

《有机污染场地土壤生物修复技术规范 固定化微生物菌剂》（征求意见稿）编制说明

《有机污染场地土壤生物修复技术规范 固定化微生物菌剂》编制组

二〇二四年一月

目录

1	工作概况	1
1.1	任务来源	1
1.2	可行性和必要性分析	4
1.3	目的及意义	5
1.4	编制单位	5
1.5	主要编制过程	6
2	制定原则	6
2.1	科学性原则	7
2.2	实用性原则	7
2.3	系统性原则	7
3	编制依据	7
3.1	技术依据	7
3.2	法律法规政策依据	7
3.3	标准文件依据	8
3.4	前期研究依据	8
4	标准主要内容及说明	9
4.1	层次框架	9
4.2	标准使用范围的说明	10
4.3	规范性引用文件	10
4.4	术语和定义	10
4.5	固定化微生物菌剂质量指标	10
4.5.1	原料选择	10
4.5.2	固定化菌剂质量控制指标	10
4.5.3	有效活菌数的测定	11
4.5.4	蛋白酶活性的测定	11
4.5.5	含水率测定	11
4.5.6	pH 的测定	11
4.5.7	有机质的测定	12
4.5.8	降解率的测定	12
4.5.9	细度的测定	12
4.5.10	汞、镉、铬、铅、砷的测定	12
4.5.11	保质期的检验	12
4.5.12	检验规则	13
4.5.13	包装、贮存和运输	13
5	采用国际标准和国外先进标准的程度	13
6	与有关现行法律、法规、强制性国家标准的关系	14
7	后续贯彻措施	14
8	其他说明事项	14

1 工作概况

1.1 任务来源

随着城市化进程发展速率的加快,发展期间存在的各类问题对生态环境造成了一定的危害和影响。十九大生态环境保护的工作的推进,需要进一步对当前的环境污染问题进行修复和治理。土壤是人类赖以生存的物质基础,是人类不可缺少和不可再生的珍贵自然资源,更是人类发展国民经济的必备条件之一。我国的土壤污染主要集中于农业发展及工业建设领域,主要表现在经济发展较优的区域,土壤污染的扩散逐渐呈现出由城市向农村,局部向整体的趋势,对人民的安全构成潜在的威胁,对国民经济造成直接或间接的影响。为了切实加强土壤污染防治,2016年5月28日,国务院于印发《土壤污染防治行动计划》(简称“土十条”),将治理土壤污染确定为向污染宣战的三大行动计划之一。2021年11月2日,《中共中央、国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》明确要求以更高标准“打好净土保卫战”。污染土壤修复是当今环境保护领域技术发展的热点领域,也是最具挑战的研究方向之一。中国的污染土壤环境生物修复研发起步相对较晚,近十几年的研究主要为跟踪国际土壤修复技术发展。随着我国全面加强生态文明建设,国家和企业对污染治理投入的增加,亟需研发具有自主知识产权的低成本、强广谱和高效率的污染土壤生物修复材料。

近年来,由于化石燃料的使用、石油的泄漏、工业农业固体废物的堆积以及农药的广泛使用,使得有机污染物在土壤中长期存在,因这类物质具有遗传毒性、致突变性和致癌性,而被人们广泛关注。由于其疏水性和难降解性,进入土壤环境后,极易被土壤以物理、化学和生物等方式吸附滞留、迁移或者分解,常堵塞土壤孔隙,影响土壤水分流通并改变土壤理化性质,还可危害土壤动物、植物、微生物的生长,甚至通过食物链传递形成人体健康胁迫,从而严重威胁生态环境安全及社会经济的可持续发展。有机污染物在自然界中存在着生物降解、光解、水解等消除方式,使得环境中的有机污染物含量始终存在一个动态平衡,从而保持在一个较低的浓度水平上。但是近几十年来,随着人类生产活动的加剧,破坏了其在环境中的动态平衡,使得环境中的有机污染物大量地增加。土壤中典型有

机污染物如多环芳烃，包括萘、蒽、菲、芘等 150 余种化合物，常见的具有致癌作用的多环芳烃多为四到六环的稠环化合物。已有研究表明，暴露于多环芳烃和紫外照射下会加速具有损伤细胞组成能力的自由基形成，破坏细胞膜并损伤 DNA，致使人体基因发生突变。美国环境保护署 (USEPA) 将 28 种多环芳烃化合物列为“优先污染物”。

修复技术的选择是土壤污染治理过程的关键，根据实际情况选择合适的修复技术将在很大程度上决定最终的修复效果。当前有机污染土壤治理主要的修复技术包括物理修复法、化学修复法和生物修复法，尽管物理及化学修复法可取得较好的修复效果，但其对土壤结构和理化性质破坏严重，且易造成二次污染；与之相比，生物修复里微生物修复技术具有环境友好、成本低、效果稳定和不产生二次污染的优点，受到环境修复工作者的广泛关注，成为目前应用广泛的修复方法。而研究发现，细菌中的芽孢杆菌属(*Bacillus*)、分支杆菌属(*Mycobacterium*)、假单胞菌属(*Pseudomonas*)等具有较高的石油污染物降解能力；真菌中的白腐菌(*White-rot fungi*)、半知菌(*Deuteromycetes*)等在降解高环多环芳烃方面表现突出。然而，在实际的工程应用中，游离的降解菌易受土著微生物竞争以及外界不利环境条件的影响，微生物的活性和修复效果不佳，单一微生物的降解能力在高水平污染或不稳定的环境的影响下一般难以正常活动，因而在实际的修复工程应用中亟待提高微生物的耐受性。

提高微生物活性一种重要方法是固定化微生物技术，这种技术起源于上世纪 60 年代初，由固定化酶技术发展而来。该方法通过利用物理或化学手段将游离的微生物或者酶在限定的空间区域内定位，保持微生物高生物量和活性，机械强度更高，增强菌株或酶对污染环境胁迫的耐受性，防止其流失，进而提高有机污染环境的修复效率和重复可回收利用的能力。

影响微生物固定化效果的因素主要包括载体材料、微生物、固定方法和影响因素。载体材料主要包括石英砂、硅藻土、活性炭等无机载体材料，壳聚糖、海藻酸盐等有机载体材料，以及聚丙烯腈和蒙脱石复合、海藻酸钠和金属离子复合等复合载体材料，以及一些新出现的，如改性材料、金属有机框架材料、生物缓释材料等新型载体材料。微生物主要包括细菌、真菌和藻类。固定方法主要包括

吸附法包埋法共价结合法交联法以及复合方法,影响因素主要包括微生物因素载体因素与如环境因素等其他因素。这些因素交互影响结合形成固定化产物,最后将污染土壤净化成清洁土壤。

固定化方法按照载体与作用方式的不同可分为吸附法、包埋法、交联法和共价结合法。吸附法和包埋法是目前最常用的2种方法,其中吸附法的吸附作用包括物理吸附和离子吸附。物理吸附使用的是硅藻土、活性炭等具有高表面吸附能力的物质。离子吸附是利用微生物带电的表面特性,通过离子键将微生物固定于带有相反电荷的固定材料上。包埋法是将细胞分散到多孔载体内部,或利用高聚物形成凝胶时将细胞包埋在内部,从而达到固定细胞的目的。交联法是利用两个功能团以上的试剂直接与微生物细胞表面的反应基团进行交联形成共价键、固定微生物。共价结合法是利用固相载体与微生物细胞表面功能团形成化学共价键来固定细胞,优点是结合紧密,稳定性较好。

在固定化载体方面,生物炭材料具有孔隙结构发达、比表面积大及富含活性官能团等优点,其制备原料来源广和成本相对低廉,目前在环境污染控制领域应用广泛。以生物炭为载体固定化微生物,可以对污染土壤中优势降解微生物形成保护环境,减轻有毒物质对其伤害,不但可以有效增加单位体积或重量的微生物数量,而且可以提升微生物活性和长效性,从而更好地发挥对污染物的生物降解作用。生物炭作为一种绿色固定化载体,一方面能够吸附土壤中有机污染物,阻止污染物质向水体和大气环境的扩散,另一方面,生物炭通过将污染物质吸附到体内,增大微生物与污染物的接触面积,从而促进有机污染物质的生物降解。

微生物固定化技术的研发,将有效遏制土壤中有机污染物的污染情况,如何推进技术研发与相关体系建设,既是当前土地生态保护的核​​心问题,也是区域可持续发展的重大战略问题。

为解决以上问题,2020年本标准文件(以下简称“本文件”)项目被国家重点研发计划“场地土壤污染成因与治理技术”专项中“中低浓度典型有机污染场地生物修复关键材料与技术”项目“长效广谱生物修复载体与固定化菌剂制备技术”课题要求提出、申报和实施,在上述现状和背景下,本文件由南开大学牵头,针

对微生物固定化技术和污染场地修复行业现状，结合国家相关法律法规、标准和规范的要求，规定了用于有机污染土壤生物修复的固定化菌剂术语和定义、固定化菌剂质量控制、包装、贮存和运输等相关要求等条款。

1.2 可行性和必要性分析

微生物固定化技术用于污染场地修复的研究取得了一定进展。目前国内外开展了一些针对性研究包括：（1）固化载体材料的改进；（2）固定化方法的改进；（3）微生物添加方式的改进；（4）固定化效果的影响因素研究；（5）固定化效果、修复效率以及环境安全性评价。固定化微生物的主要方法是将微生物和固定化载体结合，再通过一定技术手段将微生物固定到载体上，之后收集产物变成固定化菌剂，以此菌剂对土壤中的污染物进行降解。一方面，固定化微生物的载体材料大多具有吸附性，可充当吸附剂，将环境中的目标污染物浓缩富集于载体表面，增加了微生物和污染物接触的几率；同时，载体疏松的孔隙也为微生物胞外酶提供了聚集的场所，强化了污染物质的降解；另一方面，载体材料的孔道也为微生物的增殖提供了缓冲场所，使微生物免受外界土壤中复杂因素的直接冲击；最后，一些载体也为微生物的生长提供了碳源等营养物质，其孔隙也便于空气、水分等物质向内输送，利于微生物的物质交换，使之活性增强。因此，固定化微生物与其载体之间起到了相互辅助的作用，为污染物的降解提供了相对有利的条件。

如今，固定化菌剂已经在农业和土壤修复领域得到了应用，但由于固定化方法多样，影响终产物的因素众多，行业内关于固定化菌剂性能评价标准和规范仍然较少。目前，土壤施用菌剂的标准规范文件多集中于固定化肥料，几乎没有关于土壤修复领域用于降解土壤污染物的相关标准。本文件根据国家及地方有关环境保护的法规标准，以及微生物菌剂的环境应用和生态学特点制定，可以为微生物菌剂使用提供参考。

微生物固定化菌剂的研发应用，符合国家对碳中和以及可持续发展战略思想的要求，固定化菌剂修复污染土壤的体系建设以及相关标准规范文件的编写对于微生物菌剂在环境中的持久部署和广泛应用是不可避免的。

1.3 目的及意义

生物技术产品的研发是参与污染土壤修复的重要基础和环节，相关标准的编写也是环境保护部门对于生物产品制造管理和相关政策实施的重要依据。技术规范的编制以现有研究现状和技术水平为基础，以实际场地应用为导向，以相关法规标准为指导，以逐步建立的制度体系为依托，对固定化微生物菌剂应用作出评价和要求，以期对有机污染土壤的环境修复提供科学依据。

目前，有机污染物对土壤的污染问题较为突出和严重，且这些污染物本身在土壤中难以降解去除，使用微生物对土壤中污染物进行降解的研究是当前污染土壤修复的研究热点，也是目前最有效的手段，因此开展应用污染土壤修复的微生物固定化菌剂标准制定相关工作显得十分重要，有助于更深一步地推进对于土壤中有机污染物修复的固定化菌剂产品研发和使用以及后续污染土壤修复行为的评价。

而针对固定化菌剂的规范化仍然较少，因此本规范以相关法规、标准、规范为参考，对微生物固定化菌剂的产品质量等相关事项进行统一规定，确定微生物固定化菌剂的要求及评价指标。本规范的制定有望加强土壤中目标污染物质的去除效果，具有绿色、环境友好的特点，且易为公众所接受。在污染土壤修复领域微生物固定策略、修复机制及固定化菌剂研究与应用进展上具有重要意义。

另外，标准的制定对菌剂的内容、范围和产品质量指标等作出明确规定，使菌剂产品的质量标准 and 检验有章可循，形成统一、规范、有效的工作流程，为相关专家部门对产品的应用提供科学的管理依据。本文件将对污染土壤生物修复技术的推广应用具有重要意义。

1.4 编制单位

承担单位：南开大学、北京建筑大学、上海应用技术大学、贵州英冠农业生态科技有限公司。

编制组主要成员：刘维涛、李剑涛、于淼、银川、李法云、高大文、梁红、王立涛、郑泽其、周建飞、高正。

1.5 主要编制过程

2022年5月，在前期开展的固定化微生物项目研究基础上，系统分析了我国土壤有机污染情况、固定化技术研究进展、国内外标准编写情况等等并展开标准撰写。

2022年11月4日，标准起草工作组参加了“有机污染场地土壤生物修复技术规范 复合固定化菌剂制备”技术规范指南立项申请指导会议，邀请中国环境科学学会专家对标准撰写注意事项和流程进行指导。

2023年1月13日参加“有机污染场地土壤生物修复技术规范 复合固定化菌剂制备”技术规范指南专家咨询会，接受专家意见反馈并对标准草案进行修改。

2023年1月18日参加“有机污染场地土壤生物修复技术规范 复合固定化菌剂制备”技术规范指南课题组内讨论会议，在课题内部范围对标准进行讨论和修改。

2023年6月30日收到中国环境科学学会反馈技术指南专家修改意见，根据专家意见对标准草案进行修改。

2023年7月17日，项目组内召开标准起草研讨会，根据标准起草专家反馈意见和讨论内容，会后编写团体标准并修改标准题目完成《有机污染场地土壤生物修复技术规范 复合固定化菌剂制备》草案。

2023年12月29日，中国环境科学学会组织召开团体标准审查会，根据标准审查专家反馈意见和讨论内容，会后编写团体标准并修改标准题目完成《有机污染场地土壤生物修复技术规范 复合固定化菌剂制备》征求意见稿。

2024年1月26日，中国环境科学学会组织召开团体标准审查会，根据标准审查专家反馈意见和讨论内容，会后编写团体标准并修改标准题目完成《有机污染场地土壤生物修复技术规范 固定化微生物菌剂》征求意见稿。

2 制定原则

本文件研究分析国内外微生物固定化菌剂的研究现状与相关功能评价的方法，在菌剂行业的生产实际应用情况的基础上，在编制上遵循“科学性、实用性、系统性”的原则，满足社会和市场的要求，填补场地污染修复领域固定化菌剂标准的空白。

2.1 科学性原则

中低浓度有机污染物长效广谱生物修复固定化菌剂规范涉及固定化菌剂质量指标以及特定指标测定等关键技术研究，与一般的菌剂规范相比更具有针对性，其专业技术含量更高，这就要求在标准编制时有很强的科学性，合理安排规划菌剂检测方法，使其在标准中有合理的定位，做到不重复，不遗漏。另外，牵头单位上海应用技术大学在微生物固定化领域具有国内领先的研究水平，参编单位的规模和数量上都具有广泛性。

2.2 实用性原则

标准在编制时应遵循应用的原则，以实地可操作性为导向，制定的技术要求应明确可行，这是衡量标准编制水平和决定项目走向的重要考核指标。在标准编制期间，选择测定指标或设计试验方法时，既要充分考虑与现行标准的衔接，又要根据规范对象的特点设计出合理适用的标准方法。本文件在编制时尽可能采用了现行的国家标准，将试验方法与之前的研究结果相结合，做到合理适用，明确可操作。

2.3 系统性原则

微生物固定化技术涉及的载体种类多样，影响结果的因素众多，环节多，固定化步骤复杂，但仍然是一个有机系统的整体。标准在编制过程中要考虑固定化过程的每一个环节、步骤，其中所涉及的各项要求都全面的、规律的在本文件中得到体现。

3 编制依据

3.1 技术依据

以国内外在生物修复微生物固定化菌剂领域的研究成果及研究现状为技术依据。

3.2 法律法规政策依据

本文件依据的法律法规及政策主要有：《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国土壤污染防治法》、《土壤污染防治行动计划》、《污染地块土壤环境管理办法》、《农用地土壤环境管理办法（试行）》等。

3.3 标准文件依据

本文件引用下列标准成为本文件的条款，所涉及内容完全符合国家对固定化菌剂等产品的要求，与相关法律法规、标准、规范无冲突：

- GB 4789.2 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定
- GB 20287 农用微生物菌剂
- GB/T 23349 肥料中砷、镉、铬、铅、汞含量的测定
- HJ 736 土壤和沉积物 挥发性卤代烃的测定 顶空/气相色谱-质谱法
- HJ 784 土壤和沉积物 多环芳烃的测定 高效液相色谱法
- HJ 1021 土壤和沉积物 石油烃（C10-C40）的测定 气相色谱法
- NY 227 微生物肥料
- NY/T 525 有机肥料
- NY/T 1109 微生物肥料生物安全通用技术准则
- SB/T 10317 蛋白酶活力测定法

3.4 前期研究依据

标准牵头单位南开大学及其他参编单位如上海应用技术大学、北京建筑大学和贵州英冠农业生态科技有限公司对固定化技术已掌握一定的前期研究基础。南开大学研发的改性生物炭吸附-交联固定化漆酶已完成实际多环芳烃污染土壤修复实验，制备的 Fe₃O₄@NaBC@GA@LC 当 pH 在 2.5-4 范围内的应用范围更广，具有较强的耐酸性，在 3 次操作后活性基本没有下降，在 5 次操作后相对活性仍保持在 78%左右，对不同环数多环芳烃具有显著去除效果，在修复实验中，固定化漆酶 Fe₃O₄@NaBC@GA@LC 对 2-6 环 PAHs 的去除率高于原始土壤，其中 5 环 PAHs 去除率达到 91.36%。；吸附-包埋-交联复合固定化漆酶制备完成（修复三氯甲烷污染土壤），制备的 SA-BC-LC 对三氯甲烷有显著去除效果，漆酶负载后仍能保持 68%的机械强度，内部的孔隙在固定化后大幅增大并且变得致密，为漆酶分子提供了传质和排气通道，多孔的多层网络结构为漆酶的负载提供了额外的吸附和交联位点，SA-BC-LC 固定后耐受性增强，可以重复使用约 5 至 6 次，储存 50 天后，其活性仍保有 48%，修复 5 小时后，SA-BC 和 SA-BC-LC 的吸附率和降解率分别为 34.55%、65.45%和 31.72%、68.28%，SA-BC-LC 处理组最终

去除 96.32%的三氯甲烷；吸附-包埋-交联复合固定化菌剂制备完成，在使用海藻酸钠、聚乙烯醇包埋，碱改性生物炭吸附和氯化钙交联的复合固定化方法下，研究制备了固定化多环芳烃降解菌剂 IMB，经过响应面优化产物后，固定化菌剂的有效活菌数均能达到 2×10^9 CFUs/g，具有较高的有效活菌数。上海应用技术大学研发的芦苇生物炭固定化微生物修复石油开采区石油烃污染土壤 40 天后，土壤中石油烃去除率达 55.01%，显著高于单一生物炭(45.82%)和空白处理组(24.83%)；北京建筑大学研发的吸附包埋交联复合固定化酶将苯并[a]芘的浓度从 20 mg/kg 降低至 1.72 mg/kg，96h 内去除率达 91.40%。此外，贵州英冠农业生态科技有限公司提供了标准所需的部分试验及经费。以上数据表明，参编单位前期研究保证了标准的顺利编写。

4 标准主要内容及说明

4.1 层次框架

本文件编制依据行业相关标准，编写格式严格参照 GB/T 1.1 2020 标准规范标准化工作导则的规定进行编制。

本文件由 8 部分组成，包括：

- (1) 标准使用范围的说明
- (2) 规范性引用文件
- (3) 术语和定义
- (4) 固定化微生物菌剂质量指标
- (5) 采用国际标准和国外先进标准的程度
- (6) 与有关现行法律、法规、强制性国家标准的关系
- (7) 后续贯彻措施
- (8) 其他说明事项

4.2 标准使用范围的说明

本文件规定了用于有机污染场地土壤生物修复的固定化微生物菌剂的技术要求、检测方法、检验规则及包装、贮存和运输等。

本文件适用于土壤有机污染物降解的固定化微生物菌剂。

4.3 规范性引用文件

共引用标准 10 项，见 3.3。其中包括标准、规范、导则和测定方法。

4.4 术语和定义

本文件对固定化微生物菌剂进行了定义。本文件核心术语“固定化微生物菌剂”指运用物理-化学方式将特选的微生物固定在选择的载体材料上，并将其限制在特定空间区域内高度富集且保持生物活性，在适宜的条件下能够快速、大量增殖的微生物制剂。

另外，本文件对“有效活菌数”重要术语进行了定义表述，涉及固定化微生物菌剂的检测指标，与后续技术要求、试验方法等环节对应一致。

4.5 固定化微生物菌剂质量指标

4.5.1 原料选择

首先，对于固定化微生物菌剂的载体材料选择，需要考虑其物理化学性质、生物相容性和可持续性。选择合适的载体材料可以提高固定化微生物菌剂的稳定性和活性。其次，选择合适的固定化方法是固定化微生物菌剂生产过程中的关键环节。按照实际情况和要求对固定方法进行适当组合，保证固定化产物的灵活生产以及对复杂环境条件的适应能力，确保固定化的效果和稳定性。在实际生产中应根据具体情况进行调整和优化，确保最佳的固定化效果和产品质量。

4.5.2 固定化菌剂质量控制指标

按照固定化微生物菌剂的特点及现有行业应用现状，将产物的规范指标拟定为菌种性质、外观、有效活菌数、蛋白酶活性、pH、有机质、细度、降解率、汞及化合物含量、镉及化合物含量、铬及化合物含量、铅及化合物含量、砷及化合物含量和保质期，通过上述技术参数对固定化微生物菌剂的质量控制作出规范。

根据工作方案,参考国内外相关文献、标准,在本课题开展的微生物固定化试验的基础上,经过综合分析讨论,确定了相应指标的试验方法。

4.5.3 有效活菌数的测定

微生物固定化菌剂主要通过固定在载体上的微生物对土壤中有机污染物进行降解,在土壤环境中,最关键的是菌是否能够存活,从而对污染物降解发挥作用。因此,把固定化菌剂中有效活菌数定为测定指标。《农用微生物菌剂》标准中有效活菌数 ≥ 2 亿 CFU/g(菌落形成单位(CFU, Colony-Forming Units)指单位体积中的细菌群落总数),而固定化载体材料可为微生物提供良好的“庇护所”对于外界不利环境条件的抵抗力增强,有助于微生物的增殖。固定化菌剂材料中的海藻酸钠和聚乙烯醇的生物兼容性好、无毒、容易固定并且有效强化微生物的固定化效果,可以实现广谱化负载,因此本文件对固定化菌剂的有效活菌数要求设为液体型不低于 5 亿 CFU/g,颗粒型和粉末型不低于 2 亿 CFU/g。

4.5.4 蛋白酶活性的测定

微生物具有分解有机质的能力,而在土壤环境中,由于环境的差异,微生物的活性差异很大。活性是微生物的重要生理指标,表征微生物进行新陈代谢或正常生理活动的的能力,这种能力取决于各种物理、化学和生物因素,以及环境中的营养状况。行业中微生物活性往往采用微生物活性检测试剂盒测定,而在标准中微生物活性可以用微生物蛋白酶的活性指标来指示。本文件按照 SB/T 10317《蛋白酶活力测定法》中的方法测定蛋白酶活性。

4.5.5 含水率测定

合适的含水率有利于维持微生物的生物活性,故本文件按照 GB20287《农用微生物菌剂》标准对固定化菌剂的含水率作出规定要求粉剂型固定化微生物菌剂含水率在 35.0%;颗粒型固定化微生物菌剂含水率在 20.0%。

4.5.6 pH 的测定

酸碱度往往会导致土壤中营养的有效性发生变化,降低钾、镁、磷等元素的作用,另外也会影响土壤结构和土壤中动物、植物、微生物的生长。因此,本文件按照 GB20287《农用微生物菌剂》标准对固定化菌剂的 pH 作出规定,要求液

体型固定化微生物菌剂的 pH 在 5.0~8.0；粉剂型固定化微生物菌剂的 pH 在 5.5~8.5；颗粒型固定化微生物菌剂的 pH 在 5.5~8.5。所有类型的固定化微生物菌剂均不能影响土壤环境中的 pH。

4.5.7 有机质的测定

有机质具有矿化作用、腐殖化作用，是土壤养分的主要来源，促进土壤结构形成，改善土壤物理性质，改变土壤孔隙度，提高土壤蓄水能力。故本文件参考 NY227-1994《微生物肥料》对粉末型和颗粒型的固定化微生物菌剂的有机质做出规定，要求粉末型有机质不低于 20%，颗粒型有机质不低于 25%。

4.5.8 降解率的测定

降解率是评价有机污染土壤修复效果的重要指标，故本文件参考文献以及工程实践，对产品的降解率作出规定，要求产品降解率不低于 30%。

4.5.9 细度的测定

对固定化微生物菌剂的细度作出规定，能更好的发挥其作用。因此本文件参考 GB 20287-2006《农用微生物菌剂》对粉末型和颗粒型固定化微生物菌剂的细度做出规定，要求粉末型固定化微生物粒径为 0.18mm，颗粒型固定化微生物菌剂粒径在 2.5~4.5mm。

4.5.10 汞、镉、铬、铅、砷的测定

我国污染土壤中的重金属主要包括汞(Hg)、镉(Cd)、铅(Pb)、铬(Cr)、砷(As)、等元素，重金属进入土壤后不能被微生物直接降解，因此长期存在于土壤中，随着食物链的传递危害人类健康和危害环境。本文件参考 GB 20287-2006《农用微生物菌剂》和 GB/T 23349-2020《肥料中砷、镉、铬、铅、汞含量的测定》进行限制规定，确保固定化菌剂产品在使用过程中无二次污染，保障固定化菌剂产品符合无害化要求，并最大限度地降低对土壤和环境的潜在风险。

4.5.11 保质期的检验

微生物经过固定化后，疏松的载体和固定化结构可以有效提高微生物的生长效率和存活时间。根据相关资料查询，菌剂行业对粉剂型和颗粒型菌剂的保质期

要求普遍为 120 天以上，为体现长效性的目标导向，即菌剂的长时间有效性，因此根据调研，参考 GB 20287-2006《农用微生物菌剂》选择 180 天（粉剂和颗粒）和 90 天（液体剂型）作为固定化微生物菌剂的保质期指标要求。

4.5.12 检验规则

为遵循固定化菌剂的科学系统的评价原则，首先在样品的选择和取样规则上应具有代表性，在样品检验的程序设计上应合理，在判定规则的要求上应适应微生物固定化菌剂的特点。因此，在标准中设立了批次确定、取样规则、检验分类和判定规则四方面的内容，对上述指标的测定相应执行。

（1） 取样规则

取样时应保证样品具有代表性，采取随机抽样，遵循固定化微生物菌剂的科学系统的评价原则。

（2） 检验分类

成品按照相关部门的规定进行检验。在出厂前，需检验感官指标、机械稳定性、产品技术指标中的相关项目，但不用检验保质期。以上检验合格方可出厂。一般情况下，每年还需进行一次型式检验。

（3） 判定规则

按照合格产品和不合格产品的条款进行判断。

4.5.13 包装、贮存和运输

为落实固定化菌剂的应用性原则，对微生物固定化菌剂的包装、贮存和运输的相关内容做出了规定。

5 采用国际标准和国外先进标准的程度

经查询固定化微生物相关国际标准，目前还没有对于用于微生物固定化技术修复污染场地的国际标准和国外标准，只有关于海藻酸盐包埋固定化制备的两篇标准指南。分别为：ASTM F2315-03 Standard Guide For Immobilization Or Encapsulation Of Living Cells Or Tissue In Alginate Gels 和 ASTM F2315-10

Standard Guide For Immobilization Or Encapsulation Of Living Cells Or Tissue In Alginate Gels. 两篇国外标准规定了适用于生物医学和制药应用海藻酸盐凝胶中活细胞或组织的固定或包埋相关的参数信息，适用于组织工程医疗产品。本文件的制定过程中，充分考虑了行业市场需求，标准的技术指标合理、先进，达到先进水平，本文件的编写，有助于填补国际和国内用于污染场地修复的固定化技术相关标准的空白。

6 与有关现行法律、法规、强制性国家标准的关系

本文件在行业内属于首次制定，与本行业现有其他标准配套协调。本文件引用 3.2 和 3.3 所述的国家法律法规及规范标准，所涉及内容完全符合国家对固定化菌剂等产品的要求，与相关法律法规、标准、规范无冲突，积极符合国家对碳中和及可持续发展战略的要求。

本文件技术要求部分严格参照 GB 20287-2006《农用微生物菌剂》，其中有效活菌数检测指标适应固定化微生物技术特点而严于该标准，如 pH、和保质期与该标准持平，汞、镉、铬、铅、砷及其化合物的含量限值按 GB 20287-2006 中和 GB 15618-2018 筛选值中最低值的规定，测定按 GB 18877-2002 中 5.12-5.17 的规定进行。

7 后续贯彻措施

建议由环境保护部门及菌剂相关行业标准化管理机构组织贯彻本文件的相关活动，在农业部、省、市相关部门的协调下，有针对性地开展本文件宣贯。建议本文件发布之日起半年内实施。

8 其他说明事项

无