

王福喜,刘劲驰,吴定桂,等. 基于建筑泥浆脱水泥饼的基质配方对绿植生长发育的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(23):250-255.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.23.050

基于建筑泥浆脱水泥饼的基质配方 对绿植生长发育的影响

王福喜¹, 刘劲驰¹, 吴定桂², 左小凡²

(1. 南京环境集团有限公司, 江苏南京 210026; 2. 南京林业大学, 江苏南京 210037)

摘要:以建筑泥浆脱水泥饼为试验材料,经过理化性质的初步调整后,使用4种辅材以及不同配比的微生物有机肥料对脱水泥饼进行结构性改良,研究不同基质配方对高羊茅、小松菜、豌豆生长发育的影响。结果表明,经过改良后脱水泥饼的理化指标达到绿植标准,试验绿植的发芽率均超过80%,植物干质量有极大的提高。其中,稻壳炭基质的添加对高羊茅的生长促进效果最明显;在肥料施加量适当的情况下,稻壳炭基质也能促进小松菜的生长;纸屑基质更适合于豌豆的生长。脱水泥饼改良基质(人工绿化种植土壤)能有效提供植物生长发育的条件,本研究结果实现了将城市固体废弃物——建筑泥浆脱水泥饼资源化利用于城市绿化种植。

关键词:建筑泥浆脱水泥饼;调质改良;基质栽培;植物生长;发芽率

中图分类号:X799.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)23-0250-05

目前,城市建设发展越来越快,建筑施工过程中产生的建筑泥浆也日渐增多^[1]。泥浆主要是由水、黏性土颗粒、膨润土颗粒及各种药品添加剂组成的一种浓稠液态物质。研究发现,建筑工地产生的泥浆含水率通常大于85%,而且底泥颗粒细小,导致颗粒难以浓缩沉降,因此泥浆需要占用大量的贮存空间,这给建筑泥浆的后续处理带来很大困难^[2]。若不及时处理建筑泥浆,会影响正常施工,而违法投弃建筑泥浆会造成极大的环境风险,使土或水环境受到污染^[3]。因此,如何将建筑泥浆妥善处理和对其资源化利用,已经成为目前城市发展的一大难题^[4-5]。

建筑泥浆脱水泥饼产量大、运输处理困难、无害化成本高,研究出建筑泥浆脱水泥饼减量化、资源化的合理方法,能使城市固体废弃物消纳于城市,响应城市绿色发展的要求,带来较好的经济和社会效益。

本试验分析了改良前后建筑泥浆脱水泥饼的理化性质,筛选基质材料,得出最合理的基质配比

方案,进行盆栽试验^[6],观察记录高羊茅、小松菜和豌豆的发芽情况与生长情况,将城市固体废弃物——建筑泥浆脱水泥饼资源化利用于城市绿化。研究建筑泥浆脱水泥饼基质对绿植生长的影响,确定城市固体废弃物——建筑泥浆脱水泥饼在城市绿化种植方面资源化利用的可行性。

1 材料与amp;方法

1.1 试验时间和地点

试验于2019年1—6月在江苏省南京市玄武区南京林业大学实验室进行。

1.2 试验材料

1.2.1 供试植物 采用高羊茅、豌豆和小松菜为试验植物,高羊茅为我国城市绿化的常用植物,豌豆和小松菜是我国常见农作物。

1.2.2 供试基质 空白土壤采自南京林业大学地下(2.5 m 以下)深层土壤,为黄黏土,属于黏壤土类,将采集到的土壤置于干燥通风处自然风干备用,其理化性质见表1;建筑泥浆脱水泥饼采自江苏省南京市建筑泥浆处置中心,其理化性质见表1,其重金属含量见表2。

1.2.3 供试改良材料 柠檬酸、纤维材料(纸屑、细秸秆、木屑)、稻壳炭、保水剂[聚丙烯酰胺(PAM)]和有机肥料。

收稿日期:2020-09-17

基金项目:国家自然科学基金(编号:51879256,5187091383)。

作者简介:王福喜(1973—),男,辽宁葫芦岛人,硕士,高级工程师,主要从事固废污染与控制研究。E-mail:xin163mail@163.com。

通信作者:左小凡(1996—),女,安徽桐城人,硕士研究生,主要从事固废污染控制研究。E-mail:1625036033@qq.com。

表 1 建筑泥浆脱水泥饼和空白土壤基本理化性质

供试土壤及标准	pH 值	全盐量 (g/kg)	密度 (g/cm ³)	有机质含量 (g/kg)	孔隙度 (%)	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	阳离子交换量 [cmol(+) /kg]	土壤质地	石砾质量分数 (%) (粒径 ≥ 20 mm)
空白土壤	7.92	0.80	1.15	0.56	8.0	26	3.1	23	11.43	黄黏土	16
脱水泥饼	12.35	0.60	1.30	0.81	1.7	29	4.5	28	13.50	壤质土	12
CJ/T 340—2011	5.50~8.30	0.15~1.20	1.35	≥12	≥8	≥40	≥8	≥60	≥10	壤质土	≤20

注:下划线指数值指标未达到 CJ/T 340—2011《园林绿化种植土壤》建筑标准。

表 2 脱水泥饼的重金属含量和绿化种植土标准

样品	铬 (Cr) 含量	镍 (Ni) 含量	铜 (Cu) 含量	锌 (Zn) 含量	砷 (As) 含量	镉 (Cd) 含量	铅 (Pb) 含量
脱水泥饼	1.555	2.016	1.532	1.339	0.304	0.135	16.353
CJ/T 340—2011	≤100	≤40	≤40	≤150	≤30	≤0.3	≤85

注:建筑泥浆脱水泥饼的重金属含量均在 CJ/T 340—2011《园林绿化种植土壤》建筑标准范围内,符合安全要求,可以作为绿化种植土壤的原材料。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 脱水泥饼理化性质结构改良:采用浓度为 60% 的柠檬酸 (CA),调节脱水泥饼 pH 值至中性;使用质量分数为 0.08% ~ 0.15% 的 PAM 提高其保水性及阳离子交换量;采用毛细吸水时间 (CST) 试验考察改良基质的孔隙度和保水性,得出改良基质的辅材最佳质量配比为木屑 3.5%、纸屑 2.5%、细秸秆 5%、稻壳炭 4%;将上述材料和 4 种辅材类型按质量比例与脱水泥饼均匀混合,使脱水泥饼各理化指标符合 CJ/T 340—2011《园林绿化种植土壤》标准。

脱水泥饼肥力改良:通过添加有机肥料改善脱水泥饼肥力,添加有机肥料的质量比为 0、1.5%、3.0%、8.0%,制成 20 种植植基质,具体混配方案见表 3。

表 3 试验植物与各基质-肥料配比

试验植物	基质类型	肥料配比
高羊茅	3.5% 木屑	
	2.5% 纸屑	
小松菜	5% 秸秆	0、1.5%、3.0%、8.0%
	4% 稻壳炭	
豌豆	黄黏土	

绿植发芽种植试验:将调配好的基质装在穴盘内,分别种下 3 种种子(高羊茅、小松菜、豌豆)。每槽 5 粒、插好地牌,做好标记,每个处理 4 个重复。整个试验过程在恒温、恒湿的光照培养箱中进行,保持湿度 70%、温度 25 ℃、光照 8 h/d。植物发芽前期每天浇 1 次水,浇透为止,直到成长发芽,之后

每 2~3 天浇 1 次水,拍照并做好记录。出苗后,计算发芽率,成苗后测定植物干质量。

1.3.2 测定项目和方法 土样打碎、混匀,去除杂质、石砾,风干过筛(2 mm)后,用于土壤理化性质测定。pH 值用浸提法^[7](土水体积比 1 g : 5 mL)测定;有机质含量采用重铬酸钾-硫酸氧化法^[8]测定;碱解氮含量采用碱解扩散法^[9]测定;有效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法^[10]测定;速效钾含量采用醋酸铵浸提-火焰光度法^[11]测定;阳离子交换量 (CEC) 采用 CH₃COONH₄ 交换法^[12]测定;土壤机械组成用密度计测定。土壤中细菌、放线菌和真菌 3 类微生物量采用稀释平板法^[13]测定。土壤酶活性参照张建军等报道的方法^[14]测定。植物成熟后需测量生长高度,用剪刀紧贴基质面剪掉地上部,分离茎与叶烘干置于烘箱,烘干至恒质量后,用电子天平称量。

2 结果与分析

2.1 改良前后建筑泥浆脱水泥饼性质对比

建筑泥浆脱水泥饼结构致密,透气性差^[15],不能直接用于城市绿化,须根据绿化土种植标准,对建筑泥浆脱水泥饼进行改良,即调节脱水泥饼的 pH 值、孔隙度、保水性、所含营养元素氮磷钾的含量。调节改良后脱水泥饼的理化性质(表 4)符合绿化种植土标准,故可进行绿化种植试验。

建筑施工过程中投加的膨润剂具有强碱性,且脱水泥饼属于危险废弃物,脱水泥饼 pH 值为 12.35,明显高于自然土壤,因此采用 60% CA 调节

表4 泥饼改良后理化性质与《园林绿化种植土壤》标准

供试土壤	pH 值	全盐量 (g/kg)	密度 (g/cm ³)	有机质 含量 (g/kg)	孔隙度 (%)	碱解氮 含量 (mg/kg)	有效磷 含量 (mg/kg)	速效钾 含量 (mg/kg)	阳离子交换量 (cmol/kg)	土壤 质地	石砾(粒 径≥20 mm) 质量分数(%)
脱水泥饼(改良后)	7.41	0.60	1.12	20.96	11.5	57	18	62	21.5	壤质土	11
CJ/T 340—2011	5.50~8.30	0.15~1.20	1.35	≥12	≥8	≥40	≥8	≥60	≥10	壤质土	≤20

注:泥饼改良后理化性质均在 CJ/T 340—2011《园林绿化种植土壤》标准范围内,符合安全生产。

脱水泥饼的 pH 值到中性。CA 作为一种具有螯合功能的有机酸,无毒无害、化学性质稳定、易溶于水,CA 电离出部分 H⁺,适用于碱性土壤改良,且成本低、可降解。

脱水泥饼的粒径大多在 5 μm 以下,孔隙度很小,不利于植物的生长发育^[16],还会影响雨水在泥饼中的入渗及分布。采用产业、农林生物纤维质固体废弃物对泥饼进行调节能提升泥浆的保水性与通气性,稻壳炭粒富含微量元素,具有吸水性强、空隙大、密度小、表面官能团丰富等特性^[17];植物纤维材料粉碎后使用脱水泥饼,具有架桥连接团粒作用,降解后可为土壤提供有机质。通过添加 4% 稻壳炭或 5% 细秸秆植物纤维来调节脱水泥饼的孔隙比,能够防止建筑泥浆脱水泥饼易板结的现象,可提升水分与空气调节效率,以利于植物吸收养分和伸展根系。

脱水泥饼的阳离子交换量水平属于中等偏下,其保水性,对微量元素、氮磷钾等营养元素的吸附能力不高,添加质量比为 0.05% PAM 用作保水剂,能增加阳离子的缓冲能力,蓄储余量水分,从而使土壤地力得到一定提升。

脱水泥饼的碱解氮含量为 29 mg/kg≤40 mg/kg,

有效磷含量为 4.5 mg/kg≤8 mg/kg,速效钾含量 28 mg/kg≤60 mg/kg 均属于偏低水平(表 1)。由于脱水泥饼养分贫瘠,理化指标达不到 CJ/T 340—2011《园林绿化种植土壤》标准要求,因此本试验采用有机肥料调整脱水泥饼的养分含量,经过改良后的脱水泥饼可为植物提供生长过程所需要的营养物质。

建筑泥浆来源于地底深处,施工后呈强碱性,微生态系统结构单一,在积聚、运输、储存、脱水过程中基本无生物影响,导致脱水泥饼中的微生物生物量、活性、种类和酶活性较小,限制了有机质的合成与分解^[18]。施用有机肥料可在作物根系形成优势有益菌群,有助于维持土壤有机质稳定和促进土壤腐殖质的生成^[19]。经测定,由表 5 可知,黄黏土微生物总生物量为 3.45 × 10⁵ CFU/g,建筑泥浆脱水泥饼经调节改良后,微生物总生物量由 1.19 × 10⁵ CFU/g 提高到 5.11 × 10⁶ CFU/g。真菌、放线菌的微生物数量分别是改良前的 43.96 倍、52.59 倍。经酶活性测定,从大到小顺序为改良后脱水泥饼 > 黄黏土 > 脱水泥饼。改良后脱水泥饼总酶活性达到 0.46 U,有效改善了有机氮、碳素、磷素的转化状况,提升了环境代谢的动力,加快了生物化学反应能力。

表5 泥饼改良前后微生物数量与酶活性变化情况真菌

供试土壤	真菌		放线菌数量		微生物总量 (×10 ⁵ CFU/g)	酶活性 (U)
	微生物数量 (×10 ² CFU/g)	占微生物总数的 比例(%)	微生物数量 (×10 ⁴ CFU/g)	占微生物总数的 比例(%)		
脱水泥饼	74.97 ± 0.19b	6.30	1.03 ± 0.02a	8.67	1.19 ± 0.11a	0.18 ± 0.006
改良后脱水泥饼	3 295.95 ± 82.63b	6.45	54.27 ± 6.41a	10.62	51.10 ± 0.93b	0.46 ± 0.002
黄黏土	39.33 ± 4.55a	1.14	3.69 ± 1.28a	10.70	3.45 ± 0.67b	0.21 ± 0.015

注:表中数值为平均值 ± 标准差,同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著(P < 0.05)。

2.2 不同基质对植物发芽率的影响

由表 6 可知,在高羊茅作为试验绿植时,不同基质和不同肥料配比对于其发芽率均有一定的影响。在肥料配比为 3.0% 的稻壳炭基质中,高羊茅发芽率最高,为 92%;在肥料配比为 0 的黄黏土基质中,

高羊茅的发芽率只有 55%。从基质类型来看,稻壳炭对高羊茅发芽率的影响大于其他 3 种基质,肥料配比为 0 的稻壳炭基质中高羊茅发芽率为 88%,而肥料配比为 0 的纸屑和细秸秆基质中高羊茅的发芽率均低于 80%,黄黏土基质最低。基质类型不变的

情况下,随着肥料配比的增加,高羊茅发芽率基本呈现先上升后下降的变化趋势,但其高羊茅的发芽率均高于在黄黏土中的发芽率。

4种辅材基质与不同肥料配比对小松菜发芽率的影响没有明显差异。改良后的泥饼基质对小松菜发芽率的影响较好,发芽率均达到80%以上。小松菜在肥料配比为3.0%的木屑基质中,发芽率高达89%。木屑、纸屑类型的泥饼基质中,小松菜的发芽率在肥料配比为3.0%时达到最大值,细秸秆基质中小松菜发芽率在肥料配为3.0%和8.0%时达到85%。黄黏土基质中,小松菜发芽率随着肥料变化明显,从67%增长至89%,小松菜肥料依赖性较高。

与小松菜不同,豌豆对有机质、营养元素的依

赖性很低,除黄黏土基质外,豌豆发芽率均达82%及以上。豆类植物根系中存在根瘤菌,它具有一定的固氮效果,所以豌豆的发芽率几乎不受肥料配比影响,从基质来看,木屑、纸屑和细秸秆对豌豆的发芽率影响较小,发芽率均在82%~89%之间;使用稻壳炭基质对其发芽率的影响稍大,最高发芽率为92%。

综上所述,经过不同生物质材料与有机肥料调节改善脱水泥饼后,3种植物发芽率均达80%以上,达到CJ/T 340—2011《园林绿化种植土壤》建筑标准的发芽率要求。因此,改良后的脱水泥饼对植物发芽具有一定的促进作用,可以作为城市绿化种植土壤,实现城市固体废弃物——脱水泥饼的资源化利用。

表6 不同植物发芽率

基质类型	肥料配比 (%)	种子数 (粒)	高羊茅		小松菜		豌豆	
			发芽数(粒)	发芽率(%)	发芽数(粒)	发芽率(%)	发芽数(粒)	发芽率(%)
木屑	0	100	80	80	86	86	85	85
	1.5	100	84	84	85	85	84	84
	3.0	100	91	91	89	89	86	86
	8.0	100	87	87	84	84	87	87
纸屑	0	100	78	78	83	83	88	88
	1.5	100	84	84	84	84	84	84
	3.0	100	84	84	86	86	87	87
	8.0	100	80	80	81	81	89	89
细秸秆	0	100	78	78	80	80	88	88
	1.5	100	85	85	83	83	85	85
	3.0	100	86	86	85	85	88	88
	8.0	100	81	81	85	85	82	82
稻壳炭	0	100	88	88	84	84	91	91
	1.5	100	91	91	82	82	84	84
	3.0	100	92	92	87	87	89	89
	8.0	100	90	90	88	88	92	92
黄黏土(对照)	0	100	55	55	67	67	75	75
	1.5	100	67	67	69	69	79	79
	3.0	100	72	72	77	77	83	83
	8.0	100	84	84	89	89	85	85

2.3 不同基质对3种植物生长状况的影响

由图1-a可知,稻壳炭对高羊茅生长的促进效果明显优于纸屑、木屑、细秸秆。高羊茅通常生长在疏松富含有机质、pH值为4.6~8.5的土壤中,加入稻壳炭提升了有机质含量,改善了土壤的疏松度和孔隙度。当肥料配比为1.5%时,稻壳炭基质中高羊茅的生长状况达到了最佳状态,此时干质量均

值达到0.093 g/棵。4种基质中,细秸秆对高羊茅生长的影响最小,而木屑和纸屑对高羊茅生长的影响均随着肥料配比增加出现先升高后降低的趋势。黄黏土基质中高羊茅干质量为0.008~0.010 g/棵,无明显变化规律。因此,稻壳炭基质对高羊茅的生长促进效果最明显。

小松菜的长势对土壤营养元素的含量以及孔

隙度的要求较高。由图1-b能够看出,肥料配比为1.5%~8.0%时,稻壳炭对小松菜生长的促进效果明显优于纸屑、木屑、细秸秆和黄黏土;稻壳炭基质中肥料配比为3.0%时,小松菜生长状况达到了最佳状态,此时干质量均值达到0.111 g/棵,这是因为稻壳炭和适当的肥料提高了土壤的孔隙度与养分。纸屑和黄黏土对小松菜生长的影响效果相似,小松菜干质量基本处于0.020 g/棵左右。与高羊茅不同的是,肥料配比越低,小松菜的生长状况越差且干质量都低于0.035 g。可得出在肥料适当的情况下,稻壳炭基质也能促进小松菜的生长。

如图1-c所示,在豌豆作为试验绿植时,4种基质作用效果大体相近,其中在肥料配比为0时,纸屑略优于其他3种基质。在没有肥料添加时,豌豆的生长状况达到了最佳状态,此时干质量均值达到0.149 g/棵。随着肥力增加,纸屑对豌豆生长的影响整体呈逐渐下降的趋势,由0.150 g逐渐降至0.057 g。肥料配比为1.5%时,豌豆在稻壳炭基质中的干质量最低,为0.049 g,同时在细秸秆基质中达到最高值,为0.095 g。稻壳炭和黄黏土2种基质中豌豆生长的干质量波动较大。可得出,纸屑基质对豌豆的生长状况影响最好。

3 结果与讨论

本试验研究了脱水泥饼改良的材料和方法,将改良后的脱水泥饼与辅材、肥料按不同比例混合,进行了高羊茅、小松菜和豌豆等植物的盆栽试验,研究改良基质对植物的生长影响,并得出以下结论:(1)采用有机柠檬酸、微生物有机肥料、PAM保水剂、4种辅材对脱水泥饼理化性质进行改良后,城市固废脱水泥饼可以达到绿化种植指标要求。(2)通过盆栽试验,脱水泥饼基质能有效提高高羊茅、小松菜、豌豆的发芽率,最大发芽率分别能达到92%、89%、92%。(3)从植物生长状况来看,肥料配比为1.5%的稻壳炭基质可以有效促进高羊茅生长,肥料配比为3.0%的稻壳炭基质中小松菜的生长状况最佳,肥料配比为0的纸屑基质对豌豆生长的促进效果最好,最佳干质量均值能达到0.149 g/棵。

本试验在简便、有效、低成本的前提条件下,实现了对固体废弃物脱水泥饼的资源化城市循环利用,变废为宝。从经济效益、环保要求、技术条件等多方面来看,可以将脱水泥饼基质大量应用于城市的绿化种植。

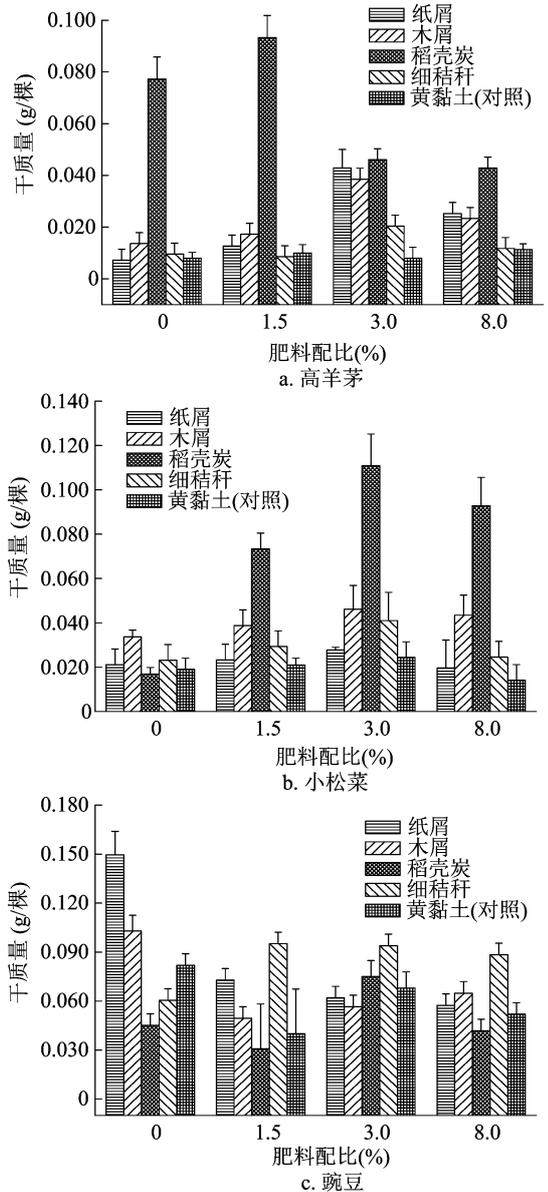


图1 3种植物干质量变化情况

参考文献:

- [1]唐立鸿. 简单式屋顶绿化关键技术研究[D]. 广州:华南农业大学,2016:2-14.
- [2]Krishnamurthy S, Viraraghavan T. Chemical conditioning for dewatering municipal wastewater sludges[J]. Energy Sources,2005, 27(1/2):113-122.
- [3]李兴文. 城市建筑泥浆处理技术及资源化利用新途径——以宁波市为例[J]. 再生资源与循环经济,2015,8(12):39-41.
- [4]王 朴,胡红青,丁昭全. 武汉城市园林绿地土壤现状分析[J]. 湖北农业科学,2009,48(1):78-80.
- [5]王爱丽. 酞酸酯在湿地植物根际环境中的消减行为[D]. 天津:天津大学,2011:6-15.
- [6]林 烽. 城市建筑泥浆渣土集中收纳、无害化处理及再生利用工作初探[J]. 海峡科学,2018(5):28-30.

王 勇,张育铭,朱洪磊,等. 高效纤维素降解菌的筛选及产酶活力测定[J]. 江苏农业科学,2020,48(23):255-260.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.23.051

高效纤维素降解菌的筛选及产酶活力测定

王 勇,张育铭,朱洪磊,马 超,张宝俊

(山西农业大学农学院,山西太谷 030801)

摘要:以羧甲基纤维素钠为碳源采用摇瓶富集培养、刚果红染色定性、纤维素酶活性定量分析法从常年堆积枯枝落叶的腐殖土壤中分离出纤维素降解真菌,根据菌落形态特征及多基因联合分析对其分类地位进行鉴别,并测定其降解谷子秸秆的产酶活性。筛选到具有较高产酶能力的纤维降解真菌4株,命名为MX5、DR9、DR12、TR31,4个菌株分别为篮状菌属真菌及多育曲霉、黑曲霉、巴西曲霉,其中DR12菌株分泌的滤纸酶、内切葡聚糖(CMC-Na)酶、外切葡聚糖酶活性最高,分别可达17.35、8.47、16.35 U/mL,TR31菌株分泌的 β -葡萄糖苷酶活性可达24.96 U/mL。4株纤维素降解菌均可满足秸秆降解过程对纤维素酶的需求,有良好工业应用前景。

关键词:纤维素降解菌;纤维素酶;多基因联合;黑曲霉

中图分类号: S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)23-0255-06

农作物秸秆是农业生产中产生的一类典型固态废弃物,据统计,我国每年秸秆资源产出量约为10亿t^[1]。在传统的农业生产中,仅有少量的秸秆被综合利用,大量秸秆被弃置或直接焚烧,造成了严重的资源浪费和环境污染。秸秆还田是目前解决此类问题最直接有效的手段^[2-3]。秸秆还田可以有效改善土壤生态环境,培肥地力,提高作物物质

量^[4-5]。但还田秸秆的降解过程需要多种酶的参与,其中纤维素酶对促进秸秆降解具有重要作用,自然环境中秸秆纤维素分解菌较少,且产纤维素酶的活性较低,秸秆原位还田分解速度慢,无法为当季作物提供肥料,且易给农业生产带来不利影响。因此,通过添加外源秸秆降解菌,加快秸秆的原位腐解,是促进秸秆原位降解的高效措施^[6-7]。马欣雨等筛选到高效秸秆降解菌NX9、NF6,培养至第15d时玉米秸秆降解率分别为53.88%、51.36%^[8]。于慧娟等报道,添加菌株z-5后,小麦秸秆降解率10d内可达47%^[9]。胡海红等通过硅藻土和菌液构建的复合菌剂促进了玉米秸秆降解^[10]。这些研究都证明,添加外源降解菌,可加快

收稿日期:2020-03-19

基金项目:山西省科技基础条件平台项目(编号:201605D121024)

作者简介:王 勇(1987—),男,山西忻州人,硕士研究生,主要从事农药毒理与生物农药相关研究。E-mail:ywund0121@163.com。

通信作者:张宝俊,博士,副教授,硕士生导师,主要从事农药毒理与生物农药相关研究。E-mail:zhangbj992@163.com。

[7]林斌结,林月华,董直文,等. 有机肥对茶园土壤酸碱性的影响[J]. 茶叶,2019,45(3):142-144.

[8]陈富伟,李 伟. 土壤酸碱度、含水量和有机质测量方法对比[J]. 云南化工,2020,47(8):4-6.

[9]戴 斌,李守权,罗 浩. 正交实验法优化土壤碱解氮最佳测定方法[J]. 广州化工,2020,48(13):54-57.

[10]赵 凌,李嘉男,铁祥伟,等. 基于碳酸氢钠浸提-钼锑抗分光光度法的土壤有效磷测定[J]. 科技经济导刊,2020,28(22):86.

[11]叶丽新. 土壤中速效钾及交换性钙镁同时测定的方法研究[J]. 中国资源综合利用,2020,38(8):22-23,53.

[12]刘 蓉,邓 茂,李莹莹,等. 不同酸碱度土壤阳离子交换量的测定研究[J]. 中国环境监测,2020,36(1):125-130.

[13]张 蓉. 煤矸山不同植被复垦地土壤微生物功能菌、酶活性及其影响因素[D]. 临汾:山西师范大学,2019:5-17.

[14]张建军,党 翼,赵 刚,等. 留膜留茬免耕栽培对旱作玉米田土壤养分、微生物数量及酶活性的影响[J]. 草业学报,2020,29(2):123-133.

[15]韦 玮. 我国小城镇给水系统建设技术及给水泥资源化研究[D]. 重庆:重庆大学,2006:4-22.

[16]仲海洲. 利用废弃生物质开发水稻育秧基质及其应用效果研究[D]. 杭州:浙江大学,2013:3-15.

[17]牟信刚. 护坡绿化基质筛选及其理化性质研究[D]. 泰安:山东农业大学,2008:4-16.

[18]Li Y,Chang S X,Tian L H,et al. Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils:a global meta-analysis[J]. Soil Biology and Biochemistry,2018,121:50-58.

[19]马 达,高 定,刘洪涛,等. 城市污泥堆肥用作花卉栽培基质的效果评价[J]. 中国给水排水,2009,25(15):115-116.