

王楠,刘缤娴,徐伟宸,等. 枯草芽孢杆菌和绿色木霉对落叶及草坪碎屑腐解的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(23):258-262.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.23.071

# 枯草芽孢杆菌和绿色木霉对落叶及草坪碎屑腐解的影响

王楠,刘缤娴,徐伟宸,高立支,李松松,崔悦,王帅

(吉林农业科技学院植物科学学院,吉林吉林 132101)

**摘要:**落叶及草坪碎屑是园林生态系统中最常见的有机固体废弃物,通过腐解可转化成优质有机物料供园林绿化使用。枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、绿色木霉(*Trichoderma viride*)是堆肥腐解常用的有益菌群,在促进腐殖化进程方面有着不同的效果。采用室内培养法,通过接种 2 类菌株悬液,揭示其在 60 d 培养期间对落叶及草坪碎屑混料腐解的动态差异。结果表明:绿色木霉在矿化混料总有机碳方面的能力要强于枯草芽孢杆菌;混料经绿色木霉腐解后,其  $P_2O_5$  含量可获得较大程度提升,相反,枯草芽孢杆菌对于混料 N 及  $K_2O$  含量的促进作用更为明显;绿色木霉对于混料可提取腐殖酸碳含量( $C_{HE}$ )的利用程度较差,但对胡敏素碳含量( $C_{Hu}$ )的矿化能力更强;2 类微生物皆有利于混料腐殖质品质的提升,其中枯草芽孢杆菌的作用更为明显。本研究结果可为阐明落叶及草坪碎屑的腐解特征及筛选高效微生物菌群提供技术参考。

**关键词:**落叶;草坪碎屑;腐解;枯草芽孢杆菌;绿色木霉

**中图分类号:** S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)23-0258-04

落叶及草坪碎屑是园林生态环境中最典型的有机固体废弃物,通常被视为影响景观的废料而遭致清运。长期将园林落叶清除于系统之外使其无法落叶归根,最终使园林绿地土壤质量不断下降,影响绿色植物的健康生长。有学者指出,落叶及草坪碎屑在原位的自然腐解易滋生病原菌,间接抑制地上植物的正常生长<sup>[1]</sup>,因此将其在园林系统外进行无害化处理,进而资源化利用是正确的处置途径<sup>[2]</sup>。堆肥是有机物料稳定化的过程,在此进程中有机物料受到大量调控因素的影响,其中腐解的核心驱动力——微生物是重要的调控因素,其种类和数量皆可影响堆肥进程及腐熟质量<sup>[3]</sup>。

毕延刚等指出,在堆肥进程接种枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)可使堆料对枯萎病病原菌产生抑制作用<sup>[4]</sup>,此外,(*Bacillus subtilis*)也可加速物料的腐解进程,且对其中的生物毒性物质有降解作用<sup>[5]</sup>。李瑜等研究表明,由绿色木霉(*Trichoderma viride*)产生的纤维素酶活性较高,当其与枯草芽孢杆菌组成复合菌剂时,通过两者间比例的调整可有效缩短堆肥周期<sup>[6]</sup>。有学者利用微生物预处理手段,基于菌剂与混料基质间的不同比例(1:19、1:9、1:4),将虫拟蜡菌(*Ceriporiopsis subvermispura*)接种于园林混料基质中,并在 30 d 培养时间内探讨混料木质素、纤维素、半纤维素及干物质的降解程度,并指出在此过程有甲烷气体产生<sup>[7-8]</sup>。Awasthi 等研

究了由黄孢原毛平革菌(*Phanerochaete chrysosporium*)、绿色木霉(*T. viride*)、绿脓杆菌(*Pseudomonas aeruginosa*)所组成的混合菌剂在园林、农业及城市固体废弃物与木屑所组成混合物料中的堆肥效果,结果表明,在堆肥过程中,物料淀粉酶、纤维素酶、蛋白酶及脱氢酶等活性均有所提升,且堆肥过程可缩减至 4 周以内<sup>[9]</sup>。可见,配伍适宜的混合微生物菌剂对堆肥品质的提升有所帮助。

*Bacillus subtilis* 和 *Trichoderma viride* 对于堆肥过程具有较好的促进作用且功能不同。当前研究中,腐解物料多以农业废弃物及城市污泥为主,对于落叶及草坪碎屑等园林废弃物的堆腐研究尚缺乏系统性报道,而对于微生物菌剂的研究多集中于复合菌。本研究拟采用室内培养法,将落叶与草坪碎屑按照 2:8 的质量比混合,通过 *Bacillus subtilis* 和 *Trichoderma viride* 接种,对其总有机碳、养分性状及腐殖质组成进行动态分析,并揭示 2 类微生物在园林废弃物腐解特征上的差异,旨在为园林固体废弃物的资源化利用及高效菌剂的筛选提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

落叶于 2015 年 10 月取自吉林农业科技学院校内园林绿地,所属区域以栽植银中杨、垂柳及玉簪等地被植物为主。将收集好的袋装落叶带回实验室,剔除多余枯枝、保留落叶,105 ℃ 下作杀青处理,再在 55 ℃ 下烘干至恒质量,粉碎过 1 mm 筛。经测定,落叶粉末中的总有机碳(TOC)、全氮(N)、全磷( $P_2O_5$ )及全钾( $K_2O$ )含量分别为 58.3%、2.24%、1.00%、0.77%。

草坪碎屑于 2015 年 9 月取自吉林农业科技学院 A 座教学楼前草坪绿地,草种由狗牙根、早熟禾属及羊茅属组成。将

收稿日期:2017-01-28

基金项目:国家自然科学基金(编号:41401251);吉林省科技厅优秀青年人才基金(编号:20170520091JH);吉林农业科技学院重点学科培育项目(编号:吉农院合字[2015]第 X006 号)。

作者简介:王楠(1982—),女,吉林九台人,博士,讲师,主要从事土壤肥力调控研究。E-mail:wangnan664806@126.com。

通信作者:王帅,博士,副教授,硕士生导师,主要从事土壤生物及环境化学研究。E-mail:wangshuai419@126.com。

经旋刀式剪草机剔除的碎草屑带回实验室,重复上述步骤,但不作粉碎处理,仅用剪刀将碎草屑继续剪碎至 0.20 ~ 0.25 cm 小段,随后将其保存于玻璃干燥器中。经测定,草坪碎屑中 TOC、N、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$  含量分别为 58.4%、2.68%、1.20%、2.09%。

绿色木霉 (*Trichoderma viride*, *Tv*), 水谷欣品牌, 江苏省盐城市神微生物菌种科技有限公司, 原粉粉剂, 50 亿活孢子/g; 枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*, *Bs*), 水谷欣品牌, 江苏省盐城市神微生物菌种科技有限公司, 粉剂, 300 亿/g。菌株悬液的制备方法: 称取菌粉 5.0 g 置于 100 mL 离心管中, 注入 100 mL 无菌水后以 3 500 r/min 的转速离心 10 min, 将固液分离, 收集菌株悬液, 无菌条件下保存, 以防染杂菌。

## 1.2 方法

将落叶粉末按照 2 : 8 的质量比与草坪碎屑进行混合, 称取 20 g 混料于 100 mL 锥形瓶中, 随后用  $(NH_4)_2SO_4$  溶液调节瓶装混料, 使其 C/N 比为 22.5 : 1、含水量为 50%, 盖好自制防菌棉塞, 高压蒸汽灭菌 (121 °C, 20 min)、自然冷却后, 分别接种 5 mL 绿色木霉或 5 mL 枯草芽孢杆菌悬液, 随后用塑料薄膜封口, 28 °C 条件下恒湿培养 60 d, 其间分别于 0、15、30、60 d 取样, 每个处理重复 3 次。

采用  $H_2SO_4 - H_2O_2$  消化、凯氏蒸馏法测定混料 N 含量, 采用  $H_2SO_4 - H_2O_2$  消化、钒钼黄比色法测定  $P_2O_5$  含量, 采用  $H_2SO_4 - H_2O_2$  消化、火焰光度法测定  $K_2O$  含量, 采用重铬酸钾氧化法测定 TOC 含量, 具体过程参照 NY 525—2012《有机肥料》农业行业标准。

采用腐殖质组成修改法对腐殖质各组分进行分离、测定。首先用 70 °C 蒸馏水浸提混料中的水溶性有机碳 (WSOC), 随后用 0.1 mol/L NaOH 和 0.1 mol/L  $Na_4P_2O_7$  的混合碱溶液浸提可提取腐殖酸 (HE), 再用 0.5 mol/L  $H_2SO_4$  从中分离胡敏酸 (HA) 和富里酸 (FA), 两者碳含量比值即为腐殖化系数。将提取 HE 后的沉淀物质用蒸馏水多次洗涤, 直至洗出液近中性为止, 将沉淀置于 55 °C 鼓风干燥 48 h, 该残渣物质即为胡敏素 (Hu)。HE、HA、FA、Hu 组分的碳含量分别用  $C_{HE}$ 、 $C_{HA}$ 、 $C_{FA}$ 、 $C_{Hu}$  表示, 均用重铬酸钾氧化法测定。

采用 T6 新世纪紫外可见分光光度计 (北京谱析通用有限公司) 对 HA 碱溶液的吸光度 ( $D_{400\text{ nm}}$ 、 $D_{465\text{ nm}}$ 、 $D_{600\text{ nm}}$ 、 $D_{665\text{ nm}}$ ) 进行测定, 并由此计算出光密度值 ( $E_4/E_6$ ) 和色调系数 ( $\Delta\lg K$ ), 具体计算方法如下:

$$E_4/E_6 = D_{465\text{ nm}}/D_{665\text{ nm}}; \quad (1)$$

$$\Delta\lg K = \lg D_{400\text{ nm}} - \lg D_{600\text{ nm}}. \quad (2)$$

## 1.3 数据分析

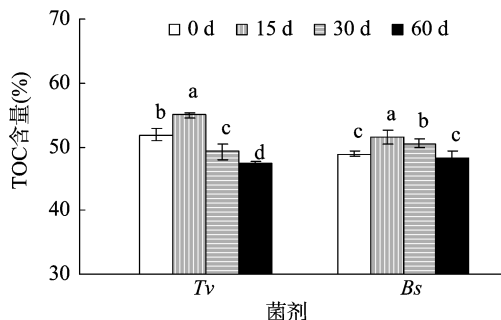
采用 Excel 2003 及 SPSS 18.0 软件对数据进行差异性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 绿色木霉和枯草芽孢杆菌对混料总有机碳含量的动态影响

由图 1 可见, 绿色木霉 (*Tv*) 和枯草芽孢杆菌 (*Bs*) 接种后, 前者使混料初始总有机碳 (TOC) 含量大于后者。培养期间, 受 *Tv*、*Bs* 影响, 混料 TOC 含量均呈先增加后下降的规律, 培养结束后, TOC 含量皆有所损失, *Tv* 处理下的降低幅度更

为明显, 达到 8.6%。上述规律表明, 与枯草芽孢杆菌相比, 绿色木霉菌株悬液中含有更多的有机碳成分, 历经 15 d 培养, 物料失重幅度大于 TOC 的矿化程度, 因此, 物料中 TOC 含量反而呈上升趋势, 表现为浓缩效应, 随着培养进行, 有机碳矿化程度加剧直至培养结束, 绿色木霉对于物料 TOC 的矿化程度要大于枯草芽孢杆菌。



不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同

图1 *Tv*、*Bs* 对堆腐过程中混料总有机碳(TOC)含量的影响

### 2.2 绿色木霉和枯草芽孢杆菌对混料全量养分的动态影响

由表 1 可见, 接种 *Tv* 和 *Bs* 可对堆腐过程混料的全量养分产生较为显著的动态影响。*Tv* 菌株悬液中含有比 *Bs* 更多的 N 和  $K_2O$ , 反之, *Bs* 菌株悬液则含有更多的  $P_2O_5$ 。随着培养的进行, 混料 N、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$  含量均呈增加趋势。经过 60 d 培养, *Tv* 和 *Bs* 处理下混料 N 含量的增幅分别为 10.6%、32.0%,  $P_2O_5$  含量增幅为 101.6%、15.1%,  $K_2O$  含量增幅为 39.6%、72.8%。由此可见, 混料在培养过程中质量的缺失, 即减重效应, 会变相增加全量养分的含量, *Tv* 菌株悬液中含有更多的 N 和  $K_2O$ , 而  $P_2O_5$  含量稍逊于 *Bs*。培养结束后, 绿色木霉对于混料  $P_2O_5$  含量的增加幅度较大, 而后者归属细菌在培养过程中繁殖速率较快<sup>[10]</sup>, 因此更有益于混料 N 和  $K_2O$  的含量增加。

### 2.3 绿色木霉和枯草芽孢杆菌对混料腐殖质组成的动态影响

如图 2 - A 所示, 尽管 *Tv* 和 *Bs* 的培养对于混料 WSOC 含量有所促进, 但影响规律不同, 具体来看, 培养 15 d 期间, *Tv* 对于混料 WSOC 组分的利用程度较高, 使其含量有所降低, 而后随 *Tv* 对腐殖质其他组分降解以及物料失重的影响, WSOC 含量再度提高, 增幅达 42.3%。在添加 *Bs* 条件下, 尽管 *Bs* 必然会对 WSOC 组分加以利用, 但对于物料失重的影响更为显著, 间接使得 WSOC 含量增加, 历经 60 d 培养, 最终该组分碳含量增加幅度达 41.3%。由图 2 - B 可知, 无论接种 *Tv* 还是 *Bs*, 混料  $C_{HE}$  均呈先增加后降低的变化规律, 培养结束后,  $C_{HE}$  均遭致损失, 在 *Tv* 和 *Bs* 处理下,  $C_{HE}$  的降低幅度分别达到 8.6% 和 15.7%, 可推断, 微生物首先利用 WSOC 组分并展开对腐殖质组分的降解, 加之混料失重, 两过程均促使  $C_{HE}$  增加, 而后随着培养进行, 部分  $C_{HE}$  组分亦可被微生物降解, 使其碳含量有所下降, 在此过程, 枯草芽孢杆菌的作用更为明显。图 2 - C 描述了混料  $C_{HA}$  变化, 在此之前, 笔者已经明确  $C_{HE}$  ( $C_{HA} + C_{FA}$ ) 在培养结束后会有所下降的规律, 而其中的  $C_{HA}$  却被提升, 可见, 接种 *Tv* 和 *Bs* 均对落叶及草坪碎屑混料  $C_{HA}$  的形成有促进作用。由图 2 - D 可见, 混料  $C_{Hu}$  在 *Tv* 和 *Bs*

表 1 *Tv* 和 *Bs* 对堆腐过程中混料 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量的影响

处理	N 含量(%)			
	0 d	15 d	30 d	60 d
<i>Tv</i>	2.63 ± 0.21c	2.78 ± 0.31b	2.89 ± 0.22a	2.91 ± 0.25a
<i>Bs</i>	2.19 ± 0.25b	2.51 ± 0.17b	2.88 ± 0.35a	2.89 ± 0.12a

处理	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 含量(%)				K <sub>2</sub> O 含量(%)			
	0 d	15 d	30 d	60 d	0 d	15 d	30 d	60 d
<i>Tv</i>	1.91 ± 0.11c	3.51 ± 0.41b	3.82 ± 0.51a	3.85 ± 0.07a	2.25 ± 0.17c	2.78 ± 0.19b	3.10 ± 0.18a	3.14 ± 0.41a
<i>Bs</i>	2.72 ± 0.21b	3.09 ± 0.46a	3.10 ± 0.24a	3.13 ± 0.14a	2.17 ± 0.11d	3.01 ± 0.24c	3.69 ± 0.27b	3.75 ± 0.37a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

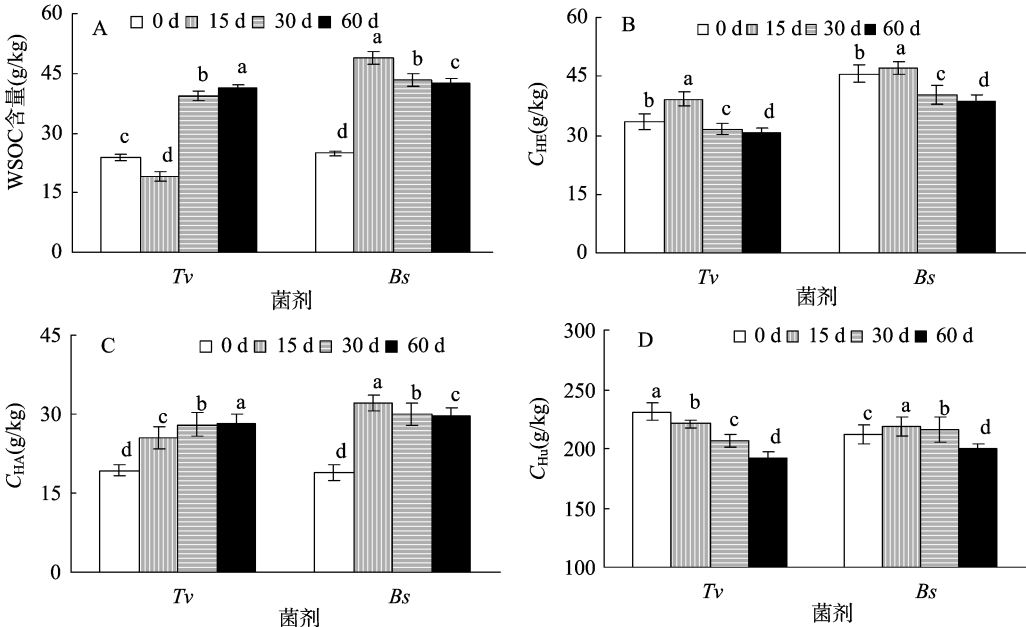


图2 *Tv* 和 *Bs* 对堆腐过程中混料水溶性有机碳(WSOC)、可提取腐殖酸、胡敏酸、胡敏素碳含量的影响

培养条件下历经不同变化规律:*Tv* 处理下该组分碳含量渐趋降低,*Bs* 处理下该组分碳含量先增后减。培养结束后,混料  $C_{Hu}$  均遭受损失,可见,绿色木霉对于落叶及草坪碎屑混料中惰性腐殖质组分的降解能力要优于枯草芽孢杆菌。

2.4 绿色木霉和枯草芽孢杆菌对混料腐殖化系数 ( $C_{HA}/C_{FA}$ ) 的影响

如图 3 所示,无论接种 *Tv* 还是 *Bs*,60 d 培养结束后,混料  $C_{HA}/C_{FA}$  均有不同程度增加,从增加幅度来看,*Bs* 处理有着更大优势, $C_{HA}/C_{FA}$  增幅达到 67.4%,而在 *Tv* 处理下的增幅仅为 25.9%。上述规律表明,绿色木霉和枯草芽孢杆菌在培养 60 d 内均可提高混料腐殖化系数,使得落叶及草坪碎屑混料富里酸向胡敏酸转化,尽管腐殖质活性有所减弱,但在此过程中腐殖质品质可获得提升,其中枯草芽孢杆菌的优势更为明显。

2.5 绿色木霉和枯草芽孢杆菌对混料胡敏酸碱溶液光学性质 ( $E_4/E_6$ 、 $\Delta lgK$ ) 的影响

由图 4 - A 可知,接种 *Tv* 处理下,混料 HA 碱溶液的  $E_4/E_6$  经历了先增后减的变化,与其相反,接种 *Bs* 后, $E_4/E_6$  先减后增,总体看来,2 个处理均可促使  $E_4/E_6$  增加,相较而言,*Tv* 对其促进作用更为明显,增幅达 20.9%。由图 4 - B 可知,在 *Bs* 处理下  $\Delta lgK$  的变化规律与  $E_4/E_6$  相同,而 *Tv* 处理下的  $\Delta lgK$  则历经渐趋增高的趋势,培养结束后,2 个处理下

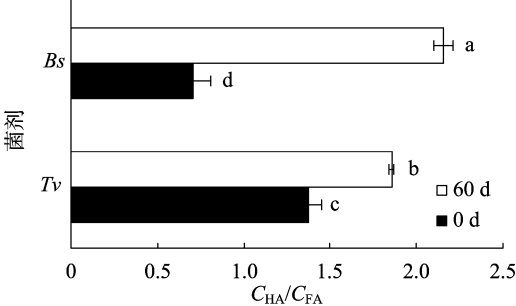


图3 *Tv* 和 *Bs* 对堆腐过程中混料腐殖化系数 ( $C_{HA}/C_{FA}$ ) 的影响

$\Delta lgK$  值均有所增加。

一般来讲,HA 碱溶液的  $E_4/E_6$  和  $\Delta lgK$  越高,表明其数均分子量越小,分子结构越简单,反之,则其腐殖质分子量越高,缩合度和芳构化程度愈高<sup>[11]</sup>。依据该原理可作推断,*Tv* 和 *Bs* 均有助于混料 HA 分子的简单化,其中 *Tv* 的优势更为明显。

3 结论与讨论

绿色木霉为半知菌类,产孢量大、环境适应性强,其在生长过程不断向胞外分泌蛋白酶类物质,该酶活性的强弱反映了菌丝体生长过程中对外界复杂有机物的分解能力<sup>[12]</sup>,此外还能产生 3 种纤维素酶且均为胞外酶,对纤维素的降解能力

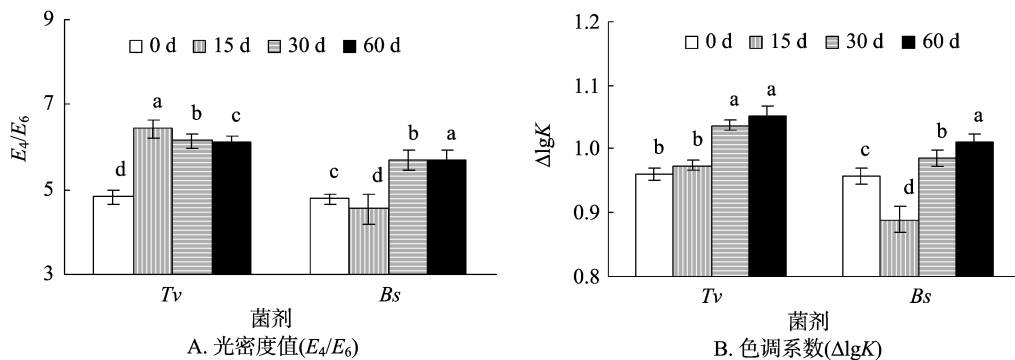


图4 *Tv*和*Bs*对堆腐过程中混料胡敏酸碱溶液光密度值( $E_4/E_6$ )及色度系数( $\Delta \lg K$ )的影响

更强<sup>[13]</sup>。因此,在本试验条件下,绿色木霉在充分供应氮素情况下,在矿化混料 TOC 方面的能力要比枯草芽孢杆菌更有优势。接种绿色木霉后混料的 TOC 含量大于同条件下接种枯草芽孢杆菌的处理结果,这表明前者菌株悬液中含有更多的微生物量碳,使得起始 TOC 含量略大。接种 2 类菌株悬液后,混料 TOC 含量的变化趋势相似,均表现为先升高后降低的规律,最终 TOC 含量均有不同程度损失,这与徐庆贤等的研究结论<sup>[14]</sup>有相似之处。经过 2 类菌株的培养,15 d 后混料失重程度大于 TOC 的矿化程度,因浓缩效应的产生使 TOC 含量有所增高。随着培养时间延长,TOC 矿化程度加剧,比照培养前后混料 TOC 的差异可知,绿色木霉对混料的矿化、分解能力要大于枯草芽孢杆菌。

混料经绿色木霉腐解后,其  $P_2O_5$  含量有所增加,而枯草芽孢杆菌对混料 N 及  $K_2O$  含量的促进作用更为明显。接种后,菌株在新培养环境下消耗营养物质来完成生命活动,致使物料失重,当失重速率超过养分降低速率时会出现营养物质浓缩的现象,最终使其含量增加<sup>[7-8]</sup>。绿色木霉悬液中含有更多 N 和  $K_2O$ ,对  $P_2O_5$  的利用程度相对较弱,因此,失重后更有利于  $P_2O_5$  含量的增加,同理,枯草芽孢杆菌含有更多  $P_2O_5$ ,在繁殖过程对 N 和  $K_2O$  的利用程度较弱,最终使物料中 2 种养分得以浓缩<sup>[15]</sup>。

绿色木霉对于混料  $C_{HE}$  的利用程度较差,仅为 8.6%,但其对  $C_{Hu}$  的降解能力更强。在 2 类菌株培养条件下,混料  $C_{HE}$  先略有增加而后大幅度降低,相比之下,枯草芽孢杆菌对于堆料  $C_{HE}$  的利用程度更强,但对于  $C_{Hu}$  的降解效果并不明显,这与朱伟宁等研究结论<sup>[16]</sup>相似。

胡敏酸和富里酸是腐殖酸的两大核心组分,两者皆为生物学稳定性物质<sup>[17]</sup>,两者之比即腐殖化系数,在很大程度上决定了腐殖质的品质<sup>[18]</sup>。经过 60 d 培养,混料胡敏酸有向富里酸缩合的趋势,在此过程中,枯草芽孢杆菌接种培养下  $C_{HA}/C_{FA}$  增加了 67.4%,而绿色木霉培养下的  $C_{HA}/C_{FA}$  增加幅度仅为 25.9%。可见,2 类菌株皆有助于落叶及草坪碎屑混料腐殖质品质的改善,其中枯草芽孢杆菌的作用效果更佳。

从 HA 碱溶液  $E_4/E_6$  和  $\Delta \lg K$  的变化趋势可知,2 类菌株均有助于混料 HA 分子的简单化,通过对 HA 组分实施降解而使其芳构化程度减弱,脂族碳含量增加,在此过程中,绿色木霉的优势更大,这与赵恒凝等的报道结果<sup>[15]</sup>一致。受到枯草芽孢杆菌影响,混料 HA 分子结构先复杂而后渐变简单,在此过程中,混料 WSOC 含量、 $C_{HE}$ 、 $C_{HA}$ 、 $C_{Hu}$  均有所增加,综合考

虑是因为物料失重、水浮物(用水浸提 WSOC 组分时被滤纸阻隔在外的、尚未完全降解的植株残体)降解导致 HA 分子复杂化,而后随 WSOC 缩合以及 HA 降解,最终使该分子结构向简单化方向发展。而在绿色木霉影响下,混料 WSOC 组分可发生部分缩合<sup>[19]</sup>,加之对 HA 的矿化,尽管对 Hu 组分也有所降解,但所得有机分子片段并没有扭转 HA 分子向简单化方向发展的趋势。

#### 参考文献:

- [1] 张庆费,辛雅芬. 城市枯枝落叶的生态功能与利用[J]. 上海建设科技,2005(2):40-41,55.
- [2] 王安娇. 城市园林植物废弃枝叶分解利用研究[D]. 福州:福建农林大学,2010.
- [3] 梅丽娜,姚拓,刘雯雯,等. 接种外源微生物对蘑菇渣堆肥的影响[J]. 草原与草坪,2010,30(4):81-84.
- [4] 毕延刚,田永强. 堆肥和枯草芽孢杆菌协同调控黄瓜幼苗生长的机制探究[J]. 中国农学通报,2015,31(28):71-78.
- [5] 刘悦秋,刘克锋,石爱平,等. 生活垃圾堆肥优良菌剂的筛选[J]. 农业环境科学学报,2003,22(5):597-601.
- [6] 李瑜,王琦,陈五岭. 牛粪堆肥高效降解菌的筛选及复合微生物菌剂的制备[J]. 安徽农业科学,2008,36(35):15653-15655.
- [7] Zhao J, Ge X, Vasco correa J, et al. Fungal pretreatment of unsterilized yard trimmings for enhanced methane production by solid-state anaerobic digestion[J]. Bioresource Technology, 2014, 158:248-252.
- [8] Xu F, Wang F, Lin L, et al. Comparison of digestate from solid anaerobic digesters and dewatered effluent from liquid anaerobic digesters as inocula for solid state anaerobic digestion of yard trimmings[J]. Bioresource Technology, 2016, 200:753-760.
- [9] Awasthi M K, Pandey A K, Bundela P S, et al. Co-composting of organic fraction of municipal solid waste mixed with different bulking waste: characterization of physicochemical parameters and microbial enzymatic dynamic[J]. Bioresource Technology, 2015, 182:200-207.
- [10] 刘佳,李婉,许修宏,等. 接种纤维素降解菌对牛粪堆肥微生物群落的影响[J]. 环境科学,2011,32(10):3073-3081.
- [11] 王帅,李昕洋,于楠楠,等. 不同玉米栽培模式对中温带典型暗棕壤腐殖质组成的短期影响[J]. 东北林业大学学报,2016,44(4):54-59.
- [12] 王勇,高苇,张春祥,等. 液体培养条件下绿色木霉 Tr9701

庄艳,杨程. 淹水条件下石灰对不同水稻土壤无机氮和  $N_2O$  排放的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(23):262-266.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.23.072

# 淹水条件下石灰对不同水稻土壤无机氮和 $N_2O$ 排放的影响

庄艳<sup>1</sup>, 杨程<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室, 广西桂林 541004;

2. 江苏省地质调查研究院, 江苏南京 210018)

**摘要:** 秸秆还田和施用石灰是水稻种植的常用措施, 目前对 2 种措施下土壤无机氮变化和  $N_2O$  排放情况了解得较少。选取 5 种理化性质差异较大的水稻土壤, 加入玉米秸秆, 设置添加、不添加石灰 2 种处理, 于 25 ℃ 室内淹水培养 40 d, 调查土壤无机氮含量及  $N_2O$  气体排放的变化。结果表明, 添加秸秆淹水培养 40 d 后, 5 个水稻土壤铵态氮含量无显著差异, 达到 6.16 ~ 7.75 mg/kg。除淮安土壤外, 整个培养过程中其他 4 个土壤硝态氮含量呈现显著降低趋势, 培养 40 d 时降至 10 mg/kg 以下。硝态氮含量最高的淮安水稻土壤  $N_2O$  累积排放量达到 48.9 mg/kg, 显著高于其他 4 个土壤 (12.3 ~ 18.6 mg/kg)。土壤  $N_2O$  排放集中在培养过程中的前 5 d, 约占总排放量的 97.4% ~ 99.1%。添加石灰没有明显改变土壤无机氮含量, 但显著降低  $N_2O$  排放量,  $N_2O$  降幅达到 25.3% ~ 81.7%, 随着土壤 pH 值提高呈降低趋势。

**关键词:** 水稻土壤; 石灰; 秸秆; 无机氮;  $N_2O$  排放

**中图分类号:** S153; S511.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)23-0262-05

氮是水稻种植过程中必施的营养元素之一, 它在土壤中的转化途径和供应能力会引起不同形态氮库的含量变化, 进而影响水稻生长和产量提高<sup>[1-2]</sup>, 若是氮过量也会产生负面环境效应<sup>[3-4]</sup>。因此, 研究水稻种植过程中土壤氮形态和含量变化及其影响因素具有重要意义。秸秆还田和施用石灰是亚热带地区水稻种植的常用措施<sup>[2,5-6]</sup>, 可以有效提高土壤肥力和有机碳含量, 改善土壤结构<sup>[7-9]</sup>, 同时减轻土壤酸化带来的不利影响<sup>[5]</sup>。若是秸秆和石灰同时施用, 石灰会对秸秆的分解产生一定影响。水稻种植过程常处于干湿交替状况, 秸秆因石灰的添加, 其分解情况也会有所差异, 从而会改变无机

氮(铵态氮和硝态氮)的供应。考虑到水稻是较为偏好铵态氮的作物, 探讨石灰施用条件下作物秸秆在水稻土壤中的供氮能力, 可以指导水稻种植和氮肥施用量, 但是目前相关研究较少。值得注意的是, 添加秸秆会增加土壤活性有机碳含量, 淹水条件下会刺激土壤硝态氮的反硝化过程而产生较多的  $N_2O$ <sup>[10]</sup>。因  $N_2O$  对环境的负面影响(既是重要的温室气体, 也是平流层臭氧的破坏者)<sup>[11-12]</sup>, 秸秆和石灰添加到水稻土壤中后  $N_2O$  排放应引起充分重视。我国水稻土壤类型较多, pH 值差异较大, 施用石灰对高 pH 值的水稻土壤影响会小于低 pH 值土壤。因此, 施用秸秆和石灰后氮的供应能力和  $N_2O$  排放可能会因水稻土壤自身 pH 值不同而有较大差异。本试验选取 pH 值差异较大的 5 种水稻土壤, 研究淹水条件下秸秆和石灰添加对土壤无机氮和  $N_2O$  排放的影响, 以期期为水稻种植和环境效应提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验共采集 5 种水稻土, 土壤理化性质差异较大(表

收稿日期: 2016-06-22

基金项目: 中国地质科学院岩溶地质研究所基本科研业务费项目(编号: 2015004); 江苏省科技计划-社会发展项目(编号: BE2014722)。

作者简介: 庄艳(1986—), 女, 新疆乌鲁木齐人, 硕士, 助理研究员, 主要从事土壤环境研究。E-mail: zhuangyan1019@karst.ac.cn。

通信作者: 杨程, 硕士, 工程师, 主要从事土壤污染分析研究。E-mail: yc384522@163.com。

胞外酶及还原糖动态变化研究[J]. 华北农学报, 2015, 30(4): 226-230.

[13] 姜伯玲, 王曙阳, 李文建, 等. 绿色木霉与黑曲霉混合发酵产纤维酶的研究[J]. 中国酿造, 2015, 34(7): 28-31.

[14] 徐庆贤, 官雪芳, 林碧芬, 等. 几株猪粪堆肥发酵菌对堆肥发酵的促进作用[J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(2): 253-259.

[15] 赵恺凝, 赵国柱, 国辉, 等. 园林废弃物堆肥化技术中微生物菌剂的功能与作用[J]. 生物技术通报, 2016, 32(1): 41-48.

[16] 朱伟宁. 不同微生物形成类腐殖物质固碳研究[D]. 长春: 吉林

农业大学, 2012.

[17] Said-Pullicino D, Kaiser K, Guggenberger G, et al. Changes in the chemical composition of water-extractable organic matter during composting: distribution between stable and labile organic matter pools[J]. Chemosphere, 2007, 66(11): 2166-2176.

[18] 刘佳. 园林废弃物堆肥化研究及应用[D]. 天津: 天津城市建设学院, 2012.

[19] 王晓平. 真菌利用农业废弃物形成稳定性腐殖质碳的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012.