

堆肥用微生物及其效果研究进展

蔡 瑞, 徐春城*

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘 要: 通过查阅国内外有关堆肥常用微生物及其效果的文献资料, 初步总结了不同原料堆肥常用的微生物菌剂以及作用效果, 发现目前秸秆堆肥中常用的添加菌剂有纤维素分解菌、白腐菌以及链霉菌等; 粪便堆肥中主要添加芽孢杆菌、假单胞菌、霉菌等; 动物尸体堆肥中主要添加芽孢杆菌; 城市生活垃圾以及其他原料的堆肥中由于原料种类复杂, 所用的菌剂也比较复杂, 如纤维素分解菌、芽孢杆菌、霉菌、固氮菌等; 也有大量的研究采用商业复合菌剂运用于堆肥中, 如群林发酵剂(主要由功能菌、丝状真菌、营养体复合而成)、RW 酵素剂(主要由真菌、细菌、丝状菌、酵母菌等多种菌株及相关酶复配而成)、VT 菌剂系列(富含纤维素分解菌、固氮菌等)等。添加微生物菌剂对提升堆肥质量的效果明显: 能有效促进有机物的降解进而促进堆体升温, 延长堆肥高温时间, 减少堆肥所用时间, 促进腐殖质形成; 能减少堆肥植物毒性, 提高堆肥种子发芽率; 能改善堆体的微生物结构及多样性; 施肥后, 对土壤质量改良效果明显等。

关键词: 堆肥; 微生物菌剂; 不同原料; 腐熟效果

堆肥化是指在高温条件下通过微生物的生长代谢作用使不稳定的有机物矿质化、腐殖化和无害化进而变成腐熟肥料的过程。堆肥有机质通过微生物的代谢降解, 不但可以产生大量能够被植物所吸收利用的有效态氮、磷、钾的化合物, 还可以合成新的组成土壤肥力的重要活性有机物—腐殖质^[1]。适合堆肥所用的物料很多, 如作物秸秆及残渣、米糠及稻壳、花生壳、麸皮、树皮、木屑、动物的粪便、动物尸体、屠宰场废弃物、生活垃圾、市政淤泥和污泥、造纸废物、食品加工废弃物、甘蔗和甜菜滤泥、泥炭、石灰、木炭、粉煤灰、饼粕、水藻和其它水生植物、中药渣、制药业培养基废渣等^[2]。

为了加快和改善堆肥腐熟进程和质量, 使用添加剂是一种较好的方法。堆肥添加剂是指一类可以加快堆肥进程和提高堆肥产品质量的物质, 包括微生物菌剂、有机或无机等物质。依据添加剂的作用可以将堆肥用添加剂分为接种剂、调理剂等^[1]。目前, 在各种堆肥中添加添加剂来改善堆肥发酵效果的研究很多, 其中包括堆肥中添加微生物菌剂。本

文通过综合阅读近些年国内外在堆肥中添加微生物菌剂研究的文献, 对堆肥主要的原料进行分类分析, 初步总结了目前堆肥常用微生物菌剂及其效果的研究现状。

1 堆肥常用微生物的来源

依据国内外的研究表明, 堆肥所用的微生物主要有几大来源。其一, 从所研究的堆肥中分离各种土著微生物菌剂, 通过相应的生理生化试验来选取目标菌株, 然后接种于堆肥中检测效果; 其二, 从以往的文献或其它成果中借鉴经验, 进行优化, 找出适合自己试验的菌种进行试验; 其三, 可以通过购买相应的商用菌剂进行试验, 比如 VT 菌剂、RW 酵素剂、生物菌肥发酵剂、有机肥发酵剂等; 其四, 从一些外界特定的材料和环境中分离筛选活性较高的菌剂, 比如从秸秆中分离高效分解木质纤维素的菌剂用于以秸秆为主的堆肥中。

2 影响堆肥微生物添加剂作用效果的主要因素

影响堆肥腐熟进程和效果的因素较多, 主要通过影响堆肥中微生物的生长代谢进而使得堆肥的腐熟效果受到影响。影响堆肥微生物的主要因素有温度、pH 值、C/N、含水量、通气情况等。

堆肥所处的环境温度以及堆肥自身的温度对堆肥中的微生物有着重大的影响。环境和堆肥自身温

收稿日期: 2018-12-06; 录用日期: 2019-01-16

基金项目: 青海省重大科技专项(2018-NK-A2)。

作者简介: 蔡瑞(1994-), 男, 湖北咸宁人, 硕士研究生, 主要从事农业废弃物综合利用方面的研究。E-mail: chenmei@cau.edu.cn。

通讯作者: 徐春城, E-mail: xucc@cau.edu.cn。

度过高或过低对微生物活性均有显著影响,环境温度过低(如冬季和高寒地区)使堆肥微生物处于休眠状态甚至死亡,从而影响堆肥起爆升温,无法达到高温,最终影响堆肥腐熟,甚至使得堆肥过程完全失效;温度过高会使堆肥中不耐高温的微生物失活死亡,进而影响堆肥的腐熟。温度过高也会过度消耗堆肥有机物质,从而降低堆肥产品的质量。大量研究表明,在堆肥过程中,堆体温度在45~65℃之间会有利于堆肥的进行。对于环境温度过低或过高可以在堆肥中添加耐低温或耐高温微生物来解决,并同时做好保温措施。

有研究者^[3]认为当pH值处于5~12的范围内,堆肥是可以进行的,pH值高于12或者低于5时会使堆肥中微生物代谢活动受到严重影响,进而影响堆肥的进行。控制堆肥原料的pH值在弱碱性的条件下,可以为微生物生长代谢提供一个适宜的酸碱环境,当pH值在7.5~8.5时,堆肥微生物可以有效地发挥作用,进而获得最大堆肥效率。

C/N是堆肥化过程中一个非常重要的因素,过高或过低均会对堆肥微生物产生重大影响,有些研究者^[4]认为起初C/N为20~35的效果最佳。C/N过低(低于20)时,碳素相对较少,氮素过剩,从而使氮以NH₃形式挥发,散发出恶臭并造成氮素的损失;C/N过高(高于35)时,则碳素相对过剩,氮素缺乏,使得堆肥中微生物的生长活动受到抑制,堆肥有机质的降解速度减慢,结果造成堆肥过程延长,并且堆肥产品的C/N也会相对偏高,进而使得施肥后的土壤处于“氮饥饿”的状态,最终影响作物的生长^[5]。

水是维持生命活动的重要物质。在堆肥中,水对微生物同样有着极其重要的意义,一方面微生物要不断从外界吸收水分来维持自身的生长代谢,水还可以溶解堆肥中可溶性营养成分,这部分营养物质一般是较容易供微生物吸收和利用的;另一方面水的蒸发带走热量,可以起着调节堆肥温度的作用。堆肥原料含水量过低或过高均能对堆肥中微生物的生长代谢产生不良影响,水分过低会使微生物缺乏维持生命活动所需的水分,也无法充分溶解可溶性营养物质;水分过高则会阻塞堆肥的空隙,造成堆肥氧气不足,形成局部厌氧环境,严重阻碍好氧微生物的作用,并能产生恶臭。大量研究^[6-8]表明堆肥的含水量控制在50%~70%比较合适。

堆肥的通气情况的好坏决定着堆肥的氧气含量

以及散热情况,通气情况不佳会使堆肥氧气含量不足,造成厌氧环境,从而影响好氧微生物的生长代谢。一般认为,堆体中的氧含量保持在8%~18%比较合适。氧含量低于8%会导致厌氧发酵而产生恶臭;氧含量高于15%则会使堆体冷却,导致病原菌的大量存活^[9-10]。一般堆肥要进行定期翻堆补充氧气和散热,或者采用强制通风堆肥方式,有条件的可以采用智能堆肥罐进行堆肥。

3 不同堆肥原料常用微生物及其效果研究现状

3.1 作物秸秆及其他植物残体堆肥常用微生物及其效果

作物秸秆是农作物生产中一项非常重要的生物质资源,其含有比较丰富的植物养分和有机碳^[11]。农作物秸秆及其他植物残体作为堆肥原料有着悠久的历史,但其含有的大量纤维素、半纤维素、木质素等物质,对秸秆堆肥的腐熟产生很大的障碍。研究人员通过筛选、添加各种能够有效降解纤维素、半纤维素、木质素的菌种来消除上述的障碍。目前在秸秆堆肥中添加最多的菌剂有纤维素分解菌、白腐菌以及链霉菌等。纤维素分解菌包括真菌、细菌和放线菌等,它们通过分泌纤维素酶水解纤维素 β -1,4葡萄糖苷键来分解纤维素。通常纤维素分解菌以混合多种菌剂配置成复合菌剂添加于秸秆堆肥中。

通过一些文献报道^[12-17]可知,接种纤维素分解菌可以提高堆肥的质量,促进堆肥的腐熟。白腐菌是分解木质素最有效的菌种之一,目前白腐菌运用于许多领域,国内外学者^[18-22]对其进行了大量的研究。白腐菌分解木质素的过程分两个步骤进行:第一步是白腐菌利用自身菌丝体吸附木质素;第二步是白腐菌分泌过氧化物酶催化氧化木质素,进而有效地降解木质素分子^[23]。白腐菌目前在秸秆堆肥中也有着广泛的研究^[24-25]。白腐菌能有效地降解堆肥中的木质素,能缩短达到高温的时间,可以使堆肥的时间有效的减少,对秸秆的腐熟有着明显的增强效果。国内外学者对在秸秆堆肥中添加链霉菌来实现农作物秸秆的资源化利用也有所研究^[26-27],从文献的报道来看,链霉菌可以提高堆体细菌数量,改变堆肥体中细菌菌落的构成,提高堆体细菌总代谢活性和细菌群落的多样性,对堆肥体蛋白酶及蔗糖酶的活性也有所增加。接种链霉菌还能使堆肥的高温提升,使整个发酵周期的时间缩短。秸秆

堆肥添加链霉菌施于土壤中可以显著改善土壤的质量。Huang 等^[28]用黄孢原毛平革菌(白腐菌)和栗褐链霉菌接种于水稻秸秆中,结果表明两种菌剂都可以将木质素转化为腐殖质,木质素分别降解了41%和31%,并得出这两种微生物都有可以在堆肥前或堆肥过程中作为添加菌剂用来提高堆肥质量。

3.2 粪便堆肥常用微生物及其效果

常见的粪便堆肥包括鸡粪、猪粪、牛粪、羊粪堆肥等,由于粪便含氮量和含水量较高,一般粪便堆肥中会添加秸秆等辅料来调节碳氮比和含水率。粪便堆肥大多添加复合菌剂,添加微生物菌剂能够有效地促进堆肥初期的温度上升和延长高温的时间,可以加快有机质的分解和水分的蒸发,能够显著地降低堆肥的碳氮比,从而最终缩短堆肥的周期。由于不同粪便的成分、性质有很大的差别,所以在不同粪便堆肥中所添加的生物菌剂也有所差别。

王有月等^[29]对比了两种复合菌剂对鸡粪堆肥腐熟进程的影响,一种菌剂由侧孢芽孢杆菌、酵母菌、枯草芽孢杆菌、细黄链霉菌、黑曲霉、光合细菌等组成,另一种由细菌、放线菌、酵母菌、丝状菌以及有关酶组成,结果表明两种菌剂在一定程度上推进了堆肥初期有机质降解的速率和物料升温。Sun 等^[30]用在低温鸡粪中筛选出嗜冷杆菌、节杆菌、肺炎杆菌等4株嗜冷微生物菌剂添加于低温鸡粪堆肥中,研究表明低温微生物主要通过改变鸡粪菌群结构和提高酶活性来促进堆肥快速升温。王道泽等^[31]用4种商用菌剂(金益生菌、RW 酵素剂、群林发酵剂、发酵菌曲)于鸡粪便堆肥中,结果表明鸡粪堆肥通过接4种商业微生物菌剂,均可以显著提高堆肥初期的发酵温度、延长堆肥高温期、缩短堆肥发酵时间、促进堆肥快速腐熟,接种菌剂后能明显加快碳氮比的下降,提高堆肥的腐熟度。刘益仁等^[32]添加由细菌、酵母菌、放线菌、纤维素分解菌组成的复合菌剂于猪粪堆肥中,结果显示微生物菌剂使堆体上升到高温的时间缩短、高温时间延长,水分含量下降的速度明显加快,铵态氮含量、粪大肠菌群值、种子发芽指数、碳氮比、pH 值等达到腐熟指标要求的所需时间均有明显的缩短。Jiang 等^[33]在猪粪和麦秸混合堆肥中添加氮代谢菌(NTB, 试验所用氨化菌、硝化菌和固氮菌复合菌剂),结果显示 NTB 菌剂可使高温期延长1~6 d,在堆肥初期接种1% NTB 菌剂,可有效降低氮素损失,促进堆肥腐熟。徐杰等^[34]在

牛粪和水稻秸秆混合堆肥中添加自配的菌剂 DN-1 (主要包括黄孢原毛平革菌、灰略红链霉菌以及芽孢杆菌),结果表明菌剂 DN-1 对堆肥中水稻秸秆的木质纤维素有很强的降解能力,能有效延长堆肥高温时间以及提高堆肥种子发芽率。鲁耀雄等^[35]在牛粪、鸡粪、食用菌渣为原料的堆肥中添加不同的微生物菌剂研究添加菌剂作用效果,结果显示枯草芽孢杆菌剂和 EM 菌剂(主要由乳酸菌、酵母菌、光合菌、枯草芽孢杆菌等微生物及相关酶组成)能促进堆肥初期升温,枯草芽孢杆菌剂处理高温达70℃左右,堆肥前后氮素损失率最大,为33.18%,发芽指数最低,而 EM 菌剂处理的高温维持在55~68℃,氮素损失率最小,为10.73%,发芽指数在堆肥21 d 为51.55%,堆肥35 d 为84.27%,堆肥腐熟快于其他处理。时小可等^[36]用3种复合菌剂(菌剂1由枯草芽孢杆菌、黑曲霉、唐德链霉菌、白浅灰链霉菌和里氏木霉组成;菌剂2由纤维素分解真菌、纤维素分解细菌、纤维素分解放线菌、降解淀粉芽孢杆菌复配组成;菌剂3由几十种微生物和生物酶组成)添加于羊粪中,结果显示微生物菌剂堆肥效果均优于对照。张生伟等^[37]用筛选的高效除臭菌株和纤维素分解菌群制备微生物除臭剂,研究其对畜禽粪便堆肥过程中的脱臭作用以及对堆肥物料特性的影响,研究表明该微生物除臭剂具有高效而稳定的除臭效果,还能有效减少堆肥肥效的损失,并有效促进了堆肥的腐熟。张树清等^[38]在高温堆肥对畜禽粪中抗生素降解和重金属钝化的作用研究中发现:高温堆肥对四环素类抗生素具有降解效果,微生物菌剂的添加能使堆体中抗生素药物残留得到去除。

3.3 城市垃圾及污泥堆肥常用微生物菌剂及其效果

随着城市的不断扩张和人口的持续快速增长,城市生活垃圾问题也显得越来越突出。城市生活垃圾包括厨余垃圾、人的粪尿以及商业、集贸市场、街道、学校、工厂等产生的垃圾,其成分比较复杂,处理起来比较困难。堆肥法是处理城市生活垃圾的有效途径之一,由于垃圾成分包括厨余、粪便等,所以其中添加的微生物菌剂也要考虑原料的组成。

谷思玉等^[39]用纤维素分解菌、木质素分解菌、霉菌等耐高温复合菌剂作用于生活垃圾堆肥,结果表明接种微生物菌剂堆肥可明显加速堆肥升温,延长高温时间,堆肥中前期菌剂处理的耗氧速

度以及 CO₂ 释放速率明显增加, 堆肥过程中蔗糖酶、纤维素酶、多酚氧化酶的活性峰值均有所增加, 接种微生物菌剂显著改善了生活垃圾堆肥过程中的生化特性。徐晨等^[40]在城市污泥中添加由芽孢杆菌、放线菌、球菌等组成的复合菌剂制作堆肥, 表明接种复合微生物菌剂不仅可以加快升温的速率、提高堆体温度最高值, 而且还能加快堆体中水分的散失、加快有机质的分解、减少堆体中氮的损失, 并且可以提高堆肥的种子发芽率。杨新平等^[41]用分离出的木质纤维素分解复合菌剂添加于绿化垃圾堆肥中, 发现添加的复合菌剂能够明显加快堆肥的腐熟进程。周营等^[42]用褐球固氮菌、解脂假丝酵母、绿色木霉、米曲霉和地衣芽孢杆菌等复合成的菌剂作用于厨余垃圾堆肥, 表明当其添加比例为 1:1.2:1.5:1:2, 且当接种量为 6‰时, 厨余垃圾中特异性组分脂肪降解率可达到 76.2%, 氮损失率最低为 11.8%。Xi 等^[43]研究了分阶段(初期接种硝化菌和脱臭菌, 高温期接种纤维素分解复合菌, 降温期接种木质素分解复合菌)多次添加微生物菌复合菌剂于城市生活垃圾堆肥中, 结果表明与前期接种和自然堆肥相比, 多级接种延长了高温期, 有效提高了二次发酵温度。同时, 多级接种方法改进的细菌和真菌的群落结构和功能的多样性, 有效地避免了各接种菌之间的竞争以及接种菌剂和土著微生物之间的竞争, 这有助于接种和土著微生物之间的协同共生, 促进了优势微生物的生长。Mukesh 等^[44]在城市生活垃圾中添加真菌复合菌剂研究复合真菌菌剂与翻堆频率对堆肥的影响, 结果表明每周翻堆一次结合接种真菌复合菌能有效推进堆肥成熟度, 降低或消除了堆肥产品的植物毒性。

3.4 动物尸体堆肥常用微生物菌剂及其效果

随着养殖规模不断增加, 动物染疫和死亡的数量也大为增加。目前处理病死动物尸体的方法主要有焚烧法、掩埋法、化制法和堆肥法等, 其中堆肥法因其成本较低, 能有效地达到无害化、减量化和资源化的要求而日益受到重视。

目前在动物尸体堆肥中添加微生物菌剂来促进其腐熟的研究报道较少, 范时^[45]用分离出的地衣芽孢杆菌和别府厌氧芽孢杆菌加入染疫动物尸体堆肥中表明制备的菌剂可以推进堆肥的进行, 使堆肥升温更快, 高温更高, 持续时间也越长, 添加菌剂还可以有效的弥补堆料养分的不足。卢青青^[46]用

从猪尸体中分离并选取的 4 株酶活较高的微生物(枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、甲基营养型芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌)作用于猪尸体堆肥中, 表明加入的菌剂可以提高堆体的最高温度、延长高温时间以及使堆肥种子发芽指数有效的增加, 并且还能加快有机质的降解, 提高堆肥腐熟程度, 微生物菌剂还可以增加堆肥起始微生物的丰富度和多样性指数。Yang 等^[47]在探讨胴体堆肥过程添加微生物接种剂如何提高堆肥效果, 改变菌群结构和动态的实验中, 在猪尸体堆肥桩上接种了 4 株芽孢杆菌, 添加菌剂在高温期温度较高, 种子发芽指数较高, 并且有效改变了菌群的结构, 丰富了菌种的多样性。

3.5 其它原料堆肥常用微生物菌剂及其效果

除了秸秆、粪便、城市垃圾和动物尸体外, 堆肥还有很多其它的原料, 比如泥炭、酒糟、醋渣、中药渣、沼渣、鱼类、骨粉等等。这些原料的组成和性质差异很大, 所用的微生物菌剂也大不相同。

Jann 等^[48]将从野生鸟类羽毛中分离的地衣芽孢杆菌和链霉菌菌株接种于鸡毛废弃物堆肥中, 结合电子显微镜得出接种菌剂能促进角蛋白的降解和生物膜的形成、堆体升温、鸡毛废弃物降解, 鸡毛废弃物堆肥接种菌剂可以改善其堆肥效果。何京钟等^[49]用由 13 株高温细菌、放线菌和 13 株纤维素降解真菌组成的复合菌剂加入中药渣堆肥中, 表明微生物菌剂对促进纤维素降解、提高堆肥腐熟度以及对提升堆肥肥料品质有着较好的效果。周万海等^[50]分别接种固氮菌、纤维素分解菌、固氮菌和纤维素分解菌复合菌以及不接种 4 个处理于醋渣堆肥中, 结果表明添加微生物菌剂能显著缩短堆体达到高温的时间、加速水分的散失、使有机物质降解和纤维素类物质降解、提高堆肥的种子发芽率, 并提前进入腐熟期, 从而缩短堆肥时间; 固氮菌和纤维素分解菌混菌接种的效果要好于单菌接种。李成学等^[51]在油枯(油菜残渣)中分别添加腐秆剂、VT 菌剂、速腐剂、榕风 4 种微生物菌剂, 结果显示添加菌剂使得堆肥物料颜色更深、粘度更大、高温持续的时间更长、温度上升速率更快, 从而能有效地缩短堆肥腐熟的时间。其中添加 VT 菌剂的处理组的温度上升速度最快。添加菌剂使堆肥 pH 值上升均较大, 最终在 7.5 ~ 8.5 之间, 达到腐熟标准, 添加 VT 菌剂上升趋势相对显著, 腐熟程度较好。王兴胜^[52]针对白酒糟粗蛋白和粗纤维含

量较高的特性,从白酒糟堆肥过程中筛选分离出具有氨化功能的微生物(烟曲霉、枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌)和纤维素降解功能的微生物(宛氏拟青霉),制备成复合菌剂作用于白酒糟堆肥中。结果表明,加微生物菌剂能够提升堆体的升温速度,延长高温期时间,加快堆体腐熟,并能够明显提高堆肥中氮素转化菌和纤维素降解菌的数量。微生物菌剂能够有效促进前中期堆体中铵态氮的生成,有利于氮素的转化。添加纤维素降解菌能够有效提高堆体中纤维素的降解,添加微生物菌剂有利于堆体中胡敏酸的生成和富里酸的降解,从而使堆肥品质变得更好。Song等^[53]在沼渣和畜禽粪便混合堆肥中接种混合菌剂(CMs),发现CMs可以显著升高堆肥腐化指数(DP、PHA、HR、HI),使堆肥腐熟程度和稳定性增加,从而提高堆肥效率、提高堆肥质量。

4 堆肥常用微生物菌剂研究的总结与展望

不同堆肥原料不同,其组成和性质也不一样,所以各种堆肥中所添加的微生物菌剂也存在差异。以秸秆为主的堆肥主要是解决秸秆中纤维素、半纤维素和木质素,所以往往在堆肥中添加纤维素、木质素分解菌;以粪便为主要原料的堆肥中往往会添加辅料来调剂碳氮比,不同粪便添加的微生物菌剂也不一样,主要的微生物菌剂有芽孢杆菌、假单胞菌,链霉菌等。粪便会产生恶臭,主要为硫化氢气体和氨气的散发,可以在粪便堆肥中添加可以除臭的菌剂;动物尸体中含有较多蛋白、脂肪等有机质,所以可以添加能够高效分解蛋白、脂肪等的微生物菌剂。病死动物体内病原微生物较多,所以添加微生物菌剂要使堆体的高温足以消灭病死微生物;城市垃圾和其它原料的成分比较复杂,可以根据原料的组成和性质来选择要添加的微生物菌剂。研究者一般都是先从堆肥中分离筛选需要添加研究的微生物,也有购买商业菌剂进行研究,添加复合菌剂的效果往往要好于单一菌剂。从文献报道来看,堆肥在添加菌剂后大部分效果比较相似,添加微生物菌剂可以缩短达到高温期的时间,提高堆肥的最高温度,从而缩短堆肥腐熟时间,并且还能提高堆肥的质量,减少堆肥植物毒性,提高种子发芽率;微生物菌剂可以改变堆体微生物种群的结构,提高微生物的多样性等。

目前堆肥所有微生物菌剂的研究很多,但也存

在不足。传统分离鉴定微生物的方法对堆肥微生物的鉴定严重不足,无法全面的分析堆肥中起作用的微生物,必须要结合新的、高效的现代生物学手段,并且要开发更新、更有效的研究方法分析堆肥中的微生物;以动物尸体为主要原料的堆肥报道较少,尤其是如何杀灭病死动物尸体中的病原微生物;针对复杂环境(高寒地区等)所用的微生物菌剂的研究报道很少;对堆肥所添加的微生物在堆肥发酵的什么时间添加的效果最好的研究不足等。所以可以针对病死畜禽进行无害化、减量化、资源化研究,如何使用适合微生物菌剂对高寒地区(尤其是在我国青藏地区)的农业废弃物进行堆肥化处理也需要研究人员努力去解决。

参考文献:

- [1] 李国学,李玉春,李彦富. 固体废物堆肥化及堆肥添加剂研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 252-256.
- [2] 杨柏松,熊文江,朱巧银. 好氧堆肥技术研究[J]. 现代化农业, 2016, (7): 57-59.
- [3] Xu W, Reuter T, Xu Y, et al. Use of quantitative and conventional PCR to assess biodegradation of bovine and plant DNA during cattle mortality composting [J]. Environmental Science & Technology, 2009, 43(16): 6248-6255.
- [4] 王义华,金玉玲,张岗林. 农业数据手册[M]. 吉林:吉林人民出版社, 1980.
- [5] 汤江武. 猪粪好氧堆肥高效菌筛选、工艺优化及应用研究[D]. 杭州:浙江大学, 2008.
- [6] 吕黄珍,韩鲁佳,杨增玲,等. 猪粪麦秸反应器好氧堆肥工艺参数优化[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 101-105.
- [7] Tiquia S M, Tam N F Y, Hodgkiss I J. Changes in chemical properties during composting of spent pig litter at different moisture contents [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1998, 67(1): 79-89.
- [8] Adhikari B K, Barrington S, Martinez J, et al. Characterization of food waste and bulking agents for composting [J]. Waste Manag, 2008, 28(5): 795-804.
- [9] 程治良,全学军,代黎,等. 羊粪好氧堆肥处理研究进展[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2013, 27(11): 36-41.
- [10] 李清伟,吕炳南,王玉波. 鸡粪好氧堆肥研究进展[J]. 农机化研究, 2008, (9): 231-233.
- [11] 李逢雨,孙锡发,冯文强,等. 麦秆、油菜秆还田腐解速率及养分释放规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 374-380.
- [12] Meng J, Wang H Y, Li T. Research of bio-surfactants and cellulose-decomposing bacteria mixture fertilizers in straw decomposition [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 42(2): 97-103.

- [13] Abdel-Rahman M A, El-Din M N, Refaat B M. Biotechnological application of thermotolerant cellulose-decomposing bacteria in composting of rice straw [J]. *Annals of Agricultural Sciences*, 2016, 61 (1): 135-143.
- [14] 胡华. 高效纤维素降解菌株的筛选及其复合系菌剂在秸秆堆肥中的应用 [D]. 成都: 四川农业大学, 2008.
- [15] 方华舟, 王培清. 牛粪堆肥各阶段主要纤维素降解菌分离与作用规律分析 [J]. *中国土壤与肥料*, 2012, (6): 88-92.
- [16] 朱博雅. 黑土农田土壤纤维素分解菌的特性及其在秸秆堆肥中的应用 [D]. 长春: 东北师范大学, 2016.
- [17] 张书敏, 徐凤花, 代欢, 等. 低温复合菌系对玉米秸秆与牛粪堆肥的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2017, (2): 136-140.
- [18] Stanislava V, Magdalena D, Vaverková A B, et al. Effect of inoculation with white-rot fungi and fungal consortium on the composting efficiency of municipal solid waste [J]. *Waste Management*, 2017, 61: 157-164.
- [19] Nayan N, Sonnenberg A S M, Hendriks W H, et al. Screening of white-rot fungi for bioprocessing of wheat straw into ruminant feed [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2018, 125 (2): 468-479.
- [20] Gong X Q, Li S Y, Sun X Y, et al. Maturation of green waste compost as affected by inoculation with the white-rot fungi *Trametes versicolor* and *Phanerochaete chrysosporium* [J]. *Environmental Technology Letters*, 2017, 38 (7): 872-879.
- [21] 黄文博, 袁海荣, 刘春梅, 等. 4种白腐菌预处理提高玉米秸秆厌氧消化性能研究 [J]. *中国沼气*, 2017, 35 (2): 28-35.
- [22] 郑飞, 孟歌, 安琪, 等. 白腐真菌东方栓孔菌在两种液体培养基中产漆酶过程的生理学研究 [J]. *菌物学报*, 2017, 36 (5): 582-597.
- [23] 黄丹莲, 曾光明, 黄国和. 白腐菌的研究现状及其在堆肥中的应用展望 [J]. *微生物学通报*, 2004, 31 (2): 112-116.
- [24] 章淑艳, 赵丛波, 秦艳梅, 等. 白腐菌对小麦秸秆腐熟的增效作用 [J]. *河北省科学院学报*, 2014, 31 (3): 59-62.
- [25] 赵玉杰. 小麦秸秆堆肥接种白腐菌的效果及作用条件探讨 [D]. 成都: 四川农业大学, 2002.
- [26] 吴艳萍, 王国栋, 赵明德. 接种链霉菌对小麦秸秆腐解过程的影响 [J]. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2009, 37 (9): 134-138.
- [27] 冯海玮, 孙玉静, 毛亮, 等. 接种灰略红链霉菌 (*Streptomyces griseorubens*) 对水稻秸秆堆肥及还田后土壤理化性质和微生物群落影响 [J]. *上海交通大学学报 (农业科学版)*, 2015, 33 (4): 25-32.
- [28] Huang H L, Zeng G M, Tang L, et al. Effect of biodelignification of rice straw on humification and humus quality by *Phanerochaete chrysosporium* and *Streptomyces badius* [J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2008, 61 (4): 331-336.
- [29] 王有月, 直俊强, 张加勇, 等. 2种不同微生物菌剂对鸡粪高温堆肥腐熟进程的影响 [J]. *畜禽业*, 2008, (5): 4-6.
- [30] Sun Q H, Wu D, Zhang Z C, et al. Effect of cold-adapted microbial agent inoculation on enzyme activities during composting start-up at low temperature [J]. *Bioresource Technology*, 2017, 244: 635-640.
- [31] 王道泽, 谢国雄, 李丹, 等. 不同微生物菌剂在鸡粪堆肥中的应用效果 [J]. *浙江农业学报*, 2013, 25 (5): 1074-1078.
- [32] 刘益仁, 刘秀梅, 李祖章, 等. 接种微生物菌剂对猪粪堆肥的效果研究 [J]. *中国土壤与肥料*, 2007, (6): 81-84.
- [33] Jiang J S, Liu X L, Huang Y M, et al. Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting [J]. *Waste Management*, 2015, 38: 78-85.
- [34] 徐杰, 许修宏, 门梦琪, 等. 木质纤维素降解菌剂 DN-1 促进堆肥腐熟度的评估 [J]. *中国土壤与肥料*, 2016, (6): 146-151.
- [35] 鲁耀雄, 崔新卫, 龙世平, 等. 不同促腐菌剂对有机废弃物堆肥效果的研究 [J]. *中国土壤与肥料*, 2017, (4): 147-153.
- [36] 时小可, 颀建明, 冯致, 等. 三种微生物菌剂对羊粪高温好氧堆肥的影响 [J]. *中国农学通报*, 2015, 31 (2): 45-48.
- [37] 张生伟, 黄旺洲, 姚拓, 等. 高效微生物除臭剂在畜禽粪便堆制中的应用效果及其除臭机理研究 [J]. *草业学报*, 2016, 25 (9): 142-151.
- [38] 张树清, 张夫道, 刘秀梅, 等. 高温堆肥对畜禽粪中抗生素降解和重金属钝化的作用 [J]. *中国农业科学*, 2006, 39 (2): 337-343.
- [39] 谷思玉, 谷邵臣, 赵昕宇. 微生物接种对生活垃圾堆肥生化特性的影响 [J]. *东北农业大学学报*, 2012, 43 (2): 78-82.
- [40] 徐晨, 檀笑, 解启来, 等. 复合微生物菌剂对城市污泥好氧堆肥的影响 [J]. *广东农业科学*, 2015, (7): 133-138.
- [41] 杨新平, 秦新政, 马剑, 等. 复合微生物菌剂在绿化垃圾堆肥中的作用研究 [J]. *新疆农业科学*, 2012, 49 (7): 1266-1271.
- [42] 周营, 朱能武, 刘博文, 等. 微生物菌剂复配及强化厨余垃圾好氧堆肥效果分析 [J]. *环境工程学报*, 2018, 12 (1): 295-303.
- [43] Xi B D, He X S, Dang Q L, et al. Effect of multi-stage inoculation on the bacterial and fungal community structure during organic municipal solid wastes composting [J]. *Bioresource Technology*, 2015, 196: 399-405.
- [44] Mukesh K A, Akhilesh K P, Jamaluddin K, et al. Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste composting [J]. *Bioresource Technology*, 2014, 168: 214-221.
- [45] 范时. 染疫动物尸体堆肥菌剂的制备及效果评价 [D]. 大连: 大连理工大学, 2012.
- [46] 卢青青. 猪尸体好氧堆肥生物强化技术研究 [D]. 武汉:

- 华中农业大学, 2017.
- [47] Yang X C, Hu Q Q, Han Z Z, et al. Effects of exogenous microbial inoculum on the structure and dynamics of bacterial communities in swine carcass composting [J]. *Canadian Journal of Microbiology*, 2018, 64 (12): 1042–1053.
- [48] Jann M I, Lucie K, Colleen A L, et al. Bacterial inoculum enhances keratin degradation and biofilm formation in poultry compost [J]. *Journal of Microbiological Methods*, 2001, 47 (2): 199–208.
- [49] 何京钟, 黄钧, 赵晶桃, 等. 微生物菌剂堆肥中草药渣中试研究 [J]. *应用与环境生物学报*, 2015, 21 (5): 860–865.
- [50] 周万海, 魏琴, 王涛, 等. 微生物菌剂在醋渣堆肥中的应用 [J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40 (10): 11–15.
- [51] 李成学, 郭建芳, 何忠俊, 等. 微生物菌剂对油枯堆肥过程中理化性质的影响研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30 (2): 389–394.
- [52] 王兴胜. 利用白酒糟进行高温好氧堆肥的研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2014.
- [53] Song C H, Li M X, Wei Z M, et al. Effect of inoculation with multiple composite microorganisms on characteristics of humic fractions and bacterial community structure during biogas residue and livestock manure co-composting [J]. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2016, 91 (1): 155–164.

Research progress on microorganisms commonly used in composting and their effects

CAI Rui, XU Chun-cheng* (College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083)

Abstract: By referring to domestic and foreign literatures about common microorganisms used in composting and their effects, this paper preliminarily summarizes common microbial agents used in composting with different raw materials and their effects. It is found that cellulose decomposing bacteria, white rot bacteria and *Streptomyces* are commonly used in straw compost. *Bacillus*, *pseudomonas*, and molds are added to manure composting. *Bacillus* is mainly added to animal carcass compost. In composting of municipal solid waste and other raw materials, due to the complex types of raw materials, the microbial agents used are also relatively complex, such as cellulose decomposing bacteria, *bacillus*, mold, nitrogen-fixing bacteria, etc. There are also a large number of studies using commercial compound microbial agents in compost, such as forest starter, RW enzyme agent, VT microbial agent and so on. Adding microbial agent has obvious effect on improving the quality of compost: it can effectively promote the degradation of organic matter and then promote the heating of the pile, extend the high temperature time of compost, reduce the time used for compost, and promote the formation of humus, reduce the plant toxicity of compost and improve the germination rate of compost seeds, improve the microbial structure and diversity of the reactor. After fertilization, the effect of soil quality improvement is obvious.

Key words: compost; microbial agents; different materials; effect of rotten