植物营养与肥料学报 2013,19(2):437-444
Plant Nutrition and Fertilizer Science doi: 10.11674/zwyf.2013.0221

稻草和猪粪发酵残渣配施菌剂对大棚连作土壤的改良作用

樊琳[1,2],柴如山[1],刘立娟[1],黄利东[1,3],章永松[1*]
(1 教育部环境修复与生态健康重点实验室,浙江大学环境与资源学院,浙江杭州 310058;
2 西北工业大学人文与经法学院,陕西西安 710072;
3 江苏省农业气象重点实验室,南京信息工程大学应用气象学院,江苏南京 210044)

摘要: 采用室内培养试验,研究了稻草和猪粪在大棚内生物发酵进行 CO_2 施肥后产生的发酵残渣接种微生物菌剂(EM 和 By)对大棚连作土壤的改良作用。结果表明,向供试土壤中添加接种微生物菌剂的发酵残渣后,土壤中细菌和放线菌数量与对照相比显著增加,真菌数量也有一定程度的增加,细菌/真菌比值明显提高;发酵残渣接种(EM+By)菌剂处理下的土壤脲酶活性和酸性磷酸酶活性分别比对照增加 NH_4^+-N 26.7 mg/(kg·d)和酚 127.0 mg/(kg·h);(EM+By)处理下的土壤 pH 值比对照提高了 1.14 个单位;至培养结束时,土壤中碱解氮、速效磷和速效钾含量都有较大程度增加,尤其是土壤速效磷。因此,将发酵残渣接种功能微生物菌剂,可作为一种生物有机肥直接在大棚中使用,将其施用到土壤中有利于改善土壤微生物群落结构,加速土壤养分转化,提高土壤速效养分含量,有效缓解连作土壤酸化问题,对大棚连作土壤起到改良作用。

关键词: 发酵残渣;微生物菌剂;连作土壤;改良
中图分类号: S141;S156 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)02-0437-08

Effects of the rice straw-pig manure fermentation residues inoculated with microorganisms on improvement of continuous cropping soil in greenhouse

FAN Lin[1,2], CHAI Ru-shan[1], LIU Li-juan[1], HUANG Li-dong[1,3], ZHANG Yong-song[1*]
(*1 Ministry of Education Key Laboratory of Environmental Remediation and Ecosystem Health/College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2 School of Humanities, Economics and Law, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 3 Jiangsu Key Lab of Agricultural Meteorology/College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China*)

Abstract: The fermentation residues were produced from rice straw-pig manure composting in greenhouse for CO_2 fertilization. To study the effects of adding microorganisms to the fermentation residues on improvement of continuous cropping soil in greenhouse, an indoor soil cultivation experiment was conducted. The results show that after the application of fermentation residues inoculated with microorganisms, the numbers of bacteria and actinomyce are significantly increased, and the number of fungi is also increased to some extent resulting in enhancement of the bacteria/fungi ratio under the (EM+By) treatment. The activities of urease and acid phosphatase in soil are increased by NH_4^+-N 26.7 mg/(kg·d) and phenol 127.0 mg/(kg·h), respectively, and the soil pH value is increased by 1.14 unit comparing to the control treatment. At the end of the incubation period, the contents of soil available N, P and K are all significantly increased, especially the content of soil available P. In conclusion, the fermentation residues mixed with microorganisms could be utilized as a kind of biofertilizer.

收稿日期: 2012-08-23 **接受日期:** 2012-11-24
基金项目: 农业部公益性行业科技专项(201103004);科技部农业科技成果转化资金(2010GB23600669);浙江省科技特派员专项(2012T2T209)资助。
作者简介: 樊琳(1984—),男,陕西韩城人,助教,硕士研究生,主要从事农业有机废弃物资源化利用方面的研究。E-mail: fanlin4589@126.com
* 通信作者 E-mail: yszhang@zju.edu.cn

Application of fermentation residues inoculated with microorganisms in greenhouse could improve the quality of continuous cropping soil in the following aspects: improve the soil microbial community structure, accelerate soil nutrient transformation, increase the contents of soil available nutrients and alleviate the problem of soil acidification.

Key words: fermentation residue; microorganism; continuous cropping soil; improvement

据估算,我国秸秆的年产出总量有7～8亿吨[1],然而,作物秸秆在田间直接焚烧现象较为普遍[2],每年的秸秆焚烧量占到了年秸秆产生总量的23%左右[3]。秸秆焚烧不仅造成生物资源的极大浪费,还会产生一系列大气污染物[3]。另外,在我国,畜禽粪便年产生量达到30亿吨以上,但这些畜禽粪便只有一半被还田利用,而另外一半则直接被排放到环境中[4-5]。这不仅对水体造成了严重污染,而且使大量养分资源白白浪费。因此,大量的农业秸秆和畜禽粪便急需找到一个合理的出路。

近年来我国蔬菜设施栽培工程得到迅速发展,而蔬菜大棚在低温季节为了保温,一般放风时间短,有时甚至需要完全封闭,棚室内 CO_2 容易匮乏,所以及时向棚室中补充 CO_2 已成为设施蔬菜生产中提高产量和提升效益的重要技术措施。在这种背景下,本课题组提出利用秸秆和畜禽粪便生物发酵法进行大棚 CO_2 施肥。田间试验结果表明,此方法可使处理大棚内 CO_2 浓度提升1～2倍,大幅提高大棚蔬菜产量,对其品质也有明显的改善作用,还可使农产品提前1～2周上市,经济效益十分显著,目前已经在浙江省许多地区进行了示范和推广应用[6-8]。

除棚内 CO_2 亏缺外,土壤退化和连作障碍也是限制蔬菜设施栽培可持续发展的一个重要问题。有研究表明,通过施用生物有机肥或添加微生物菌剂的有机肥可以提高土壤速效养分含量、土壤酶活性和土壤微生物活性以及改善土壤微生物区系,从而缓解设施栽培中的连作障碍问题[9-12]。利用秸秆和畜禽粪便生物发酵法进行大棚 CO_2 施肥不仅是一种有效的 CO_2 施肥方法,而且发酵之后剩余的发酵残渣也可作为一种生物有机肥使用。本文在课题组前期研究的基础上,以稻草和猪粪生物发酵 CO_2 施肥后产生的残渣接种功能微生物菌剂为材料,探讨其对大棚连作土壤的改良效果,为大棚连作土壤改良和农业有机废弃物资源化利用提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 供试土壤和发酵残渣

供试土壤为青紫泥,取自浙江省平湖市广陈镇民主村蔬菜大棚,棚龄5年以上,前茬作物为番茄。其基本理化性质为:有机质含量28.2 g/kg、碱解氮64.7 mg/kg、有效磷27.2 mg/kg、速效钾96.6 mg/kg、电导率725 μS/cm、pH 5.39。

供试发酵残渣为稻草和猪粪在大棚内生物发酵进行 CO_2 施肥之后剩余的残渣,前期试验条件和实施情况见文献[7]。发酵结束之后取发酵残渣样,在实验室风干粉碎,过1 mm筛备用。其基本养分含量为:有机质207.2 g/kg、全氮10.1 g/kg、全磷21.5 g/kg、全钾23.1 g/kg、pH 5.12。

1.2 供试微生物菌剂

1)By菌剂:由本实验室自行筛选分离保存,主要组成为蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)和枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)两种微生物,标记为By,其具有固氮、解磷和解钾等功能,并且对连作土壤有一定的改良作用。

2)EM菌剂:购自南京爱睦乐科技有限公司。EM(Effective Microorgnisims)即有效微生物群,由日本琉球大学比嘉照夫教授研究开发,是以光合细菌、乳酸菌、酵母菌与放线菌等为主的多种微生物采用适当的比例和独特的发酵工艺复合培养而成的高效微生物活菌制剂。

1.3 试验设计

1.3.1 不同温度条件下微生物菌剂在发酵残渣中的富集 将By和EM菌剂以及两者的复合菌剂(EM+By)分别平铺在灭过菌的塑料浅盘中,各菌剂接种量按照发酵残渣干重的10%(V/W)计算[13],各盘加入风干并磨碎过筛的发酵残渣30 g,调节含水量至50%,pH=7[14],然后分别置于30 ℃、40 ℃和50 ℃温度条件下培养7 d。培养过程中,每24 h翻料一次,每48 h取样测定活菌数(cfu/g残渣)。

1.3.2 发酵残渣接种功能微生物菌剂对大棚连作土壤的改良 试验共设5个处理:1)对照,不添加发酵残渣和微生物菌剂,为连作土壤(CK);2)添加未

富集微生物菌剂的发酵残渣(CZ);3)添加富集 EM 菌剂的发酵残渣(EM);4)添加富集 By 菌剂的发酵残渣(By);5)添加富集 EM 和 By 菌剂的发酵残渣(EM + By)。每个处理设 3 次重复。

添加富集微生物菌剂发酵残渣的处理按以下步骤进行：结合上述不同温度条件下的试验结果,将供试微生物菌剂在温度 40 ℃、含水量 50%、pH 为 7.0 以及接种量为 10%(V/W)的条件下富集到发酵残渣中,培养 1 周;待培养结束后,取 125 g 供试土壤,将 2.5 g(W/W = 2%)富集了微生物菌剂的发酵残渣与供试土壤充分混合并置于小塑料盆中。CK 处理取 125 g 供试土壤置于小塑料盆中,CZ 处理将 2.5 g 未富集微生物菌剂的发酵残渣和 125 g 供试土壤充分混合并置于小塑料盆中。

各处理在 25 ℃条件下连续培养 35 d,培养过程中,每 7 d 取样一次,测定各项指标。

1.4　测定项目和方法

土壤 pH 值采用无 CO_2 纯水浸提(水∶土 = 2.5∶1)—酸度计法测定;土壤电导率值采用无 CO_2 纯水浸提(水∶土 = 5∶1)—电导率仪测定;土壤有机质采用重铬酸钾滴定法;土壤碱解氮采用碱解扩散法;土壤速效磷采用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提—钼锑抗比色法;土壤速效钾采用 1 mol/L 中性 NH_4Ac 浸提—火焰光度法测定;土壤脲酶活性采用苯酚钠比色法,土壤酸性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定[15]。土壤微生物数量的测定采用稀释平板计数法[16]。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基;放线菌采用高氏一号合成培养基;真菌采用马丁氏培养基培养。

试验数据采用 Excel 2003 和 DPS7.05 进行处理和统计分析。

2　结果与分析

2.1　微生物菌剂在发酵残渣中的富集

比较不同温度条件(30 ℃、40 ℃和 50 ℃)下发酵残渣接种微生物菌剂培养后其中的活菌数量,可以看出,40 ℃条件下发酵残渣中富集的活菌数量最多,30 ℃条件下次之,50 ℃条件下最少,而且与 40 ℃和 30 ℃条件下的活菌数量差别较大(图 1)。并且除了在 50 ℃条件之外,随着培养时间的延长,发酵残渣中活菌的数量也随之增加,在第 7 d 达到最大值,其中 EM + By 处理的发酵残渣在 40 ℃条件下的活菌数量高达 6.21×10^8 cfu/g。而在 50 ℃培养条件下,随着培养时间的延长,发酵残渣中活菌的数量不仅没有增加,而且一直处于下降的趋势。这可能是由于培养温度过高从而抑制了发酵残渣中微生物的活性。

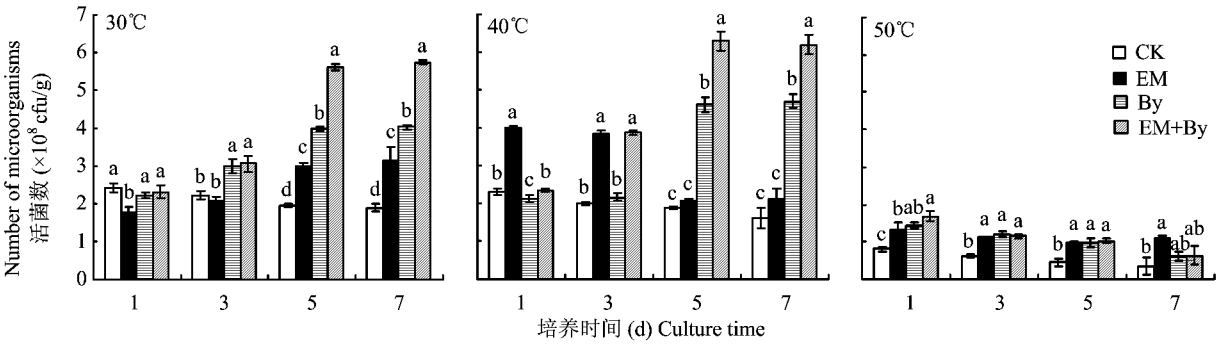

图 1　不同温度条件下发酵残渣中活菌数量的动态变化

Fig. 1　The number of microorganisms in fermentation residues under different temperature conditions over time

2.2　发酵残渣接种功能微生物菌剂对大棚连作土壤的改良作用

2.2.1 发酵残渣接种功能微生物菌剂对大棚连作土壤微生物区系的影响　土壤微生物区系组成和数量的变化与土壤养分的转化以及各种土传病害的发生有很大的关系。从图 2 可以看出,发酵残渣以及接种微生物菌剂的发酵残渣施入土壤之后,各处理的土壤细菌数量均有不同程度的增加,而且在培养期内,各处理的土壤细菌数量一直呈上升趋势,与对照相比增加显著。不同处理土壤细菌数量增加的顺序为 EM + By > By > EM > CZ > CK。当培养到第 5 周时,发酵残渣接种 2 种微生物菌剂处理 EM + By 的土壤细菌数量高达 19.56×10^7 cfu/g 干土,不接种微生物菌剂的发酵残渣处理(CZ)也达到了 8.32×10^7 cfu/g 干土,而对照处理的土壤细菌数量仅为 0.98×10^7 cfu/g 干土。

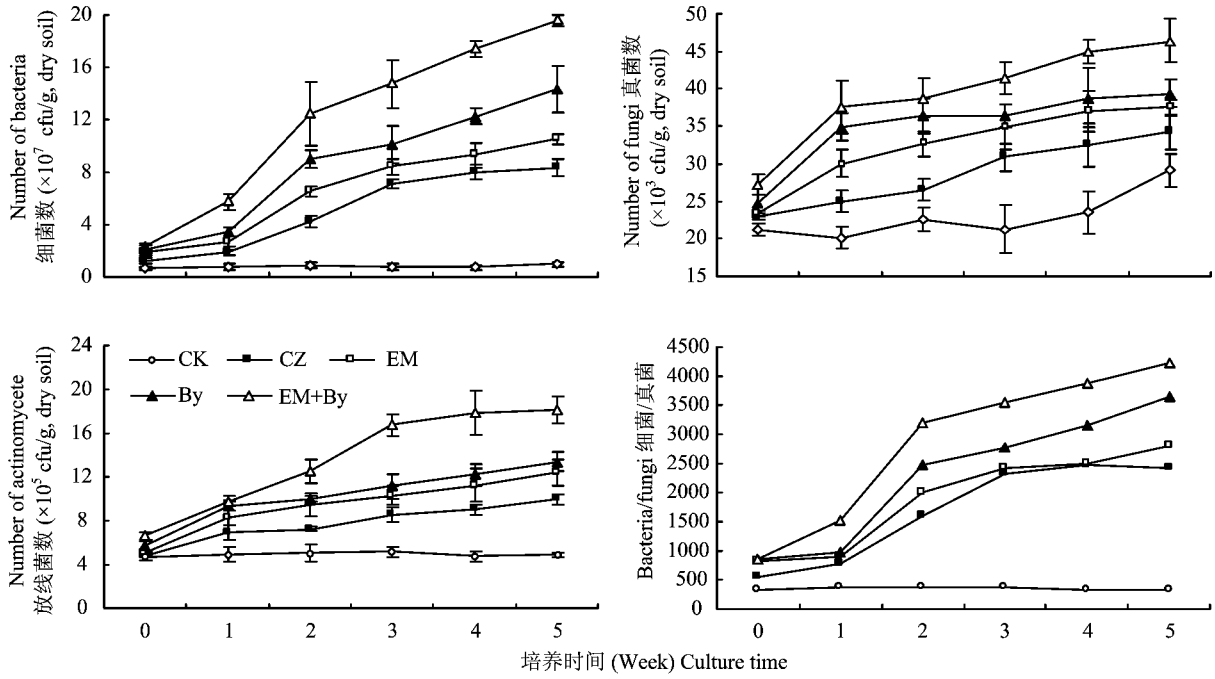

图2 不同处理下土壤微生物数量的动态变化

Fig. 2 Variation of the amount of soil microbe over time

与细菌相比,在培养期内不同处理条件下,土壤真菌数量随时间延长也一直呈增长的趋势,但增加较为缓慢,增加幅度较小,各处理土壤真菌数量增加的大小顺序与细菌数量一致(图2)。至培养结束时,发酵残渣接种2种微生物菌剂处理(EM+By)下的土壤真菌数量增加到46.32×10^3 cfu/g干土,添加不接种微生物菌剂的发酵残渣处理(CZ)条件下土壤真菌数量为34.21×10^3 cfu/g干土,比对照都有一定的提高,但增加幅度没有土壤细菌大。

图2结果显示,在培养期内土壤放线菌在不同处理条件下的数量变化趋势与土壤细菌大致相同,各处理土壤放线菌数量增加的大小顺序依次为EM+By>By>EM>CZ>CK,与土壤细菌和真菌数量变化的趋势一致。发酵残渣接种2种微生物菌剂处理(EM+By)的土壤放线菌数量在培养结束时高达18.16×10^5 cfu/g干土,添加不接种微生物菌剂的发酵残渣处理(CZ)为9.98×10^5 cfu/g干土,而对照的土壤放线菌数量仅为4.88×10^5 cfu/g干土。不同处理对土壤放线菌数量的增加作用的大小介于细菌和真菌之间。

从图2还可以看出,培养结束时,除对照外的其他各处理土壤细菌/真菌的比值均随着培养时间的延长呈逐步增加的趋势,其细菌/真菌比值的大小顺序为EM+By>By>EM>CZ>CK。

由以上试验结果可知,发酵残渣以及接种微生物菌剂的发酵残渣施入土壤之后,土壤中细菌和放线菌的数量得到了显著的提高,同时土壤真菌数量(包括病原菌)也有了不同程度的增加,但增加幅度较细菌和放线菌小,从而使土壤细菌/真菌的数量比值有显著提高。

2.2.2 发酵残渣接种功能微生物菌剂对大棚连作土壤酶活性的影响 脲酶是土壤中最活跃的水解酶类之一,能水解施入土壤中的尿素,释放出供作物利用的铵离子,土壤脲酶的活性与土壤中有机质含量、氮的供给与利用情况、土壤微生物量和其他养分含量相关[17-18]。土壤脲酶活性的增强可提高土壤氮素利用率,增加土壤肥力。从图3可以看出,向土壤中添加发酵残渣以及接种微生物菌剂的发酵残渣可以增加土壤脲酶活性,并且各处理的土壤脲酶活性在培养期内一直呈上升趋势。至培养结束时,EM+By、By、EM和CZ处理的土壤脲酶活性分别比对照提高了NH_4^+-N 26.7、22.9、21.5和20.0 mg/(kg·d)。

土壤酸性磷酸酶活性可用来表征土壤肥力状况,特别是磷素状况,其活性高低可直接影响土壤中有机磷的转化及释放[19]。从图3还可以看出,发酵残渣以及接种微生物菌剂的发酵残渣施入土壤后土

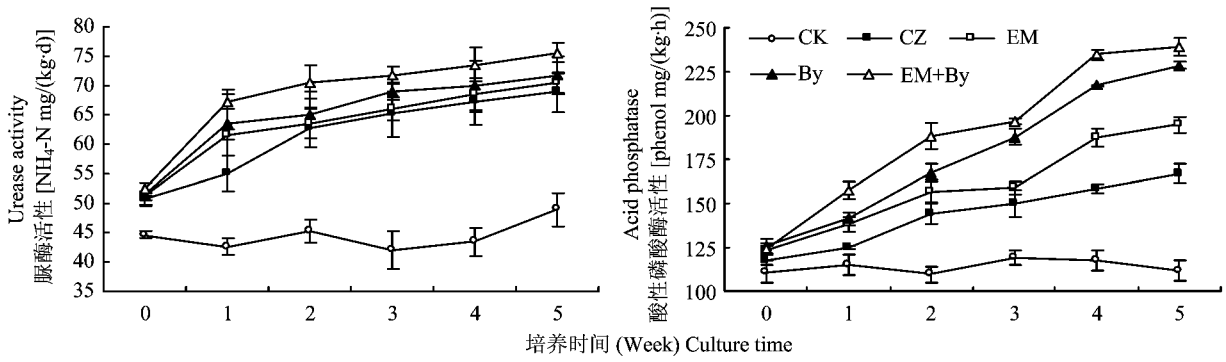

图 3　不同处理下土壤酶活性的动态变化

Fig. 3　Variation of soil enzyme activities over time

壤酸性磷酸酶活性有不同程度的增加,至培养末期 EM + By、By、EM 和 CZ 处理的土壤酸性磷酸酶活性分别比对照提高了酚 127.1、116.8、82.9 和 55.0 mg/(kg · h)。

2.2.3 发酵残渣接种功能微生物菌剂对大棚连作土壤速效养分和 pH 的影响　土壤中速效养分含量的高低,反映了土壤养分的现实供应状况,直接关系到土壤肥力的高低,是土壤肥力的重要标志。发酵残渣本身作为一种有机物料,富含多种养分,它的加入会增加土壤中各种养分的含量。从图 4 可以看出,发酵残渣接种微生物菌剂加入到土壤之后(培养 0 d),连作土壤碱解氮含量显著升高,其中 By 处理的土壤碱解氮含量增加得最多,为 88.5 mg/kg,而不添加微生物菌剂只施入发酵残渣的 CZ 处理的土壤碱解氮含量也增加至 69.3 mg/kg,分别比对照增加了 35.5% 和 6.1%。这说明将微生物菌剂在发酵残渣中培养富集期间对发酵残渣中的氮素均起到了一定的活化作用,并且不同微生物菌剂对残渣中氮素的活化效果也存在着一定的差异。随着培养时间的延长,不同处理条件下的土壤碱解氮含量的增加幅度逐渐变小,并趋于平稳。至培养末期,比较添加了各种微生物菌剂处理的土壤碱解氮含量与培养刚开始时(第 0 d)各自土壤碱解氮含量之间的差值,由大到小可以得出 EM > EM + By > By,其差值分别为

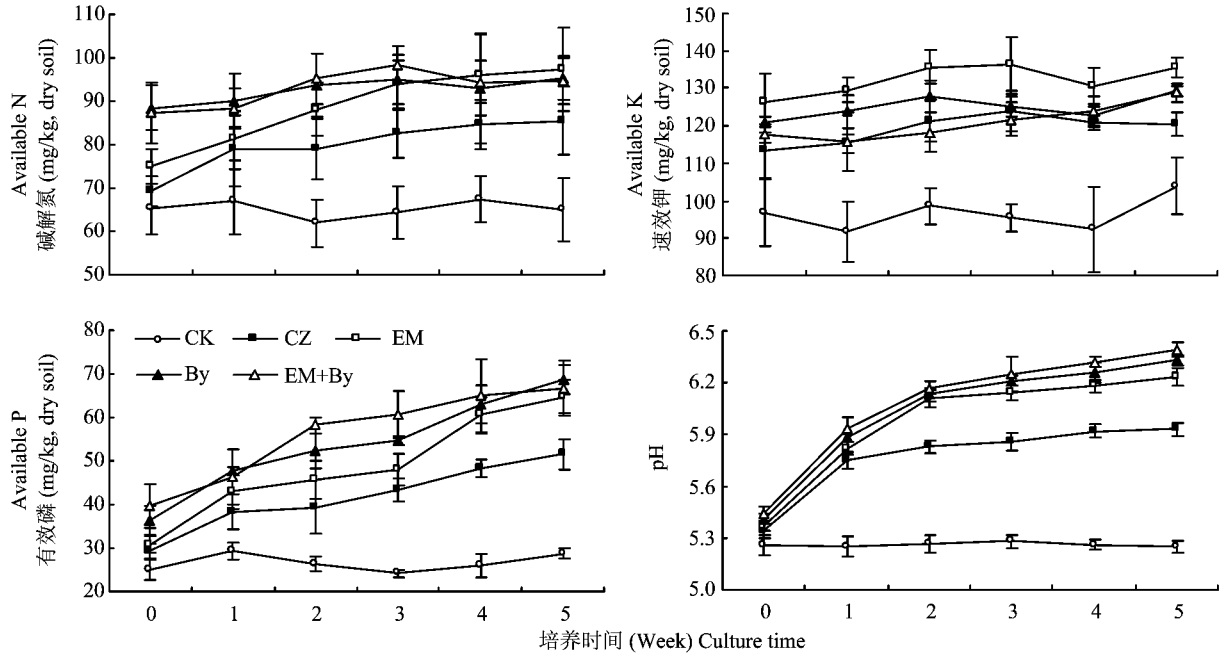

图 4　不同处理下土壤速效养分和 pH 的动态变化

Fig. 4　Variation of the contents of soil available nutrients and pH values over time

22.4、7.6 和 6.8 mg/kg。这说明各种微生物菌剂在活化土壤氮素方面的能力存在一定的差异,其活化能力大小依次为 EM > EM + By > By。

图 4 显示,发酵残渣接种微生物菌剂施入土壤之后,土壤有效磷含量得到了显著提高,其中同时添加 2 种微生物菌剂 EM + By 处理下的土壤有效磷含量增加得最多,为 39.7 mg/kg,而不添加微生物菌剂只施入发酵残渣处理的土壤有效磷含量也增加至 29.4 mg/kg,分别比对照增加了 58.2% 和 17.1%。这是由于发酵残渣本身是一种有机物料,含有各种养分,它的施入给土壤带来了新的养分来源。而且,不同微生物菌剂在富集期间会对发酵残渣中的磷素起到一定的活化作用,与氮素一样,不同微生物菌剂对发酵残渣中磷素的活化效果也存在一定的差异。至培养末期,添加接种了不同微生物菌剂的发酵残渣处理的土壤有效磷含量与培养第 0 d 时各自土壤有效磷含量比较发现,不同微生物菌剂在活化土壤磷素方面的能力存在差异,其活化能力的大小依次为 EM > By > EM + By,其差值分别为 34.0、32.3 和 27.0 mg/kg。

富集微生物菌剂的发酵残渣施入土壤之后,不同处理的土壤速效钾含量与对照相比均有不同程度的增加,其中富集微生物菌剂 EM 发酵残渣处理的土壤速效钾含量增加得最多,为 126.0 mg/kg,而不添加微生物菌剂只施入发酵残渣处理的土壤速效钾含量也增加至 113.3 mg/kg,分别比对照增加 30.2% 和 17.0%。其原因也是由于发酵残渣为土壤带来了新的养分来源。培养末期,比较了添加不同微生物菌剂发酵残渣处理的土壤速效钾含量与培养第 0 d 时各自速效钾含量之间的差值,其大小顺序为 EM + By > EM > By,差值分别为 11.0、9.5 和 8.2 mg/kg。这说明不同微生物菌剂在活化土壤钾素方面的能力存在差异,其活化能力的大小依次为 EM + By > EM > By(图 4)。

从图 4 还可以看出,施用富集了功能微生物菌剂的发酵残渣之后,不同处理下连作土壤的 pH 值随着培养时间的延长比对照显著升高,但 pH 值的增加幅度逐渐变小。不同处理对土壤 pH 值的增加作用大小为 EM + By > By > EM > CZ > CK。培养 5 周以后,添加富集 EM 和 By 菌剂的发酵残渣处理 EM + By 的土壤 pH 值达到 6.39,未加微生物菌剂只添加发酵残渣的处理(CZ)的土壤 pH 值为 5.93,分别比对照提高了 1.14 和 0.68 个单位。

3 讨论

研究表明,有机肥以及配施微生物菌剂有利于提高土壤微生物数量和改善土壤微生物区系,提高土壤质量以及增强土壤生态系统的稳定性,降低连作地作物病害的发生,从而缓解大棚土壤连作障碍[20-21]。自 2004 年以来,本课题组一直在积极推广应用农业有机废弃物生物发酵进行 CO_2 施肥技术,田间试验结果表明该技术是一种有效的 CO_2 施肥方法,而且具有操作简单、成本低以及经济和社会效益显著等优点。为了最大限度地实现农业有机废弃物的资源化,提出将发酵残渣接种功能微生物菌剂,在大棚中通过直接发酵制作成生物有机肥,以期能在一定程度上缓解大棚土壤连作障碍问题。本试验研究结果表明,稻草和猪粪生物发酵 CO_2 施肥后产生的发酵残渣接种微生物菌剂对大棚连作土壤有一定的改良和培肥作用。

在本研究中,发酵残渣接种微生物菌剂施入到土壤后,土壤中细菌和放线菌数量得到显著增加,土壤真菌数量也有一定程度的提高,但是与细菌和放线菌数量相比增加幅度小,这使得土壤中的细菌/真菌比值有了明显的增加,表明发酵残渣接种微生物菌剂施入土壤之后,对土壤中有益微生物的促进作用大于有害微生物,使连作土壤中的微生物区系得到明显改善,向良性方向发展,从而可以降低连作土壤土传病害的发生程度,有利于解决土壤连作障碍问题。

土壤酶能表征土壤养分转化速率的快慢,对土壤养分的转化和活化起到有益的作用,土壤酶活性是土壤生物学活性的表现,也是衡量土壤肥力水平的重要指标[22]。脲酶是一种专属性很强的水解酶,能催化酰胺化合物水解为氨,有利于土壤中稳定性较高的有机氮向有效态氮转化;磷酸酶活性的增加可加速土壤有机磷的脱磷速度,改善土壤磷素的供应水平。有研究表明,有机肥的施用可提高土壤酶活性[17-18]。由于土壤酶绝大多数来自于微生物[22],土壤中施入有机肥之后,脲酶作用底物增加,微生物生命活动需要的能源物质充足,微生物数量增加,微生物同化营养元素量增加,微生物量氮增加,脲酶活性随之增加,从而加快了土壤氮素循环[17]。发酵残渣本身就是一种有机物料,可以为土壤中微生物的繁殖提供基质,而且在接种微生物菌剂之后,能在短期内使土壤中微生物数量快速增加,而增殖和裂解微生物细胞的释放是土壤酶的主要来

源,所以发酵残渣接种微生物施入土壤之后,土壤中脲酶活性和酸性磷酸酶活性均有了显著的增强。本研究中,发酵残渣配施微生物菌剂后提高了土壤酶的活性,表明其对连作土壤有一定的改良作用。

另一方面,土壤微生物数量和土壤酶活性的提高,又可以加快土壤养分的活化和循环,从而增加土壤速效养分含量,本试验结果也证明了这一点。发酵残渣配施微生物菌剂施用到土壤后,至培养结束时,土壤中碱解氮、速效磷和速效钾的含量均有较大程度的增加,尤其是土壤速效磷含量的变化更为明显,因此促进了土壤中养分释放,而且发酵残渣接种功能微生物菌剂施入土壤之后可以促使土壤 pH 值升高,其原因可能是由于发酵残渣作为一种有机物料,可以增强土壤对酸化的缓冲能力。

本试验结果表明,发酵残渣接种微生物菌剂对大棚连作土壤有一定的改良和培肥作用。富集了多功能微生物的发酵废渣直接在大棚中施用,不仅可以将发酵残渣完全资源化利用,从而实现农业有机废弃物在温室大棚系统中的循环利用,还可以降低农户施用生物有机肥的成本,又解决了商品生物肥在贮运销售过程中菌株失活影响肥效的问题,为大棚连作土壤的改良提供一种有益的探索,但设施栽培下的土壤退化问题涉及到很多方面的因素,因此要从根本上解决这一问题,还需要更进一步的研究。

4　结论

稻草和猪粪生物发酵 CO_2 施肥后产生的发酵残渣接种微生物菌剂施入土壤后,对土壤中有益微生物的促进作用大于有害微生物,使连作土壤中的微生物区系得到明显改善,向良性方向发展,从而可以降低连作土壤的土传病害的发生程度,有利于解决土壤连作障碍问题;土壤中脲酶活性和酸性磷酸酶活性均得到显著增强,土壤 pH 值升高,这有利于活化土壤养分以及缓解土壤酸化问题;至培养结束时,土壤中碱解氮、速效磷和速效钾含量都有较大程度的增加,尤其是土壤速效磷含量的变化更为明显。通过利用农业有机废物生物发酵解决大棚 CO_2 亏缺问题以及施用接种微生物菌剂的发酵残渣缓解大棚土壤连作障碍问题,有望开辟一条具有较高经济和社会效益的农业有机废弃物资源化利用的全新之路。

参 考 文 献:

[1] 高利伟,马林,张卫峰,等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 173-179.
Gao L W, Ma L, Zhang W F *et al*. Estimation of nutrient resource quantity of crop straw and its utilization situation in China[J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 2009, 25(7): 173-179.

[2] Liu H, Jiang G M, Zhuang H Y, Wang K J. Distribution, utilization structure and potential of biomass resources in rural China: With special references of crop residues[J]. Renew. Sust. Energ. Rev., 2008, 12: 1402-1418.

[3] Cao G L, Zhang X Y, Wang Y Q, Zheng F C. Estimation of emissions from field burning of crop straw in China[J]. Chin. Sci. Bull., 2008, 53: 784-790.

[4] 刘晓利,许俊香,王方浩,等. 我国畜禽粪便中氮素养分资源及其分布状况[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(5): 27-32.
Liu X L, Xu J X, Wang F H *et al*. The resource and distribution of nitrogen nutrient in animal excretion in China[J]. J. Agric. Univ. Hebei, 2005, 28(5): 27-32.

[5] 许俊香,刘晓利,王方浩,等. 中国畜禽粪尿磷素养分资源分布以及利用状况[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(4): 5-9.
Xu J X, Liu X L, Wang F H *et al*. The distribution of phosphorus resources and utilization of animal manure in China[J]. J. Agric. Univ. Hebei, 2005, 28(4): 5-9.

[6] Jin C W, Du S T, Wang Y *et al*. Carbon dioxide enrichment by composting in greenhouses and its effect on vegetable production[J]. J. Plant Nutr. Soil Sci., 2009, 172: 418-424.

[7] 樊琳,都韶婷,黄利东,等. 农业有机废弃物发酵 CO_2 施肥对大棚番茄产量及品质的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2009, 35(6): 626-632.
Fan L, Du S T, Huang L D *et al*. Effects of CO_2 enrichment by fermentation of agricultural organic wastes on the yield and quality of tomato in the greenhouse[J]. J. Zhejiang Univ. (Agric. Life Sci.), 2009, 35(6): 626-632.

[8] 都韶婷,单英杰,张树生,章永松. 农业有机废弃物发酵 CO_2 施肥在大棚生产上的应用及其环境效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 510-514.
Du S T, Shan Y J, Zhang S S, Zhang Y S. Application of CO_2 enrichment by agricultural wastes composting in greenhouses and its environmental benefits[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(2): 510-514.

[9] 周晓芬,杨军芳. 不同施肥措施及 EM 菌剂对大棚黄瓜连作障碍的防治效果[J]. 河北农业科学, 2004, 8(4): 89-92.
Zhou X F, Yang J F. The effects of different fertilization and EM microbial agent on the problem of the continuous cote planting[J]. J. Hebei Agric. Sci., 2004, 8(4): 89-92.

[10] 郝永娟,魏军,刘春艳,等. 生物土壤添加剂减轻黄瓜连作障碍的微生物效应[J]. 华北农学报, 2009, 24(4): 231-234.
Hao Y J, Wei J, Liu C Y *et al*. Effects of biological soil amendment reducing on replant diseases of cucumber[J]. Acta Agric. Boreali-Sin., 2009, 24(4): 231-234.

[11] 刘素慧,刘世琦,张自坤,等. EM 对连作大蒜根际土壤微生

物和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 718-723.
Liu S H, Liu S Q, Zhang Z K *et al*. Impact of effective microorganisms on microbial communities and enzyme activities in rhizosphere soil of continuously cropped garlic[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2011, 17(3): 718-723.

[12] 袁英英, 李敏清, 胡伟, 等. 生物有机肥对番茄青枯病的防效及对土壤微生物的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(7): 1344-1350.
Yuan Y Y, Li M Q, Hu W *et al*. Effect of biological organic fertilizer on tomato bacterial wilt and soil microorganism[J]. J. Agro-Environ. Sci., 2011, 30(7): 1344-1350.

[13] 谷春涛, 萨仁娜, 佟建明. 地衣芽孢杆菌 TS-01 固态发酵培养基的优化[J]. 微生物学通报, 2004, 31(4): 53-56.
Gu C T, Sa R N, Tong J M. Optimization of solid state fermentation medium of *Bacillus licheniformis* TS-01[J]. Microbiology, 2004, 31(4): 53-56.

[14] 朱林, 彭宇, 袁飞, 张春兰. 几种有机物料对连作黄瓜生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2001, 29(2): 214-216.
Zhu L, Peng Y, Yuan F, Zhang C L. A study on the effect of the rice straw and other organic materials on the cucumber growth of continuous cropping[J]. J. Anhui Agric. Sci., 2001, 29(2): 214-216.

[15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
Lu R K. Analysis methods of Soil Agricultural Chemistry[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2000.

[16] 程丽娟, 薛泉宏. 微生物学实验指导[M]. 北京: 世界图书出版社, 2000.
Cheng L J, Xue Q H. Microbiology experiment[M]. Beijing: World Book Publishing House, 2000.

[17] 李东坡, 武志杰, 陈利军, 等. 长期培肥黑土脲酶活性动态变化及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2208-2212.
Li D P, Wu Z J, Chen L J *et al*. Dynamics of urease activity in a long-term fertilized black soil and its affecting factors[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(12): 2208-2212.

[18] 尤彩霞, 陈清, 任华中, 等. 不同有机肥及有机无机配施对日光温室黄瓜土壤酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43(3): 521-523.
You C X, Chen Q, Ren H Z *et al*. Effect of organic manure with and without urea-dressing on soil enzyme activities in greenhouse growing cucumber[J]. Acta Pedol. Sin., 2006, 43(3): 521-523.

[19] 关荫松. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
Guan Y S. Soil enzyme and its research methods[M]. Beijing: Agricultural Publishing House, 1986.

[20] 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 Y F, Liao Z W, Zhang J E *et al*. Effect of ecological organic fertilizer on tomato bacterial wilt and soil microbial diversities[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(3): 349-353.

[21] 于占东, 宋述尧. 稻草配施生物菌剂对大棚连作土壤的改良作用[J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 177-179.
Yu Z D, Song S Y. Effects of straw mixed with biopreparate on improvement of soil in greenhouse[J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 2003, 19(1): 177-179.

[22] 孙波, 赵其国, 张桃林, 俞慎. 土壤质量与持续环境—Ⅲ. 土壤质量评价的生物学指标[J]. 土壤, 1997, 29(5): 225-234.
Sun B, Zhao Q G, Zhang T L, Yu S. Soil quality and sustainable environment. Ⅲ. Biological index of soil quality assessment[J]. Soils, 1997, 29(5): 225-234.