



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102319729 A

(43) 申请公布日 2012. 01. 18

(21) 申请号 201110217678. 1

(22) 申请日 2011. 07. 30

(71) 申请人 台州职业技术学院

地址 318000 浙江省台州市椒江区学院路
788 号

(72) 发明人 于红艳 张昕欣 杨伟群

(74) 专利代理机构 台州市方圆专利事务所
33107

代理人 蔡正保 张智平

(51) Int. Cl.

B09C 1/08 (2006. 01)

B09C 1/10 (2006. 01)

权利要求书 1 页 说明书 10 页

(54) 发明名称

一种联合修复复合污染土壤的新方法

(57) 摘要

本发明涉及一种联合修复复合污染土壤的新方法,属于污染土壤再生技术领域。本发明的方法是在复合污染土壤中加入腐植酸和活性污泥,再加入水,然后调节 pH 值为 6.0 ~ 8.5,控制培养温度为 15℃ ~ 40℃ 的条件下,修复 1 ~ 6 天,得到修复后的土壤。本发明的方法具有的优点是:所用的原料易得,生产工艺简单易于操作,修复方法简单,且对复合污染土壤的修复效果较好,经修复后土壤中的重金属残留率和多环芳烃的残留率都较低,降解效果明显。

1. 一种联合修复复合污染土壤的新方法,其特征在于:在复合污染土壤中加入腐植酸和活性污泥,再加入水,然后调节体系 pH 值为 6.0 ~ 8.5,控制培养温度为 15℃ ~ 40℃ 的条件下,修复 1 ~ 6 天,得到修复后的土壤。

2. 根据权利要求 1 所述的一种联合修复复合污染土壤的新方法,其特征在于:所述的复合污染土壤中含有重金属污染物和多环芳烃污染物。

3. 根据权利要求 2 所述的一种联合修复复合污染土壤的新方法,其特征在于:所述的重金属污染物包括铜、锌、铅、镉、铬、汞、砷;所述的多环芳烃污染物包括菲、萘、芘、苯并芘、蒽、蒎及其衍生物。

4. 根据权利要求 1 所述的一种联合修复复合污染土壤的新方法,其特征在于:所述的腐植酸的加入量为复合污染土壤干重的 0.1% ~ 1.0%。

5. 根据权利要求 1 所述的一种联合修复复合污染土壤的新方法,其特征在于:所述的活性污泥的加入量为复合污染土壤干重的 0.5% ~ 6%。

6. 根据权利要求 1 或 5 所述的一种联合修复复合污染土壤的新方法,其特征在于:所述的活性污泥是通过以下方法得到:

选取污水处理厂曝气池中的污泥加入到培养液中,控制温度在 30℃ ~ 40℃,摇床速度为 150r/min ~ 250r/min 的条件下,振荡培养 5 ~ 10 天后,得到培养后的活性污泥;所述的培养液包括以下成份的重量百分数:

葡萄糖:0.5% ~ 4.0%;胰蛋白胨:0.5% ~ 4.0%;酵母粉:0.5% ~ 3.0%;余量为蒸馏水;所述的培养液中铜、锌、铅的浓度均为 50mg/L ~ 150mg/L;所述的培养液中菲、萘、芘的浓度均为 150mg/L ~ 250mg/L。

7. 根据权利要求 1-5 中任意一项所述的一种联合修复复合污染土壤的新方法,其特征在于:所述的 pH 值为 6.5 ~ 7.5。

8. 根据权利要求 1-5 中任意一项所述的一种联合修复复合污染土壤的新方法,其特征在于:所述的温度为 20℃ ~ 35℃。

9. 根据权利要求 1-5 中任意一项所述的一种联合修复复合污染土壤的新方法,其特征在于:所述的修复时间为 48 ~ 72 小时。

一种联合修复复合污染土壤的新方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种复合污染土壤,尤其涉及一种联合修复复合污染土壤的新方法,属于污染土壤再生技术领域。

背景技术

[0002] 土壤是指陆地表面具有肥力、能够生长植物的疏松表层,其厚度一般在 2m 左右,土壤不但为植物生长提供机械支撑能力,而且能为植物生长发育提供所需的水、肥、气、热等肥力要素,也是人类活动的基础。但是随着社会经济和工业的迅猛发展,固体废物不断向土壤表面堆放和倾倒,有害废水不断向土壤中渗透,大气中的有害气体及飘尘物也不断随雨水降落在土壤中,导致了土壤污染,而且土壤污染也越来越严重。

[0003] 现有的土壤污染大致可分为无机污染物和有机污染物两大类。无机污染物包括酸、碱、重金属等物质的污染;有机污染物主要包括有机农药、酚类、多环芳烃类等物质的污染。而在土壤污染物中,重金属污染和多环芳烃污染是较为典型的两类污染物,也成为污染土壤修复研究的主要课题。

[0004] 现有技术中针对以上两种典型的土壤污染物的污染土壤进行土壤修复的技术主要是采用物理修复、化学修复和生物修复的方法。由于物理修复土壤污染的成本昂贵,易造成地下水等环境介质的次生污染,不适合大规模应用,采用生物修复虽然具有降解效率高等优点,但是生物修复周期长,往往需要几个月甚至几年的时间才能完成。而且现有技术中对土壤污染的修复大多是针对单一污染物的污染土壤进行修复的报道,对复合污染的污染修复的研究较少。另一方面,由于复合污染不同于单一的污染物的行为特性,采用现有技术中对单一污染物的修复方法进行分次处理的方式对复合污染的土壤进行修复也达不到较好的效果,现有技术中大多是采用植物学上的方法来修复复合污染土壤,但是利用生态学上的方法来修复复合污染土壤同样存在着修复周期长,不利于实际应用等问题。

[0005] 如中国专利申请(公开号:CN102085529A)公开了一种利用剩余活性污泥修复多环芳烃污染土壤,该方法主要是将多环芳烃污染土壤、剩余活性污泥和生物质废弃物混合堆肥处理,得到部分腐熟的堆肥,在将堆肥施用于多环芳烃污染土壤进行修复。该方法虽然有效的修复了多环芳烃污染的土壤,但是该方法只针对单一污染物的土壤进行修复,对复合污染的污染土壤修复效果较差,且所需的修复周期也较长,不利于大规模应用。

发明内容

[0006] 本发明针对以上现有技术中存在的缺陷,提供一种联合修复复合污染土壤的新方法,该方法的目的是用化学溶出和生物降解的方法联合对重金属和多环芳烃复合污染土壤进行修复,达到较好的重金属溶出和多环芳烃降解的效果,且修复周期短。

[0007] 本发明的目的是通过以下技术方案得以实现的,一种联合修复复合污染土壤的新方法,其特征在于:在复合污染土壤中加入腐植酸和活性污泥,再加入水,然后调节体系 pH 值为 6.0~8.5,控制培养温度为 15℃~40℃的条件下,修复 1~6 天,得到修复后的土壤。

[0008] 作为优选,本发明的上述一种联合修复复合污染土壤的新方法,其中所述的复合污染土壤中含有重金属污染物和多环芳烃污染物。所述的重金属污染物主要是以离子形式存在的污染物;所述的重金属污染物包括铜、锌、铅、镉、铬、汞、砷;所述的多环芳烃污染物包括菲、萘、芘、苯并芘、蒽、蒎及其衍生物等 16 种美国环保局 (EPA) 中规定的优先控制的多环芳烃化合物。所述的复合污染土壤中重金属污染物可以是单一的污染物,也可以是多种污染物共同存在。所述的复合污染土壤中多环芳烃污染物可以是单一的污染物,也可以是多种污染物共同存在。

[0009] 本发明的上述一种联合修复复合污染土壤的新方法,所述的腐植酸是一种无定形的高分子有机物质,其分子中含有共轭双键、芳香环、醌基及其半醌基等基团。通过研究本发明选用腐植酸作为复合污染土壤的化学修复剂,对重金属有良好的吸附络合作用,是一种很好的土壤改良剂,并结合本发明所用的活性污泥,能够实现对重金属、多环芳烃都具有较理想的增溶吸附和促进降解的能力,有利于提高对重金属和多环芳烃复合污染土壤的修复能力,起到了联合修复的效果。而且本发明所用的腐植酸原料易得,生产工艺过程简单,有利于工业化应用,本发明所述的腐植酸可以通过购买得到。

[0010] 作为优选,上述所述的腐植酸的加入量为复合污染土壤干重的 0.1%~1.0%。腐植酸的加入量如果太多或太少,都会使对土壤的修复能力下降,也会使对多环芳烃的降解性能下降,使土壤中重金属的残留率也较高,达不到较佳的修复效果。而如果在本发明所述的腐植酸的加入量的范围内,结合本发明所述的活性污泥,两者共同作用对复合污染土壤进行修复,则能使修复后土壤中重金属的残留率更低,对多环芳烃的降解率高,同样使土壤中多环芳烃的残留率更低。

[0011] 作为优选,上述所述的活性污泥的加入量为复合污染土壤干重的 0.5%~6%。活性污泥的加入量在上述范围内,能够使对多环芳烃的降解达到更佳的效果,同时还有助于联合腐植酸的作用,使重金属的溶出率也达到更好的效果。作为进一步的优选,所述的活性污泥的加入量为复合污染土壤干重的 1.5%~3.5%。

[0012] 作为优选,所述的活性污泥为污水处理厂曝气池中的污泥。曝气池中的污泥中含有大量的高活性的微生物,对有机物具有极强的氧化降解能力。采用曝气池中的污泥作为本发明的复合污染土壤的修复剂,曝气池中的污泥中的微生物以复合污染土壤中有机污染物作为营养物质来源,形成了一个相当于食物链的关系,从而能有效的降解复合污染土壤中的多环芳烃污染物,而且也能够有效的解决污水处理厂因污泥堆积所产生的二次污染问题。

[0013] 本发明的上述一种联合修复复合污染土壤的新方法,作为更进一步的优选,上述所述的活性污泥通过以下方法得到:

[0014] 选取污水处理厂曝气池中的污泥加入到培养液中,控制温度在 30℃~40℃,摇床速度为 150r/min~250r/min 的条件下,振荡培养 5~10 天后,得到培养后的活性污泥;所述的培养液包括以下成份的重量百分数:

[0015] 葡萄糖:0.5%~4.0%;胰蛋白胨:0.5%~4.0%;酵母粉:0.5%~3.0%;余量为蒸馏水;所述的培养液中铜、锌、铅的浓度均为 50mg/L~150mg/L;所述的培养液中菲、萘、芘的浓度均为 150mg/L~250mg/L。

[0016] 所述的曝气池中的污泥在上述的培养条件下培养后得到的活性污泥,能够使该污

泥中高活性的微生物群体在数量上有更进一步的增加,增加了单位体积中高活性的微生物群体的密度,同时能够强化其耐重金属性和对多环芳烃的降解性,使得到的活性污泥具有更好的耐重金属性能和提高对多环芳烃的降解性能。本发明的方法无需对培养后得到的活性污泥再进行筛选,提高了对污染土壤修复效果的同时也简化了实际工艺过程和降低了处理难度,提高了实际的应用性。上述培养液中所述的铜、锌、铅也可以选用其它的重金属离子进行配置;上述培养液中所述的菲、萘、芘同样也可以选用其它的多环芳烃类的化合物进行替换。

[0017] 上述所述的活性污泥的培养过程中还可以根据实际情况,定期的向培养液中加入氮源和磷源,以更有利于满足活性污泥中微生物对营养物质的需求。

[0018] 作为优选,上述所述的培养液包括以下成份的重量百分数:

[0019] 葡萄糖:1.0%~3.0%;胰蛋白胨:1.0%~3.0%;酵母粉:0.5%~2.0%;余量为蒸馏水;所述的培养液中铜、锌、铅的浓度均为70mg/L~120mg/L;所述的培养液中菲、萘、芘的浓度均为170mg/L~220mg/L。在该优选范围内,对所述的曝气池中的污泥进行培养之后得到的活性污泥对多环芳烃的降解效果更好,更有利于提高对多环芳烃的降解率,从而使对土壤的修复更优越,同时还更有效的促进腐植酸的作用,使土壤中重金属的残留量更低,溶出效果更佳,起到一种联合修复的效果。

[0020] 本发明上述一种联合修复复合污染土壤的新方法,其中所述的水采用本领域普通的一般的水就可以了,没有太苛刻的要求,从而也更有利于在实际操作中的使用,更有利于产业化应用。

[0021] 本发明的上述一种联合修复复合污染土壤的新方法,作为优选,上述所述的调节pH值为6.5~7.5。如果在过酸的情况下腐植酸会产生沉淀,从而使表面活性降低,而当修复环境过碱情况下,重金属离子倾向于与OH⁻形成沉淀,难以溶出,且过酸或过碱环境下也不利于多环芳烃从污染土壤中解析出来。

[0022] 本发明的上述一种联合修复复合污染土壤的新方法,其中所述的培养温度在本发明的范围内对活性污泥中微生物的生长十分重要,温度过低,则由于酶活性的降低使多环芳烃的生物降解受到抑制,且不能充分发挥腐植酸对重金属的溶出作用;高温可以提高多环芳烃代谢率达到最大值,但超过这个温度范围,多环芳烃的膜毒性会增高。

[0023] 本发明的上述一种联合修复复合污染土壤的新方法,其中所述的修复时间控制在1~6天,作为进一步的优选,所述的修复时间时间为48~72小时,时间过短,则不能发挥腐植酸对重金属和多环芳烃的吸附络合作用,也不能发挥活性污泥的降解作用,时间过长,则会导致实际修复工程中的运行成本。

[0024] 综上所述,本发明具有以下优点:

[0025] 1. 本发明一种联合修复复合污染土壤的新方法,所用的原料易得,生产工艺简单易操作,修复方法简单,且对复合污染土壤的修复效果较好。

[0026] 2. 本发明一种联合修复复合污染土壤的新方法,采用化学溶出和生物降解联合修复污染土壤,对复合污染土壤的修复效果更好,与现有技术相比,大大的缩短了修复时间,而且经修复后土壤中的重金属残留率和多环芳烃的残留率都较低,降解效果明显。

具体实施方式

[0027] 下面通过具体实施例,对本发明的技术方案作进一步具体的说明,但是本发明并不限于这些实施例。

[0028] 以下实施例中所述的复合污染土壤是重金属污染和多环芳烃污染的复合污染土壤。其中实施例 1 中所述的复合污染土壤是铜金属离子污染和有机物菲污染的复合污染土壤;实施例 2 中所述的复合污染土壤是铅金属离子污染和有机物芘污染的复合污染土壤;实施例 3 中所述的复合污染土壤是镉金属离子污染和有机物茚污染的复合污染土壤;实施例 4 中所述的复合污染土壤是锌金属离子污染和有机物萘污染的复合污染土壤;实施例 5 中所述的复合污染土壤是铬金属离子污染和有机物蒽及其衍生物污染的复合污染土壤;实施例 6 中所述的复合污染土壤是砷金属离子污染和有机物苯并芘污染的复合污染土壤;其余实施例中所述的复合污染土壤是多种金属离子污染和多种多环芳烃污染的复合污染土壤。

[0029] 以下实施例中所述的腐植酸是购买自上海臣枫化学科技有限公司。

[0030] 实施例 1

[0031] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g,再加入腐植酸和活性污泥,其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.5%,其中活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%,然后调节 pH 值至 6.5,再定容至 200mL,然后放入振荡器中,控制培养温度在 35℃的恒温条件下,振荡培养修复 48 小时后,即能实现对复合污染土壤进行修复,得到修复后的土壤。

[0032] 上述所述的活性污泥是选取污水处理厂曝气池中的污泥经过培养后得到的,具体培养方法是:

[0033] 将选自污水处理厂曝气池中的污泥加入到培养液中,控制温度在 35℃,摇床速度为 200r/min 的条件下,进行摇床培养,培养过程中定期按 BOD₅:氮:磷的质量比为 100:5:1 的量加入到培养液中以补充所需的营养物质。摇床培养 7 天后,即得到培养后的活性污泥;其中的培养液通过以下方法制得:

[0034] 将葡萄糖 10g,胰蛋白胨 10g,酵母粉 5g 加入到一定量的蒸馏水中,然后再加入硫酸铜、氯化锌和硝酸铅,再加入菲、萘和芘的多环芳烃化合物,配制成溶液后,然后再加入蒸馏水定容至 500mL,上述加入的硫酸铜、氯化锌和硝酸铅的量要使配制好的培养液中铜离子、锌离子、铅离子的最终浓度均为 100mg/mL,上述加入菲、萘、芘的量要使配制好的培养液中菲、萘、芘的最终浓度均为 200mg/mL,然后将配制好的培养液在 121℃的温度条件下灭菌处理 20min,即得所需的培养液。

[0035] 实施例 2

[0036] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g,再加入腐植酸和活性污泥,其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 1.0%,其中活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%,然后调节 pH 值至 7.5,然后再定容至 200mL,放入振荡器中,控制培养温度在 26℃的恒温条件下,振荡培养修复 56 小时后,即能实现对复合污染土壤进行修复,得到修复后的土壤。

[0037] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥,活性污泥的具体培养方法是:

[0038] 将选自污水处理厂曝气池中的污泥加入到培养液中,控制温度在 30℃,摇床速度为 150r/min 的条件下,进行摇床培养,培养过程中定期按 BOD₅:氮:磷的质量比为

100 : 5 : 1 的量加入到培养液中以补充所需的营养物质。摇床培养 10 天后,即得到培养后的活性污泥 ;其中的培养液通过以下方法制得 :

[0039] 将葡萄糖 15g,胰蛋白胨 15g,酵母粉 6g 加入到一定量的蒸馏水中,然后再加入硫酸铜、氯化锌和硝酸铅,再加入菲、萘和芘的多环芳烃化合物,配制成溶液后,然后再加入蒸馏水定容至 500mL,上述加入的硫酸铜、氯化锌和硝酸铅的量要使配制好的培养液中铜离子、锌离子、铅离子的最终浓度均为 150mg/mL,上述加入菲、萘、芘的量要使配制好的培养液中菲、萘、芘的最终浓度均为 150mg/mL,然后将配制好的培养液在 120℃ 的温度条件下灭菌处理 15min,即得所需的培养液。

[0040] 实施例 3

[0041] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g,再加入腐植酸和活性污泥,其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.1%,其中活性污泥的加入量为土壤干重的 3.5%,然后调节 pH 值至 8.5,然后再定容至 200mL,放入振荡器中,控制培养温度在 20℃ 的恒温条件下,振荡培养修复 60 小时,即能实现对复合污染土壤进行修复,得到修复后的土壤。

[0042] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥,活性污泥的具体培养方法是 :

[0043] 将选自污水处理厂曝气池中的污泥加入到培养液中,控制温度在 40℃,摇床速度为 250r/min 的条件下,进行摇床培养,培养过程中定期按 BOD_5 : 氮 : 磷的质量比为 100 : 5 : 1 的量加入到培养液中以补充所需的营养物质。摇床培养 5 天后,即得到培养后的活性污泥 ;其中的培养液通过以下方法制得 :

[0044] 将葡萄糖 20g,胰蛋白胨 15g,酵母粉 8g 加入到一定量的蒸馏水中,然后再加入硫酸铜、氯化锌和硝酸铅,再加入菲、萘和芘的多环芳烃化合物,配制成溶液后,然后再加入蒸馏水定容至 500mL,上述加入的硫酸铜、氯化锌和硝酸铅的量要使配制好的培养液中铜离子、锌离子、铅离子的最终浓度均为 70mg/mL,上述加入菲、萘、芘的量要使配制好的培养液中菲、萘、芘的最终浓度均为 170mg/mL,然后将配制好的培养液在 120℃ 的温度条件下灭菌处理 20min,即得所需的培养液。

[0045] 实施例 4

[0046] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g,再加入腐植酸和活性污泥,其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.3%,其中活性污泥的加入量为土壤干重的 1.5%,然后调节 pH 值至 6.5,然后再定容至 200mL,放入振荡器中,控制培养温度在 35℃ 的恒温条件下,振荡培养修复 52 小时,即能实现对复合污染土壤进行修复,得到修复后的土壤。

[0047] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥,活性污泥的具体培养方法是 :

[0048] 将选自污水处理厂曝气池中的污泥加入到培养液中,控制温度在 33℃,摇床速度为 220r/min 的条件下,进行摇床培养,培养过程中定期按 BOD_5 : 氮 : 磷的质量比为 100 : 5 : 1 的量加入到培养液中以补充所需的营养物质。摇床培养 8 天后,即得到培养后的活性污泥 ;其中的培养液通过以下方法制得 :

[0049] 将葡萄糖 5g,胰蛋白胨 20g,酵母粉 2.5g 加入到一定量的蒸馏水中,然后再加入硫酸铜、氯化锌和硝酸铅,再加入菲、萘和芘的多环芳烃化合物,配制成溶液后,然后再加入蒸馏水定容至 500mL,上述加入的硫酸铜、氯化锌和硝酸铅的量要使配制好的培养液中铜离

子、锌离子、铅离子的最终浓度均为 50mg/mL,上述加入菲、萘、芘的量要使配制好的培养液中菲、萘、芘的最终浓度均为 220mg/mL,然后将配制好的培养液在 120℃的温度条件下灭菌处理 20min,即得所需的培养液。

[0050] 实施例 5

[0051] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g,再加入腐植酸和活性污泥,其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.8%,其中活性污泥的加入量为土壤干重的 4.5%,然后调节 pH 值至 6.0,然后再定容至 200mL,放入振荡器中,控制培养温度在 30℃的恒温条件下,振荡培养修复 50 小时,即能实现对复合污染土壤进行修复,得到修复后的土壤。

[0052] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥,活性污泥的具体培养方法是:

[0053] 将选自污水处理厂曝气池中的污泥加入到培养液中,控制温度在 36℃,摇床速度为 210r/min 的条件下,进行摇床培养,培养过程中定期按 BOD₅:氮:磷的质量比为 100:5:1 的量加入到培养液中以补充所需的营养物质。摇床培养 6 天后,即得到培养后的活性污泥;其中的培养液通过以下方法制得:

[0054] 将葡萄糖 20g,胰蛋白胨 15g,酵母粉 15g 加入到一定量的蒸馏水中,然后再加入硫酸铜、氯化锌和硝酸铬,再加入菲、萘和蒽的多环芳烃化合物,配制成溶液后,然后再加入蒸馏水定容至 500mL,上述加入的硫酸铜、氯化锌和硝酸铬的量要使配制好的培养液中铜离子、锌离子、铬离子的最终浓度均为 120mg/mL,上述加入菲、萘、蒽的量要使配制好的培养液中菲、萘、蒽的最终浓度均为 250mg/mL,然后将配制好的培养液在 120℃的温度条件下灭菌处理 20min,即得所需的培养液。

[0055] 实施例 6

[0056] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g,再加入腐植酸和活性污泥,其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.5%,其中活性污泥的加入量为土壤干重的 6.0%,然后调节 pH 值至 6.5,然后再定容至 200mL,放入振荡器中,控制培养温度在 40℃的恒温条件下,振荡培养修复 55 小时,即能实现对复合污染土壤进行修复,得到修复后的土壤。

[0057] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥,活性污泥的具体培养方法是:

[0058] 将选自污水处理厂曝气池中的污泥加入到培养液中,控制温度在 35℃,摇床速度为 200r/min 的条件下,进行摇床培养,培养过程中定期按 BOD₅:氮:磷的质量比为 100:5:1 的量加入到培养液中以补充所需的营养物质。摇床培养 9 天后,即得到培养后的活性污泥;其中的培养液通过以下方法制得:

[0059] 将葡萄糖 10g,胰蛋白胨 10g,酵母粉 4.0g 加入到一定量的蒸馏水中,然后再加入硫酸铜、氯化锌和氯化砷,再加入菲、萘和苯并芘的多环芳烃化合物,配制成溶液后,然后再加入蒸馏水定容至 500mL,上述加入的硫酸铜、氯化锌和硝酸铅的量要使配制好的培养液中铜离子、锌离子、砷离子的最终浓度均为 100mg/mL,上述加入菲、萘、苯并芘的量要使配制好的培养液中菲、萘、芘的最终浓度均为 200mg/mL,然后将配制好的培养液在 120℃的温度条件下灭菌处理 20min,即得所需的培养液。

[0060] 实施例 7

[0061] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g,再加入腐植酸和活性污泥,其

中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.5%，其中活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%，然后调节 pH 值至 6.5，然后再定容至 200mL，放入振荡器中，控制培养温度在 35℃ 的恒温条件下，振荡培养修复 64 小时，即能实现对复合污染土壤进行修复，得到修复后的土壤。

[0062] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥，活性污泥的具体培养方法是：

[0063] 将选自污水处理厂曝气池中的污泥加入到培养液中，控制温度在 35℃，摇床速度为 200r/min 的条件下，进行摇床培养，培养过程中定期按 BOD₅：氮：磷的质量比为 100：5：1 的量加入到培养液中以补充所需的营养物质。摇床培养 7 天后，即得到培养后的活性污泥；其中的培养液通过以下方法制得：

[0064] 将葡萄糖 10g，胰蛋白胨 5.0g，酵母粉 2.5g 加入到一定量的蒸馏水中，然后再加入硫酸铜、氯化锌和硝酸铅，再加入菲、萘和芘的多环芳烃化合物，配制成溶液后，然后再加入蒸馏水定容至 500mL，上述加入的硫酸铜、氯化锌和硝酸铅的量要使配制好的培养液中铜离子、锌离子、铅离子的最终浓度均为 150mg/mL，上述加入菲、萘、芘的量要使配制好的培养液中菲、萘、芘的最终浓度均为 200mg/mL，然后将配制好的培养液在 120℃ 的温度条件下灭菌处理 20min，即得所需的培养液。

[0065] 实施例 8

[0066] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g，再加入腐植酸和活性污泥，其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.3%，其中活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%，然后调节 pH 值至 6.5，再定容至 200mL，然后放入振荡器中，控制培养温度在 26℃ 的恒温条件下，振荡培养修复 64 小时后，即能实现对复合污染土壤进行修复，得到修复后的土壤。

[0067] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥，活性污泥的具体培养方法与实施例 1 中所述的方法一致，这里不再赘述。

[0068] 实施例 9

[0069] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g，再加入腐植酸和活性污泥，其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.3%，其中活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%，然后调节 pH 值至 7.5，再定容至 200mL，然后放入振荡器中，控制培养温度在 26℃ 的恒温条件下，振荡培养修复 66 小时后，即能实现对复合污染土壤进行修复，得到修复后的土壤。

[0070] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥，活性污泥的具体培养方法与实施例 1 中所述的方法一致，这里不再赘述。

[0071] 实施例 10

[0072] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g，再加入腐植酸和活性污泥，其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.5%，其中活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%，然后调节 pH 值至 7.5，再定容至 200mL，然后放入振荡器中，控制培养温度在 35℃ 的恒温条件下，振荡培养修复 56 小时后，即能实现对复合污染土壤进行修复，得到修复后的土壤。

[0073] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥，活性污泥的具体培养方法与实施例 1 中所述的方法一致，这里不再赘述。

[0074] 实施例 11

[0075] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g, 再加入腐植酸和活性污泥, 其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.3%, 其中活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%, 然后调节 pH 值至 8.5, 再定容至 200mL, 然后放入振荡器中, 控制培养温度在 18℃ 的恒温条件下, 振荡培养修复 48 小时后, 即能实现对复合污染土壤进行修复, 得到修复后的土壤。

[0076] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥, 活性污泥的具体培养方法与实施例 1 中所述的方法一致, 这里不再赘述。

[0077] 实施例 12

[0078] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g, 再加入腐植酸和活性污泥, 其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.5%, 其中活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%, 然后调节 pH 值至 8.5, 再定容至 200mL, 然后放入振荡器中, 控制培养温度在 26℃ 的恒温条件下, 振荡培养修复 48 小时后, 即能实现对复合污染土壤进行修复, 得到修复后的土壤。

[0079] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥, 活性污泥的具体培养方法与实施例 1 中所述的方法一致, 这里不再赘述。

[0080] 实施例 13

[0081] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g, 再加入腐植酸和活性污泥, 其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.1%, 其中活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%, 然后调节 pH 值至 8.5, 再定容至 200mL, 然后放入振荡器中, 控制培养温度在 35℃ 的恒温条件下, 振荡培养修复 72 小时后, 即能实现对复合污染土壤进行修复, 得到修复后的土壤。

[0082] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥, 活性污泥的具体培养方法与实施例 1 中所述的方法一致, 这里不再赘述。

[0083] 实施例 14

[0084] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g, 再加入腐植酸和活性污泥, 其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.5%, 其中活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%, 然后调节 pH 值至 6.5, 再定容至 200mL, 然后放入振荡器中, 控制培养温度在 18℃ 的恒温条件下, 振荡培养修复 60 小时后, 即能实现对复合污染土壤进行修复, 得到修复后的土壤。

[0085] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥, 活性污泥的具体培养方法与实施例 1 中所述的方法一致, 这里不再赘述。

[0086] 实施例 15

[0087] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g, 再加入腐植酸和活性污泥, 其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.1%, 其中活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%, 然后调节 pH 值至 6.5, 再定容至 200mL, 然后放入振荡器中, 控制培养温度在 26℃ 的恒温条件下, 振荡培养修复 66 小时后, 即能实现对复合污染土壤进行修复, 得到修复后的土壤。

[0088] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥, 活性污泥的具体培养方法与实施例 1

中所述的方法一致,这里不再赘述。

[0089] 实施例 16

[0090] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g,再加入腐植酸和活性污泥,其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.3%,其中活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%,然后调节 pH 值至 6.5,再定容至 200mL,然后放入振荡器中,控制培养温度在 35℃的恒温条件下,振荡培养修复 48 小时后,即能实现对复合污染土壤进行修复,得到修复后的土壤。

[0091] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥,活性污泥的具体培养方法与实施例 1 中所述的方法一致,这里不再赘述。

[0092] 实施例 17

[0093] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g,再加入腐植酸和活性污泥,其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.3%,其中活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%,然后调节 pH 值至 8.5,再定容至 200mL,然后放入振荡器中,控制培养温度在 35℃的恒温条件下,振荡培养修复 65 小时后,即能实现对复合污染土壤进行修复,得到修复后的土壤。

[0094] 上述的活性污泥是经过培养后的活性污泥,活性污泥的具体培养方法与实施例 1 中所述的方法一致,这里不再赘述。

[0095] 实施例 18

[0096] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g,再加入腐植酸和活性污泥,其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.3%,其中所述的活性污泥选自污水处理厂曝气池中的污泥,所述的活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%,然后调节 pH 值至 8.5,再定容至 200mL,然后放入振荡器中,控制培养温度在 35℃的恒温条件下,振荡培养修复 50 小时后,即能实现对复合污染土壤进行修复,得到修复后的土壤。

[0097] 实施例 19

[0098] 选取重金属和多环芳烃污染的复合污染土壤 100g,再加入腐植酸和活性污泥,其中腐植酸的加入量为复合污染土壤的干重的 0.5%,其中所述的活性污泥选自污水处理厂曝气池中的污泥,所述的活性污泥的加入量为土壤干重的 2.0%,然后调节 pH 值至 6.5,再定容至 200mL,然后放入振荡器中,控制培养温度在 35℃的恒温条件下,振荡培养修复 66 小时后,即能实现对复合污染土壤进行修复,得到修复后的土壤。

[0099] 以下表 1 中的数据是采用本领域中常规的方法对选取上述随机选取的修复后土壤中的重金属残留率和多环芳烃降解率的情况进行分析的分析结果,具体见表 1 中的数据。

[0100] 表 1:

[0101]

检测项目 实施例	重金属残留率 (%)	多环芳烃降解率 (%)
实施例 1	12.6	82.8
实施例 3	28.4	68.5
实施例 5	17.5	56.8
实施例 7	18.6	83.1
实施例 8	22.5	62.4
实施例 9	25.7	61.0
实施例 10	15.7	78.9
实施例 12	28.2	70.6
实施例 14	26.2	68.6
实施例 16	22.8	75.2
实施例 18	23.7	75.6
实施例 19	25.4	58.5

[0102]

[0103] 从上述表 1 中的数据可以看出,利用本发明的方法对复合污染土壤进行修复后的土壤重金属和多环芳烃的修复效果好,土壤中重金属的残留率较低,对多环芳烃的降解效果明显,说明腐植酸与活性污泥联合对复合污染土壤进行修复达到较好的重金属溶出和多环芳烃降解的效果,与现有技术相比,提高了对重金属和多环芳烃复合污染土壤的修复效果,更有利于实际中对污染土壤的修复。

[0104] 本发明中所描述的具体实施例仅是对本发明精神作举例说明。本发明所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实施例做各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代,但并不会偏离本发明的精神或者超越所附权利要求书所定义的范围。

[0105] 尽管对本发明已作出了详细的说明并引证了一些具体实施例,但是对本领域熟练技术人员来说,只要不离开本发明的精神和范围可作各种变化或修正是显然的。