

Bacillus asahii OM18 菌剂载体筛选 及其对玉米的促生效果

蒋华云^{1,2,3}, 冯有智¹, 王一明¹, 林先贵¹

(1.中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室,江苏 南京 210008)

(2.南京师范大学生命科学学院,江苏 南京 210023)

(3.中国科学院大学,北京 100049)

[摘要] 芽胞杆菌 *Bacillus asahii* OM18 是潮土地力提升的关键土著微生物. 为了将该菌种资源应用到提升华北平原潮土地力的实际农业生产中,也为了促进农业废弃物资源化应用,本研究以 5 种农业废弃物生产的有机肥(封丘站有机肥、鸡粪有机肥、酒糟有机肥、菜粕有机肥和牛粪有机肥)为研究对象,通过评价 *B. asahii* OM18 在有机肥中的生长繁殖以及对作物的促生效果,系统性地筛选出适合该菌种生长和发挥生态功能的菌剂载体. 结果表明,菜粕有机肥适合作为 *B. asahii* OM18 菌剂制备的载体,以菜粕有机肥制备的 *B. asahii* OM18 菌剂回接到潮土后,施有机肥接种 OM18 菌剂(Inoculant)处理玉米茎叶干重(9.27 ± 0.95)g 显著高于其他处理($P < 0.05$),在潮土中能够显著促进玉米的生长. 因此,以菜粕有机肥为载体复合 *B. asahii* OM18 菌剂有助于我国华北平原地力的提升.

[关键词] *Bacillus asahii* OM18, 农业废弃物, 有机肥, 菌剂, 潮土, 植物促生

[中图分类号] Q939.96 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2020)01-0122-07

Screening Inoculant Carrier of *Bacillus asahii* OM18 and Its Effect on Maize Growth Promoting

Jiang Huayun^{1,2,3}, Feng Youzhi¹, Wang Yiming¹, Lin Xiangui¹

(1.State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2.School of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(3.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: *Bacillus asahii* OM18 is a key autochthonous microbe responsible for the enhancement of soil fertility of fluvo-aquic soils. In order to apply it to improve the soil fertility of Fluvo-aquic soils in actual agricultural production in the North China Plain and to promote the utilization of agriculture wastes, five kinds of organic fertilizers produced by agriculture wastes (FengQiu organic manure, chicken manure, vinasse organic compost, oil cake organic compost, and cow manure) were screened and evaluated through the growth of *Bacillus asahii* OM18 in organic fertilizers and their promoting effect on the growth of crops. The suitable organic fertilizer was screened out systematically as the inoculant carrier, which benefit for the growth and ecological function of *Bacillus asahii* OM18. The results showed that oil cake organic compost(XS) was suitable as the carrier for the preparation of *Bacillus asahii* OM18 microbial inoculant. Furthermore, oil cake organic compost(XS) combined with *Bacillus asahii* OM18 inoculant was tested to promote the growth of maize in the fluvo-aquic soils by potting. Compared to other treatments, the dry weight of maize shoots and leaves of Inoculant treatment(9.27 ± 0.95 g) was significantly higher($P < 0.05$). Oil cake organic compost with *Bacillus asahii* OM18 inoculant could significantly promote the growth of maize in the fluvo-aquic soils. Therefore, *Bacillus asahii* OM18 microbial inoculant combined with oil cake organic compost is beneficial to improving soil fertility in the North China Plain.

Key words: *Bacillus asahii* OM18, agriculture waste, organic fertilizer, microbial inoculant, fluvo-aquic soils, plant growth promoting

收稿日期: 2019-10-15.

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41771294, 41430859).

通讯作者: 林先贵, 研究员, 博士生导师, 研究方向: 土壤微生物多样性与生态功能研究. E-mail: xglin@issas.ac.cn

华北平原是我国重要的农业经济区和粮食主产区,粮食播种面积占全国总量的 20%左右,粮食产量占全国总产量 23%左右,对我国粮食安全起着至关重要的作用^[1]. 潮土是华北平原最具代表性的农田土壤类型. 本课题组前期利用中国科学院封丘农业生态实验站的农田生态系统养分平衡长期定位实验^[2],系统地研究了潮土地力提升过程中的微生物学机制^[3],发现土壤中土著微生物 *Bacillus asahii* 对长期施用有机肥的响应最为显著,大约 2~4 年成为潮土中优势微生物^[4,5]. 随后对该菌株进行了分离和纯化,并对其形态、生理生化 and 全基因组序列进行了分析,该菌株被鉴定和命名为 *Bacillus asahii* OM18. 基因预测分析结果显示该菌株在氮、磷、钾营养元素代谢和分泌植物生长素等方面具有促进植物生长的遗传学特性^[6].

长期以来,秉承生物强化 (bioaugmentation) 和生物刺激 (biostimulation) 思路^[7],微生物接种剂 (microbial inoculants)、生物肥料 (biofertilizers)、生物化学物质和有机改良剂 (organic amendments) 等已被广泛用于改善土壤肥力,提高作物产量,开展生物防治 (biocontrol) 抑制土传病害^[8] 和植物寄生线虫^[9],以及修复土壤^[10]. 这些调控土壤微生物的方法常通过功能微生物肥料来实现. 在微生物肥料生产过程中,吸附剂是固体微生物肥料的载体,是液体培养的菌体的栖息处,它对于在一定时期内维持微生物肥料中特定的微生物数量有十分重要的作用^[11]. 微生物肥料的有效性取决于优良菌种、优质载体材料及有效的使用方法^[12]. 因此,功能微生物肥料比其纯培养物在土壤中更能发挥作用.

为了将 *B. asahii* OM18 全面应用于潮土地力提升的实际农业生产中,也为了促进农业废弃物资源化利用,本研究以 5 种农业废弃物生产的有机肥 (封丘站有机肥、鸡粪有机肥、酒糟有机肥、菜粕有机肥、牛粪有机肥) 为研究对象,通过固体发酵和育苗盘肥效测定实验,筛选出最佳的 *B. asahii* OM18 菌剂载体;进一步通过盆栽回接实验,明确其对潮土玉米的促生效果. 研究结果将为以 *B. asahii* OM18 为核心的微生物肥料在我国华北平原的实际应用提供理论基础,同时也为我国农业废弃物的资源化提供新的思路.

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 菌株

芽胞杆菌 *B. asahii* OM18 由课题组保藏,并在 DSMZ 菌种保藏中心保藏,保藏号 DSM 28598.

1.1.2 培养基

菌种活化培养基 (g/L): 聚蛋白胨 (polypeptone) 10, 酵母膏 2, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1, 琼脂 20, pH 7.0, 121 °C 湿热高压灭菌 20 min. 种子培养基 (g/L): 胰蛋白胨 (typtone) 10, 酵母提取物 (yeast extract) 5, 氯化钠 10, pH 7.0, 121 °C 湿热高压灭菌 20 min. 平板计数培养基: 在种子培养基中加入琼脂粉 15 g/L.

1.1.3 菌剂载体吸附剂

选用 5 种农业废弃物制备的有机肥作为菌剂载体吸附剂,包括由中国科学院封丘农业生态实验站提供的封丘站有机肥 (FQ, 以粉碎的麦秆为主, 加上适量粉碎的大豆饼和棉仁饼以提高有机肥的 N 含量), 由南京中科院跨克科技有限责任公司提供的广东鸡粪有机肥 (GD)、亿海酒糟有机肥 (YH)、习水菜粕有机肥 (XS) 和阜阳牛粪有机肥 (FY).

1.1.4 育苗盘培养基质和供试植物

基础基质配比 (体积比) 为草炭:珍珠岩:蛭石 = 6:2:2, 肥效试验基质配比 (体积比) 为草炭:珍珠岩:蛭石:有机肥 = 5:2:2:1, 对照用草炭替代有机肥. 肥效测试供试植物为小白菜 (*Brassica chinensis* L.), 种子购自南京市蔬菜种子分公司.

1.1.5 潮土回接供试土壤和植物

供试土壤采自中国科学院封丘农业生态实验站 (35°00'N, 114°24'E) 内农田, 土壤类型为潮土. 采集表层 0 cm~15 cm 土壤, 经自然风干后去除植物残体及石块, 过 2 mm 筛后备用. 供试植物为玉米 (*Zea mays* L.), 种子购自南京市蔬菜种子分公司.

1.2 方法

1.2.1 种子液的制备

在菌种活化培养基平板上划线, 37 °C 恒温培养 24 h 后, 挑取单菌落再次平板划线, 37 °C 恒温培养 24 h, 挑取单菌落接种于含有 3 mL 种子培养基的试管中, 37 °C 180 rpm 恒温振荡培养 24 h.

1.2.2 菌株生长曲线

接种含菌量 10^7 个/mL(血球计数板计数)的种子液 30 μ L 到含有 3 mL 种子培养基的试管中,37 $^{\circ}$ C 180 rpm 恒温振荡培养,每隔 3 h 取一次样,测定 600 nm 波长下的吸光值,连续观测 48 h.

1.2.3 有机肥基本理化性质

农业废弃物有机肥的含水量、pH 值参照农业行业标准 NY/T 2321-2013 测定^[13],测定 pH 值的同时测定溶液中可溶性盐浓度 EC(electrical conductivity)值.

1.2.4 育苗盘肥效测试

5 种农业废弃物有机肥分别与育苗盘基础基质以体积比 1:9 的比例混合成 5 种肥效测试基质(GD、FQ、XS、YH、FY),基础基质对照以草炭(Turf)替代有机肥,设置接种 OM18 种子菌液和 CK 不接种 2 种处理,共计 12 个处理. OM18 试验组为 6 个接菌处理:Turf+灭活 OM18、GD+OM18、FQ+OM18、XS+OM18、YH+OM18、FY+OM18,CK 对照组为 6 个不接菌处理:Turf、GD、FQ、XS、YH、FY. 将混合均匀的基质装入 12 孔穴盘内(每孔约 38 mL),每种处理一个穴盘,每处理各分别放于不同小托盘内. 每穴点播 3 粒种子,覆盖相应基质,播种后在托盘水槽中加清水,保持水深一致,2 cm 左右,置于 28 $^{\circ}$ C 光照培养箱培养. 接菌处理,每穴接 10^8 CFU/mL 种子液菌液 1 mL,不接菌处理,每穴接培养液 1 mL. 待出苗后,记录出苗日期和出苗数,培养 20 d 后测定生物量. 小白菜地上部和地下部分别收获,在 105 $^{\circ}$ C 杀青 30 min 后,70 $^{\circ}$ C 烘干 48 h,称干重.

1.2.5 固体发酵和生长曲线

固体发酵方法参考生防枯草芽孢杆菌 SQR9 固体发酵生产生物有机肥的工艺^[14]. 300 mL 锥形瓶,装入 100 g 农业废弃物有机肥培养基质,加纯水调整至 65% 含水量,121 $^{\circ}$ C 高温湿热灭菌 1 h,留在灭菌锅中过夜,自然冷却. 接种 10^8 CFU/mL 种子菌液 1 mL(初始: 10^6 CFU/g),搅拌均匀,5 个重复,35 $^{\circ}$ C 静置培养,每隔 24 h 翻堆 1 次. 平板活菌计数,每次取样 5 g 加入 50 mL 0.85% NaCl 生理盐水,振荡摇匀,取上层菌液 10 倍逐级稀释,取 100 μ L 涂板(3 次重复),35 $^{\circ}$ C 静置培养 24 h 后计数. 动态取样,共 30 d,描绘生长曲线.

1.2.6 潮土回接盆栽试验

盆栽试验在中国科学院南京土壤研究所温室进行. 试验共设置 4 个处理,Control:潮土;Organic+XS:潮土+习水菜粕有机肥(XS);Inactive inoculant:潮土+习水菜粕有机肥(XS)+灭活 OM18 菌剂;Inoculant:潮土+习水菜粕有机肥(XS)+OM18 菌剂. 每个处理 5 盆,每盆盛装 1 500 g 潮土(花盆尺寸:直径 15 cm×高 15 cm),加 20 g(<2% 土重)有机肥,每盆接种 10 g(<1% 土重)菌剂. 播种玉米每盆点 3 穴,每穴播种 1 粒玉米(催芽后播种),出苗 7 d 定苗,每盆留 2 株,定期浇水保持土壤含水量 20%. 温室培养 56 d 后收获测定玉米生物量. 玉米植株地上部茎叶收获,在 105 $^{\circ}$ C 杀青 30 min 后,70 $^{\circ}$ C 烘干 48 h,称干重.

1.2.7 数据统计分析

利用 OriginPro 9.0 和 SPSS 20.0 软件进行数据统计分析和作图,不同处理间差异显著性检验采用 Turkey HSD 方法,显著性水平为 $P<0.05$.

2 结果与讨论

2.1 OM18 菌株生长曲线

每隔 3 h 取一次样,测定 600 nm 波长下的吸光值,连续观测 48 h,绘制菌株在 37 $^{\circ}$ C 180 rpm 恒温振荡培养条件下的生长曲线,如图 1 所示. 培养 24 h 后,菌液 OD 600 nm 吸光值达到 1.2,细菌血球计数板计数达到 10^8 个/mL.

2.2 有机肥基本理化性质

用于菌剂载体吸附剂筛选的 5 种农业废弃物有机肥的含水量、pH 值和 EC 值见表 1.

2.3 固体发酵生长曲线

以 5 种农业废弃物有机肥作为菌剂载体,接种 OM18 种

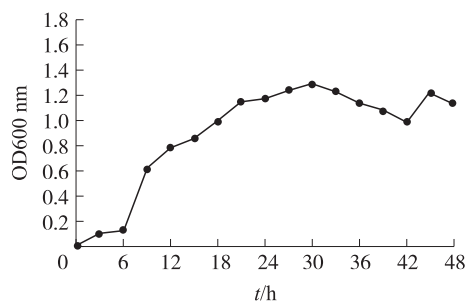


图 1 *Bacillus asahii* OM18 生长曲线

Fig. 1 Growth curve of *Bacillus asahii* OM18

子菌液固体发酵,35 ℃恒温培养. 在培养 1 d、5 d、10 d 和 30 d 时取样,平板活菌计数,分别绘制 OM18 固体培养生长曲线(图 2). 结果显示 5 种菌剂载体在接种培养 1 d 后,活菌数均呈现下降趋势;除封丘站有机肥(FQ)外,5 d 和 10 d 时活菌数仍然小于初始值($P<0.05$);30 d 时,封丘站有机肥(FQ)培养物活菌数达到 $10^{6.6}$ CFU/g,广东鸡粪有机肥(GD)活菌数 $10^{6.1}$ CFU/g,习水菜粕有机肥(XS)活菌数 $10^{6.1}$ CFU/g,3 种菌剂中活菌数超过和接近初始值 10^6 CFU/g ($P<0.05$),而亿海酒糟有机肥(YH)和阜阳牛粪有机肥(FY)培养的两种菌剂活菌数低于初始值($P<0.05$). 因此,利用农业废弃物有机肥作为菌剂载体接种 OM18 固体发酵制备菌剂的方法是可行的,初步筛选出封丘站有机肥(FQ)、广东鸡粪有机肥(GD)和习水菜粕有机肥(XS)可以用作 OM18 菌剂载体,通过 30 d 固体发酵制备菌剂.

表 1 农业废弃物有机肥基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of agriculture waste organic fertilizer

农业废弃物有机肥名称(代号)	含水量	pH 值	EC 值/(mS/cm)
封丘站有机肥(FQ)	33%	8.97	2.28
广东鸡粪有机肥(GD)	34%	8.44	7.23
亿海酒糟有机肥(YH)	35%	7.34	6.37
习水菜粕有机肥(XS)	28%	8.99	4.41
阜阳牛粪有机肥(FY)	43%	7.87	6.47

2.4 育苗盘肥效测试

以 5 种农业废弃物有机肥配制育苗盘培养基质,接种 OM18 菌液,测试有机肥与 OM18 菌液配伍,共同作用下对植物生长的影响. 结果显示,封丘站有机肥(FQ)、习水菜粕有机肥(XS)和亿海酒糟有机肥(YH)接种 OM18 菌液能增加植物生物量,促进小白菜的生长;广东鸡粪有机肥(GD)和阜阳牛粪有机肥(FY)接种 OM18 菌液减少了植物生物量,抑制植物的生长(图 3 和图 4). 因此,为了制备能够促进植物生长的 OM18 菌剂,结合固体培养菌剂制备的实验结果,5 种有机肥中,封丘站有机肥(FQ)和习水菜粕有机肥(XS)较为适合菌剂制备. 封丘站有机肥(FQ)是中国科学院封丘农业生态实验站专门配制的有机肥作为菌剂载体不具有普适性,因此选择习水菜粕有机肥(XS)作为菌剂制备载体和吸附剂,制备 OM18 菌剂后用于潮土回接温室试验.

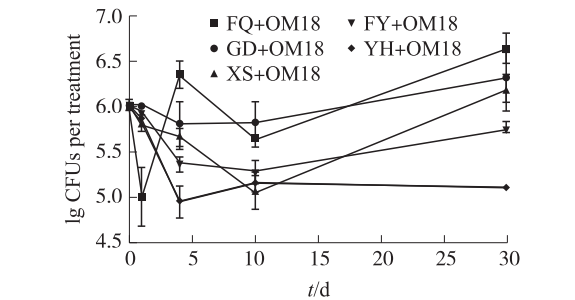
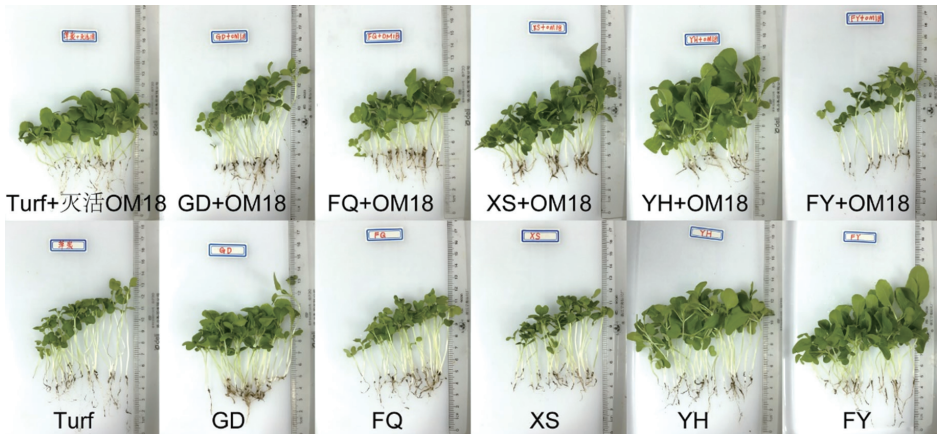


图 2 5 种有机肥接种 *Bacillus asahii* OM18 固体发酵生长曲线
Fig. 2 Growth curve of *Bacillus asahii* OM18 solid-state fermentation inoculating five organic fertilizers



Turf: 草炭;GD:广东鸡粪有机肥;FQ:封丘站有机肥;XS:习水菜粕有机肥;YH:亿海酒糟有机肥;FY:阜阳牛粪有机肥. OM18: *Bacillus asahii* OM18. OM18 试验组为 6 个接菌处理:Turf+灭活 OM18、GD+OM18、FQ+OM18、XS+OM18、YH+OM18、FY+OM18,CK 对照组为 6 个不接菌处理:Turf、GD、FQ、XS、YH、FY.

图 3 育苗盘培养肥效测试植物小白菜收获

Fig. 3 Vegetables harvest of seedling trays using organic fertilizer with/without *B. asahii* OM18 inoculant as culture matrix

2.5 潮土回接盆栽试验

以华北平原典型潮土为供试土壤,玉米为供试植物,接种以习水菜粕有机肥(XS)为菌剂载体制备的 OM18 菌剂,测试 OM18 菌剂在潮土中的植物促生效果. 结果显示,经过 56 d 的生长,不施有机肥不接菌剂的土壤(Control)处理玉米生物量(2.17 ± 0.21) g 最低;施有机肥可显著提高玉米的生物量(7.97 ± 0.54) g

(Organic + XS); 施有机肥接种灭活 OM18 菌剂 (Inactive inoculant) (8.06 ± 0.62) g 与施有机肥 (Organic+XS) 处理肥力水平相当; 施有机肥接种 OM18 菌剂 (9.27 ± 0.95) g (Inoculant) 比有机肥接种灭活 OM18 菌剂 (Inactive inoculant) 处理更能促进玉米生长. 比较不同处理玉米茎叶干重差异 Turkey HSD 检验统计结果显示, 施有机肥接种 OM18 菌剂 (Inoculant) 处理玉米茎叶干重显著 ($P < 0.05$) 高于其他处理. 因此, 潮土回接盆栽试验结果表明以习水菜粕有机肥 (XS) 为菌剂载体制备的 OM18 菌剂能够在潮土施有机肥土壤中促进玉米的生长.

为促进我国农业的可持续发展, 适应有机、绿色农业的发展趋势, 微生物肥料凭借其肥效高、成本低、可节约能源和环境友好等特点, 作为化学肥料的有效替代品将在未来农业中发挥重要的作用^[15]. 合理开发和利用微生物肥料, 是我国农业持续发展的重要途径. 我国生物肥料研究始于 20 世纪 50 年代, 从豆科根瘤菌接种剂开始, 逐渐扩大到可用于非豆科作物的多种细菌肥料^[16]. 目前, 微生物肥料包括微生物接种剂 (microbial inoculant)、复合微生物肥料 (compound microbial fertilizer) 和生物有机肥 (microbial organic fertilizer)^[17]. 微生物有机肥料是在微生物肥料基础上发展起来的一种高效、无毒、无污染、无公害的新型肥料, 集有机肥料与微生物肥料优点于一身^[18].

芽胞杆菌 *B. asahii* OM18 是长期施有机肥潮土中出现的一种优势芽胞杆菌, 该类芽胞杆菌在潮土地力提升中起重要作用^[3]. 优良的菌种资源应用于实际生产的关键技术是制备出优质的菌剂. 在生产实践中, 将实验室中筛选获得的功能微生物添加到有机肥中并保持其生物活性是微生物有机肥料生产的技术难点. 因此, 能否制备出优质的芽胞杆菌 *B. asahii* OM18 菌剂成为该菌种资源能否用于实践生产的关键.

研究发现, 5 种有机肥接种芽胞杆菌 *B. asahii* OM18 固体发酵, 经过 30 d 固体发酵后, 封丘站有机肥 (FQ) 中细菌数最高, 习水菜粕有机肥 (XS) 也能保持细菌数量 (图 2). 分析原因可能是菜粕中的主要成分包括粗脂肪、粗蛋白、植酸 (环己六醇六磷酸酯) 等多种营养组分^[19-20], 脂肪和蛋白质还能水解产生脂肪酸和氨基酸等, 课题组前期试验表明该菌种具有利用短链脂肪酸^[21]、支链氨基酸和烷基磷酸酯的遗传特征^[6], 因此 OM18 能够利用在菜粕中的营养物质生长繁殖. 另外封丘站有机肥 (FQ) 正是封丘站长期定位施肥实验中潮土长期施用的有机肥, 该肥料以粉碎的麦秆为主, 通过添加大豆饼和棉仁饼提高 N 含量^[22], 因此, 封丘站有机肥 (FQ) 适宜芽胞杆菌 *B. asahii* OM18 生长, 固体培养细菌数最高. 在潮土施用该有机肥 2~4 年后 *B. asahii* 成为优势种, 8 年后作物产量与等 N 施化肥产量相当^[4]. 但是, 作物产量的提高并没有和 *B. asahii* 优势种同步出现, 说明在 *B. asahii* 优势种等微生物的作用下, 封丘站有机肥 (FQ) 中的养分没能及时释放给植物利用. 为了观察有机肥在 *B. asahii* OM18 作用下对植物生长的影响, 研究进一步通过育苗盘实验测试菌株与有机肥配伍对小白菜的促生效果. 实验结果表明, 与草炭 (Turf) 处理对照相比较, 接种 *B. asahii* OM18 菌液的习水菜粕有机肥 (XS) 处理 (XS+OM18) 小白菜生物量显著高于不接菌 (XS) 处理 (图 3, 图 4). 与不接菌的习水菜粕有机肥 (XS) 相比, 接种 *B. asahii* OM18 的习水菜粕有机肥 (XS) 中的养分更易释放给植物利用, 从而使得植物生长良好. 为了进一步考察用菜粕制备的 *B. asahii* OM18 菌剂在潮土中的生态功能, 将菜粕有机肥制备的 *B. asahii* OM18 菌剂回接潮土, 玉米盆栽试验的结果表明, 菜粕有机肥与 *B. asahii* OM18 菌剂混合后的微生物有机肥料在潮土中能够显著促进玉米的生长, 接种活性菌剂的处理 (Inoculant) 比不接种菌剂 (Organic + XS) 和接种灭活菌剂处理 (Inactive inoculant) 玉米生长旺盛 (图 5), 植物生物量高 ($P < 0.05$) (图 6). 其原因可能是在缺磷的潮土中, *B. asahii* OM18 活菌能够利用来源于菜粕有机肥中的碳源 (短链脂肪酸) 生长繁殖, 同时将蛋白质 (氨基酸)、植酸中含有的氮和磷转换成植物能够利用的有效成分.

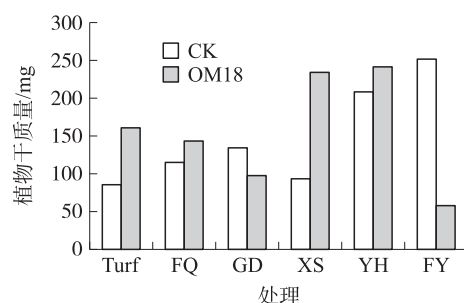


图 4 有机肥接种 OM18 育苗盘效应测试植物干重
Turf: 草炭; GD: 广东鸡粪有机肥; FQ: 封丘站有机肥; XS: 习水菜粕有机肥; YH: 亿海酒糟有机肥; FY: 阜阳牛粪有机肥. OM18: *Bacillus asahii* OM18; CK 对照组为 6 个不接菌处理: Turf、GD、FQ、XS、YH、FY; OM18 试验组为 6 个接菌处理: Turf + 灭活 OM18、GD + OM18、FQ + OM18、XS + OM18、YH + OM18、FY + OM18.

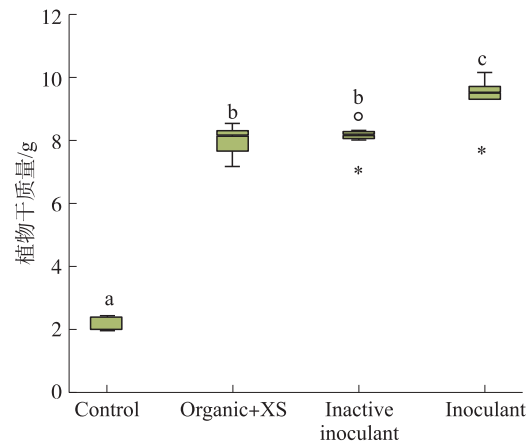
图 4 有机肥接种 OM18 育苗盘效应测试植物干重
Fig. 4 Plant dry weight of seedling trays using organic fertilizer with/without *B. asahii* OM18 inoculant as culture matrix



对照:潮土不施肥不接种;潮土+习水菜粕有机肥(XS);不接种;潮土+习水菜粕有机肥(XS)+灭活 OM18 菌剂;接种:潮土+习水菜粕有机肥(XS)+OM18 菌剂。

图 5 OM18 菌剂潮土回接盆栽试验

Fig. 5 Pot experiment of maize growing in the fluvo-aquic soil with OM18 inoculant in the greenhouse.



Control:潮土不施肥不接种;Organic+XS:潮土+习水菜粕有机肥(XS);Inactive inoculant:潮土+习水菜粕有机肥(XS)+灭活 OM18 菌剂;Inoculant:潮土+习水菜粕有机肥(XS)+OM18 菌剂。a,b,c 采用多重比较 Turkey HSD 检验统计方法,在 0.05 显著性水平下,不同字母表示处理间差异显著。

图 6 潮土回接 OM18 菌剂温室试验玉米茎叶干重

Fig. 6 Shoots and leaves dry weight of maize growing in the fluvo-aquic soil with OM18 inoculant in the greenhouse

3 结论

本文通过固体发酵培养、育苗盘肥效测试和潮土回接盆栽实验,从 5 种农业废弃物生产的有机肥(封丘站有机肥、鸡粪有机肥、酒糟有机肥、菜粕有机肥和牛粪有机肥)中筛选出菜粕有机肥(XS)适合作为 *B. asahii* OM18 菌剂载体吸附剂,并且菜粕有机肥复合 *B. asahii* OM18 菌剂能够提升潮土地力,促进玉米的生长。这些研究结果为该菌种资源在我国华北平原的实际应用提供理论基础,同时为农业废弃物的资源化提供新的思路。

[参考文献]

- [1] 曹志宏,郝晋珉,梁流涛. 黄淮海平原粮食产量与主要投入要素的灰色关联分析[J]. 农业现代化研究,2008(3):310-313.
- [2] 中国科学院南京土壤研究所. 中国科学院封丘农业生态实验站[J]. 中国科学院院刊,2017,32(12):1409-1410,封 1403.
- [3] 林先贵,冯有智. 潮土农田微生物研究进展[J]. 中国生态农业学报,2016,24(4):416-434.
- [4] FENG Y, CHEN R, HU J, et al. *Bacillus asahii* comes to the fore in organic manure fertilized alkaline soils[J]. Soil biology & biochemistry, 2015, 81:186-194.
- [5] 冯有智,陈瑞蕊,赵飞,等. 潮土地力提升中脱颖而出的一类微生物[C]//第八次全国土壤生物与生物化学学术研讨会暨第三次全国土壤健康学术研讨会论文摘要集. 广东:全国土壤生物与生物化学研讨会,2015.
- [6] JIANG H, FENG Y, ZHAO F, et al. Characteristics and complete genome analysis of *Bacillus asahii* OM18, a Bacterium in relation to soil fertility in alkaline soils under long-term organic manure amendment[J]. Current microbiology, 2019, 76(12):1512-1519.
- [7] SINGH A, PARMAR N, KUHAD R C. Bioaugmentation, biostimulation and biocontrol[M]. Berlin Heidelberg:Springer-Verlag, 2011.
- [8] 周新根,朱宗源,汪树俊. 辅以拮抗微生物的有机添加物对蔬菜土传病原菌的生物防治作用[J]. 上海农业学报,1994,10(4):53-58.
- [9] 朱震,陈芳,肖同建,等. 拮抗菌生物有机肥对番茄根结线虫的防治作用[J]. 应用生态学报,2011,22(4):1033-1038.
- [10] 侯金玉. 根际促生菌强化植物修复石油污染土壤的机理及其应用研究[D]. 北京:中国科学院大学,2015.

- [11] 葛诚. 第一讲 微生物肥料概述[J]. 土壤肥料, 1993, (6): 43-46.
- [12] 宁国赞. 第二讲 微生物肥料的质量管理[J]. 土壤肥料, 1993, (6): 46-47, 49.
- [13] NY/T 2321-2013. 微生物肥料产品检验规程[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2013.
- [14] 柳芳, 田伟, 李凌之, 等. 生防枯草芽孢杆菌 SQR9 固体发酵生产生物有机肥的工艺优化[J]. 应用与环境生物学报, 2013, 19(1): 90-95.
- [15] 吴建峰, 林先贵. 我国微生物肥料研究现状及发展趋势[J]. 土壤, 2002, (2): 68-72.
- [16] 范丙全. 我国生物肥料研究与应用进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1602-1613.
- [17] NY/T 1113-2006. 微生物肥料术语[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2006.
- [18] 林先贵, 胡君利, 尹睿, 等. 土壤微生物研究原理和方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [19] 严佑君, 刘玉兰, 马宇翔. 菜籽制油过程中主要成分变化的研究[J]. 农业机械, 2011(11): 61-64.
- [20] 邱立明, 孟橘, 魏冰, 等. 菜籽粕中植酸高效提取的工艺研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(8): 150-152.
- [21] YUMOTO I, HIROTA K, YAMAGA S, et al. *Bacillus asahii* sp nov., a novel bacterium isolated from soil with the ability to deodorize the bad smell generated from short-chain fatty acids[J]. International journal of systematic and evolutionary microbiology, 2004, 54: 1997-2001.
- [22] 钦绳武, 顾益初, 朱兆良. 潮土肥力演变与施肥作用的长期定位试验初报[J]. 土壤学报, 1998, 35(3): 367-375.

[责任编辑: 黄 敏]