

# 自生固氮菌的固氮能力及其对春小麦生长发育的影响\*

卢秉林<sup>1</sup> 王文丽<sup>1</sup> 李娟<sup>1</sup> 郭天文<sup>2</sup>

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所 兰州 730070;

2. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所 兰州 730070)

**摘要** 为挑选具有高固氮能力的自生固氮菌菌株, 用乙炔还原法对甘肃省春小麦和玉米等非豆科作物根际土壤中分离所得的 13 株菌进行固氮酶活性测定, 并通过盆栽试验对其进行春小麦肥效试验。结果表明: 供试 13 株自生固氮菌对春小麦籽粒、生物产量及其构成因素均有一定促进作用, N6、N10、N13、N14、N27 和 N42 6 株菌对春小麦产量的促进作用相对较高, 具有一定的应用前景, 有望成为微生物肥料研制的菌种。其中 N13 对春小麦的增产效果最为明显, 与施同量肥料(1/3N)的对照相比, 籽粒增产 66.04%, 生物产量增产 54.19%, 穗重增加 47.65%, 穗粒数增多 37.91%, 千粒重增加 20.42%, 株高增加 5.16%, 穗长增加 21.89%, 且具有较强的固氮能力, 每盆固氮量为 212.55 mg, 固氮酶活性也显著高于其他菌株, 达到  $139.79 \text{ nmol}(\text{C}_2\text{H}_4) \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

**关键词** 固氮酶活性 自生固氮菌 春小麦 产量 固氮量

中图分类号: S144.5; S512.1+2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2009)05-0895-05

## Nitrogen fixation ability of azotobacter and its effect on growth of spring wheat

LU Bing-Lin<sup>1</sup>, WANG Wen-Li<sup>1</sup>, LI Juan<sup>1</sup>, GUO Tian-Wen<sup>2</sup>

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water Saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;

2. Institute for Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

**Abstract** In order to select high nitrogen-fixing azotobacter strains, nitrogenase activity of 13 strains separated in the rhizosphere in Gansu non-leguminous crop fields were measured by acetylene reduction method. Also the fertilization effect of the strains on spring wheat was investigated via pot experiment. The results show some degree of promotion effects of 13 azotobacter strains on spring wheat grain yield, biomass and the yield components. N6, N10, N13, N14, N27 and N42 strains presenting relative stronger promoting effects on spring wheat yield have application prospects as the bacteria strains of microbial fertilizer. N13 strain significantly increases spring wheat yield. The grain yield, biomass, panicle weight, panicle grain number, 1000-grain weight, plant height and panicle length with N13 respectively increase by 66.04%, 54.19%, 47.65%, 37.91%, 20.42%, 5.16% and 21.89% compared to the treatment with similar fertilizer amount. Its nitrogen-fixing amount in spring wheat soil is 212.55 mg per pot, and nitrogenase activity is significantly higher than other strains, reaching  $139.79 \text{ nmol}(\text{C}_2\text{H}_4) \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

**Key words** Nitrogenase activity, Azotobacter, Spring wheat, Yield, Nitrogen-fixing amount

(Received Aug. 5, 2008; accepted Nov. 17, 2008)

近年来, 化肥尤其是氮肥的大量施用, 在满足作物高产需求的同时, 带来的肥料效应和化肥利用率下降、环境污染加剧等负效应已不容忽视<sup>[1,2]</sup>。而施用微生物肥料, 在提高作物生物固氮能力, 发挥土壤潜在肥力, 改良土壤质量, 刺激和调控植物生长, 增强植物抗病、抗逆能力, 改善农作物品质, 降低环境污染和提高作物产量等方面具有重要意

义<sup>[3]</sup>。各国的科学家们越来越重视微生物肥料的研发, 特别是生物固氮的研究<sup>[4–10]</sup>。但目前用于制备微生物肥料的菌种存活能力弱, 有效期短, 对土壤环境要求比较苛刻, 故筛选开发新型高效固氮菌株十分重要。本文通过对甘肃省春小麦和玉米等非豆科作物根际土壤中分离所得的 13 株菌进行固氮酶活性测定, 并通过盆栽试验对其进行春小麦肥效试验,

\* 甘肃省科学技术攻关计划项目(2GS042-A41-001-06)资助

卢秉林(1979~), 男, 研究实习员, 主要从事土壤微生物研究工作。E-mail: lblhappy@163.com

收稿日期: 2008-08-05 接受日期: 2008-11-17

试图分离得到具有高固氮能力的菌株, 以便为固氮菌肥的研制提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试菌株

供试菌株从甘肃省春小麦和玉米等非豆科作物根际土壤分离所得, 并能在阿须贝培养基上良好生长, 其编号分别为 N6(芹菜根际)、N7(春小麦根际)、N8(芹菜根际)、N10(芹菜根际)、N13(春小麦根际)、N14(油葵根际)、N15(油葵根际)、N23(玉米根际)、N24(春小麦根际)、N25(芹菜根际)、N27(春小麦根际)、N38(春小麦根际)和 N42(春小麦根际)。

### 1.2 菌株的固氮酶活性测定

固氮酶活性采用乙炔还原法测定<sup>[11]</sup>: 将菌种分别接种于盛有 4.5 mL 改良阿须贝无氮培养基的试管(15 mm × 150 mm)中, 28℃ 下培养 48 h 后, 将试管的棉塞在无菌条件下换成橡皮塞, 用无菌注射器从每支试管中抽出 1.8 mL 气体, 注入 1.6 mL C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, 再置培养箱中培养 48 h 后, 从试管中抽取混合气体 0.5 mL 注入气相色谱仪中, 测定 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 的生成情况。从气相色谱仪显示屏的 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 峰值判断有无 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 的产生, 以接种但未注入 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 的试管作为对照, 5 次重复。根据公式(1)计算固氮酶活性。

$$N = (hx \times C \times V) / (hs \times \text{常数} \times t) \quad (1)$$

式中, *hx* 为样品峰值, *hs* 为标准 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 峰值, *C* 为标准 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 浓度(nmol · ml<sup>-1</sup>), *V* 为试管体积(mL), 常数为标准 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 在测试时的体积(mL), *t* 为样品培养时间(h), *N* 为产生的 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 浓度[即固氮酶活性, nmol(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) · h<sup>-1</sup> · mL<sup>-1</sup>]。

### 1.3 菌株对春小麦的肥料效应及固氮量测定

试验设在甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所温室, 采用盆栽试验, 供试作物品种为春小麦“533-1”。盆栽土壤取自甘肃省农业科学院兰州试验站, 取耕层 0~20 cm 土层土壤, 除去砾石及杂草枯枝后, 混匀过筛。土壤肥力偏低, 全氮 0.24 g · kg<sup>-1</sup>, 全磷 0.56 g · kg<sup>-1</sup>, 全钾 24.9 g · kg<sup>-1</sup>, 速效氮 18.2 mg · kg<sup>-1</sup>, 速效磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 15.1 mg · kg<sup>-1</sup>, 速效钾(K<sub>2</sub>O) 41.0 mg · kg<sup>-1</sup>, 有机质 2.29 g · kg<sup>-1</sup>, 全盐 0.43 g · kg<sup>-1</sup>, pH 值为 8.28。试验盆钵采用 230 mm × 200 mm 的塑料花盆, 每盆装土 3.50 kg。肥料作为基肥一次性施入, 播种前称取土样 3.50 kg 与肥料充分混匀后装盆, 施肥全量按氮肥(N) 0.15 g · kg<sup>-1</sup> 和磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 0.1 g · kg<sup>-1</sup> 的常规用量计算, 以盆为单位进行施肥。播种时每盆浇水 700 mL, 出苗后保证作物有充足的水分供应。每盆播种 12 粒, 出苗后第 5 d 定苗 7 株。试验期间无异常气候现象, 人工除草、病

虫害防治同大田。

试验共设 3 个对照处理, 13 个接菌处理, 5 次重复, 共 80 盆。CK1 处理不施肥(0N), CK2 处理施硝酸铵 0.500 g · 盆<sup>-1</sup>、磷酸二氢钾 0.670 g · 盆<sup>-1</sup>(1/3N), CK3 处理施硝酸铵 1.500 g · pot<sup>-1</sup>、磷酸二氢钾 0.670 g · pot<sup>-1</sup>(N); 其余处理为 13 株供试菌株的接菌处理, 接菌处理施肥量为硝酸铵 0.500 g · 盆<sup>-1</sup>, 磷酸二氢钾 0.670 g · 盆<sup>-1</sup>(1/3N), 在苗期和分蘖期每株小麦接种相应菌液 1 mL。春小麦于 2007 年 4 月 4 日播种, 7 月 16 日收获, 收获时各盆单打单收, 进行常规考种; 采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮, 奈氏比色法<sup>[12]</sup>对秸秆和籽粒中全氮含量进行测定, 计算固氮量, 其中固氮量为同等施肥水平下, 接种处理地上部分(秸秆+籽粒)全氮总和与不接种处理地上部分全氮总和之差。

### 1.4 数据处理

试验数据采用 Excel2003 和 DPS3.01 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同自生固氮菌的固氮酶活性

图 1 表明 13 株自生固氮菌的固氮酶活性介于 41.55~139.79 nmol(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) · h<sup>-1</sup> · mL<sup>-1</sup> 之间, 其中 N13>N6>N27>N10>N24>N25>N23>N7>N8>N14>N15>N38>N42, N13 菌株的固氮酶活性达 139.79 nmol(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) · h<sup>-1</sup> · mL<sup>-1</sup>, 显著高于其他菌株。

### 2.2 不同自生固氮菌对春小麦产量及产量构成因素的影响

#### 2.2.1 穗粒产量和生物产量

从图 2 可以看出, 供试 13 株自生固氮菌中, N6、N7、N8、N10、N13、N14、N15、N27 和 N42 9 个接菌处理的春小麦籽粒和生物产量均显著高于 CK2 对照, 其中 N6、N10、N13、N14 和 N27 5 株菌对春小麦籽粒和生物产量的增产幅度相对较高, 相比 CK2 对照的增产幅度均超过 25%, 而 N42 虽然对春小麦生物产量的增幅只有 22.87%, 但对春小麦籽粒产量的增幅却达到 30.18%。接菌处理中 N13 对春小麦籽粒和生物产量的增产效果均为最高, 分别比 CK2 对照增高 66.04% 和 54.19%, 但却低于施全量肥料的 CK3 对照, 且差异显著。

#### 2.2.2 产量构成因素

由表 1 可知, 各接菌处理的春小麦穗粒数均高于施同量肥料的 CK2 对照, 其中 N6、N7、N8、N10、N13、N14、N15、N27 和 N42 9 个接菌处理的春小麦穗粒数与 CK2 差异达显著水平, N13 和 N42 接种处理的春小麦穗粒数相对较多, 为 37.43 粒和 37.34 粒, 比 CK1 和 CK2 对照分别增长 615.68%、37.91%

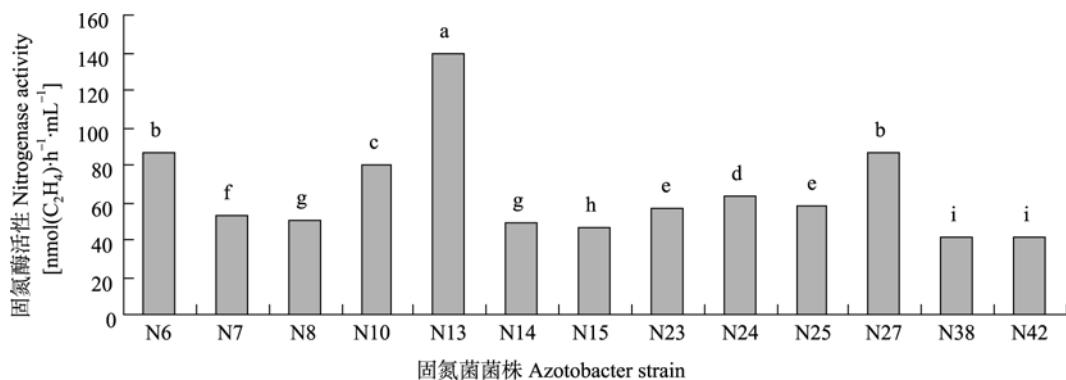


图 1 不同自生固氮菌的固氮酶活性

Fig. 1 Nitrogenase activities of different azotobacters

图中不同小写字母表示 0.05 水平差异显著, 下同。Different small letters stand for significant difference at 0.05 level. The same below.

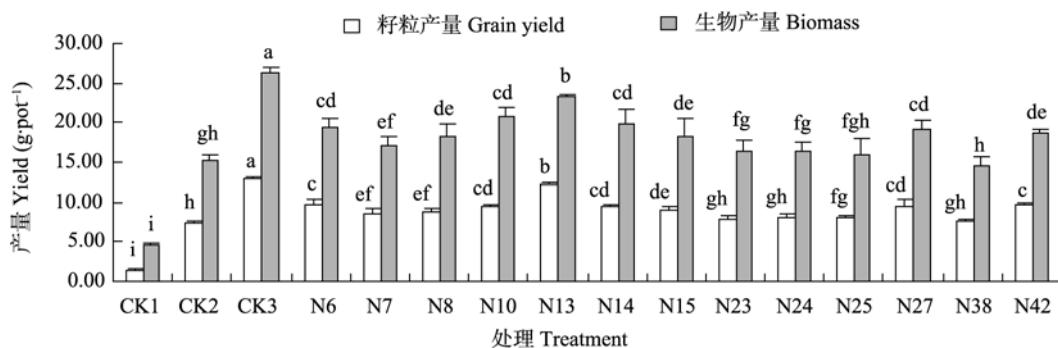


图 2 不同自生固氮菌对春小麦籽粒产量和生物产量的影响  
Fig. 2 Effects of different azotobacters on grain yield and biomass of spring wheat

和 613.96%、37.58%, 且与 CK3 对照无显著差异。从春小麦千粒重看, 尽管 N8 和 N42 接种处理的春小麦千粒重低于 CK2 对照, 但差异不显著, 其余接菌处理的春小麦千粒重均高于 CK2 对照, 其中 N10、N13、N25 和 N27 接菌处理的春小麦千粒重与 CK2 对照差异达显著水平, 而 N13 接菌处理的春小麦千粒重在接种处理中最高, 与 CK3 对照差异不显著。从春小麦穗重看, 13 个接种处理中, 除 N23、N24、N25 和 N38 4 个接种处理的小麦穗重与 CK2 对照无显著差异外, 其余处理的小麦穗重均显著高于 CK2, 但却显著低于 CK3, 且 N13 接菌处理的春小麦穗重同样在所有接种处理中最高, 平均穗重为 2.20 g, 比 CK1 和 CK2 对照分别增长 566.67% 和 47.65%。从小麦秸秆重看, 各接菌处理的春小麦秸秆都显著重于 CK1, 又显著低于 CK3, 除 N7、N23、N24、N25 和 N42 接菌处理的小麦秸秆重与 CK2 处理差异不显著外, 其他接菌处理都显著高于 CK2, 其中 N10 和 N13 接菌处理的小麦秸秆重显著高于其他接菌处理, 平均每盆重 7.28 g 和 7.96 g, 分别比 CK1 和 CK2 对照增长 215.15%、52.62% 和 244.59%、66.88%。有 9 个接种处理的小麦株高高于 CK2 对照, 其中 N6、N13、N14 和 N27 接菌处理的小麦株高相对较高, 分别高于 CK2 4.04%、5.16%、4.51% 和 4.51%。同样

有 9 个接种处理的麦穗长于 CK2 对照, 其中 N13 接种处理的麦穗最长, 显著高于其他接种处理, 且与 CK3 对照差异不显著。

### 2.3 不同自生固氮菌在春小麦上的固氮作用

固氮量测定可用全氮增加来衡量, 在无化合态氮来源的情况下, 若系统中全氮量有净增加则表明有固氮作用发生, 比较固氮系统和不固氮系统中全氮量, 以确定固氮量<sup>[13]</sup>。由表 2 可知, 所有接菌处理的春小麦, 无论是秸秆还是籽粒, 其全氮量相比 CK2 对照均有所增加, 说明供试的 13 株自生固氮菌均能固定空气中的氮素供春小麦吸收, 同时也能提高春小麦籽粒和秸秆吸收氮素的能力。N6、N10、N13、N27 和 N42 5 株菌的固氮量相对较高, 超过 100.00 mg · pot<sup>-1</sup>, 其中 N13 菌株的固氮能力最强, 每盆达 212.55 mg。

### 3 结论与讨论

从非豆科作物根际土壤分离所得 13 株菌的固氮酶活性为 41.55~139.79 nmol (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) · h<sup>-1</sup> · mL<sup>-1</sup>, 其中 N6、N7、N10、N13、N23、N24、N25 和 N27 8 株菌的固氮酶活性超过 50 nmol(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) · h<sup>-1</sup> · mL<sup>-1</sup>, 该结果与春小麦固氮量的多少并不完全一致, 其中只有 N6、N10、N13 和 N27 4 株菌具有相对较高的固氮

表 1 不同自生固氮菌对春小麦产量构成因素的影响  
Tab. 1 Effects of different azotobacters on yield components of spring wheat

处理 Treatment	穗粒数 Grains per panicle	千粒重 1000-grain weight (g)	穗重 Panicle weight (g)	秸秆重 Straw weight (g)	株高 Plant height (cm)	穗长 Panicle length (cm)
CK1	5.23 g	35.49 f	0.33 h	2.31 i	37.25 f	5.01 g
CK2	27.14 f	38.89 cdef	1.49 g	4.77 gh	53.26 bcde	7.40 def
CK3	37.91 a	48.58 a	2.50 a	8.82 a	60.59 a	9.54 a
N6	34.29 b	40.48 bcd	1.91 c	5.91 cde	55.41 bc	7.42 cdef
N7	29.40 e	41.68 bc	1.72 def	5.05 fg	52.69 bcde	6.94 ef
N8	32.86 c	38.14 def	1.80 cde	5.60 def	53.76 bcd	7.59 bcde
N10	31.94 d	42.50 b	1.94 c	7.28 b	54.83 bcd	7.83 bcd
N13	37.43 a	46.83 a	2.20 b	7.96 b	56.01 b	9.02 a
N14	33.83 b	40.19 bcde	1.92 c	6.45 c	55.66 b	8.07 bc
N15	31.46 d	40.90 bcd	1.80 cde	5.64 def	55.27 bc	7.59 bcde
N23	27.37 f	40.63 bcd	1.60 fg	5.23 efg	50.84 de	7.04 ef
N24	27.74 f	41.43 bcd	1.63 efg	4.96 fgh	54.84 bcd	7.11 ef
N25	27.23 f	42.37 b	1.61 fg	4.58 gh	49.67 e	6.79 f
N27	31.69 d	42.64 b	1.88 cd	6.00 cd	55.66 b	7.43 cdef
N38	27.57 f	39.90 bcde	1.48 g	4.23 h	54.31 bcd	8.10 b
N42	37.34 a	36.79 ef	1.90 c	5.34 defg	51.46 cde	7.87 bcd

表 2 不同自生固氮菌对春小麦的固氮作用  
Tab. 2 Effects of different azotobacters on nitrogen fixation of spring wheat

处理 Treatment	秸秆全氮含量 Straw total N content (mg · g <sup>-1</sup> )	秸秆重 Straw weight (g · pot <sup>-1</sup> )	秸秆含氮量 Straw N content (mg · pot <sup>-1</sup> )	籽粒全氮含量 Grain total N content (mg · g <sup>-1</sup> )	籽粒重 Grain weight (g · pot <sup>-1</sup> )	籽粒含氮量 Grain N content (mg · pot <sup>-1</sup> )	全氮总和 Sum of total N (mg · pot <sup>-1</sup> )	固氮量 N fixation amount (mg · pot <sup>-1</sup> )
CK2	3.2	4.77	15.26	15.8	7.39	116.76	132.02	—
N6	5.4	5.91	31.91	21.4	9.71	207.79	239.70	107.68
N7	4.6	5.05	23.23	18.2	8.59	156.34	179.57	47.55
N8	4.6	5.60	25.76	17.9	8.77	156.98	182.74	50.72
N10	5.4	7.28	39.31	22.4	9.50	212.80	252.11	120.09
N13	6.6	7.96	52.54	23.8	12.27	292.03	344.57	212.55
N14	3.6	6.45	23.22	20.0	9.52	190.40	213.62	81.60
N15	4.6	5.64	25.94	19.5	9.01	175.70	201.64	69.62
N23	5.3	5.23	27.72	23.2	7.78	180.50	208.22	76.20
N24	4.6	4.96	22.82	16.2	8.04	130.25	153.07	21.05
N25	3.5	4.58	16.03	18.3	8.08	147.86	163.89	31.87
N27	5.1	6.00	30.60	23.6	9.46	223.26	253.86	121.84
N38	4.5	4.23	19.04	19.5	7.70	150.15	169.19	37.17
N42	4.9	5.34	26.17	22.9	9.62	220.30	246.47	114.45

量, 超过 100.00 mg · pot<sup>-1</sup>, 这主要是因为固氮酶活性测定方法的局限性所致, 因为能还原乙炔的菌株并不一定能固氮<sup>[14]</sup>。同时, 固氮量超过 100.00 mg · pot<sup>-1</sup>的还有 N42 接菌处理, 而其固氮酶活性却不高, 只有 41.55 nmol(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) · h<sup>-1</sup> · mL<sup>-1</sup>, 这可能是因为该菌株对春小麦生长发育的促进作用并不是只有菌株固氮一个因素, 而是多种因素的综合, 从而使 N42 接菌处理的春小麦具有很高的籽粒和生物产量, 相应

固定了较多氮。有关这方面已有报道<sup>[15,16]</sup>。

试验结果表明, 从不同作物根际分离所得的 13 株自生固氮菌对春小麦籽粒、生物产量及其构成因素均有一定的促进作用, 说明自生固氮菌与作物之间无依存关系, 虽然它们分离于不同的作物根际土壤, 但均可以固定空气中的氮, 供给春小麦吸收利用。N6、N10、N13、N14、N27 和 N42 6 株菌对春小麦产量的促进作用相对较高, 其中 N13 对春小麦

的增产效果最为明显, 与施同量肥料(1/3N)的CK2对照相比, 穗粒增产66.04%, 生物产量增产54.19%, 穗重增加47.65%, 穗粒数增多37.91%, 千粒重增加20.42%, 株高增加5.16%, 穗长增加21.89%, 同样该菌株具有最高的固氮量和最大的固氮酶活性。这一研究结果进一步验证了曹云海<sup>[17]</sup>关于固氮菌可以有效增加小麦、玉米产量的结论。Gaskins的研究结果表明固氮菌能有效积累氮素<sup>[6]</sup>; 而林代炎等<sup>[18]</sup>的盆栽试验表明, 在一定施肥水平基础上, 接种固氮菌对水稻有增产趋势, 但效果不明显, 这可能是因为供试菌种的固氮能力大小或其要求的最佳固氮环境与供试环境不完全一致所致。

综合13株菌对春小麦籽粒产量、生物产量和构成因素, 及其固氮酶活性和对春小麦固氮量的影响认为: 供试13株自生固氮菌中, N6、N10、N13、N14、N27和N426株对春小麦产量的促进作用相对较高, 具有一定的应用前景, 有望成为微生物肥料研制的菌种, 值得继续研究和开发。其中N13对春小麦的增产效果最为明显, 但是与1/3氮肥配合施用的效果不及施全氮处理, 到底与多少量的氮肥配合施用效果最佳, 需要进一步试验。此外, 由于盆栽试验的局限性和乙炔还原法本身的一些限制因素, 本文对试验菌株的固氮特性只是一个初步试验, 如在实际生产中推广应用还有待进一步研究。

## 参考文献

- [1] 谭金芳. 作物施肥原理与技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 1-2
- [2] 白木, 庾晋, 子荫. 切实解决我国化肥施用不当造成的污染问题[J]. 磷肥与复肥, 2003, 18(1): 9-11
- [3] 卢秉林, 李娟, 郭天文. 甘肃微生物肥料研发应用现状及其发展对策[J]. 甘肃农业科技, 2007 (8): 36-38
- [4] 王朋友, 李光忠, 陈洪美. 小麦、玉米施用微生物接种剂增产效应初报[J]. 土壤肥料, 2001 (3): 44-47
- [5] 慈恩, 高明. 环境因子对豆科共生固氮影响的研究进展[J]. 西北植物学报, 2005, 25(6): 1269-1271
- [6] 王树凤, 陈益泰. 非豆科植物固氮菌—Frankia的基因组研究进展[J]. 土壤, 2005, 37(4): 382-387
- [7] 梁俊, 李杨瑞, 吴凯朝, 等. 接种固氮菌对甘蔗组培苗氮营养生理特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(10): 3964-3965
- [8] Hurek T., Reinhold H. B. *Azoarcus* sp. Strain B H72 as a model for nitrogen fixing grass endophytes[J]. Biotechnol., 2003, 106(2): 169-178
- [9] Bemon D. R., Silver W. B. Biology of *Frankia* strains, actinomycete symbionts of actinorhizal plants[J]. Microbial Rev., 1993, 57: 293-319
- [10] Steenhoudt O., Vanderleyden J. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: Genetic, biochemical and ecological aspects[J]. FEMS Microbiology Reviews, 2000, 24: 487-506
- [11] 田宏, 张德罡, 姚拓, 等. 禾本科草坪草固氮菌株筛选及部分特性初步研究[J]. 中国草地, 2005, 2(5): 47-52
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析(第3版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 265-267
- [13] 陈朝勋, 席琳乔, 姚拓, 等. 生物固氮测定方法研究进展[J]. 草原与草坪, 2005 (2): 24-26
- [14] 黄东风, 翁伯琦, 罗涛. 豆科植物固氮能力的主要测定方法比较[J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2003, 25(5): 17-20
- [15] Mirz M. S., Rasul G., Mehnaz S. Beneficial effects of inoculated nitrogen-fixing bacteria on rice[J]. Biology and Fertility of Soils, 2000, 31: 191-204
- [16] 边秀举, 胡林, 李晓林, 等. VA菌根对草坪草矿质养分吸收及草坪质量影响的研究[J]. 草业学报, 2001, 10(3): 42-46
- [17] 曹云海. 非豆科作物施用固氮菌肥的肥效试验[J]. 甘肃农业, 2005 (11): 93-91
- [18] 林代炎, 叶美峰, 林琰, 等. <sup>15</sup>N示踪法研究固氮芽孢杆菌应用效果[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1310-1312

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告

——《作物杂志》

《作物杂志》是中国作物学会和中国农业科学院作物科学研究所主办的农作物实用性技术类期刊, 1985年创刊。本刊信息量大、时效性强; 发行量大、影响面广。曾荣获第三届/第四届/第五届全国优秀农业科技期刊奖、中国科协优秀科技期刊奖。连续入选全国中文核心期刊、入选中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)和中国农业核心期刊, 2005年进入国家精品期刊库。

办刊宗旨: 为农业生产服务。刊登具有创新性、实用性强的有关农作物的文章; 快速报道农业新技术、新成果; 关注三农问题; 积极配合国家农业政策发表具有导向作用的宏观指导性的文章。

读者对象: 种植业专业户、农业经营人员、农业技术推广工作者, 蔬菜、林果基地、农业示范园区、农场、农垦系统有关人员, 各级农业领导、农业院校师生及广大农民朋友。

本刊为双月刊, 大16开本, 128页。定价8元, 全年48元, 全国各地邮局均可订阅。漏订者请寄款至编辑部, 地址: 北京中关村南大街12号中国农科院作物所内, 收款人: 作物杂志编辑部, 邮编: 100081

电子信箱: zwzz304@mail.caas.net.cn 电话: (010)82108790