

## 菌剂、沼液及其复配对玉米经济性状和产量的影响

贺国强<sup>1</sup> 邓志平<sup>1</sup> 刘展志<sup>1</sup> 谢剑波<sup>1</sup> 李鹏飞<sup>1</sup> 董仁杰<sup>2</sup> 庞昌乐<sup>2</sup> 陈三凤<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业大学 农业生物技术国家重点实验室,北京 100193;

2. 中国农业大学 工学院,北京 100193)

**摘要** 本试验旨在研究菌剂、沼液及其复配对玉米经济性状和产量的影响。用固氮芽孢杆菌 W6、巴西固氮螺菌 Yu62 及固氮巨大芽孢杆菌 C4 这 3 种固氮菌分别接种,并与沼液复配后接种玉米,以及这 3 种固氮菌与解磷假单胞菌 S20 组成的的 4 种微生物复合菌剂单独或与沼液复配后接种玉米。结果表明:除百粒重外,单菌剂处理组、沼液处理组及二者复配处理组均较清水组在玉米经济性状及单产方面表现优良。各单菌剂处理组中,固氮巨大芽孢杆菌 C4 效果较佳,相对于清水处理组,干穗单产增产 10.47%。沼液与菌剂配合使用处理玉米的效果要优于相应菌剂单独处理组及沼液处理组。其中,以沼液与菌剂固氮巨大芽孢杆菌 C4 复合使用效果最佳,相对于清水处理组而言,百粒重增加 2.17%,干穗单产增产 25.15%,籽粒单产增产 12.47%,增产效果明显。沼液与菌剂固氮巨大芽孢杆菌 C4 复合使用可以促进玉米穗的发育及产量的增加。

**关键词** 玉米; 菌剂; 沼液; 复配; 田间试验

中图分类号 S 144; S 141

文章编号 1007-4333(2011)04-0024-06

文献标志码 A

## Effect of azotobacter, slurry and their combination on economic characters and yield of maize

HE Guo-qiang<sup>1</sup>, DENG Zhi-ping<sup>1</sup>, LIU Zhan-zhi<sup>1</sup>, XIE Jian-bo<sup>1</sup>, LI Peng-fei<sup>1</sup>,  
DONG Ren-jie<sup>2</sup>, PANG Chang-le<sup>2</sup>, CHEN San-feng<sup>1\*</sup>

(1. State Key Laboratory of Agricultural Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing, 100193, China)

**Abstract** The aim of this research was to study the effect of microbes, biogas slurry and their combination on the economic characters and yield of maize. The nitrogen-fixing bacteria *Bacillus megaterium* C4, *Bacillus* sp. W6, *Azospirillum brasilense* Yu62, the combination of nitrogen-fixing bacteria with *Pseudomonas alealigenes* S20 and the combination of bacteria with the biogas slurry were applied to maize in the field. Experimental results showed that the treatments of either single bacterium, biogas slurry or their combination gave a more excellent performance than water treatment in terms of maize yield and economic characteristics except kernel weight. Bacteria treatment groups, especially with C4, gave a 10% higher dry ear yield compared to the water treatment group. The combination of biogas slurry with these bacteria was superior to individual use on maize. In particular, the combined biogas slurry with microbial agent C4 had increases of 2.17% kernel weight, 25.15% dry ear yield and 12.47% grain yield comparing to the water treatment.

**Key words** maize; azotobacter; biogas slurry; composite matching; field trials

收稿日期: 2010-12-08

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAD4B17-05)

第一作者: 贺国强, 硕士研究生, E-mail: heguoqiang1984@126.com

通讯作者: 陈三凤, 教授, 主要从事微生物遗传及代谢调控研究, E-mail: chensf@cau.edu.cn

近 100 年来,随着工业化的发展,人们为了追求农业生产的产量最大化,大量使用化学合成的无机肥。这些无机肥的施用虽然在短时间内可以提高农作物单产,但从长远来考虑,化学无机肥料的滥用已经带来了诸多问题:如土壤板结和水体富营养化等<sup>[1]</sup>。这些问题如不解决,最终将会带来农业生产的减产。与化学合成的无机肥相比较而言,传统的有机肥料性能优良,可以克服以上面临的问题。

近几年,伴随着生物质能——沼气能大规模的应用,产生了大量的沼液、渣,这些都是优良的有机肥料。据报道,沼液的成分很复杂,但主要为氮、磷、钾等大量元素及铜、锰等微量元素,同时还有许多氨基酸、有机酸、抗菌物质等生物活性物质<sup>[2]</sup>。倘若不对这些资源加以利用,一方面造成资源的浪费,另一方面也会带来环境问题。目前,人们已逐步将沼液、渣等应用于农业生产上,取得了很好的效果。一般而言,人们将沼液运用于农田主要是基于其可为作物生长提供营养元素,同时也是替代化肥的廉价肥料的考虑<sup>[3]</sup>。

菌剂是指经人工大规模培养后的一些有益植物生长的微生物制剂。固氮菌作为一类重要的菌肥,可以固定空气中的氮气,被认为是替代无机肥料以促进植物生长和提高作物产量的一种肥料<sup>[4]</sup>,而解磷菌则可以分解土壤中一些植物难以直接利用的磷酸盐,转换为可被植物吸收利用形式<sup>[5]</sup>。二者可以为作物的生长提供氮素或有效磷,从而达到减少化肥施用,作物增产的效果。Riggs 报道,将多种分离自包括玉米等作物的植物内生菌接种于玉米, *Klebsiella pneumoniae* 342、*Pantoea agglomerans* P101、*Pantoea agglomerans* P102、*Gluconacetobacter diazotrophicus* PA15 及 *Herbaspirillum seropedicae* Z152 均可以显著促使玉米的生长,达到增产的目的<sup>[6]</sup>。Adesemoye 报道,使用植物根际促生菌 *Bacillus amyloliquefaciens* IN937a、*Bacillus pumilus* T4 和 *Glomus intraradices*,可以减少 25% 化肥的用量<sup>[7]</sup>。菌剂还可以分泌植物生长素进而促进植物生长。Park 等报道从玉米、大豆、水稻等田间土壤分离到的 5 株细菌 *Stenotrophomonas maltophilia* (PM-1、PM-26), *Bacillus fusiformis* (PM-5、PM-24) 及 *Pseudomonas fluorescens* (PM-13) 都具有很高的固氮酶活性及 IAA 产生能力,其中固氮酶活性最高可达 3 677.81 nmol/h·mg, IAA 产量达 255 μg/mL<sup>[8]</sup>。但是目前应用于农业

生产中的菌剂并不多,并且在种植玉米时同时施用菌剂和沼液的效果也鲜有报道。

本研究旨在研究植物根际促生菌固氮芽孢菌 W6、巴西固氮螺菌 Yu62、固氮巨大芽孢杆菌 C4 及三者与解磷假单胞菌 S20 组成的微生物复合菌剂,单独使用及这 4 种微生物菌剂与沼液配合施用于玉米的田间试验效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试玉米品种为 958、华龙 118。种植密度为 60 000 株/hm<sup>2</sup>。

试验中所用的菌株分别为:固氮芽孢杆菌 (*Bacillus* sp.) W6; 固氮巨大芽孢杆菌 (*B. megaterium*) C4; 解磷假单胞菌 (*P. alealigenes*) S20; 巴西固氮螺菌 (*A. brasilense*) Yu62。采用 LD 培养基培养 4 种细菌,达对数期后,将培养物直接作为菌剂使用。

试验所用的沼液为猪粪发酵液,取自北京顺义区杨镇东华山村沼气站。经测定其成分如下:总氮:1 312 mg/L;总磷:7 984 mg/L;总钾:876 mg/L;氨氮:1 091 mg/L;硝态氮:52 mg/L。

### 1.2 试验方法

田间试验在北京市顺义区大孙各庄镇东华山村进行,供试土壤物理化学性质如下:Ca<sup>2+</sup>: 67.87 mg/kg; K<sup>+</sup>: 18.05 mg/kg; Mg<sup>2+</sup>: 14.91 mg/kg; S<sup>2-</sup>: 9.766 mg/kg; Na<sup>+</sup>: 15.58 mg/kg; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: 29.298 mg/kg; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: 401.82 mg/kg; Cl<sup>-</sup>: 7.69 mg/kg; pH 8.22; 电导率:18.7 S/m。顺义区属大陆性季风气候,年平均温度 11.2 °C,降水 620 mm 左右。试验所选地块地势平整,土壤肥力中等,地力较均衡。底肥选用复合肥,用量为 525 kg/hm<sup>2</sup>。试验接种菌剂最初于玉米苗期进行。菌剂进行适当稀释,施用时使用有效浓度达 10<sup>8</sup> 个/mL。

田间试验共分 10 个处理:A 为清水,施用量 90 t/hm<sup>2</sup>,以下清水施用量同;B 为沼液(用水按 1:3 稀释);C 为清水添加复合菌剂,即 W6、C4、Yu62 和 S20 等比例复配;D 为清水添加菌剂 C4;E 为清水添加菌剂 W6;F 为清水并添加菌剂 Yu62;G 为沼液((用水按 1:3 稀释),施用量 90 t/hm<sup>2</sup>,以下沼液施用量同)添加菌剂 C4;H 为沼液添加菌剂 W6;I 为沼液添加菌剂 Yu62;J 为沼液添加 W6、C4、Yu62 和 S20 等比例复配组成的复合菌剂。每个处理小

区设4个重复,每个小区20 m<sup>2</sup>,处理小区随机区组分布。菌剂接种采用根部浇施。处理分3次进行,分别在幼苗期、拔节期、大喇叭口期。

### 1.3 数据分析

数据使用软件 SPSS 13.0 处理,作单因素方差分析(ANOVA)。

## 2 结果与分析

本试验用固氮芽孢杆菌(*Bacillus* sp.) W6、巴西固氮螺菌(*A. brasilense*) Yu62 及固氮巨大芽孢杆菌(*B. megaterium*) C4 这3种固氮菌分别及与沼液复配后接种玉米,以及这3种固氮菌与解磷假单胞菌(*P. alealigenes*) S20 组成的复合菌剂单独及

与沼液复配后接种玉米。试验表明,不同处理对玉米经济性状和产量影响不同。

### 2.1 沼液对玉米经济性状及产量的影响

本试验中,将等量清水及稀释3倍的沼液施用于玉米的根部,以观察其对玉米生长及产量的影响。

#### 2.1.1 沼液对玉米生长的影响

玉米经济性状及产量与玉米的生长状况密切相关,在玉米的生产中受到广泛重视。表1反映了沼液、菌剂对玉米生长的影响。由表1可知,施加沼液组(B)穗位高、穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数及百粒重指标均优于清水对照组(A)。但2组差异不明显。其中沼液组百粒重达30.49±2.68 g,是清水对照组的1.14倍。

表1 沼液及菌剂对玉米生长的影响

Table 1 Effects of slurry and microbial agents on the growth of maize

处理	株高/m	穗位高/m	穗长/cm	穗粗/cm	秃尖长/cm	穗行数/行	行粒数/粒	百粒重/g
A	2.48±0.03 a	0.99±0.02 a	16.60±0.21 a	15.56±0.12 a	0.44±0.06 a	13.80±0.22 a	35.45±0.56 a	26.66±0.47 a
B	2.45±0.03 a	1.02±0.01 a	16.82±0.19 a	15.58±0.13 a	0.40±0.07 a	14.05±0.25 a	36.30±0.60 a	30.49±2.68 a
D	2.43±0.02 a	1.01±0.01 ab	17.20±0.20 a	15.60±0.12 a	0.32±0.05 a	13.90±0.28 a	36.73±0.44 a	26.08±1.03 a
E	2.37±0.02 ab	1.01±0.02 a	16.84±0.27 a	15.76±0.13 a	0.44±0.06 ab	14.50±0.30 a	37.35±0.55 a	25.77±1.09 a
F	2.41±0.02 a	1.00±0.02 ab	16.61±0.26 a	15.66±0.15 a	0.48±0.07 ab	13.85±0.24 a	35.30±0.58 a	25.54±0.93 a
C	2.36±0.03 ab	0.92±0.02 a	16.53±0.19 a	15.33±0.11 a	0.61±0.09 b	13.93±0.25 a	35.30±0.55 a	23.59±0.93 a

注:数字后 a、b 为差异显著( $P<0.05$ )。下同。

#### 2.1.2 沼液对玉米产量的影响

沼液不仅影响玉米的经济性状,而且对其产量也有影响。图1反映了沼液、菌剂对玉米穗产量及籽粒产量的影响。如图1所示,施加沼液组(B)的

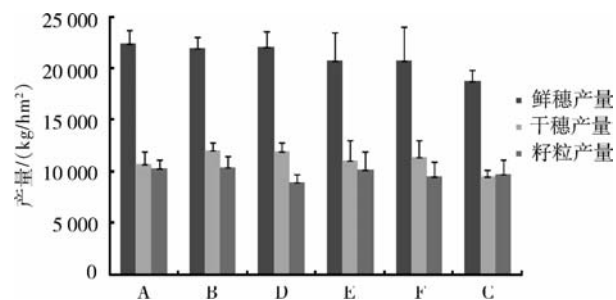
干穗产量及籽粒产量均高于清水组(A),分别达到12 000 和 10 378.95 kg/hm<sup>2</sup>,比清水组提高1 222.5 和 56.4 kg/hm<sup>2</sup>。但2组的鲜穗产量基本持平。

### 2.2 菌剂对玉米生长及产量的影响

菌剂可以通过其生理活动,为植物提供养料。本研究中,将4种微生物发酵物作为菌剂,接种于玉米根部,以研究其对玉米生长及产量的影响。具体而言,本研究中使用的固氮菌可以固定空气中的氮气,而解磷菌则可以分解土壤中一些植物难以直接利用的磷酸盐,转换为可被植物吸收利用形式。

#### 2.2.1 菌剂对玉米生长的影响

由表1可知,施用单菌剂组(D、E和F)的穗位高、穗长、穗粗指标都优于清水组(A),而施用复合菌剂组(C)次于清水组。施用菌剂组(C、D、E和F)穗行数优于清水组,但株高、百粒重均不及清水组。从秃尖长方面看,菌剂C4处理组(D)效果优于对照组。菌剂C4、W6处理组(D和E)的行粒数均大于



A为清水;B为沼液(用水按1:3稀释);C为清水添加复合菌剂0;D为清水添加菌剂C4;E为清水添加菌剂W6;F为清水并添加菌剂Yu62。下同。

图1 沼液及菌剂对玉米产量的影响

Fig. 1 Effects of slurry and microbial agents on the yield of maize

对照组。综合来看,单菌剂较复合菌剂好,单菌剂中菌剂 C4 效果相对较好。

2.2.2 菌剂对玉米产量的影响

由图 1 可知,施用单菌剂组(D、E 和 F)的干穗产量分别达 11 906.25、11 031.3 和 11 387.55 kg/hm<sup>2</sup>,都优于清水组(A),分别较对照增产 1 128.75、253.8 和 610.05 kg/hm<sup>2</sup>。而在鲜穗产量方面,除施用菌剂 C4 组(D)与清水组持平外,其他各组均稍低于清水组。同样,在籽粒产量方面,除施用菌剂 W6 组(E)与清水组持平外,其他各组均稍低于清水组。

2.3 菌剂和沼液复配对玉米生长及产量的影响

由于沼液中含有丰富的营养,其不但可以为植物提供养料,也可以影响菌剂中微生物的活性。但沼液对菌剂中微生物的影响研究甚少,二者复配施

用能否起到肥效的增加,促进玉米生长的作用也是未知的。所以本试验研究了二者复配施用的效果。

2.3.1 菌剂和沼液复配对玉米生长的影响

由表 2 可知,与单施用沼液组(B)或菌剂 C4 组(D)相比,沼液与菌剂 C4 复配组(G)的穗粗、秃尖长、穗行数有所提高。沼液与菌剂 W6 复配组(H)的穗长、穗粗、秃尖长高于单施用沼液组(B)或菌剂 W6 组(E),而株高、穗位高与 B 组持平,行粒数低于 B 组和 E 组。沼液与菌剂 Yu62 复配组(I)的穗粗、秃尖长和穗行数优于单施用沼液组(B)或菌剂 Yu62 组(F),但株高不及二者,同时其行粒数优于 F 组而不及 B 组。沼液与复合菌剂复配组(J)的穗长、秃尖长和行粒数优于单施用沼液组(B)或复合菌剂组(C),但株高、穗位高、穗长和穗粗优于 C 组而不及 B 组。菌剂与沼液复配组(G、H、I 和 J)的百粒重

表 2 菌剂、沼液及二者复配对玉米生长的影响

Table 2 Effects of microbial agents ,biogas slurry and their combination on the growth of maize

处 理	株高/m	穗位高/m	穗长/cm	穗粗/cm	秃尖长/cm	穗行数/行	行粒数/粒	百粒重/g
B	2.45±0.03 a	1.02±0.01 a	16.82±0.19 a	15.58±0.04 ab	0.40±0.02 ab	14.05±0.25 a	36.30±0.60 a	30.49±2.69 b
D	2.37±0.02 a	1.01±0.01 b	17.20±0.20 a	15.60±0.11 ab	0.32±0.05 ab	13.90±0.28 a	36.73±0.44 a	26.08±1.03 ab
E	2.41±0.02 a	1.01±0.02 b	16.84±0.27 a	15.76±0.13 ab	0.44±0.06 ab	14.50±0.30 a	37.35±0.55 a	25.77±1.09 ab
F	2.42±0.03 a	1.00±0.02 b	16.61±0.26 a	15.66±0.15 ab	0.48±0.07 ab	13.85±0.24 a	35.30±0.58 a	25.54±0.93 ab
C	2.36±0.03 a	0.92±0.02 b	16.53±0.19 a	15.33±0.11 a	0.60±0.09 b	13.93±0.25 a	35.30±0.55 a	23.59±0.93 a
G	2.45±0.02 a	0.99±0.01 b	17.19±0.16 a	15.97±0.14 b	0.31±0.05 a	14.65±0.39 a	36.55±0.43 a	27.24±0.71 ab
H	2.45±0.03 a	1.02±0.02 b	16.91±0.24 a	15.65±0.13 ab	0.44±0.08 ab	14.15±0.26 a	35.63±0.52 a	26.96±0.59 ab
I	2.40±0.02 a	1.00±0.01 b	16.82±0.19 a	15.75±0.13 ab	0.42±0.07 ab	14.10±0.25 a	35.58±0.43 a	28.44±0.73 ab
J	2.43±0.02 a	0.99±0.01 b	17.17±0.17 a	15.33±0.11 ab	0.30±0.05 a	13.95±0.32 a	36.48±0.44 a	27.41±0.17 ab

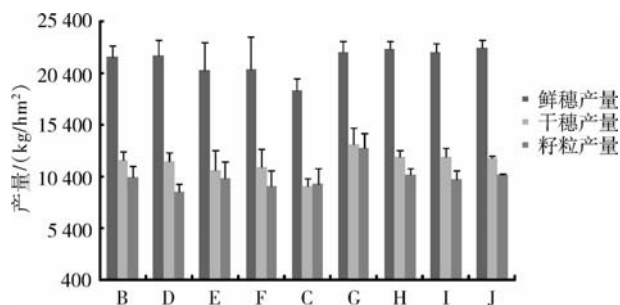
分别达 27.24±0.71、26.96±0.59、28.44±0.73 和 27.41±0.17 g,均低于单施沼液组(B,30.49±2.69 g),但均高于其单施菌剂处理组(D、E、F 和 C)。

2.3.2 菌剂和沼液复配对玉米产量的影响

由图 2 可知,除 H 组籽粒产量外,与单施用沼液组(B)或菌剂组(C、D、E 和 F)相比,沼液与相应的菌剂复配组(J、G、H 和 I)的鲜穗、干穗和籽粒均有增产。其中,与沼液处理组(B)相比,J、G、H 和 I 组鲜穗增产 885、405、750 和 480 kg/hm<sup>2</sup>;干穗增产 181.35、1 487.55、312.6 和 268.8 kg/hm<sup>2</sup>;籽粒增产 144.9、1 231.05 和 218.55 kg/hm<sup>2</sup>(除 H 组籽粒亩产)。沼液和菌剂 C4 复配组(G)鲜穗、干穗和籽粒产量分别达 22 350、13 487.55 和 11 610 kg/

hm<sup>2</sup>,与单施菌剂 C4 组(D)相比分别增产 300、1 581.3 和 1 408.05 kg/hm<sup>2</sup>,增产幅度分别为 1.36%、13.28%和 13.80%。沼液和菌剂 W6 复配组(H)鲜穗、干穗和籽粒产量分别达 22 695、12 312.05和10 597.5 kg/hm<sup>2</sup>,与单施菌剂 W6 组(E)相比分别增产 2 010、1 281.3 和 1 054.95 kg/hm<sup>2</sup>,增产幅度分别为 9.72%、11.62%和 11.06%。沼液和菌剂 Yu62 复配组(I)鲜穗、干穗和籽粒产量分别达22 425、12 268.8 和 10 106.25 kg/hm<sup>2</sup>,与单施菌剂 Yu62 组(F)相比分别增产 1 695、881.35 和 368.7 kg/hm<sup>2</sup>,增产幅度分别为 8.18%、7.74%和 3.79%。沼液和复合菌剂复配组(J)鲜穗、干穗和籽粒产量分别达 22 830、12 181.35 和 10 523.85

kg/hm<sup>2</sup>,与单施复合菌剂组(C)相比分别增产4 155、2 668.2和1 585.5 kg/hm<sup>2</sup>,增产幅度分别为22.25%、28.05%和17.74%。综上所述,沼液和菌剂复配可以起到增产的作用,其中沼液和菌剂C4复配组(G)的干穗和籽粒产量均为最高,增产效果最好。



G为沼液(按用水按1:3稀释),施用量90 t/hm<sup>2</sup>,以下沼液施用量同)添加菌剂C4;H为沼液添加菌剂W6;I为沼液添加菌剂Yu62;J为沼液添加W6、C4、Yu62、S20等比例复配组成的复合菌剂。

图2 菌剂、沼液及二者复配对玉米产量的影响

Fig. 2 Effects of microbial agents, biogas slurry and their combination on the yield of maize

### 3 讨论

由以上结果可知,施用沼液、菌剂及二者的复配液都可以为玉米生长提供养分,达到改善玉米经济性状及增加玉米籽粒产量的目的。

已经有许多研究表明,沼液可以作为有机肥料在不同气候条件和不同地区使用。其中的一些研究表明适量的沼液部分甚至完全替代化肥时可以实现粮食的增产<sup>[9-11]</sup>。本研究中,施用沼液组(B)玉米的穗位高、穗长、穗粗、秃尖长和穗行数、行粒数及百粒重指标均优于清水对照组(A),表明沼液可以促进玉米植株的生长,穗及种子的发育,从而表现出增产的作用。施加沼液组干穗产量及籽粒产量均高于清水组也证实了这一推测。但2组的鲜穗产量并未有明显差异,原因可能是沼液更有利于穗和种子干物质的积累。

本研究所用到的固氮芽孢菌(*Bacillus* sp.) W6、巴西固氮螺菌(*A. brasilense*) Yu62、固氮巨大芽孢杆菌(*B. megaterium*) C4及解磷假单胞菌(*P. alealigenes*) S20均分离自植物的根际,其本身具有植物促生作用,如固氮、分泌促生物质和分解转化不

可溶磷,以促进玉米的生长。据报道 *Azospirillum lipoferum* 和 *Bacillus megaterium* 组成的菌剂可以显著提高难溶磷的转化率及固氮酶活性<sup>[12]</sup>。接种 *Azospirillum brasilense* 可以对植株生长和玉米产量起到有益作用<sup>[13]</sup>。施用单菌剂(D、E和F)的穗位高、穗长、穗粗和穗行数指标都优于清水组(A),而株高方面并无优势,表明其可以促进玉米穗发育,但对玉米植株影响不大。值得注意的是,施用复合菌剂组(C)除穗行数外其他指标都次于清水组。可能的原因是当4种微生物按V:V=1:1混合复配施用,某些微生物间有拮抗或其他影响,会部分抵消各自的营养和促生效果,使其效果反而次于各菌剂的单独施用。唐欣昀等<sup>[14]</sup>指出不同菌种混合后,相互间可能产生共处、促进、拮抗和抑制等不同作用;或施入土壤后某些菌株会逐渐消失而被淘汰;或对土壤中其他微生物生态有一定影响,使得一些菌剂复合后效果并不明显。这还需进一步的实验结果予以证实。虽然菌剂处理可以促进玉米穗的发育,但其对玉米种子的发育生长起到一定负影响,表现在百粒重、籽粒产量低于清水处理组。其原因尚不明确,可能是菌剂产生的一些生理活性物质促进了玉米穗发育,使得玉米的营养供应更多地由种子偏向于穗生长。

除沼液和菌剂W6复配组(H)的籽粒产量指标外,各菌剂与沼液复配施用均能提高玉米的鲜穗、干穗及籽粒产量,说明沼液和菌剂的复配可以起到增效作用。沼液由于其营养丰富,含有含有丰富的氮、磷、钾等营养物质和铜、锰等微量营养元素,还有各类氨基酸、维生素、蛋白质、赤霉素、生长素、糖类、核酸和抗生素等,一方面其可以为植物提供营养,促进植物生长;另一方面,其中的营养也可以通过为微生物提供营养或保护剂,从而提高菌剂的活性。

微生物源的IAA被认为可以促进植物生长,并与植物发病机制相关。许多微生物,包括土壤、附生及组织内生菌等都可以产生IAA<sup>[15]</sup>。本研究中,沼液与菌剂C4复合使用(G)效果最佳,株高、穗长、穗粗、行粒数、穗行数、干穗产量和籽粒产量都优于其他处理组,表现出明显的增产、促生作用。原因可能除了沼液及菌剂的营养作用外,还包括菌剂C4本身也具有促生作用。有证据表明,固氮巨大芽孢杆菌(*B. megaterium*)C4可以分泌IAA等物质,促进植物的生长(数据未发表)。对于以上两方面的原因还需进一步实验予以证明。

总之, 沼液与菌剂 C4 复合处理使得玉米在经济性状的改善及籽粒亩产的提高方面都取得了良好的效果, 通过进一步的大田实验找出沼液与菌剂 C4 的最复合配比, 有望使得其早日应用于农业生产中。

### 参 考 文 献

- [1] Ayoub A T. Fertilizers and the environment [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1999, 55:117-121
- [2] Lefcourt A M, Meisinger J J. Effect of adding alum or zeolite to dairy slurry on ammonia volatilization and chemical composition[J]. Journal of Dairy Science, 2001, 84:1814-1821
- [3] Sharpley A N, Smith S J. Nitrogen and phosphorus forms in soils receiving manure[J]. Soil Science, 1995, 159:253-258
- [4] Burris R H. Retrospective on biological nitrogen fixation[C]// Ladha J K, Reddy P M. The Quest for Nitrogen Fixation in Rice, Los Banos, Laguna, Philippines; International Rice Research Institute, 2000:11-24
- [5] 章家恩, 刘文高. 微生物资源的开发利用与农业可持续发展 [J]. 土壤与环境, 2001, 10(2):154-157
- [6] Riggs P J, Chelius M K, Iniguez A L, et al. Enhanced maize productivity by inoculation with diazotrophic bacteria[J]. Aust J Plant Physiol, 2001, 28:829-836
- [7] Adesemoye A O, Torbert H A, Kloepper J W. Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers[J]. Microb Ecol, 2009, 58:921-929
- [8] Park M, Kima C, Yanga J, et al. Isolation and characterization of diazotrophic growth promoting bacteria from rhizosphere of agricultural crops of Korea [J]. Microbiological Research, 2005, 160:127-133
- [9] Motavalli P P, Kelling K A, Syverud T D, et al. Interaction of manure and nitrogen or starter fertilizer in Northern corn production[J]. J Prod Agric, 1993, 6(2):191-194
- [10] Nevens F, Reheul D. Agronomical and environmental evaluation of a long-term experiment with cattle slurry and supplemental inorganic N applications in silage maize[J]. Eur J Agron, 2005, 22:349-361
- [11] Zebarth B J, Paul J W, Schimdt O, et al. Influence of the time and rate of liquid-manure application on yield and nitrogen utilization of silage corn in south coastal British Columbia[J]. Can J Soil Sci, 1996, 76:153-160
- [12] El-Komy H M A. Coimmobilization of *Azospirillum lipoferum* and *Bacillus megaterium* for successful phosphorus and nitrogen nutrition of wheat plants [J]. Food Technol Biotechnol, 2005, 43(1):19-27
- [13] Herschkovitz Y, Lerner A, Davidov Y, et al. Inoculation with the plant-growth-promoting rhizobacterium *Azospirillum brasilense* causes little disturbance in the rhizosphere and rhizoplane of Maize (*Zea mays*) [J]. Microbial Ecology, 2005, 50:277-288
- [14] 唐欣昀, 张明, 赵海泉, 等. 微生物肥料及其生产应用中的问题 [J]. 生物学杂志, 2002, 18:32-33
- [15] Patten C L, Glick B R. Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid[J]. Can J Microbiol, 1996, 42:207-220

(责任编辑: 王燕华)