

# 病死动物源氨基酸研制的生物有机肥促生效果研究<sup>①</sup>

白国新<sup>1</sup>, 刘珊珊<sup>1</sup>, 郑宇<sup>1</sup>, 邵铨<sup>1</sup>, 王东升<sup>1,2</sup>, 李荣<sup>1\*</sup>, 沈其荣

(1 江苏省固体有机废弃物资源化高技术研究重点实验室, 国家有机类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)

**摘要:** 废弃动物尸体酸解为氨基酸能够有效解决农业生产中动物尸体带来的环境污染问题, 本研究利用此类病死动物资源水解的氨基酸研制生物有机肥, 以期在研制出低成本高品质生物有机肥的同时推进新型氨基酸的利用。本文首先比较了根际功能菌 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 在添加不同浓度酸解氨基酸液有机肥中的固体发酵效果及不同浓度酸解氨基酸水解液发酵的生物有机肥盆栽促生效果, 进而确立了生物有机肥的氨基酸添加浓度。再进一步通过黄瓜、辣椒和玉米盆栽试验, 评估了所研制新型生物有机肥的促生效果。研究结果表明: 酸解氨基酸水解液添加量为 20% 时, 所研制生物有机肥中功能菌数量最高, 达到  $2.25 \times 10^8$  CFU/g, 是未添加氨基酸对照的 3 倍。黄瓜盆栽促生试验表明, 氨基酸添加量为 20% 所发酵的生物有机肥促生效果优于其他处理和对照, 株高、茎粗、叶绿素、鲜重和干重值均为最高, 根围土壤中功能菌的数量达  $2.51 \times 10^5$  CFU/g。不同作物盆栽试验结果表明, 添加氨基酸研制的含菌株 SQR9 生物有机肥处理的促生效果优于添加化肥研制的含菌株 SQR9 生物有机肥、有机肥直接接种菌株 SQR9 研制的生物有机肥、普通有机肥和添加氨基酸的普通有机肥处理, 同时施用含 SQR9 菌株的肥料促生效果优于施用不含功能菌的相同配方制造的有机肥处理, 表明, 利用菌株 SQR9 研制的生物有机肥具有良好的促生效果, 相比于化肥, 添加氨基酸固体发酵功能菌后更加有益于功能菌促生功能的发挥。在各种作物根围土壤中的微生物涂布试验中, 添加氨基酸研制的含菌株 SQR9 生物有机肥处理的功能微生物数量显著高于其他处理。综上, 添加 20% 的氨基酸水解液能够有效促进功能微生物在有机肥中的繁殖, 固体发酵形成的生物有机肥具有优异的促生效果。

**关键词:** 解淀粉芽孢杆菌 SQR9; 氨基酸水解液; 病死动物尸体; 生物有机肥; 促生效果

**中图分类号:** S144.2 **文献标识码:** A

微生物有机肥料是指在有机基肥中添加具促进作物生长、拮抗土传病原菌等功能的微生物接种剂<sup>[1]</sup>与腐熟的有机物料复合而成的一类肥料<sup>[2]</sup>, 具增强作物抗逆性<sup>[3]</sup>、改善作物品质<sup>[4]</sup>、解磷解钾等改良土壤<sup>[5-6]</sup>等优势。这种肥料含有大量具特定功能的微生物, 其生命活动及其代谢产物是生物有机肥区别于普通有机肥的关键因素, 因此, 在畜禽粪便基础上添加一定量的氨基酸材料促进功能微生物进行发酵, 从而提高肥料品质, 成为目前生物有机肥研制的热点。一般常用的氨基酸材料为菜粕等<sup>[7-8]</sup>, 但由于菜粕成本较高, 阻碍了此类肥料的发展。受 2013 年黄浦江松江段病死猪事件影响以及传统化学肥料使用导致土壤

变酸<sup>[9]</sup>, 本实验室将此类病死畜禽残体通过高温高压酸解工艺转化成氨基酸水解液, 并利用此类氨基酸替代菜粕研制新型生物有机肥, 但此类生物有机肥的氨基添加浓度和促生性能并不十分不明确, 亟待研究。

根际促生菌(PGPR)具有促进植物生长<sup>[10]</sup>, 拮抗病原生物<sup>[11]</sup>, 同时有抗逆等功能<sup>[12]</sup>。解淀粉芽孢杆菌 SQR9 是本实验室分离获得具有上述功能的根际促生菌。最新的研究表明 SQR9 有多重促进生长类物质的代谢途径<sup>[14]</sup>, 可以产生生长素促进植物生长; 同时 SQR9 产生拮抗物质<sup>[13]</sup>, 主要是脂肽类, 对病原微生物有抑制作用。本研究通过比较普通有机肥添加不同浓度酸解氨基酸液固态发酵生物有机肥的效果

基金项目: 国家重点研发项目(2017YFD0200805), 中央高校基本科研业务费专项项目(KYCYL201502), 国家重点研发项目(2016YFD0800605 和 2016YFE0101100), 国家自然科学基金项目(31572212), 江苏省高校品牌专业建设工程项目(PZY2015A061), 国家大学生创新训练项目(201610307027)和青蓝工程项目资助。

\* 通讯作者(lirong@njau.edu.cn)

作者简介: 白国新(1990—), 男, 山西晋中人, 硕士研究生, 主要研究方向为微生物肥料、大田植物栽培。E-mail: 1406102183@qq.com

和促进作物生长的效果,确立最佳的酸解氨基酸水解液添加量,同时评估了新型生物有机肥对黄瓜、辣椒和玉米作物的促生效果,以期为此类生物有机肥的研制提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

普通有机肥由南通惠农生物有机肥有限公司提供,含水量为 305 g/kg,含有机质 461g/kg,总氮 17.00 mg/kg,  $P_2O_5$  21.80 mg/kg,  $K_2O$  13.50 mg/kg;氨基酸水解液, N 含量 14.76 g/L、 $P_2O_5$  0.82 g/L 和  $K_2O$  1.88g/L, pH 为 1.86, 由江苏绿汇宿动实业有限公司提供。根际功能菌 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 (SQR9)具拮抗和促生功能, 由江苏省固体有机废弃物资源化高技术研究重点实验室提供。

盆栽试验黄瓜品种为津春四号,辣椒品种为江蔬青椒,玉米为糯玉1号。

盆栽试验土壤基本理化性质:pH 6.39,有机碳 20.69 g/kg,速效氮 105.31 mg/kg,有效磷 87.24 mg/kg,速效钾 70.44 mg/kg。

### 1.2 添加不同浓度酸解氨基酸液固体发酵研制生物有机肥

在腐熟鸡粪堆肥中添加不同含量的氨基酸水解液(0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%),同时接种功能菌(按照10%接种量)进行固体发酵,设计不添加酸解氨基酸液普通有机肥直接接种功能菌处理为对照,所有堆体含水调节至40%~50%<sup>[15]</sup>。每个处理普通有机肥的总质量为500g(干重),发酵7d,每隔24h翻一次堆。每天采集肥料样品进行功能菌数量和pH的测定。

待确定配方后,进行生物有机肥的再次发酵,设最优配方发酵为处理,同时设定添加酸解氨基酸不接种功能菌堆体为对照1,添加与酸解氨基酸等养分化肥接种功能菌堆体为对照2,不添加氨基酸直接接种功能菌堆体为对照3。发酵工艺同上。

### 1.3 盆栽试验设计

盆栽试验于2015年3月28日至7月30日在江苏省固体有机废弃物资源化利用高技术研究重点实验室宜兴基地温室进行。第一阶段盆栽试验设计7个处理,分别施用添加不同浓度酸解氨基酸液接种功能菌研制的生物有机肥,种植作物为黄瓜,每个处理每盆装土2kg,每个处理重复10次。

第二阶段试验共设置5个处理:处理1(AA+9):施用添加酸解氨基酸液接种功能菌研制的生物有机

肥;处理2(AA)施用对照1发酵产品;处理3(CF+9):施用对照2发酵产品;处理4(OF+9):施用对照3发酵产品;处理5(OF):施用普通有机肥。第二阶段供试作物为黄瓜、辣椒和玉米,每盆装土250g,每个处理重复20次。第一阶段和第二阶段,肥料均按土壤干重的2%添加。

### 1.4 作物相关指标测定

作物在移栽一段时间内测定植株的株高、叶绿素、茎围、SPAD值、干鲜重以及根围土壤中功能菌数量。

### 1.5 功能菌 SQR9 计数

土壤和肥料中功能菌 SQR9 数量的测定采用平板稀释涂布计数法。根围土即在每棵盆栽植株四周5cm处用10cm规格土钻采集0~10cm深度的土壤样品6个并合成一个混样。分别称取土壤或肥料5g溶于45ml无菌水中,振荡30min保证土样与无菌水混合均匀后进行梯度稀释,稀释液在80℃水浴30min后,涂布于含功能菌 SQR9 选择性培养基的平板上,30℃培养箱培养24h后计数。功能菌 SQR9 的选择性培养基<sup>[15]</sup>配方如下:蛋白胨10g,酵母粉5g, NaCl10g,琼脂2.5%,去离子水1000ml,1%多粘菌素2ml/L,1%放线菌酮4ml/L。功能菌数量以每克肥料干重计算,以CFU/g表示。

### 1.6 数据分析

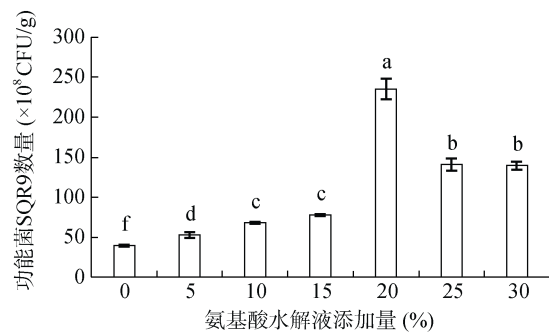
采用Excel 2010和SPSS 17.0软件进行数据统计分析,处理间差异采用最小显著差异法(least significant difference, LSD)进行多重比较( $P<0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 生物有机肥最佳配方的确定

2.1.1 添加不同浓度酸解氨基酸液对固体发酵过程中功能菌 SQR9 的效果 添加不同浓度酸解氨基酸水解液对功能菌增殖具有不同的影响。在添加量<20%时,随着氨基酸添加量的增加,功能菌 SQR9 数量不断上升,氨基酸浓度为20%时,肥料中功能菌 SQR9 数量达到最高,为 $2.25\times10^8$  CFU/g,随着酸解氨基酸水解液浓度的继续增加,功能菌 SQR9 数量略微有所下降,并保持相对稳定(图1)。

2.1.2 添加不同浓度氨基酸水解液研制的生物有机肥对黄瓜生长的影响 施用添加不同浓度氨基酸水解液固体发酵功能菌研制的生物有机肥对黄瓜的生长效果如表1所示。氨基酸水解液添加浓度在0%~30%时,黄瓜的株高、茎粗、SPAD值、鲜重和干重随着添加量的增加呈先增加后减少的趋势。当酸解氨



(图中不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ ), 下同)

图 1 不同含量酸解氨基酸水解液对固态发酵过程中功能菌 SQR9 数量的影响

Fig.1 Effects of different concentrations of compound liquid amino acids on numbers of SQR9 after solid state fermentation

氨基酸水解液添加浓度在 20%时, 黄瓜生长的各项生物量指标值达到最大, 株高显著高于 0(不添加氨基酸直

接接种功能菌发酵)、5%、25%和 30%添加量的处理, 分别高出 93.79%、14.79%、22.09%和 116.01%, 与 10%和 15%添加量处理差异不显著; 茎粗与 0、5%、10%、25%和 30%添加量处理存在显著差异, 分别高出 16.19%、11.09%、5.69%、11.39%和 28.29%; 叶绿素 SPAD 值与不添加处理存在显著差异, 高出 35.19%; 鲜重与 0、25%和 30%添加量处理具显著差异, 分别高出 42.69%、37.29%和 105.02%; 干重与 0、25%和 30%添加量处理相比存在显著差异, 分别高出 26.69%、28.09%和 8.69%。表明添加 20%的酸解氨基酸水解液研制的生物有机肥, 具有最优的促生效果。从图 2 盆栽根围土中功能菌涂布计数结果可知, 当施用酸解氨基酸水解液添加量为 20%研制的生物有机肥时, 功能菌 SQR9 的数量显著高于其他处理, 达到  $2.51\times 10^5$  CFU/g。

表 1 不同施肥处理黄瓜的株高、茎粗、叶绿素和鲜干重

Table 1 Effects of different fertilization treatments on biomass of cucumbers

氨基酸水解液添加量(%)	株高(cm)	茎粗(mm)	SPAD	鲜重(g)	干重(g)
0	54.17 ± 2.93 c	8.03 ± 0.21 c	36.77 ± 5.02 b	56.28 ± 3.00 b	5.54 ± 0.47 b
5	91.51 ± 4.58 b	8.39 ± 0.52 bc	41.83 ± 4.93 ab	72.53 ± 7.92 a	6.69 ± 0.49 a
10	101.01 ± 4.58 a	8.83 ± 0.32 b	44.13 ± 2.18 ab	78.83 ± 2.14 a	6.65 ± 0.21 a
15	101.27 ± 1.50 a	9.03 ± 0.25 ab	45.57 ± 1.87 ab	78.63 ± 0.63 a	6.88 ± 0.15 a
20	105.29 ± 5.46 a	9.33 ± 0.38 a	49.69 ± 1.41 a	80.33 ± 5.44 a	7.02 ± 0.47 a
25	86.01 ± 1.65 b	8.36 ± 0.40 bc	48.03 ± 1.32 a	58.49 ± 6.29 b	5.48 ± 0.74 b
30	48.66 ± 3.79 c	7.27 ± 0.64 d	42.97 ± 9.68 ab	39.11 ± 11.60 c	3.75 ± 0.83 c

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ ), 下同。

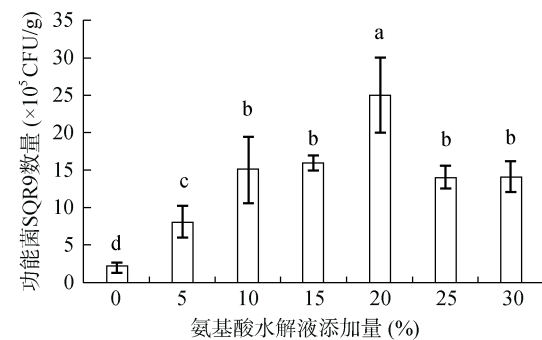


图 2 施用含不同浓度酸解氨基酸研制的生物有机肥黄瓜盆栽根围土中功能菌 SQR9 的数量

Fig.2 Strain SQR9 numbers in cucumber rhizosphere soils under different treatments amended by bio-organic fertilizer produced by adding different amounts of compound liquid amino acids

2.2 新型生物有机肥对不同作物生长的影响

2.2.1 新型生物有机肥对黄瓜生长的影响 从表 2 结果可知, 施用添加氨基酸水解液研制的新型生物有机肥处理(AA+9)的黄瓜株高显著高于普通有机肥处理(OF)、不添加酸解氨基酸液研制的微生物有机肥(OF+9)和只添加酸解氨基酸水解液研制的氨基酸有

机肥处理(AA), 分别增高了 55.39%、32.69%和 25.29%, 与添加和酸解氨基酸水解液等养分化肥堆制的复合微生物肥料处理(CF+9)间无显著性差异, 但仍优于 CF+9 处理。在茎粗上 AA+9 处理显著优于其他处理。在 SPAD 值上, 各处理间无显著性差异。在植株鲜重方面, AA+9 处理与 OF、OF+9 和 AA 处理有显著差异, 分别高出 6.01%、5.41%和 4.02%, 与 CF+9 处理虽无显著性差异, 但仍高出 4.02%。在干重上, AA+9 处理与 OF 和 OF+9 处理有显著差异, 分别高出 6.02%和 3.21%, 与 AA 和 CF+9 处理虽无显著性差异, 但仍高出 3.01%和 2.02%。

从图 3 盆栽根围土中功能菌 SQR9 涂布计数结果可知, AA+9 处理的功能菌 SQR9 数量显著高于其他处理, 达到  $1.45\times 10^6$  CFU/g, 未添加功能菌 SQR9 研制的肥料处理中, 涂布得出的微生物数量, 是土著解淀粉芽孢杆菌或者枯草芽孢杆菌, 表明施用功能菌的处理均能够增加功能菌 SQR9 在根围土中的数量, 但施用添加氨基酸水解液研制的新型生物有机肥效果最优。

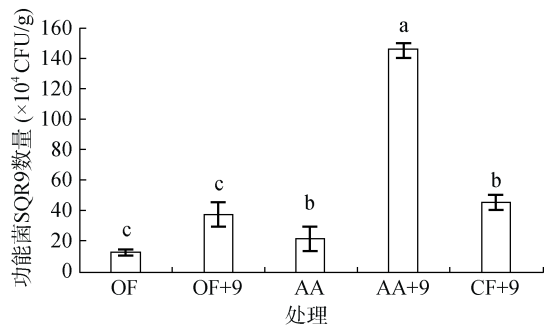


图 3 不同处理黄瓜盆栽根围土中功能菌 SQR9 的含量  
Fig.3 Strain SQR9 numbers in cucumber rhizosphere soils under different treatments

**2.2.2 新型生物有机肥对对辣椒生长的影响** 从表 3 结果可知，新型生物有机肥处理(AA+9)的辣椒株高显著高于 OF、OF+9、AA 和 CF+9 处理，分别增高 38.49%、31.69%、25.01%和 9.89%。在茎粗上 AA+9 处理显著优于 OF、OF+9、AA 和 CF+9 处理，

分别高出 41.19%、15.59%和 8.49%，虽与 AA 处理无显著性差异，但仍高出 7.19%。在 SPAD 值上，AA+9 处理显著优于 OF 和 OF+9 处理。鲜重和干重上，AA+9 处理与 OF、OF+9、AA 和 CF+9 处理有显著差异，鲜重分别高出 80.01%、56.02%、34.01%和 23.02%，干重分别高出 65.01%、38.02%、16.01%和 14.01%。

从图 4 盆栽根围土中功能菌 SQR9 涂布计数结果可知，生物有机肥 AA+9 处理功能菌 SQR9 的数量显著高于其他处理，达到  $1.65\times10^6\text{CFU/g}$ ，是 OF 和 CF+9 处理的 12 倍和 3 倍。未添加功能菌 SQR9 研制的肥料处理中，涂布得出的微生物数量，是土著解淀粉芽孢杆菌或者枯草芽孢杆菌，表明施用功能菌的处理均能够增加功能菌 SQR9 在根围土中的数量，但施用添加酸解氨基酸水解液研制的新型生物有机肥效果最优。

表 2 不同施肥处理黄瓜的株高、茎粗、叶绿素和鲜干重  
Table 2 Effects of different fertilization treatments on plant heights and diameters, chlorophyll contents and biomass of cucumbers

处理	株高(cm)	茎粗(mm)	SPAD	鲜重(g)	干重(g)
OF	9.67 ± 0.58 c	1.99 ± 0.05 c	41.93 ± 4.93 ab	5.52 ± 0.05 c	0.53 ± 0.03 c
OF+9	11.33 ± 0.58 b	2.13 ± 0.07 b	44.13 ± 2.18 ab	5.68 ± 0.07 b	0.54 ± 0.02 bc
AA	12.01 ± 1.00 b	2.14 ± 0.06 b	45.47 ± 1.87 ab	5.70 ± 0.04 b	0.55 ± 0.02 bc
AA+9	15.03 ± 0.15 a	2.44 ± 0.08 a	49.90 ± 1.31 a	5.86 ± 0.11 a	0.58 ± 0.02 b
CF+9	14.33 ± 0.58 a	2.23 ± 0.02 b	48.03 ± 1.22 a	5.74 ± 0.05 a	0.57 ± 0.01 b

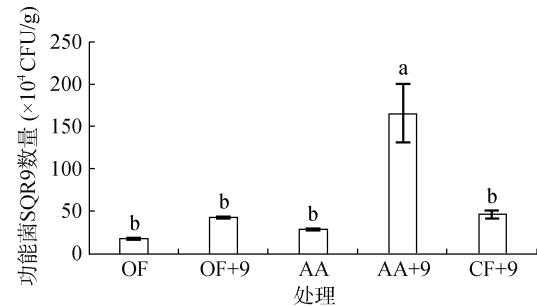


图 4 不同处理辣椒盆栽根围土中功能菌 SQR9 的含量  
Fig.4 Strain SQR9 numbers in pepper rhizosphere soils under different treatments

**2.2.3 新型生物有机肥对玉米生长的影响** 从表 4 结果可知，新型生物有机肥处理(AA+9)的玉米株高和茎粗显著高于 OF、OF+9、AA 和 CF+9 处理，株高分别增高 31.89%、19.29%、18.09%和 12.19%，茎粗分别高出 29.59%、23.39%、19.69% 和 17.79%。在 SPAD 值上，AA+9 处理显著优于 OF、OF+9 和 AA 处理。在玉米植株鲜重和干重方面，AA+9 处理

与 OF、OF+9、AA 和 CF+9 处理有显著差异，鲜重分别高出 123.01%、56.02%、56.01%和 27.01%，干重分别高出 107.01%、40.02%、40.01%和 24.02%。

从图 5 盆栽根围土壤中功能菌涂布计数结果可知，生物有机肥 AA+9 处理功能菌 SQR9 的数量显著高于其他处理，达到  $1.25\times10^6\text{CFU/g}$ ，分别是 OF 和 CF+9 处理的 12 倍和 1.7 倍。未添加功能菌 SQR9 研制的肥料处理中，涂布得出的微生物数量，是土著解淀粉芽孢杆菌或者枯草芽孢杆菌，表明施用功能菌的处理均能够增加功能菌在根围土中的数量，但施用添加酸解氨基酸水解液研制的新型生物有机肥效果最优。

### 3 讨论

酸解氨基酸水解液最适添加量试验结果表明，在一定范围内，随着酸解氨基酸水解浓度的增加，肥料中功能微生物 SQR9 数量呈现先上升后下降趋于稳定趋势，这与先前报道类似，随着酸解羽毛粉、膨化

表 3 不同施肥处理对辣椒的株高、茎粗、叶绿素和鲜干重影响

Table 3 Effects of different fertilization treatments on plant heights, stem diameters, chlorophyll contents and biomass of peppers

处理	株高(cm)	茎粗(mm)	SPAD	鲜重(g)	干重(g)
OF	24.07 ± 0.90 f	2.62 ± 0.02 c	40.87 ± 0.38 b	7.82 ± 0.18 c	0.84 ± 0.05 b
OF+9	25.30 ± 0.26 d	3.19 ± 0.10 b	41.73 ± 0.90 b	9.05 ± 0.24 c	1.25 ± 0.22 a
AA	26.67 ± 0.58 c	3.45 ± 0.92 ab	43.77 ± 0.25 a	10.51 ± 0.40 b	1.27 ± 0.05 a
AA+9	33.33 ± 0.58 a	3.71 ± 0.21 a	45.17 ± 1.16 a	14.11 ± 0.69 a	1.47 ± 0.06 a
CF+9	30.33 ± 0.57 b	3.41 ± 0.059 b	43.93 ± 1.02 a	14.11 ± 0.70 b	1.29 ± 0.06 a

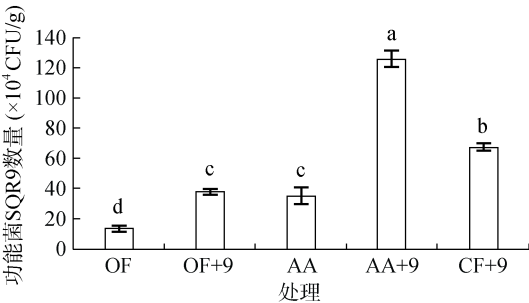


图 5 不同处理玉米盆栽根围土中功能菌 SQR9 的含量  
Fig.5 Strain SQR9 numbers in maize rhizosphere soils under different treatments

羽毛粉或菜粕添加量的增加,生物有机肥中功能菌的数量呈现先增加后下降趋势<sup>[2,14,17]</sup>,表明蛋白源类外源添加剂的添加能够有效促进功能菌的增殖,但添加量达到一定浓度后效果不再增加;另外,本研究使用的酸解氨基酸 pH 较低,推测添加量过高导致的堆

体低 pH 同样是限制因素之一。

黄瓜的生长效果试验上,随着堆体中酸解氨基酸水解液含量的增加,所研制肥料对作物的促生效果逐渐增强,当氨基酸含量为肥料的 20%时,黄瓜的促生效果最佳;当氨基酸含量继续增加,作物的促生效果不再继续加强。这与张苗等<sup>[2]</sup>研究一致,外源氨基酸添加剂在一定范围内能够有效增殖固体发酵过程中的功能菌 SQR9 的数量,提高肥料的促生效果,促进植物生长;当添加量高于 20%时,功能菌数量降低,有研究表明氨基酸对植物具有双重作用,即在一定浓度范围内促进,高浓度则抑制植物生长<sup>[19]</sup>,因此,当添加量继续加大时并没有获得更高的促生效果。综上,当添加 20%的氨基酸,除了促进了功能微生物 SQR9 的生长,产生促生类物质促进植株生长,添加的氨基酸同样是促进植物生长的重要因素,结合生产成本本研究最终确定最适氨基酸水解液的添加量为 20%。

表 4 不同施肥处理对玉米的株高、茎粗、叶绿素和鲜干重影响

Table 4 Effects of different fertilization treatments on plant heights, stem diameters, chlorophyll contents and biomass of maize

处理	株高(cm)	茎粗(mm)	SPAD	鲜重(g)	干重(g)
OF	20.01 ± 0.19 d	4.96 ± 0.15 c	34.23 ± 0.15 d	6.56 ± 0.17 d	0.76 ± 0.02 c
OF+9	22.09 ± 0.52 c	5.21 ± 0.19 bc	35.17 ± 0.16 c	9.37 ± 0.059 c	0.97 ± 0.03 b
AA	22.33 ± 0.76 c	5.37 ± 0.28 b	36.10 ± 0.95 b	9.41 ± 0.12 c	0.99 ± 0.02 b
AA+9	26.37 ± 0.51 a	6.43 ± 0.09 a	37.23 ± 0.59 a	14.66 ± 1.96 a	1.58 ± 0.12 a
CF+9	23.50 ± 0.50 b	5.46 ± 0.17 b	36.60 ± 0.10 ab	11.49 ± 1.21 b	1.11 ± 0.19 b

同时,酸解氨基酸水解液同样是另一个重要影响因素。在 OF 和 OF+9 处理对比中,可发现 SQR9 有明显的促生效果,促进了黄瓜、辣椒和玉米生长,也说明 SQR9 有广泛的实用性,该菌株已经被证明能够显著促进黄瓜和茄子植株的生长<sup>[16,18]</sup>;AA 和 OF 处理之间的差异表明,猪肉氨基酸有一定的促生作用,推测可能是酸解氨基酸水解液的养分作用,或是酸解氨基酸水解液的结构功能,或者二者都有;而 AA+9 处理的促生效果,优于 AA 和 OF+9 处理,表明酸解氨基酸水解液与功能菌 SQR9 结合会进一步促进功能菌的促生效果,这与先前的报道一致,菜粕等外源

氨基酸和酸解鸡毛粉等能够促进功能菌 SQR9 的促生效果。

而 AA+9 处理的促生效果优于 CF+9 处理,则表明酸解氨基酸水解液的促生效果,不仅仅是养分的作用,酸解氨基酸水解液够有效促进功能菌功能的发挥。有研究表明,PGPR 菌株能够产生 IAA、ACC 脱氢酶等,促进植物根系的生长发育<sup>[20]</sup>,促进作物茎叶各个方面的生长<sup>[21]</sup>,但具体氨基酸如何调控功能菌功能的发挥,需要进一步研究。以上结果表明,酸解氨基酸水解液作为一种变废为宝的新型生物有机肥外源氨基酸源添加剂,既可以促进植物生长<sup>[22]</sup>,

又可促进功能微生物功能的发挥,从而进一步促进植物更好地生长。

## 4 结论

1) 普通有机肥添加酸解氨基酸液能够有效促进功能菌 SQR9 的固体发酵,其中以 20% 添加量的发酵效果最优,添加该浓度酸解氨基酸液研制的生物有机肥的促生效果,同样优于添加其他浓度氨基酸液研制的生物有机肥。

2) 新型生物有机肥相比于添加等养分化肥研制的生物有机肥,在黄瓜、辣椒和玉米上均表现出稳定的促生效果,功能菌能够有效在根围土存活。本研究结果既为酸解氨基酸水解液资源化高附加值利用提供了理论支撑,为病死猪酸解工艺的可持续发展提供了技术支持,又为低成本高品质生物有机肥的生产提供了理论和技术指导。

## 参考文献：

- [1] 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
- [2] 张苗,施娟娟,曹亮亮,等.添加三种外源蛋白研制生物有机肥及其促生效果[J].植物营养与肥料学报,2014,20(5):85-91
- [3] 薛玉霞.有机肥的肥效与优点[J].四川农业科技,2013(10):45
- [4] 张金然.微生物肥料在农业生产中的应用[J].北京农业,2015(11):75
- [5] 马田田,杨兴明,沈其荣,等.生物有机肥对防治山药根茎腐病和促进山药生长的研究[J].土壤,2013,45(2):1301-1305
- [6] 梅新兰,闪安琪,蒋益,等.适应玉米的溶磷细菌筛选及其对玉米生长的影响[J].土壤学报,2016,53(2):502-509
- [7] Qiu M H, Zhang R F, Xue C, et al. Application of bio-organic fertilizer can control Fusarium wilt of cucumber plants by regulating microbial community of rhizosphere soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2012, 48: 807-816
- [8] 丁传雨,乔焕英,沈其荣,等.生物有机肥对茄子青枯病的防治及其机理探讨[J].中国农业科学,2012,45(2):239-245
- [9] 鲁艳红,廖育林,聂军,等.长期施用氮磷钾肥和石灰对红壤性水稻土酸性特征的影响[J].土壤学报,2016,53(1):202-213
- [10] Liu K, Garrett C, Fadamiro H, et al. Antagonism of black rot in cabbage by mixtures of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)[J]. BioControl, 2016, 61: 605-613
- [11] Habibi S, Djedidi S, Prongjunthuek K, et al. Erratum to: physiological and genetic characterization of rice nitrogen fixer PGPR isolated from rhizosphere soils of different crop[J]. Plant and Soil, 2014, 379(1/2): 51-66
- [12] Parray J A, Jan S, Kamili A N, et al. Current perspectives on plant growth-promoting rhizobacteria[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2016, 35: 877-902
- [13] Shao J, Li S, Zhang N, et al. Analysis and cloning of the synthetic pathway of the phytohormone indole-3-acetic acid in the plant-beneficial *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9[J]. Microbial Cell Factories, 2015, 14: 130
- [14] Cao Y, Zhang Z Z, Ling N, et al. *Bacillus subtilis* SQR9 can control Fusarium wilt in cucumber by colonizing plant roots[J]. Biology and Fertility of Soils, 2011, 47: 495-506
- [15] 刁春武,曹亮亮,黄忠阳,等.酸解羽毛粉研制生物有机肥及其促生效果研究[J].土壤,2016,48(4):661-667
- [16] Zhang M, Li R, Cao L L, et al. Algal sludge from Taihu Lake can be utilized to create novel PGPR containing bioorganic fertilizers[J]. Journal of Environmental Management, 2014, 132: 230-236
- [17] 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
- [18] 张夫道,孙羲.氨基酸对水稻营养作用的研究[J].中国农业科学,1984(5):61-66
- [19] 崔晓双,王伟,张如,等.基于根际营养竞争的植物根际促生菌的筛选及促生效应研究[J].南京农业大学学报,2015,38(6):958-966
- [20] Shao J H, Xu Z H, Zhang N, et al. Contribution of indole-3-acetic acid in the plant growth promotion by the rhizosphere strain *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9[J]. Biology and Fertility Soils, 2015, 51: 321-330
- [21] 袁玉娟.*Bacillus subtilis* SQR9 的黄瓜促生和枯萎病生防效果及其作用机制研究[D].南京:南京农业大学,2011
- [22] Näsholm T, Ekblad A, Nordin A, et al. Boreal forest plants take up organic nitrogen[J]. Nature, 1998, 392: 914-916



## Plant Growth Promotion Effect of Novel Bio-organic Fertilizers Produced by Solid-state Fermentation with Amino Acids Hydrolyzed from Animal Carcasses as Additive

BAI Guoxin<sup>1</sup>, LIU Shanshan<sup>1</sup>, ZHENG Yu<sup>1</sup>, SHAO Cheng<sup>1</sup>, WANG Dongsheng<sup>1,2</sup>,  
LI Rong<sup>1\*</sup>, SHEN Qirong<sup>1</sup>

(1 Jiangsu Key Laboratory of Solid Organic Waste Utilization, 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 Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 Nanjing Institute of Vegetable Science, Nanjing 210042, China)

**Abstract:** Animal carcasses hydrolyzed by sulfuric acid solution to create compound liquid amino acids is an effectively strategy in environment protection. However, how to efficiently utilize these liquid amino acids does cause public concern. In this study, compound liquid amino acids from animal carcasses were utilized as additives into matured composts to create novel bio-organic fertilizer (BIO) containing plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9, after that the effect on plant growth promotion of novel bio-organic fertilizers were investigated. Results showed that the optimal amendment concentration of liquid amino acids was 20%, which resulted in a maximum biomass of functional strains with the number of  $2.25 \times 10^8$  CFU/g (dry weight, the same follow) that was 3 times of the control without adding liquid amino acids. Pot experiment results showed that the effect on cucumber plant growth promotion of the novel BIO were superior to the other treatments amended with different concentrations of liquid amino acids and the control. The number of strain SQR9 in rhizosphere soil reached  $2.5 \times 10^5$  CFU/g soil. Results from pot experiments of different crops showed the novel produced BIO resulted in greater plant growth compared to the treatment amended with BIO produced by adding chemical fertilizer as additive, the treatment amended with BIO produced by adding none additive, the treatment amended with organic fertilizer and the treatment amended with organic fertilizer amended with liquid amino acids. Meanwhile, the treatments amended with the fertilizers with strain SQR9 showed better plant growth than the others, indicating that strain SQR9 exhibited plant growth promotion effect. Moreover, compared to the treatment amended with BIO produced by adding chemical fertilizer as additive, the treatment amended with novel BIO is more beneficial for the function enhancement of the strain SQR9. In the rhizosphere of different crops, significant higher number of functional microbes were observed in the treatment amended with novel BIO. To sum up, adding 20% of liquid amino acids effectively enhanced the growth of functional microbes in the organic fertilizer, and the produced novel BIO showed outstanding plant growth promotion effect.

**Key words:** *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9; Compound liquid amino acids; Animal carcasses; Bio-organic fertilizer; Plant growth promotion effect