

酸解羽毛粉研制生物有机肥及其促生效果研究^①

刁春武^{1,2}, 曹亮亮¹, 黄忠阳², 王东升^{1,2}, 周晓平², 王蓓^{1,3}, 李荣^{1*}, 沈其荣¹

(1 国家有机肥料工程技术研究中心, 农业部长江中下游植物营养与肥料重点实验室, 江苏省固体有机废弃物资源化高技术研究重点实验室, 江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心, 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 南京市蔬菜科学研究所, 南京 210042; 3 南京秦邦吉品农业开发有限公司, 南京 211516)

摘要: 为提升生物有机肥料中功能微生物的数量, 腐熟堆肥中添加外源氨基酸固态发酵功能菌是研制生物有机肥的主要手段。目前主要外源添加氨基酸菜粕的高成本严重阻碍了生物有机肥产业的发展。本试验通过研究酸解羽毛粉作为外源添加蛋白对固态发酵功能菌的影响及其所研制生物有机肥的促生效果, 以开发生物有机肥新的原料配方。研究表明, 腐熟堆肥中, 随着酸解羽毛粉添加量的增加, 所研制生物有机肥中功能菌的数量呈现先增加后下降趋势, 为促进功能菌的增殖, 酸解羽毛粉最优添加量为 50 g/kg; 盆栽试验结果表明, 酸解羽毛粉作为外源蛋白添加制成的生物有机肥能够显著增加茄子和番茄株高、茎粗和 SPAD 值, 移栽 20 天时, 相比于对照, 茄子分别增加 19.02%、29.02% 和 4.80%; 移栽 50 天时, 番茄分别增加 14.74%、18.70% 和 4.74%。研究表明, 酸解羽毛粉作为外源蛋白添加剂能够有效增殖固体发酵过程中的功能菌, 研制的低成本生物有机肥具有优异的促生效果, 研究结果能够为生物有机肥产业的发展提供理论依据。

关键词: 酸解羽毛粉; 生物有机肥; 促生

中图分类号: S144.9

现代农业中, 随着家禽养殖的大规模扩张, 家禽羽毛废弃物产量越来越多, 我国 2008 年年产量已超过 70 万 t^[1]。一方面, 羽毛作为废弃物不能得到合理处理将造成大范围的环境污染, 制约经济发展; 另一方面, 由于羽毛中角蛋白资源丰富, 若能将其合理利用, 将是不错的可循环利用资源^[2-3]。化学处理法为常用羽毛资源化方法, 包括酸解法和碱解法, 主要用于饲料工业和氨基酸工业, 其能得到较高的氨基酸转化率, 并且大量研究表明硫酸水解工艺是最佳生产工艺^[4-5]。以羽毛角蛋白为原料酸解提取特定氨基酸后, 剩余母液仍含有丰富的营养, 若将其丢弃将造成资源浪费, 同时对环境产生污染, 急需开发出高附加值利用技术^[6]。

生物有机肥是指特定功能微生物与主要以动植物残体(如畜禽粪便、农作物秸秆等)为来源并经无害化处理、腐熟的有机物料复合而成的一类兼具微生物

肥料和有机肥效应的肥料^[7-9]。生物有机肥产品质量的关键指标是产品的有效活菌数, 添加外源氨基酸固态发酵工艺促进功能微生物的繁殖, 是目前生产高效生物有机肥的重要手段^[10-12]。菜粕为目前主要的外源添加原料, 大量的研究中菜粕的添加量已经达到 50%, 虽肥料效果很好, 但由于菜粕成本较高, 导致该类生物有机肥虽具优异的效果, 但大面积推广受到限制^[13]。因此, 考虑开发更多的廉价蛋白源固体废弃物作为生物有机肥生产中的外源添加氨基酸来代替部分菜饼, 在确保生物有机肥品质的前提下大幅度降低肥料成本, 将为生物有机肥产业快速发展提供保障。

本试验从资源化利用和节约成本角度出发, 通过研究酸解羽毛粉作为外源氨基酸添加剂对固态发酵中功能菌数量的影响及所研制肥料对植株的促生效果, 以期开发出酸解羽毛粉新的资源化利用工艺, 同

基金项目: 国家高技术发展计划(863 计划)项目(2013AA102802), 中央高校基本科研业务费专项资金项目(KYZ2015197 和 KYCYL201502), 国家自然科学基金项目(31572212), 南京市科技计划项目(201505041), 江苏省固体有机废弃物资源化高技术研究重点实验室开放基金项目(BM201101301)和青蓝工程项目资助。

* 通讯作者(lirong@njau.edu.cn)

作者简介: 刁春武(1968—), 男, 江苏姜堰人, 在职研究生, 主要研究方向为土壤肥料、园艺植物栽培。E-mail: diaocw54@163.com

时研制出低成本高效生物有机肥。

1 材料与方 法

1.1 材料

固态发酵原料：普通腐熟鸡粪堆肥含全氮(N) 6.1 g/kg, 全磷(P₂O₅)10.8 g/kg 和全钾(K₂O)16.9 g/kg; 酸水解羽毛粉由新沂市汉菱生物工程有限公司提供, 是羽毛经酸水解后提取有用氨基酸后干燥制成的粉末物。酸解羽毛粉含水量为 6.67%, pH 3.64, 总氮 179.1 g/kg, 碳氮比为 1.2。

菌种：*Bacillus amyloliquefaciens*SQR9(SQR9)由本实验室保存^[7]。

1.2 酸解羽毛粉不同添加量对固态发酵过程中功能菌数量的影响

LB 液体培养基配方^[8]：蛋白胨 10 g/L, 酵母粉 5 g/L, 氯化钠 10 g/L, pH 7.0~7.2, 121℃ 下灭菌 20 min。

菌液制备：接种 SQR9 菌种至 LB 液体培养基中制成种子液, 种子液按照 1%的比例转接至 LB 液体培养基中, 30℃、170 r/min 培养 36 h 左右即可, 下同。

为比较酸解羽毛粉对固态发酵过程中功能菌数量的影响, 共设置 5 个处理：BOF, 腐熟鸡粪堆肥中不添加酸解羽毛粉; BIO-1, 腐熟鸡粪堆肥中添加 10 g/kg 酸解羽毛粉; BIO-2, 腐熟鸡粪堆肥中添加 30 g/kg 酸解羽毛粉; BIO-3, 腐熟鸡粪堆肥中添加 50 g/kg 酸解羽毛粉; BIO-4, 腐熟鸡粪堆肥中添加 100 g/kg 酸解羽毛粉。每个堆体 2 kg 干重, 菌液加入量为 100 ml/kg, 调节含水量一致, 室温下发酵一周取样计功能菌数量。

1.3 盆栽试验

盆栽试验供试作物为茄子和番茄。试验共设 6 个处理(表 1), 每个处理 10 个重复。每个盆栽装 3 kg 土, 施肥量为 10 g/kg 干土, 将土与肥料混合均匀后备用。待育苗钵中幼苗两片真叶完全打开后, 移至盆栽中。常规水肥管理。

表 1 盆栽试验处理

Table 1 Information of treatments for pot experiments

处理代号	具体配方
OF	施用鸡粪有机肥
BOF	施用鸡粪生物有机肥 BOF
BIO-1	施用生物有机肥 BIO-1(添加 10 g/kg 酸解羽毛粉)
BIO-2	施用生物有机肥 BIO-2(添加 30 g/kg 酸解羽毛粉)
BIO-3	施用生物有机肥 BIO-3(添加 50 g/kg 酸解羽毛粉)
BIO-4	施用生物有机肥 BIO-4(添加 100 g/kg 酸解羽毛粉)

1.4 测定方法

1) 肥料中功能菌 SQR9 数量测定。称取肥料鲜

样 5 g 于 45 ml 无菌水中, 振荡 20 min 混匀后梯度稀释, 选择合适梯度的稀释液涂布于选择性培养基平板上, 30℃ 培养 36 h 左右计数。选择性培养基配方如下^[14]：蛋白胨 10 g/L, 酵母粉 5g/L, 氯化钠 10 g/L, pH 7.0~7.2, 琼脂 20 g/L, 121℃ 下灭菌 20 min。冷却后加入 20 mg/L 多粘菌素和 40 mg/L 放线菌酮。

2) 植株生物量测定。在茄子移栽后 20、30 天, 番茄移栽后 20、30、50 天分别测株高、茎粗和 SPAD 值; 最后一次测量时取植株地上部测其干、鲜重。

3) 土壤中可培养微生物的统计^[15]。50 天时, 采集番茄地下部用于可培养微生物的统计, 抖落所有附着在番茄植株根系上的土壤后, 每 10 g 根加 90 ml 无菌水放入事先装有玻璃珠的三角瓶中, 再将三角瓶在 170 r/min 下震荡 20 min, 然后超声波 15 min, 此时洗脱在无菌水中的土壤即为根际土壤。土体土为番茄根部抖落下的土。细菌计数采用牛肉膏蛋白胨培养基, 放线菌计数采用高氏 1 号培养基, 真菌计数采用马丁氏培养基。

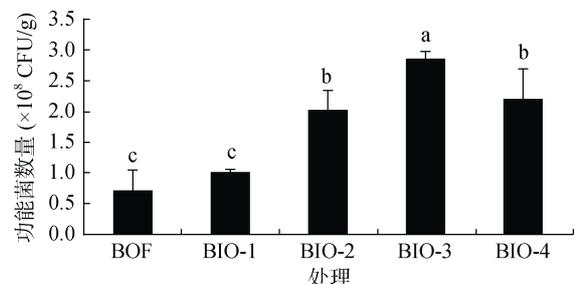
1.5 数据分析

采用 Excel 2010 进行数据分析, 用 SPSS 16.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 酸解羽毛粉不同添加量对固态发酵过程中功能菌数量的影响

不同含量酸解羽毛粉与腐熟鸡粪固态发酵功能菌结果如图 1 所示。结果表明, 随着酸解羽毛粉添加量的增加, 生物有机肥中功能菌的数量呈现先增加后下降趋势, 10 g/kg 添加量对增殖效果不显著; 当添加量增至 50 g/kg 时, 肥料中功能菌的数量达到最高, 为 2.86×10^8 CFU/g, 并且显著高于其他处理。表明酸



(BOF: 纯鸡粪生物有机肥; BIO-1: 添加 10 g/kg 酸解羽毛粉; BIO-2: 添加 30 g/kg 酸解羽毛粉; BIO-3: 添加 50 g/kg 酸解羽毛粉; BIO-4: 添加 100 g/kg 酸解羽毛粉; 不同字母表示同一时期处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平; 下同)

图 1 不同含量酸解羽毛粉对固态发酵过程中功能菌数量的影响

Fig. 1 Effects of different amounts of hydrolyzed feather powder on number of SQR9

解羽毛粉丰富的营养给微生物的生长创造了良好的环境,能促进微生物的增殖,酸解羽毛粉的添加量高于 10 g/kg 较适宜。

2.2 酸解羽毛粉不同添加量所研制生物有机肥的理化性质

添加不同量酸解羽毛粉所研制生物有机肥基本性质见表 2。随着酸解羽毛粉添加量的增加,生物有机肥

的全氮含量和电导率不断增加, pH 逐渐下降。但是羽毛粉含量的增加对有机质、全钾、全磷含量影响不显著。比较 OF(普通腐熟鸡粪堆肥)与 BOF 处理,添加功能菌固态发酵后,肥料的全氮含量有所降低,但差异不显著, pH 上升,电导率也有小幅度上升,说明微生物的作用降解了有机肥中部分物质,提高肥料中离子浓度。综上,在肥料中添加酸解羽毛粉可以提高肥料的品质。

表 2 不同处理肥料的基本理化性质
Table 2 Basic physicochemical properties of different fertilizers

处理	全氮(N, g/kg)	全钾(K ₂ O, g/kg)	全磷(P ₂ O ₅ , g/kg)	pH	电导率(mS/cm)
OF	6.7 ± 0.1 d	1.08 ± 0.06 a	1.69 ± 0.03 b	8.05 ± 0.01 ab	3.00 ± 0.20 e
BOF	6.5 ± 0.2 d	0.99 ± 0.04 ab	1.73 ± 0.16 b	8.23 ± 0.06 a	3.12 ± 0.03 e
BIO-1	7.2 ± 0.2 c	1.07 ± 0.05 a	1.78 ± 0.14 b	7.95 ± 0.04 b	3.60 ± 0.09 d
BIO-2	7.2 ± 0.5 c	0.92 ± 0.06 ab	1.82 ± 0.04 ab	7.60 ± 0.16 c	4.59 ± 0.14 c
BIO-3	8.6 ± 0.2 b	0.81 ± 0.11 b	1.78 ± 0.01 ab	7.56 ± 0.06 c	5.93 ± 0.12 b
BIO-4	16.3 ± 0.2 a	1.06 ± 0.15 ab	1.69 ± 0.04 b	7.12 ± 0.22 d	11.93 ± 0.13 a

注：同列不同字母表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平；下同。

2.3 酸解羽毛粉不同添加量生物有机肥对茄子生长的影响

2.3.1 对株高、茎粗和 SPAD 值的影响 在茄子移栽 20 天和 30 天时,分别对株高、茎粗和 SPAD 值三个指标进行统计,结果见表 3。20 天时, BIO-3 处理的株高和茎粗显著高于 OF 和 BOF 处理,其他 3 个处理 BIO-1、BIO-2 和 BIO-4 处理的株高和茎粗显著高于 OF 处理,但与 BOF 处理差异不显著。比较各处理茄子叶片的 SPAD 值 除施用 100 g/kg 添加量酸解羽毛粉所研制生物有机肥的处理 BIO-4 显著高于 OF 处理外,其他各处理间差异不显著。30 天时,施用 50 g/kg 添加量酸

解羽毛粉所研制生物有机肥的 BIO-3 处理在株高、茎粗、SPAD 值上均显著高于 OF 和 BOF 处理;比较 4 个施用添加酸解羽毛粉生物有机肥处理,随着酸解羽毛粉添加量的增加,肥料对植株的促进作用越明显,施用 50 g/kg 添加量酸解羽毛粉生物有机肥的处理 BIO-3 株高最高,施用 100 g/kg 添加量酸解羽毛粉生物有机肥的 BIO-4 处理茎粗和 SPAD 值最高。OF 与 BOF 处理相比, BOF 处理茄子的株高显著高于 OF 处理,但在茎粗和 SPAD 值上差异不显著。说明在有机肥中添加功能菌可以增加茄子的株高,同时在有机肥中添加酸解羽毛粉能够进一步增加株高、茎粗和 SPAD 值。

表 3 不同酸解羽毛粉添加量生物有机肥对茄子株高、茎粗和 SPAD 值的影响
Table 3 Effects of bio-organic fertilizers with different amounts of hydrolyzed feather powders on plant height, stem diameter and SPAD value of eggplant

时间	处理	株高(cm)	茎粗(mm)	叶绿素 SPAD 值
20 天	OF	7.73 ± 0.25 d	4.41 ± 0.34 d	31.30 ± 1.51 b
	BOF	8.43 ± 0.40 c	5.01 ± 0.06 c	32.53 ± 1.58 ab
	BIO-1	9.50 ± 0.50 a	5.10 ± 0.12 bc	31.57 ± 1.80 ab
	BIO-2	8.67 ± 0.21 bc	5.29 ± 0.35 abc	32.77 ± 1.00 ab
	BIO-3	9.20 ± 0.62 ab	5.69 ± 0.18 a	32.80 ± 0.85 ab
	BIO-4	9.10 ± 0.10 abc	5.49 ± 0.12 ab	34.63 ± 2.58 a
30 天	OF	10.80 ± 0.36 c	4.97 ± 0.13 b	43.37 ± 0.75 d
	BOF	12.03 ± 0.15 b	5.10 ± 0.28 b	47.80 ± 1.85 c
	BIO-1	13.00 ± 0.50 a	5.15 ± 0.22 ab	48.17 ± 1.76 bc
	BIO-2	12.20 ± 0.17 ab	5.22 ± 0.10 ab	50.37 ± 1.44 bc
	BIO-3	13.07 ± 0.59 a	5.56 ± 0.37 a	50.73 ± 1.89 b
	BIO-4	12.50 ± 0.70 ab	5.59 ± 0.19 a	53.77 ± 0.42 a

2.3.2 对茄子地上部干、鲜重的影响 移栽 30 天后采集茄子植株,测定地上部干、鲜重,结果如图 2 所示,与有机肥对照(OF)相比,所有生物有机肥处理的地上部鲜重和干重均显著高于 OF 处理;与 BOF

处理相比,除 BIO-1 处理外,其他施用含酸解羽毛粉生物有机肥处理的地上部干、鲜重差异显著,且施用 50 g/kg 添加量酸解羽毛粉生物有机肥 BIO-3 处理的地上部鲜重和干重最高,显著高于其他处理。

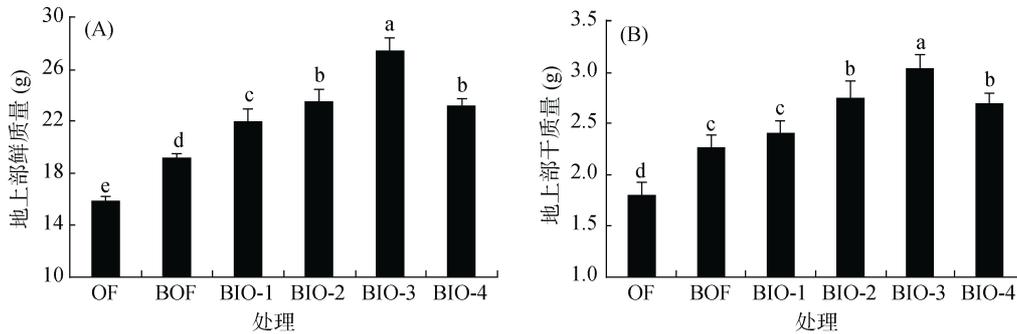


图 2 不同酸解羽毛粉添加量生物有机肥对茄子地上部鲜(A)、干重(B)的影响

Fig.2 Effects of bio-organic fertilizers with different amounts of hydrolyzed feather powders on above-ground fresh and dry weights of eggplant

2.4 不同酸解羽毛粉添加量生物有机肥对番茄生长的影响

2.4.1 对番茄株高、茎粗、SPAD 的影响 番茄移栽 20 天、30 天和 50 天时,分别对株高、茎粗、SPAD 三个指标进行统计,如表 4 所示,随着时间的推移,番茄各处理在株高和茎粗上表现的差异前后基本一致。30 天时,株高和茎粗值最高的处理是施用 50 g/kg 添加量酸解羽毛粉生物有机肥的 BIO-3 处理,其株高和茎粗分别是有机肥对照 OF 处理的 1.16 倍和 1.16 倍;50 天时,BIO-3 处理的株高和茎粗同样最高,分

别是 OF 处理的 1.15 倍和 1.19 倍,是生物有机肥对照 BOF 处理的 1.11 倍和 1.10 倍,而施用 100 g/kg 添加量酸解羽毛粉生物有机肥的 BIO-4 处理,其株高和茎粗是 OF 处理的 1.10 倍和 1.12 倍,是 BOF 处理的 1.06 倍和 1.05 倍。当添加量达到 50 g/kg 时,继续添加酸解羽毛粉,株高和茎粗与添加量不呈正相关,可能与酸解羽毛粉 pH 值较低有关,过多添加酸解羽毛粉会降低肥料 pH,施入土壤后影响根际土壤 pH,从而影响根际微生物群落,不利于植株生长。在 20 天和 30 天时,番茄叶片各处理间 SPAD 值差异不明显,

表 4 不同处理对番茄株高、茎粗和 SPAD 值的影响

Table 4 Effects of bio-organic fertilizers with different amounts of hydrolyzed feather powders on plant height, stem diameter and SPAD value of tomatoes

时间	处理	株高(cm)	茎粗(mm)	叶绿素 SPAD 值
20 天	OF	17.33 ± 0.76 c	5.42 ± 0.18 ab	45.95 ± 2.37 a
	BOF	18.10 ± 0.99 bc	5.43 ± 0.25 ab	46.85 ± 2.47 a
	BIO-1	18.73 ± 0.97 abc	5.58 ± 0.26 a	44.90 ± 3.19 a
	BIO-2	19.33 ± 1.44 ab	5.51 ± 0.29 ab	45.50 ± 5.09 a
	BIO-3	20.17 ± 0.76 a	5.34 ± 0.34 ab	43.43 ± 0.43 a
	BIO-4	19.67 ± 1.53 ab	5.07 ± 0.28 b	47.63 ± 2.32 a
30 天	OF	35.33 ± 1.53 c	5.71 ± 0.12 c	47.67 ± 0.86 b
	BOF	40.83 ± 1.53 ab	6.01 ± 0.20 bc	47.77 ± 0.29 b
	BIO-1	41.33 ± 1.26 ab	6.32 ± 0.21 ab	47.40 ± 0.17 b
	BIO-2	41.67 ± 2.08 a	6.49 ± 0.08 a	48.37 ± 0.49 b
	BIO-3	41.50 ± 1.56 a	6.60 ± 0.19 a	49.33 ± 1.33 b
	BIO-4	38.67 ± 0.29 b	6.52 ± 0.07 a	52.48 ± 1.82 a
50 天	OF	47.50 ± 3.91 b	6.21 ± 0.22 c	42.80 ± 1.06 e
	BOF	49.00 ± 4.58 b	6.67 ± 0.07 bc	43.53 ± 0.85 de
	BIO-1	50.33 ± 2.52 ab	6.84 ± 0.30 b	43.97 ± 1.50 de
	BIO-2	51.67 ± 1.89 ab	6.88 ± 0.19 ab	46.87 ± 1.87 bcd
	BIO-3	54.50 ± 2.18 a	7.37 ± 0.30 a	44.83 ± 1.52 cde
	BIO-4	52.17 ± 0.76 ab	6.98 ± 0.17 ab	50.73 ± 0.93 a

而 50 天时,当酸解羽毛粉添加量达到 30 g/kg 时,番茄叶片的 SPAD 值高于 BOF 处理,其中施用 100 g/kg 添加量酸解羽毛粉生物有机肥 BIO-4 处理的 SPAD 值显著高于 OF 和 BOF 处理,分别是 OF 和 BOF 处理的 1.19 倍和 1.17 倍。酸解羽毛粉能增加番茄生长后期叶片中的叶绿素含量,与酸解羽毛粉游离氨基酸含量高有关,游离氨基酸能螯合多种微量元素,促进植株生长。

2.4.2 对番茄地上部干、鲜重的影响 番茄种植 50 天后其地上部干、鲜重如图 3 所示,结果表明:与有机肥对照 OF 相比,所有施用生物有机肥处理的地上部干、鲜重显著高于 OF 处理;与施用生物有机

肥对照 BOF 处理相比,除 BIO-1 处理干重差异不显著外,其他施用添加酸解羽毛粉生物有机肥的处理的地上部干、鲜重都高于 BOF,且差异显著。当生物有机肥中酸解羽毛添加量为 50 g/kg 和 100 g/kg,施用这两种肥料的 BIO-3 和 BIO-4 处理地上部鲜重和干重最高,分别是 BOF 处理的 1.99 倍、1.36 倍和 1.88 倍、1.40 倍。不同酸水解羽毛粉添加量生物有机肥对番茄植株地上部干、鲜重的影响与对茄子地上部干、鲜重的影响基本一致。由此推测,将酸解羽毛加入畜禽粪便中发酵制成的生物有机肥对植株生长具有普遍促进作用,可以显著增加植株的地上部干、鲜重,酸解羽毛粉的添加量选择 50 g/kg 即可。

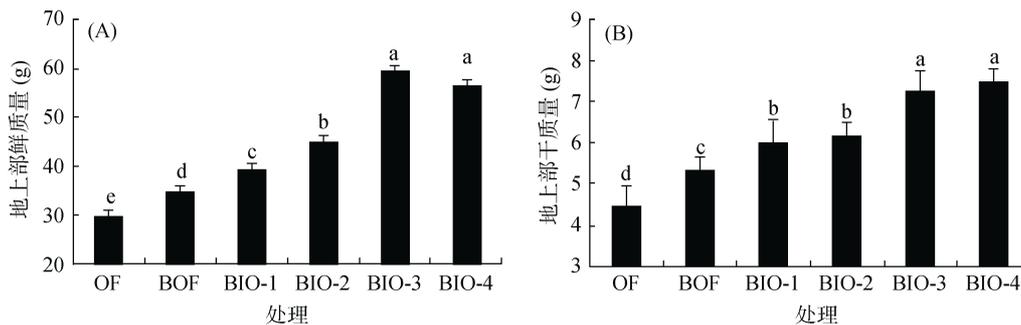


图 3 不同酸解羽毛粉添加量生物有机肥对番茄地上部鲜重(A)、干重(B)的影响

Fig. 3 Effects of bio-organic fertilizers with different amounts of hydrolyzed feather powders on fresh and dry weights of tomatoes

2.4.3 对番茄土壤中可培养微生物的影响 施肥 50 天后,对番茄根际土壤中可培养微生物的影响如表 5 所示,与施用有机肥对照 OF 处理相比,施用生物有机肥可以显著增加根际土壤中放线菌数量,减少真菌数量;与施用生物有机肥对照 BOF 处理相比,施用 10 g/kg、30 g/kg 添加量酸解羽毛粉的生物有机肥 BIO-1 和 BIO-2 处理根际土壤中细菌、放线菌和真菌数量差异不显著;但当添加量达到 50 g/kg 时,施用该生物有机肥 BIO-3 处理能显著增加根际土壤中细菌和放线菌数量,显著减少真菌数量。BIO-3 处理根际土中细菌数量是 OF 和 BOF 处理的 1.37 倍和

1.33 倍,放线菌是 OF、BOF 处理的 2.36 倍和 1.35 倍,真菌数量较少为 OF 处理的 36.57%、BOF 处理的 76.95%。所以在有机肥中添加酸解羽毛粉能够很好地改善根际土壤中微生物的群落结构,酸解羽毛粉的添加量达到 50 g/kg 时对可培养微生物的影响已经很显著。

施肥 50 天后,对番茄土体土中可培养微生物的影响如表 6 所示,与施用有机肥对照 OF 处理相比,施用生物有机肥可以增加根际土壤中细菌和放线菌数量,减少真菌数量,其中对真菌的影响最显著;随着生物有机肥中酸解羽毛粉添加量的增加,土壤中细菌和放线菌的数量上升,真菌数量下降。表明酸解羽毛粉能影响土壤中微生物群落结构。当生物有机肥中酸解羽毛粉的添加量达到 50 g/kg 时,施用此肥料的 BIO-3 处理中可培养微生物的数量与 OF 和 BOF 处理差异极显著,BIO-3 处理中细菌数量是 OF、BOF 处理的 1.84 倍和 1.36 倍,放线菌是 OF、BOF 处理的 3.56 倍和 2.14 倍,真菌数量减少至 OF 处理的 45.37%、BOF 处理的 69.49%。以上结果表明在有机肥中添加酸解羽毛粉能够改善土体土中微生物的群落结构,酸解羽毛粉的添加量达到 50 g/kg 时对可培养微生物的影响已经很显著。

表 5 不同酸解羽毛粉添加量生物有机肥对番茄根际土中可培养微生物的影响

Table 5 Effects of bio-organic fertilizers with different amounts of hydrolyzed feather powders on number of culturable microbes in rhizosphere soil of tomatoes

处理	细菌 ($\times 10^8$ CFU/g)	放线菌 ($\times 10^7$ CFU/g)	真菌 ($\times 10^4$ /CFU/g)
OF	1.14 ± 0.14 d	1.71 ± 0.28 e	7.30 ± 0.35 a
BOF	1.17 ± 0.03 cd	2.98 ± 0.13 cd	3.47 ± 0.15 b
BIO-1	1.53 ± 0.25 abc	2.73 ± 0.24 d	3.63 ± 0.21 b
BIO-2	1.33 ± 0.28 bcd	3.12 ± 0.12 bc	3.27 ± 0.31 b
BIO-3	1.56 ± 0.21 ab	4.03 ± 0.17 a	2.67 ± 0.23 c
BIO-4	1.76 ± 0.17 a	3.38 ± 0.07 b	2.03 ± 0.21 d

表 6 不同酸解羽毛粉添加量生物有机肥对番茄土体土壤中可培养微生物的影响

Table 6 Effects of bio-organic fertilizers with different amounts of hydrolyzed feather powders on number of culturable microbes in soil of tomatoes

处理	细菌 ($\times 10^7$ CFU/g)	放线菌 ($\times 10^6$ CFU/g)	真菌 ($\times 10^3$ CFU/g)
OF	1.90 \pm 0.19 d	1.11 \pm 0.28 b	20.63 \pm 2.43 a
BOF	2.57 \pm 0.27 c	1.85 \pm 0.35 b	13.47 \pm 0.69 b
BIO-1	2.31 \pm 0.50 cd	1.82 \pm 0.40 b	9.09 \pm 3.12 c
BIO-2	2.41 \pm 0.25 d	1.66 \pm 0.41 b	4.74 \pm 1.19 d
BIO-3	3.50 \pm 0.19 b	3.95 \pm 1.25 a	9.36 \pm 0.71 c
BIO-4	5.76 \pm 0.56 a	3.39 \pm 0.62 a	8.99 \pm 3.08 c

3 结论与讨论

本研究以腐熟鸡粪为主要材料,酸解羽毛粉为外源固态发酵氨基酸添加剂,研究了其添加对根际促生细菌(PGPR)的固态发酵效果。随着酸解羽毛粉的增加,生物有机肥中功能菌的数量先上升后下降,当酸解羽毛粉的添加量为 50 g/kg 时,肥料中功能菌数量最多,并且显著高于其他处理。功能菌有效活菌数是生物有机肥在克服土传病害和促进作物生长方面的关键因素^[16],结合梯度选择试验,本研究最终确立酸解羽毛粉的最优添加量为 50 g/kg。

盆栽结果表明:当施用的肥料中添加 50 g/kg 酸水解羽毛粉即对茄子、番茄的株高和茎粗有最大的促进作用,显著增加地上部干、鲜重。这可能是由于这新研制的生物有机肥中首先含有大量的功能菌 *Bacillus amyloliquefaciens*SQR-9,该菌株已经被证明能够显著促进黄瓜和茄子植株的生长^[13,17]。其次所研制生物有机肥由于酸解羽毛粉的添加,提高了肥料中养分的含量,增加养分含量是促进作物生长的有效手段;更重要的是所添加的酸解羽毛粉含有丰富的游离氨基酸,外源氨基酸已经被广泛证实能够有效促进植物的生长^[18-20]。然而添加 100 g/kg 酸水解羽毛粉研制的生物有机肥的促生效果却低于 50 g/kg 添加量的效果,这可能是由于肥料中电导率过高的原因(表 2)。

另一方面,施用添加酸解羽毛粉制成的生物有机肥能改善根际可培养微生物的组成。大量的研究表明:长期连作与非连作植物根际土壤相比,微生物区系遭到破坏,细菌的数量明显下降,放线菌的数量略微下降,而真菌的数量显著上升,连作土壤普遍真菌化^[21-22]。本研究中施用添加 50 g/kg 酸水解羽毛粉生物有机肥的处理 BIO-3 根际土中细菌数量是施用有机肥对照 OF 处理和施用生物有机肥对照 BOF 处理的 1.37 倍和 1.33 倍,放线菌是 OF、BOF 处理的 2.36 倍、1.35 倍,真菌数量较少为 OF 处理的 36.57%、

BOF 处理的 76.95%。初步表明该生物有机肥在连作土壤中的田间应用,将能缓解这一难题,这与曹亮亮等^[3]研究的结论一致,但实际效果仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] 周小霞,胥江河,李明川,等. 废弃羽毛资源化利用研究进展[J]. 重庆工商大学学报, 2008, 25(3): 270-273
- [2] 曹亮亮,王康,马婧,等. 酸解羽毛粉代替蛋白胨研制新型细菌培养基[J]. 微生物学通报, 2014, 41(11): 2 353-2 361
- [3] 曹亮亮,张苗,施娟娟,等. 添加蛋白原料辅助固态发酵生产功能菌生物有机肥的研究[J]. 南京农业大学学报, 2014, 37(2): 85-91
- [4] 刘玉芬,仇德勇,徐伟,等. 羽毛粉加工工艺与开发[J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(1): 87-88
- [5] 张大雷,单安山. 羽毛粉蛋白饲料的开发及其在畜牧生产中的应用[J]. 饲料工业, 2003, 24(9): 49-51
- [6] 庄媛,周美华,赵晓祥. 羽毛角蛋白的提取及其应用进展[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(3): 65-69
- [7] 沈德龙,曹凤明,李力. 我国生物有机肥的发展现状及展望[J]. 中国土壤与肥料, 2007(6): 1-5
- [8] 赵秉强,张福锁,廖宗文,等. 我国新型肥料发展战略研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 536-545
- [9] 李庆康,张永春,杨其飞,等. 生物有机肥肥效机理及应用前景展望[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 78-80
- [10] 李红丽,郭夏丽,李清飞,等. 抑制烟草青枯病生物有机肥的研制及其生防效果研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(4): 798-801
- [11] Ling N, Zhang W W, Tan S Y, et al. Effect of the nursery application of bioorganic fertilizer on spatial distribution of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* and its antagonistic bacterium in the rhizosphere of watermelon[J]. Applied Soil Ecology, 2012, 59: 13-19
- [12] Wang B B, Yuan J, Zhang J, et al. Effects of novel bio-organic fertilizer produced by *Bacillus amyloliquefaciens* W19 on antagonism of *Fusarium* wilt of banana[J]. Biology Fertility Soils, 2013, 49: 435-446
- [13] Zhang M, Li R, Cao L L, et al. Algal sludge from Taihu Lake can be utilized to create novel PGPR-containing bio-organic fertilizers[J]. Journal of Environmental Management, 2014, 132: 230-236
- [14] Komada H. Development of a selective medium for quantitative isolation of *Fusarium oxysporum* from natural soil[J]. Review of Plant Protection Research, 1975, 8: 114-125
- [15] 刘晓珍,肖逸,戴传超. 盐城药用菊花连作障碍形成原因初步研究[J]. 土壤, 2012, 44(6): 1 035-1 040
- [16] Cook R J. Making greater use of introduced microorganisms for biological control of plant pathogens[J]. Annual Review of Phytopathology, 1993, 31: 53-80
- [17] Cao Y, Zhang Z H, Ling N, et al. *Bacillus subtilis* SQR 9 can control *Fusarium* wilt in cucumber by colonizing plant roots. Biology Fertility Soils, 2011, 47: 495-506
- [18] Kinnersley A M, Robert C D, Kinnersley C Y, et al. Method

- for increasing fertilizer efficiency: US, No.5840656 [P]. 1998
- [19] Andersen P C, Rhoads F M, Olson S M, et al. Relationships of nitrogenous compounds in petiole sap of tomato to nitrogen fertilization and the value of these compounds as a predictor of yield[J]. Hortscience, 1999, 34(2): 254–258
- [20] Näsholm T, Ekblad A, Nordin A, et al. Boreal forest plants take up organic nitrogen[J]. Nature, 1998, 392: 914–916
- [21] Gooden D T, Skipper H D, Kim J H, et al. Diversity of root bacteria from peanut cropping systems[J]. Peanut Science, 2004, 31(2): 86–91
- [22] Savario C F, Hoy J W. Microbial communities in sugarcane field soils with and without a sugarcane cropping history[J]. Plant and Soil, 2011, 341(1/2): 63–73

Developing Bio-organic Fertilizer with Hydrolyzed Feather Powders and Its Promotion Effects on Plant Growth

DIAO Chunwu^{1,2}, CAO Liangliang¹, HUANG Zhongyang², WANG Dongsheng^{1,2},
ZHOU Xiaoping², WANG Bei^{1,3}, LI Rong^{1*}, SHEN Qirong¹

(1 National Engineering Research Center for Organic-based Fertilizers, Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilization in Low-Middle Reaches of the Yangtze River, Ministry of Agriculture, Jiangsu Key Laboratory of Solid Organic Waste Utilization, Jiangsu Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 Nanjing Institute of Vegetable Science, Nanjing 210042, China; 3 Nanjing QinbangJipin Agricultural Development Co. Ltd., Nanjing 211516)

Abstract: In order to improve the quality of bio-organic fertilizer (BIO), addition of amino acids to assist with the reproduction of the functional microbe inoculated into matured composts through solid-state fermentation is demonstrated to be an efficient way. An addition of significant quantity of oil rapeseed cakes could lead to a much better growth of microbial species added during the BIO preparation, however, the higher production costs hindered severely the large-scale extension of BIOs. This study investigated the possibility to produce bio-organic fertilizer (BIO) by using hydrolyzed feather powders as a solid-state fermentation (SSF) medium. The results showed that the biomass of functional strain increased with the increasing amount of hydrolyzed feather powders added in the matured compost with best additive amount of 50 g/kg. Pot experiments showed that the produced BIO efficiently promoted the growths of eggplant and tomato; compared with the control, the new produced BIO increased plant height, stem diameter and SPAD values by 19.02%, 29.02% and 4.80%, respectively, after transplanting for 20 days for eggplant; and by 14.74%, 18.70% and 4.74%, respectively, after transplanting for 50 days for tomato. In conclusion, supplemented with hydrolyzed feather powders has certain advantages in solid-state fermentation of the PGPR strain and can produce high quality bio-organic fertilizer for promoting plant growth. The above results provide the theoretical and technical supports for the development of BIOs.

Key words: Hydrolyzed feather powder; Bio-organic fertilizer; Plant growth promotion