

贝莱斯芽孢杆菌 BMF03 对黄瓜幼苗促生长作用及其生物学功能研究

吴玉洪, 冷超凡, 陈莹莹, 王亚楠, 陈茹, 汤曼利, 马桂珍*, 暴增海
(江苏海洋大学海洋生命与水产学院, 江苏 连云港 222005)

摘要:为明确海洋贝莱斯芽孢杆菌 BMF03 菌株对黄瓜幼苗促生作用及其生物学功能, 通过盆栽试验, 采用发酵液浸种、拌土、灌根和菌糠发酵物拌土等方法, 用不同浓度 BMF03 发酵液和菌糠发酵物处理黄瓜种子、土壤和幼苗, 测定三叶期黄瓜幼苗株高、茎粗、地上部和地下部鲜重、干重和须根数; 采用平板透明圈法和比色法, 测定 BMF03 菌株的固氮、解磷、解钾作用, 以及产吲哚乙酸、铁载体、ACC 脱氢酶活性。结果表明, 不同处理方法 BMF03 发酵液和菌糠发酵物对黄瓜幼苗生长均具有明显的促进作用, 其中菌糠发酵物拌土处理的促生作用最强, 其次为发酵液拌土处理; BMF03 菌株具有固氮作用, 能够产生 ACC 脱氢酶、吲哚乙酸和铁载体, 铁载体相对含量和吲哚乙酸最高产量分别为 24.65% 和 2.8 mg/L; 不具有解磷、解钾作用。

关键词:贝莱斯芽孢杆菌 BMF03; 促生作用; 铁载体; ACC 脱氢酶; 吲哚乙酸

中图分类号: S476.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)03-0106-06

Study on the Growth-Promoting Effect and Biological Function of *Bacillus velezensis* BMF03 on Cucumber Seedlings

WU Yuhong, LENG Chaofan, CHEN Yingying, WANG Yanan, CHEN Ru, TANG Manli, MA Guizhen*,
BAO Zenghai

(Jiangsu Ocean University, College of Marine Life and Fisheries, Lianyungang 222005, China)

Abstract: This study aims at elucidating the growth-promoting effects and biological function of *Bacillus velezensis* BMF03 strain on cucumber seedlings. A pot trial was conducted using different approaches such as soaking seed, mixing soil, filling root and mixing soil with fermented bran residues. Treatment of cucumber seeds, soil and seedlings with different concentrations of BMF03 fermentation liquid and fermented bran. The plant height, stem diameter, fresh weight and dry weight were measured. The plate-incubation method and colorimetric method were used to determine the abilities of strain BMF03 on fixing nitrogen, solubilizing phosphate and potassium, producing indoleacetic acid, iron carrier and ACC deaminase. The results showed that BMF03 fermentation liquid and bran fermentation have obvious promoting effects on the growth of cucumber seedlings by different treatment methods. The most effective treatment method was the soil-mixing treatment with fermented bran, the second is the treatment of fermentation liquid mixed with soil. Strain BMF03 could fix nitrogen and produce ACC deaminase, indole acetic acid and iron carrier. The relative content of iron carrier was up to 24.65%, the maximum amount of indole acetic acid was 2.8 mg/L. *Bacillus velezensis* BMF03 does not have the function of dissolving phosphorus and potassium.

Key words: *Bacillus velezensis* BMF03; Growth promotion; Iron carrier; ACC deaminase; Indole acetic acid

化学肥料的大量使用导致的土壤失调、环境污染等问题受到社会的关注。微生物肥料因能够促进植物生长, 可有效弥补化学肥料的不足^[1], 如改善作物品质、提高植物抗性、提高营养元素的

吸收等^[2]。林思锻^[3]喷施微生物菌肥, 测定黄瓜的出苗数量、株高、雌花开放数量及商品性状、产量等指标, 进行黄瓜应用微生物肥的肥效试验, 为生物菌肥的开发提供了科学基础; 李乐等^[4]研究表明根瘤菌剂、TBK 复合微生物原菌剂、微生物复合菌剂能显著促进绿豆生长。其中, 芽孢杆菌具有抑制植物病原菌、促进植物生长的能力^[5-6], 因其能够产生芽孢, 抵御不良环境, 比其他生防菌

收稿日期: 2020-07-27

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(SCX[20]3191)

作者简介: 吴玉洪(1994-), 男, 在读硕士, 研究方向: 生物化工。

通讯作者: 马桂珍, 女, 博士, 教授, E-mail: guizhenma@sohu.com

菌更具有优势^[7],因此被开发成生物制剂并广泛应用于农业生产。研究表明,枯草芽孢杆菌有利于促进玉米、桑树及苦瓜等作物的生长,促进甘薯苗生根^[8-11];采用多黏类芽孢杆菌L₁-9菌株发酵液浸种,结果表明该菌株对黄瓜、小麦的生长发育产生明显的促进作用^[12-13]。芽孢杆菌能够产生吡啶乙酸和NH₃,促进甜菜、胡萝卜、黄瓜、胡椒、马铃薯等蔬菜的生长^[14]。海洋类微生物具有耐盐和产生不同于陆源微生物代谢产物的特点,可作为盐碱地植物防病促生的选择,但目前关于海洋贝莱斯芽孢杆菌对黄瓜幼苗生长及生物学功能研究较少。

本研究采用BMF03菌株发酵液和菌糠发酵物不同方式处理黄瓜种子、幼苗及土壤,进行盆栽试验,评价其对黄瓜幼苗各项生长指标的影响;同时,测定促生长指标,验证海洋贝莱斯芽孢杆菌在黄瓜幼苗上的应用效果,为贝莱斯芽孢杆菌在黄瓜幼苗上的应用提供科学依据。

1 试验材料与试验方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试菌株

贝莱斯芽孢杆菌BMF03(*Bacillus velezensis*, BMF03)、甲基营养芽孢杆菌BMF04(*Bacillus methylotrophicus*, BMF04)、多黏类芽孢杆菌L₁-9(*Paenibacillus polymyxa*, L₁-9)、解淀粉芽孢杆菌GM-1-1(*Bacillus amyloliquefaciens*, GM-1-1),以上菌株均由本实验室从连云港海域分离获得并保存。

1.1.2 培养基

解钾培养基^[15],CAS检测培养基^[16-17],LNM培养基^[18-19],蒙金娜有机磷、无机磷培养基^[20-21],Ashby无氮固体培养基^[22],ADF培养基^[23]。

产IAA定性检测培养基:K₂HPO₄ 1.15 g,蛋白胨20.0 g,丙三醇15.0 mL,L-色氨酸0.1 g,MgSO₄·7H₂O 1.5 g,蒸馏水1 000 mL。BMF03菌糠发酵培养基:A(食用菌糠)44.5%、C₁ 37%、D 18.5%、N₁ 0.75%、S₃ 0.2%。

1.2 试验方法

1.2.1 BMF03菌株发酵液及菌糠发酵物对黄瓜幼苗生长的影响

BMF03固态菌糠发酵物的制备:接种量25%、料水比1:1.5、温度37℃、发酵时间68 h。采用盆栽法,每盆播种15粒黄瓜种子,播种后正常管理。浸种:用浓度25%、50%及100% BMF03菌株发酵液浸泡黄瓜种子,露白后,播种于花盆中,发酵培养基为对照,每处理3次重复。拌土:用浓度25%、50%及100% BMF03菌株发酵液与土壤按1:

1(v:m)混匀,黄瓜种子催芽后播种,发酵培养基为对照,每处理3次重复。灌根:用浓度25%、50%及100% BMF03菌株发酵液灌根,每株幼苗5 mL,发酵培养基为对照,每处理3次重复。菌糠发酵物拌土:将菌糠发酵物与土壤按照体积比为1:3、1:1比例搅拌均匀,播种催芽后的黄瓜种子,以无菌糠发酵物的土壤为对照,每处理3次重复。结果调查与统计:幼苗三叶期每处理随机抽取10株幼苗,测量株高、茎粗,地上和地下部分鲜重、干重。

1.2.2 BMF03生物学功能测定

(1)固氮、解磷解钾活性测定:将BMF03菌株接种于无氮培养基,蒙金娜有机磷、无机磷培养基及解钾培养基上,以GM-1-1、L₁-9和BMF04为对照,3次重复,28℃培养3 d,观察菌株在不同培养基中的生长状态和有无透明圈。

(2)产IAA活性测定:将种子液按6%接种量接种于含有L-色氨酸(100 mg/L)的IAA检测培养基中,28℃,180 r/min振荡培养,每4 h取1 mL发酵液,加入2 mL Salkowski比色液,3次重复,以加入显色液的PD培养基为对照,置于暗室20 min,观察颜色变化。

(3)产ACC脱氨酶和铁载体活性测定:将BMF03菌株接种于ADF培养基和CAS培养基上,以GM-1-1、L₁-9和BMF04为对照,3次重复,28℃培养3 d,观察菌株生长情况及菌落周围变化。

(4)产IAA含量测定:配制浓度分别为0、0.3、0.6、0.9、1.2、1.5、1.8、2.1、2.4、2.7、3.0 mg/L的IAA标准溶液,在波长530 nm下测定不同浓度IAA溶液的OD值,绘制IAA的标准曲线。定性测定后,测定样品于530 nm波长下的吸光值,根据IAA的标准曲线计算菌株发酵液中IAA含量。

(5)产铁载体含量检测:将种子液接种于装有60 mL LNM培养基中,28℃,180 r/min振荡培养,每4 h取样,4℃、8 000 r/min离心10 min;取上清,1:1加入CAS检测液,避光静置40 min,测630 nm处的吸光值(A_s),3次重复,以不接种子液的LNM培养基为对照,以其吸光值作为参比值(A_r),计算铁载体的相对含量。

$$\text{铁载体的相对含量} = [(A_r - A_s) \div A_r] \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 BMF03菌株发酵液及菌糠发酵物对黄瓜幼苗生长的影响

2.1.1 BMF03菌株发酵液浸种对黄瓜幼苗生长的影响
由表1可知,BMF03菌株发酵液浸种对黄瓜

表1 BMF03菌株发酵液浸种对黄瓜幼苗生长的影响

发酵液浓度(%)	株高(mm)	茎粗(mm)	地上鲜重(g)	地下鲜重(g)	地上干重(mg)	地下干重(mg)
0(CK)	98.7b	2.92b	1.76c	0.72a	192.37c	37.32b
25	115.2a	3.05ab	1.96a	0.82a	228.94a	44.97a
50	98.4b	3.19a	1.89ab	0.79a	223.48a	43.34a
100	93.2c	2.93b	1.82bc	0.78a	204.48b	37.68b

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同

幼苗株高、茎粗、地上部和地下部鲜重、干重有明显影响,发酵液浓度不同,影响大小不同。当发酵液浓度为25%株高最高,地上部鲜重最重,且黄瓜幼苗干重最重,均与对照呈显著差异;当发酵液浓度为50%时,黄瓜幼苗茎粗最粗,为3.19 mm。

2.1.2 BMF03菌株发酵液拌土对黄瓜幼苗生长的影响

如表2所示,BMF03菌株发酵液拌土处理,对黄瓜幼苗株高、茎粗、地上部和地下部鲜重、干重均有促进作用。当发酵液浓度为25%、50%、100%时,株高显著高于对照处理;浓度为25%时,

表2 BMF03菌株发酵液拌土对黄瓜幼苗生长的影响

发酵液浓度(%)	株高(mm)	茎粗(mm)	地上鲜重(g)	地下鲜重(g)	地上干重(mg)	地下干重(mg)
0(CK)	96.5c	2.93b	1.82d	0.69b	187.54d	32.54c
25	112.6a	3.23a	2.67b	0.87a	196.94b	55.24a
50	115.3a	3.21ab	3.02a	0.93a	199.18a	47.94b
100	102.9b	3.03ab	2.42c	0.91a	192.03c	46.28b

茎粗显著高于对照;发酵液浓度为50%时,黄瓜幼苗鲜重及地上部干重显著高于对照处理,分别为3.02 g、0.93 g和199.18 mg。

2.1.3 BMF03菌株发酵液灌根对黄瓜幼苗生长的影响

由表3可知,采用浓度为100% BMF03菌株发酵液灌根处理,均促进黄瓜幼苗各部位生长,且

显著优于对照处理。

2.1.4 BMF03菌株菌糠发酵物拌土对黄瓜幼苗生长的影响

如表4所示,BMF03菌糠发酵物拌土对黄瓜幼苗株高、茎粗、地上部和地下部鲜重、干重以及须根数有明显影响。比例为1:1、1:3时,除茎粗、地上鲜重外,黄瓜幼苗各生长部位均显著高于对照处理。

表3 BMF03菌株发酵液灌根对黄瓜幼苗生长的影响

发酵液浓度(%)	株高(mm)	茎粗(mm)	地上鲜重(g)	地下鲜重(g)	地上干重(mg)	地下干重(mg)
0(CK)	95.4b	2.93c	1.78b	0.43d	192.75b	29.84b
25	100.2a	3.23ab	1.85ab	0.54c	201.96a	30.68b
50	100.7a	3.22b	1.92ab	0.6b	203.97a	32.73ab
100	103.4a	3.37a	1.95a	0.73a	205.73a	35.87a

表4 BMF03菌株菌糠发酵物对黄瓜幼苗生长的影响

菌糠发酵物与土壤比例	株高(mm)	茎粗(mm)	地上鲜重(g)	地下鲜重(g)	地上干重(mg)	地下干重(mg)
0(CK)	101.2b	3.28b	1.77b	0.61c	181.43c	35.71c
1:3	123.2a	3.84ab	4.08a	1.09a	357.14a	54.29a
1:1	120.1a	3.6a	1.90b	0.72b	211.43b	40.00b

2.1.5 BMF03菌株采用不同处理方法对黄瓜幼苗生长的影响

选取所有处理方法结果中长势最好的处理组的黄瓜幼苗进行数据比较,对比4种处理方法下

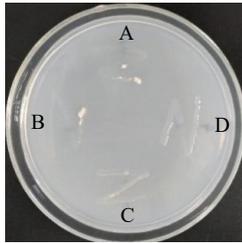
BMF03菌株对黄瓜幼苗生长的影响,综合数据表明,菌糠发酵物拌土处理的促生作用最强,其次为发酵液拌土处理,结果见表5。

表5 BMF03菌株不同处理方法对黄瓜幼苗生长的影响

处理方法	株高(mm)	茎粗(mm)	地上鲜重(g)	地下鲜重(g)	地上干重(mg)	地下干重(mg)
浸种	115.2b	3.21b	1.96c	0.93ab	228.94b	44.97b
拌土	115.3b	3.23b	3.02b	0.93ab	199.18d	55.24a
灌根	103.4c	3.37b	1.95c	0.73b	205.73c	35.87c
菌糠拌土	123.2a	3.84a	4.08a	1.09a	357.14a	54.29a

2.2 BMF03菌株固氮作用

BMF03菌株在固氮培养基上生长良好(图1),说明该菌株能够将空气中氮元素转变成可利用的有机氮源;B、C、D分别为BMF04、GM-1-1、L₁-9,为阳性对照,均具有固氮作用。表明供试菌株BMF03在有氧环境下具有固氮作用。



注:A为BMF03,B为BMF04,C为GM-1-1,D为L₁-9,下同

图1 菌株BMF03在固氮培养基上的生长状态

2.3 BMF03菌株解磷解钾作用

将BMF03菌株点接于解磷解钾检测培养基上,结果显示该菌株在此检测培养基上菌落周围并未出现透明水解圈,而阳性对照菌株在检测培养基上菌落周围出现透明水解圈,说明BMF03菌株不具有解磷解钾能力。

2.4 BMF03菌株产ACC脱氨酶作用

BMF03菌株在ADF培养基上正常生长(图2),说明该菌株可以分解乙烯合成的前体物质ACC。B、C、D分别为BMF04、GM-1-1、L₁-9,为阳性对照,均能产ACC脱氨酶,表明供试菌株BMF03具有产ACC脱氨酶能力。

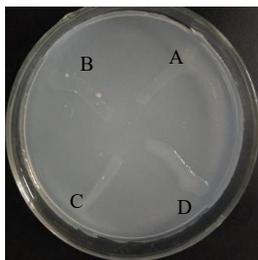
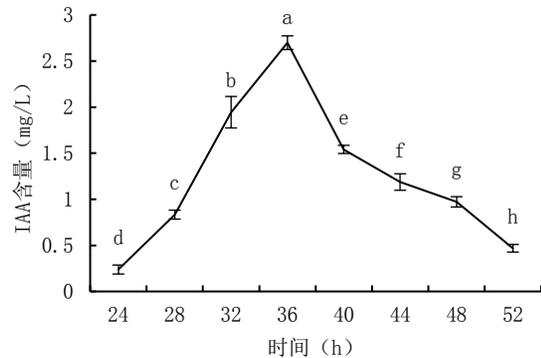


图2 菌株BMF03在产ACC脱氨酶检测培养基上的生长状态

2.5 BMF03菌株产IAA作用

BMF03菌株的发酵液经Salkowski比色液显色

检测,结果为红色,表明菌株具有利用前体物质色氨酸合成IAA的能力。IAA溶液浓度与OD₅₃₀有良好的线性关系,其回归方程为: $Y=0.0168X+0.002$,相关系数为0.9936。BMF03菌株IAA产量变化如图3所示,菌株分泌IAA含量随时间延长不断提高,36h达到最高,为2.8mg/L,而后逐渐降低。结果表明,从24h开始,IAA逐渐积累,产量升高;36h IAA的合成速率下降并且含量逐渐减少,因为合成IAA的前体物质L-色氨酸含量较少,营养物质的消耗,导致菌株繁殖速度减慢,因而合成IAA能力也相应减弱。

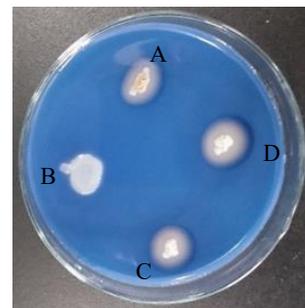


注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同

图3 菌株BMF03在不同时间的IAA产量

2.6 BMF03菌株产铁载体能力测定

BMF03菌株在铁载体培养基上生长良好,菌落周围有明显的橙色晕圈,说明BMF03菌株能够产生铁载体。C、D菌株为阳性对照,B菌株为阴性对照。结果见图4。



注:A为BMF03,B为L₁-9,C为BMF04,D为GM-1-1

图4 产铁载体定性结果

BMF03 菌株分泌铁载体的相对含量随菌株生长时间而变化,呈现先上升后下降的趋势,在 16 h 分泌铁载体相对含量达到最大值,为 24.65%(图 5)。

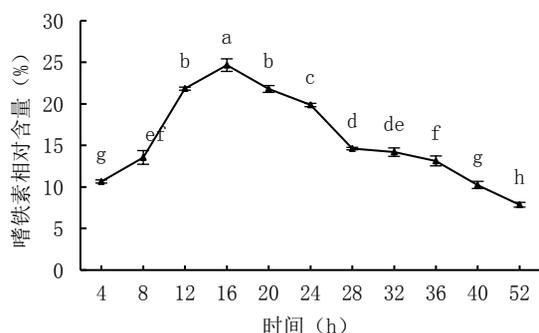


图 5 BMF03 菌株产生铁载体时间动态变化

3 结论与讨论

海洋贝莱斯芽孢杆菌 BMF03 发酵液和菌糠发酵物对黄瓜幼苗具有明显促生作用,其生物学功能具有固氮作用、产 ACC 脱氨酶、吲哚乙酸和铁载体。

芽孢杆菌对植物促生作用有很多研究报道^[24-27],通过诱导吲哚乙酸等促进植物生长激素含量的提高,固氮作用,通过产生铁载体来拮抗病原微生物,溶解矿物磷钾和其他营养物质。如分离于紫色土壤中胶胨样芽孢杆菌具有溶磷解钾双重特性^[28],而本研究发现 BMF03 菌株不具有解磷解钾作用,可能是因为该菌株无法分泌磷酸酶类物质以至于无法溶解有机磷和钾。牛鑫斌等^[29]研究表明,植物根际 3 种类芽孢杆菌通过固氮作用,提高了土壤含氮量,从而促进作物的生长发育;本研究表明 BMF03 菌株具有固氮作用,使土壤氮源充足,促进黄瓜幼苗生长。贝莱斯芽孢杆菌 GH1-13 通过产生 IAA 促进水稻根系生长^[30];一株类芽孢杆菌通过产生 ACC 脱氨酶,将乙烯合成前体 ACC 分解为氨和 α -酮丁酸,从而提高植物的抗逆性,促进养分吸收^[31];芽孢杆菌 DS7^[32]通过产生铁载体,促进植物对铁离子的吸收,提高对根际有害菌群的抑制而促进植物生长;本试验结果表明,海洋贝莱斯芽孢杆菌 BMF03 产 IAA、ACC 脱氨酶和铁载体,这些营养物质刺激黄瓜幼苗吸收养分,提高抗逆性,从而促进生长。但大部分研究局限于陆源芽孢杆菌,有关海洋类芽孢杆菌的研究甚少。本研究为海洋贝莱斯芽孢杆菌 BMF03 菌株进一步开发成生物制剂提供了理论依据。

参考文献:

[1] 刘军辉,李利.我国微生物肥的应用研究进展[J].河北果

树,2018,5(5):5-6.

- [2] 薛仁风,丰明,赵阳,等.不同生物有机肥对绿豆生长与生理特性的影响[J].东北农业科学,2019,44(4):9-12,71.
- [3] 林思锻.黄瓜应用微生物菌肥肥效试验[J].中国果菜,2017,37(2):29-31.
- [4] 李乐,孙海,刘政波,等.微生物肥料的作用、机理及发展方向[J].东北农业科学,2016,41(4):63-69.
- [5] Alou M T, Rathored J, Khelafia S, et al. *Bacillus rubiinfantis* sp. nov. strain mt2^T, a new bacterial species isolated from human gut[J]. New Microbes New Infect, 2015, 9(8): 51-60.
- [6] Kotb E. Purification and partial characterization of serine fibrinolytic enzyme from *Bacillus velezensis* KSK-07 isolated from kishk, a traditional Egyptian fermented food[J]. Applied Biochemistry and Microbiology, 2015, 51(1): 34-43.
- [7] Lolloo R, Maharaih D, Gorgens J, et al. A downstream process for production of a viable and stable *Bacillus cereus* aquaculture biological agent[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2010, 86(2): 499-508.
- [8] 高绘菊,付信芝,董法宝,等.桑树内生拮抗细菌枯草芽孢杆菌 L144 对植物生长及营养代谢的影响[J].蚕业科学,2010,36(2):214-220.
- [9] 张霞,唐文华,张力群.枯草芽孢杆菌 B931 防治植物病害和促进植物生长的作用[J].作物学报,2007,33(2):236-241.
- [10] 刘东旭.枯草芽孢杆菌与营养液处理促进黄瓜生长及品质提升的生理机制[D].晋中:山西农业大学,2021.
- [11] 秦健,黄如葵,梁家作,等.枯草芽孢杆菌对苦瓜生长、产量和矿质元素吸收的影响[J].中国瓜菜,2019,32(2):36-39.
- [12] 李欢,曹雪梅,陈茹,等.海洋多黏类芽孢杆菌 L₁-9 菌株粉剂对黄瓜的促生防病作用[J].河南农业科学,2017,46(12):65-69.
- [13] 马桂珍,王淑芳,暴增海,等.海洋细菌 L₁-9 菌株对小麦的促生防病作用研究[J].中国生物防治学报,2011,27(2):228-232.
- [14] Meng Q X, He J J. Effects of *Bacillus velezensis* strain BAC03 in promoting plant growth[J]. Biological Control, 2016, 98: 18-26.
- [15] 王勇,陈燕琼,温书恒,等.一株溶磷解钾菌的分离筛选与鉴定[J].安徽农业科学,2019,47(10):5-9.
- [16] 李闯.3株海洋生境木霉与农药相关性状的研究[D].青岛:青岛科技大学,2017.
- [17] 李雪艳,张涛,杨红梅,等.棉花黄萎病拮抗细菌产铁载体测定及其对抑菌活性的影响[J].微生物学通报,2019,46(5):1074-1080.
- [18] 龙云川,陈轩,周少奇.高产铁载体根际菌的筛选鉴定及活化特性评价[J].生物技术进展,2017,7(5):402-408.
- [19] 孙萌.铁载体高产菌株的 ARTP 选育及其铁载体产量提高机理的初步分析[D].无锡:江南大学,2017.
- [20] 代志,高俊明.兼具解磷解钾功能生防菌分离鉴定及效果评价[J].山西农业科学,2018,46(4):627-633.
- [21] 常慧萍,夏铁骑,付瑞敏,等.小麦根际解磷细菌的筛选鉴定及其促生效果[J].江苏农业科学,2018,46(14):270-273.
- [22] 任建国,王俊丽.太子参土壤固氮菌与解钾菌的分离、筛选及鉴定[J].西南师范大学学报(自然科学版),2015,40(2):59-65.

- [23] 杨苗. 具有 ACC 脱氨酶活性促生细菌的筛选、鉴定及其接种效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [24] 胡琳, 靳新影, 李靖宇, 等. 沙漠生物土壤结皮中可培养芽孢杆菌对植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 华北农学报, 2019, 34(S1): 143-152.
- [25] 徐瑛, 郭晓农, 蔡德育. 解淀粉芽孢杆菌 GB03 对藜麦生长影响的初探[J]. 大麦与谷类科学, 2019, 36(5): 10-14.
- [26] 厉彦芳, 王春阳, 谢菁菁, 等. 侧孢短芽孢杆菌 B8 抑制植物病毒及促进番茄生长作用研究[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(7): 11-16.
- [27] 刘拴成, 杨进成, 马丽华, 等. 解淀粉芽孢杆菌 B9601-Y2 提高玉米生长和产量的效应[J]. 玉米科学, 2010, 18(6): 78-82, 85.
- [28] 贺积强, 李登煜, 张小平, 等. 紫色土硅酸盐细菌的表型特征及溶磷解钾能力[J]. 应用与环境生物学报, 2003(1): 71-77.
- [29] 牛鑫斌, 杨慧, 孙健光, 等. 三株固氮类芽孢杆菌的特点及其对中国青菜的产量和土壤酶活性的影响[J]. 微生物学报, 2018, 58(7): 1213-1223.
- [30] Kim S Y, Sang M K, Weon H Y, et al. Characterization of Multifunctional *Bacillus* sp. GH1-13[J]. The Korean Journal of Pesticide Science, 2016, 20(3): 189-196.
- [31] 宋金秋, 吾鲁木汗·那孜尔别克, 张缙, 等. 具有 ACC 脱氨酶活性的胶股蓝根际细菌的分离鉴定及其促生作用[J]. 吉首大学学报(自然科学版), 2014, 35(5): 43-50.
- [32] 崔曼, 尹彦舒, 张梦琦, 等. 一株大蒜根际细菌特性研究及其对田间大蒜产量和土壤酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(1): 173-179.

(责任编辑:刘洪霞)

(上接第 78 页)

- [13] Mikawa S, Hayashi T, Nii M, et al. Two quantitative trait loci on *Sus scrofa* chromosomes 1 and 7 affecting the number of vertebrae[J]. Journal of Animal Science, 2005, 83(10): 2247-2254.
- [14] Chung A C, Katz D, Pereira F A, et al. Loss of orphan receptor germ cell nuclear factor function results in ectopic development of the tail bud and a novel posterior truncation[J]. Molecular and Cellular Biology, 2001, 21(2):663-677.
- [15] Mikawa S, Sato S, Nii M, et al. Identification of a second gene associated with variation in vertebral number in domestic pigs[J]. BMC genetics, 2011, 12(1): 5-18.
- [16] Duan Y, Zhang H, Zhang Z, et al. *VRTN* is required for the development of thoracic vertebrae in mammals[J]. International Journal of Biological Sciences, 2018, 14(6): 667-681.
- [17] 韩浩园, 王绍强, 黄洁萍, 等. 秦川牛多脊椎性状调查[J]. 中国牛业科学, 2013, 39(6): 78-79.
- [18] 韩立霞, 孙少华, 白瑞景, 等. B 细胞异位基因 2(*Btg2*)多态性与河北小尾寒羊多脊椎性状的关联分析[J]. 农业生物技术学报, 2010, 18(1): 81-86.
- [19] 刘建明, 孙少华, 韩立霞, 等. *ActR II B* 基因单核苷酸多态性与小尾寒羊多脊椎变异的关联研究[J]. 畜牧兽医学报, 2010(8): 29-32.
- [20] 韩立霞. 河北小尾寒羊多脊椎调控基因 *Btg2* 和 *NR6A1* 的多态性分析[D]. 保定: 河北农业大学, 2009.
- [21] 刘志刚, 陈范骏, 王庆祥. 密度对不同玉米基因型产量及其构成因素的影响[J]. 吉林农业科学, 2014, 39(1): 10-12.

(责任编辑:刘洪霞)