16	4.32	3.39	4.75	4.98	3.39	5.43
	0.05	d	d	d	abc	abc	cd	d	ab	bc	d	a
	0.01	E	DE	DE	ABC	ABC	BCDE	CDE	AB	ABCD	CDE	A
富里酸(FA)	平均值	0.62	5.17	2.21	6.00	5.19	1.62	2.25	5.16	1.37	2.07	4.80
	0.05	g	b	d	a	b	e	d	b	f	d	c
	0.01	F	B	D	A	B	E	D	B	E	D	C

注:A:绿色木霉,B:桔青霉,C:黑曲霉,D:哈茨木霉 表中小写字母及组合代表处理间 0.05 水平差异显著性,大写字母及组合代表处理间 0.01 水平差异显著性。下表同。

Note: A: *Trichoderma atroviride* P.karsten,Finl.; B: *Penicillium citrinum* Thom.; C: *Aspergillus niger* v.Tiegh.;D: *Trichoderma harzianum* Rifai,Mycol.; small letters and capital letters denote 0.05 and 0.01 significant levels respectively. The same below.

表 3 灼烧土+秸秆纤维素分解真菌混合培养土壤有机质显著性分析

Table 3 Significance analysis of soil organic in ignited soil +corn straw treated with cellulose decomposition fungus

有机质组分/ 显著水平/ g·kg ⁻¹ %		微生物种类										
		CK	A	B	C	D	AB	BC	AD	ABC	ABD	ABCD
总有机质 (TOM)	平均值	27.60	23.44	23.25	23.14	22.67	23.31	23.10	23.18	22.78	22.31	22.02
	0.05	a	ab	ab	ab	b	ab	ab	ab	b	b	b
	0.01	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
胡敏酸(HA)	平均值	0.33	0.53	0.32	2.11	2.23	0.82	1.58	1.13	1.72	2.17	1.41
	0.05	g	F	g	a	a	e	bc	d	b	a	c
	0.01	F	F	F	A	A	E	BC	D	B	A	C
富里酸(FA)	平均值	0.22	0.35	0.31	0.59	0.39	0.70	0.62	0.74	1.00	0.44	1.10
	0.05	e	de	de	bc	d	b	b	b	b	cd	a
	0.01	E	E	E	BCD	DE	B	BC	B	B	CDE	A

分解过程中同时接种 4 种菌株(绿色木霉(*Trichoderma atroviride* P.karsten, Finl.), 桔青霉(*Penicillium citrinum* Thom.), 黑曲霉(*Aspergillus niger* v.Tiegh.), 哈茨木霉(*Trichoderma harziamum* Rifai, Mycol))混合培养的作用最大。

表 3 是灼烧土加入秸秆灭菌后,加入纤维素分解菌混合培养后有机质变化的显著性分析。由表 3 可以看出,利用灼烧土进行纤维素分解菌混合培养,接种单一菌株和多种菌株处理土壤与 CK 相比接种菌株 D、ABC、ABD 和 ABCD 的处理都达到了显著水平,但是没有达到极显著水平。并且在有机质转化过程中,接种单一菌株处理土壤培养后,还是菌株 D(哈茨木霉 *Trichoderma harziamum* Rifai, Mycol.)在有机质总量变化中的作用最大。

接种多种菌株处理土壤中,同时接种绿色木霉(*Trichoderma atroviride* P.karsten,Finl.)、桔青霉(*Penicillium citrinum* Thom.) 和黑曲霉 (*Aspergillus niger* v. Tiegh.)3 种纤维素分解菌,同时接种绿色木霉(*Trichoderma atroviride* P.karsten,Finl.)、桔青霉(*Penicillium citrinum* Thom.) 和哈茨木霉 (*Trichoderma harziamum* Rifai, Mycol)3 种纤维素分解菌以及 4 种菌株(绿色木霉 *Trichoderma atroviride* P.karsten,Finl., 桔青霉 *Penicillium citrinum* Thom.,黑曲霉 *Aspergillus niger* v. Tiegh.,哈茨木霉 *Trichoderma harziamum* Rifai, Mycol)同时接种,对土壤有机质转化有重要作用。这也说明了在添加有机物料培养条件下 4 种纤维素分解菌在有机质转化中存在协同作用。

由黑土和灼烧土的培养试验中有机质的显著性分析可以看出 (表 2 和表 3), 在灼烧土中接种菌株 ABCD 混合培养土壤有机质的含量降低了 20.22%,而在黑土培养试验中则降低了 23.89%。说明在所加

入的玉米秸秆分解的同时,原来黑土中的有机质也发生了分解转化。但是相对于所加入的有机物料来说,转化相对较慢。这与张晋京等的研究结果相一致^[11、12]。

2.2 不同类型纤维素分解菌对土壤胡敏酸含量的影响

由表 2 还可以看出利用黑土进行混合培养的土壤中,不同种类的纤维素分解菌在土壤胡敏酸含量变化中的作用不同。接种单一菌株处理土壤培养后,与 CK 相比接种菌株 C(黑曲霉 *Aspergillus niger* v.Tiegh.) 和 D(哈茨木霉 *Trichoderma harziamum* Rifai, Mycol.)的处理达到了极显著水平,其中菌株 C 在土壤胡敏酸含量变化中的作用大于菌株 D 的;接种菌株 A(绿色木霉 *Trichoderma atroviride* P.karsten,Finl.)和 B(桔青霉 *Penicillium citrinum* Thom.) 的处理与接种 C (黑曲霉 *Aspergillus niger* v.Tiegh.)和 D(哈茨木霉 *Trichoderma harziamum* Rifai,Mycol.)的处理间达到了极显著水平,但它们各自之间没达到显著性水平;接种多种菌株处理土壤混合培养后,与 CK 相比 AD 和ABC 处理达到了极显著水平,而且 AB 与 AD、ABCD 处理间达到了极显著水平,AD、ABCD 处理与 A、B、AB、BC、ABD 处理间达到了极显著水平,ABC 与 ABCD 处理间也达到了极显著性水平。这说明不同的土壤纤维素分解菌在土壤胡敏酸含量变化中的作用不同。

由表 3 灼烧土培养试验中胡敏酸的变化可以看出,与 CK 相比各种微生物处理中除了 B 处理之外,都达到了显著性水平,并且除了 A、B 处理以外,其他处理间均达到了极显著水平。由表 3 还可以看出,在灼烧土中,D (哈茨木霉 *Trichoderma harziamum* Rifai, Mycol.)在胡敏酸的形成中作用最大,其次为 C(黑曲霉 *Aspergillus niger* v.Tiegh.);C、D、ABD 处理与 A、B、AB、AD、BC、ABC、ABCD 之间达到了极显著水平。这进一步证明了不同纤维素分解菌在土壤胡敏酸形成

中的作用不同。

由黑土和灼烧土的培养试验中有机质的显著性分析还可以看出(表 2 和表 3),在灼烧土中接种菌株 ABCD 混合培养土壤 HA 的含量增加了 3.27 倍,FA 的含量增加了 4.00 倍;而在黑土培养试验中则 HA 的含量增加了 1.14 倍,FA 的含量增加了 6.74 倍。进一步说明在所加入的玉米秸秆分解的同时,原来黑土中的 HA 与 FA 间也发生了转化。

2.3 不同类型纤维素分解菌对土壤富里酸含量的影响

由表 2 黑土加入秸秆灭菌后,加入纤维素分解菌混合培养后土壤富里酸含量变化的显著性分析结果可以看出,利用黑土进行混合培养的土壤中,与 CK 相比,接种单一菌株和接种多种菌株的处理均达到了显著性水平,且 C 处理与其他处理间均达到了显著性水平,而 D、A、AD 间相关关系不显著;BC、B、ABD 间相关关系不显著;ABCD 与各处理间相关关系均达到了显著水平。这说明不同的土壤纤维素分解菌在土壤富里酸形成中的作用不同,而且不同菌株间存在着相互作用。由黑土培养试验富里酸含量变化可以看出,C 菌株(黑曲霉 *Aspergillus niger* v.Tiegh.)在富里酸的形成中作用最大,其次为 D (哈茨木霉 *Trichoderma harzianum* Rifai,Mycol.)。

由表 3 可以看出,在利用灼烧土培养过程中,菌株 C 最有利于富里酸的形成,其次为 D。与 CK 相比在单一菌株与多种菌株处理中,除了 A、B 处理外,其它处理都达到了显著性水平,并且 ABCD 与 ABC、AB、BC、C 等处理间都达到了极显著水平。而且混合培养的显著性水平更高。

2.4 不同类型纤维素分解菌对土壤 HA/FA 比值的影响

土壤中的 HA/FA 的比值变化反映了玉米秸秆腐解过程中胡敏酸和富里酸形成的相对多少以及两者之间的相互转化。由表 4 可以看出,在黑土培养试验中,CK 的 HA/FA 的比值最大。而灼烧土培养试验中则是 D 的比值最大。可见,哈茨木霉是分解玉米秸秆的主要菌类。一般在适宜的条件下,木霉具有较强的

分解纤维素、半纤维素、木质素等物质的能力,而木质素等物质的分解产物(醌型化合物和氨基酸等)均为构成腐殖质的主要原始材料^[8]。这些物质在真菌细胞自溶时很容易缩合-聚合成腐殖质,所以木霉在土壤腐殖质形成中作用较大。

3 讨论与结论

土壤微生物在腐殖质形成中具有重要作用^[1]。已有研究结果表明,在培养条件下,木霉所形成的 HA 含量最高,HA/FA 比值最大^[4]。土壤中 HA 和 FA 的含量与土壤中纤维素分解菌的数量呈显著的正相关^[13]。纤维素分解菌的数量及活性受外界条件的影响^[5],应用纤维素菌剂可以增加土壤中能分解纤维素微生物的群体,增强利用降解秸秆的能力,显著增加秸秆的降解率^[4]。同时玉米秸秆对土壤纤维素分解微生物的数量、活性具有促进作用^[5]。从本试验的结果可以看出,在添加有机物料培养条件下土壤有机质的转化与纤维素分解菌的种类与数量有一定的相关性。不同的纤维素分解菌在有机质转化中的作用不同,多种菌株联合接种比单一接种对有机质转化的作用要强。所选择的 4 株菌株中哈茨木霉 (*Trichoderma harzianum* Rifai,Mycol) 比绿色木霉 (*Trichoderma atroviride* P. karsten,Finl.)、桔青霉(*Penicillium citrinum* Thom.)和黑曲霉(*Aspergillus niger* v.Tiegh.)在有机质转化中的作用大。但在自然条件下,纤维素分解菌在土壤有机质转化中作用还有待于进一步研究。

Petre 等^[16]的研究表明,土壤有机质和秸秆的分解有最适应的温度和湿度等条件,并且满足不同的效应函数。因此,在研究有机物料的分解状况时,应将自然状况等加以考虑在内。本试验中,在进行土壤有机质分解与转化培养试验时只采用一种温度与湿度条件,这可能对本试验结果造成影响。而且土壤中的纤维素分解菌不仅有真菌,还有细菌类和放线菌类。林启美等^[17]研究表明,纤维素分解菌对解磷微生物的解磷作用有很大的影响,而且不同微生物间的相互作用对土

表 4 培养试验中土壤 HA/FA 比值变化
Table 4 Variation of soil HA/FA in the incubation experiment

处理	微生物种类										
	CK	ABC	AB	ABD	BC	B	ABCD	AD	D	C	A
黑土	4.14	3.64	2.67	1.64	1.51	1.31	1.13	0.92	0.8	0.72	0.56
灼烧土	1.5	1.72	1.17	4.93	2.55	1.03	1.28	1.53	5.72	3.58	1.51

注:A:绿色木霉,B:桔青霉,C:黑曲霉,D:哈茨木霉。
Note: A: *Trichoderma atroviride*P.karsten,Finl.; B: *Penicillium citrinum*Thom.; C: *Aspergillus nigerv*.Tiegh.;D: *Trichoderma harzianum*Rifai,Mycol

壤有机质的分解与转化也有不同的影响,所以对不同纤维素分解菌及与不同微生物间的相互作用在土壤有机质转化中的作用,还需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 张勇, 庞学勇. 土壤有机质及其研究方法综述[J]. 世界科技研究与发展, 2005, 27(5): 72–78.
ZHANG Yong, PANG Xue-yong. A review of soil organic matter and its research methods[J]. *World Sci-Tech R & D*, 2005, 27(5): 72–78.
- [2] 徐玉芬, 吴平霄, 党志. 水溶性有机质对土壤中污染物环境行为影响的研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2007, 26(3): 307–311.
XU Yu-fen, WU Ping-xiao, DANG Zhi. Advances in research on the influence of environmental behaviors of pollutants in soil caused by water dissolvable organic matter [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2007, 26(3): 307–312.
- [3] 蔡燕飞, 章家思, 张杨珠. 稻作制度对红壤性水稻土土壤有机质特征的影响[J]. 土壤, 2006, 38(4): 396–399.
CAI Yan-fei, ZHANG Jia-si, ZHANG Yang-zhu. Effect of rice-based cropping systems on organic matter properties in paddy soil derived from red earth [J]. *Soils*, 2006, 38(4): 396–399.
- [4] 来航线, 程丽娟, 王中科. 几种微生物对土壤腐殖质形成的作用[J]. 西北农业大学学报, 1997, 25(6): 79–82.
LAI Hang-xian, CHAENG Li-juan, WANG Zhong-ke. Effect of several microorganisms on the formation of soil humus[J]. *Acta Univ Agric Bore-ali-occidentalis*, 1997, 25(6): 79–82.
- [5] 关松, 窦森. 土壤有机质分解与转化的驱动因素[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(10): 2203–2206.
GUAN Song, DOU Sen. Driving factors of the decomposition and transformation of soil organic matter [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2006, 34(10): 2203–2206.
- [6] 王广印, 马新立, 张全, 等. 有益菌对有机质的分解作用及对蔬菜的增产效应[J]. 广东农业科学, 2006, 10: 45–46.
WANG Guang-yin, MA Xin-li, ZHANG Tong, et al. The faction of benefit bacterium on organic matter and the effect to the increased production of vegetables[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2006, 10: 45–46.
- [7] 赵小蓉, 林启美. 纤维素分解菌对不同纤维素类物质的分解作用[J]. 微生物学杂志, 2000, 9(3): 12–14.
ZHAO Xiao-rong, LIN Qi-mei. Decomposition of different cellulose materials by some cellulose-decomposing microbes[J]. *Journal of Microbiology*, 2000, 20(3): 12–14.
- [8] 周辉宇, 陆文静, 王洪涛, 等. 高效纤维素分解菌生物强化技术在工厂化好氧堆肥中的应用初探 [J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(1): 182–186.
ZHOU Hui-yu, LU Wen-jing, WANG Hong-tao, et al. Application of high efficient cellulolytic microorganisms in plant-scale aerobic composting [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(1): 182–186.
- [9] 戴芳澜. 真菌的形态和分类 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.
DAI Fang-lan. Morphology and Classification of Fungi [M]. Beijing: Science press, 1987.
- [10] 严昶升. 土壤肥力研究方法 [M]. 北京: 农业出版社, 1988. 34–41.
YAN Chang-sheng. The research methods of soil fertility [M]. Beijing: Agriculture Publishing House, 1988. 34–41.
- [11] 张晋京, 窦森, 曹亚澄. 特定条件下土壤有机质分解转化规律的研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 23–26.
ZHANG Jin-jing, DOU Sen, CAO Ya-cheng. Study on decomposition and transformation of soil organic matter during incubation experiment [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(5): 23–26.
- [12] 刘建新, 王鑫, 杨建霞. 覆草对果园土壤腐殖质组成和生物学特性的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 93–95.
LIU Jian-xin, WANG Xin, YANG Jian-xia. Effects of covering straw in orchard on humus composition and biological characteristics [J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2005, 19(4): 93–95.
- [13] 张洪梅. 吉林黑土纤维素分解菌生态特性及在有机质转化中作用 [D]. 吉林农业大学硕士论文, 2006. 35–42.
ZHANG Hong-mei. Ecological characteristics of cellulose-decomposing microorganisms and function on the transformation organic matter in Jilin black soil [D]. Jilin Agricultural University, a master's thesis. 2006. 35–42.
- [14] 金海洋, 姚政, 徐四新, 等. 纤维素分解菌对水稻秸秆田间降解效果的研究 [J]. 上海农业学报, 2004, 20(4): 83–85.
JIN Hai-yang, YAO Zheng, XU Si-xin, et al. Effect of applying cellulose-decomposing microbes on rice straw decomposition [J]. *Acta Agriculture Shanghai*, 2004, 20(4): 83–85.
- [15] 崔俊涛, 窦森, 张伟, 等. 玉米秸秆对土壤微生物性质的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27(4): 424–428.
CUI Jun-tao, DOU Sen, ZHANG Wei, et al. Effects of corn stalk on microbiological characteristics of soil [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2005, 27(4): 424–428.
- [16] Petre M, et al. Mechanical resistance of wheat straw after incubation in cultures of ruminal cellulolytic microorganisms [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1999, 80(4): 297–307.
- [17] 林启美, 赵小蓉. 纤维素分解菌与无机磷细菌的相互作用[J]. 生态杂志, 2001, 20(3): 69–70.
LIN Qi-mei, ZHAO Xiao-rong. Interaction between cellulose-decomposing microorganisms and inorganic phosphobacteria [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2001, 20(3): 69–70.