

网络出版时间:2015-12-02 14:25 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2016.01.014
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20151202.1425.028.html

油菜亲和性根际菌株的筛选及其促生效果

崔松松^a, 白莉敏^b, 周可金^b, 孙乐妮^a, 曹媛媛^a, 唐欣昀^a

(安徽农业大学 a 生命科学学院, b 农学院, 安徽 合肥 230036)

[摘要] **【目的】**从油菜根际土壤中筛选油菜亲和性根际菌株,以期获得油菜专用优良特异性根际促生菌。**【方法】**采用常规稀释平板法从油菜根际筛选油菜根际细菌,提取油菜凝集素进行复筛,获得油菜亲和性根际细菌,测定复筛菌株的产铁载体、吲哚乙酸(IAA)能力,以及1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)脱氨酶和溶磷活性,采用盆栽试验评价菌株对油菜的促生效果。**【结果】**经过复筛获得油菜亲和性根际细菌32株,其中30株菌株具有产铁载体能力,16株菌株的产铁载体能力达到5+水平;29株菌株具有溶磷活性,7株菌株产量达到100.00 $\mu\text{g/mL}$;16株菌株能产IAA,菌株P17的产量最高,达到30.48 mg/L;7株菌株具有ACC脱氨酶活性。盆栽试验表明,有25株菌株具有不同程度的促生作用,N10和K6促生作用显著,22株菌株的促生作用达到施全肥水平。**【结论】**采用凝集素作为筛选工具可以快速获得大量与油菜具有特异亲和性的PGPR菌株,菌株N10和K6作为油菜特异性PGPR具有很大的应用潜力。

[关键词] 油菜;植物根际促生菌;亲和性菌株;促生效果

[中图分类号] S565.4

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2016)01-0091-06

Screening of affinity rhizosphere bacteria and its growth promotion effect on rape

CUI Song-song^a, BAI Li-min^b, ZHOU Ke-jin^b, SUN Le-ni^a,
CAO Yuan-yuan^a, TANG Xin-yun^a

(a School of Life Science, b School of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

Abstract: **【Objective】** Affinity bacteria strains were isolated from rape rhizosphere for obtaining specific rhizobacteria to promote plant growth. **【Method】** Rhizosphere bacteria were isolated from the rhizosphere of rape using serial dilution method. Rape lectin was prepared and used to rescreen specific affinity strains, which reacted positively with rape lectin. Then their abilities of producing siderophore and indole acetic acid (IAA) as well as activities of amino cyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) deaminase and phosphate dissolution were determined. At last, rape seedlings were cultivated in pots with obtained strains to evaluate their growth promoting effects. **【Result】** A total of 32 strains with specific affinity to rape were obtained, among which 30 had siderophores production ability and 16 reached 5+ level. 29 strains had phosphate solubilizing activity and 7 had yields over 100.00 $\mu\text{g/mL}$. 16 strains produced IAA and P17 had the highest yield of 30.48 mg/L. 7 strains had ACC deaminase activity. Pot experiment showed that 25 strains

[收稿日期] 2014-02-24

[基金项目] 国际植物营养研究所项目(IPNI-Anhui-19);2013年安徽省自主创新科技专项“高油酸油菜新品种选育与生产加工关键技术研究及产业化”;安徽省油菜产业技术体系项目(AHCYT-04);安徽省自然科学基金项目(1208085QC62);安徽省高校青年基金重点项目(2013SQRL015ZD)

[作者简介] 崔松松(1990—),女,安徽淮北人,硕士,主要从事油菜根际促生菌的筛选及其促生作用研究。

E-mail:15905695243@163.com

[通信作者] 周可金(1965—),男,安徽无为为人,教授,博士,主要从事油菜栽培生理学研究。E-mail:zhoukejin@163.com

唐欣昀(1951—),男,安徽巢湖人,教授,学士,博士生导师,主要从事微生物生态学研究。E-mail:txyah@126.com

had different growth promoting effects, among which strains N10 and K6 possessed significant promotion effects and growth promotion by 22 strains reached the same level as applying full nutrition fertilizers.

【Conclusion】 Specific affinity plant growth-promoting rhizobacteria strains could be easily screened using lectin as tool. Strain N10 and strain K6 showed excellent application potential.

Key words: rape; plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR); affinity strain; growth promoting effect

在植物根际存在着一些微生物,这些微生物生活在土壤中,具有促进植物生长,分解土壤中难溶性矿质元素,增加作物产量的作用,这类微生物被统称为植物根际促生菌(plant growth-promoting rhizobacteria, PGPR)^[1]。微生物肥料是指一类由一种或多种有益微生物活细胞制备而成,应用于农业生产中,能够获得特定的肥料效应的微生物制剂^[2]。微生物肥料能够提供或活化氮、磷、钾等多种植物营养元素,增加土壤肥力,刺激并调节植物的生长,同时也能够抑制土壤环境中的病原菌^[3-4]。植物凝集素是植物与微生物之间相互识别的介质,能够与微生物合成的一些多糖特异性结合,因此可作为筛选高效植物根际细菌的工具^[5]。采用凝集素作为工具,筛选与作物具有特异亲和关系的高效 PGPR 菌株的研究已有报道^[6]。但由于生产上使用的菌株与目标作物之间的特异亲和关系缺少试验和理论依据,微生物肥料的应用效果存在波动情况。

油菜是我国的主要油料作物。Lifshitz^[7]分离获得了促进油菜生长的低温细菌。江木兰等^[8]研究了油菜内生菌的生防作用。但目前有关油菜特异性根际 PGPR 菌株及其应用的研究尚未见报道。本研究从油菜根际土壤中筛选分离根际微生物,采用凝集素的特异性结合复筛对油菜具有特异亲和性的 PGPR 菌株^[9],比较这些促生菌的促生生理特性,并采用盆栽试验评价其促生效果,以期获得油菜专用优良特异性 PGPR 菌株。

1 材料与方法

1.1 材料

油菜(*Brassia campestris* L)“农大 8 号”种子由安徽农业大学农学院提供。

土壤为黄褐土:总氮 1.11 g/kg,有机质 21.33 g/kg,有效磷(P_2O_5) 31.5 mg/kg,速效钾(K_2O) 154 mg/kg。

培养基:固氮细菌培养基、溶磷细菌培养基、解钾细菌培养基、高氏一号培养基等^[10]。

主要仪器:SB-JC-IA 型超净工作台、202-3 型

TU-1800SPC 分光光度计、HC-2518R 高速冷冻离心机、DHG-9240A 型电热恒温鼓风干燥箱等。

1.2 方法

1.2.1 菌株的筛选 参考文献[11]的方法,采用常规稀释平板法将各菌株稀释液涂布于溶磷、解钾、固氮和高氏一号培养基上,分别筛选具有溶磷、解钾、固氮活性的菌株和链霉菌菌株。

1.2.2 油菜凝集素的提取与菌株复筛 取 20 g 油菜种子,用液氮研磨,去壳留种胚,继续液氮下研磨至粉碎,用 100 mL 石油醚过夜脱脂。弃去石油醚,加 100 mL 的 Tris 提取液^[12](pH 7.2, 0.01 mol/L Tris-HCl, 0.14 mol/L NaCl)过夜浸提,8 000 r/min 离心 20 min,保留上清液,参考文献[9]的方法,采用提取的油菜凝集素对分离得到的菌株进行复筛。

1.2.3 菌株生理活性的测定 采用文献[13]的方法测定各菌株 ACC 脱氨酶活性;参考 Salkowski's 比色法^[14]测定菌株产吲哚乙酸(IAA)的能力;采用钼蓝比色法^[15]测定菌株的溶磷能力;采用 CAS 检测法^[16]测定各菌株的产铁载体能力(A/Ar),根据 A/Ar 的比值大小判定菌株产铁载体的能力大小,比值越小说明菌株产铁载体能力越强。

1.2.4 盆栽试验 将黄褐土于自然环境下风干粉碎,装盆,每盆 3 kg,各营养成分的添加量分别为:尿素 80 mg/kg,磷酸氢二铵 44.7 mg/kg,氯化钾 66.7 mg/kg,加入适量水溶解后拌入土壤,使土壤含水量达到 20%。盆栽试验设置 4 组处理,A 组测定链霉菌菌株促生效果,施全量营养成分;B 组测定固氮类菌株促生效果,磷、钾施全量,氮减半;C 组测定溶磷类菌株促生效果,氮、钾施全量,磷减半;D 组测定解钾类菌株促生效果,氮、磷施全量,钾减半。种植时每盆 3 穴,每穴放入适量种子,分别取 1 mL 菌悬液(10^8 CFU/mL)接种到种子上;种子萌发出真叶后每穴定苗 2 株。定期浇水,使土壤保持湿润。各处理组中以不施菌液为对照,分别命名为 CK1、CK2、CK3 和 CK4。待油菜长至 50 d 时收获油菜地上部分,烘干至恒质量,测其干质量^[17]。

1.3 数据处理

采用 SAS 软件对试验数据进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 油菜根际细菌筛选与复筛

采用常规稀释平板法从油菜根际中筛选到 51 株油菜根际细菌,其中 13 株菌株具有固氮活性,14 株菌株具有溶磷活性,11 株菌株具有解钾活性,13

株链霉菌菌株。
提取油菜种子得到的上清液即为粗提液,采用 Bradford 法测得其蛋白质含量为 6.575 mg/g。采用提取的油菜凝集素对 51 株菌株进行复筛,能够与油菜凝集素发生凝集反应的菌株即为阳性菌株,表明其对油菜具有特异亲和性,其中菌株 P13 与凝集素的凝集反应见图 1。复筛后获得油菜亲和性菌株 32 株,其中 8 株具有固氮活性,9 株具有溶磷活性,4 株具有解钾活性,11 株链霉菌菌株。

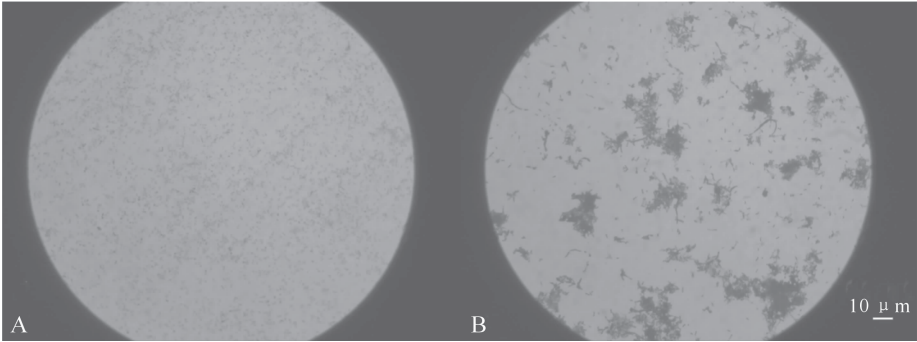


图 1 菌株 P13 与油菜凝集素的凝集反应(×1 250)
A. 菌株 P13 与 Tris 提取液;B. 菌株 P13 与油菜凝集素
Fig. 1 Agglutination reaction of strain P13 with rape lectin(×1 250)
A. Strain P13 and the extraction agent of Tris;B. Agglutination reaction of strain P13 with rape lectin

2.2 油菜亲和性菌株的促生特性

32 株油菜根际细菌生理活性如表 1 所示。由表 1 可以看出,32 株菌株中有 30 株菌株具有产铁载体能力,其中 16 株菌株的产铁载体能力达到 5+ 水平,占 50%;16 株菌株产 IAA,产量在 0.78~30.48 mg/L,菌株 P17 产量最高,达到 30.48 mg/L;29 株菌株具有溶磷能力,溶磷量在 0.45~133.95 μg/mL,有 7 株达到 100.00 μg/mL 以上,其中菌株 P2 溶磷能力最强,达到 133.95 μg/mL。7 株菌株可以产生 ACC 脱氨酶;菌株 P16 的 ACC 脱氨酶活性最高,达到 2.149 0 U/mg。

2.3 油菜亲和性菌株的盆栽促生效果

采用盆栽试验观察 32 株亲和性菌株对油菜地上部分生物量的影响,结果见表 2。表 2 结果显示,有 25 株菌株对油菜有促生效果,其中 13 株菌株地上部分干质量较对照组增加均超过 10%,22 株菌株对油菜的促生效果达到全施肥水平。
A 组试验观察 11 株链霉菌菌株对油菜促生效果的影响,发现 5 株菌株对油菜的促生效果达 10% 以上,虽然未达到显著水平,但说明采用凝集素筛选获得的菌株对油菜具有一定的促生效果。

B 组处理测定具有固氮活性菌株的促生效果,结果(表 2)表明,菌株 N10 处理的油菜生物量比对照 CK2 增加 20.06%,差异显著。整个 B 组处理(50% N 素)油菜地上部分干质量都比施全量营养成分处理的 CK1 干质量下降,说明土壤施氮量不够,减量 50%导致土壤氮素缺乏。
C 组测定具有溶磷活性菌株的促生效果,结果(表 2)表明,P8 和 P17 处理油菜地上部分干质量增加 10% 以上($P>0.05$),有一定的促生效果。C 组全部处理的油菜地上部分干质量都比施全肥的油菜地上部分干质量不同程度增加,说明土壤中有效磷水平较高(31.5 mg/kg),不用补充磷素;也说明这些供试菌株促进了油菜生长。
D 组测定具有解钾活性菌株的促生效果,结果(表 2)表明,4 株供试菌株都有一定的促生长效应,其中 K6 处理的油菜地上部分生物量比对照 CK4 增加 27.12%,差异显著。4 株解钾细菌处理油菜地上部分的干质量比 CK1(施全量营养成分)都有一定增加,说明具有解钾活性的菌株促生效果较好。

表 1 油菜亲和性菌株的生理活性

Table 1 Physiological activities of affinity rhizosphere bacteria of rape

菌株编号 Strain number	铁载体* Siderophore	产 IAA 能力/(mg·L ⁻¹) Produced IAA ability	溶磷量/(μg·mL ⁻¹) Phosphate solubilizing	ACC 脱氨酶活性/(U·mg ⁻¹) ACC deaminase activity
N1	5+	—	102.12±0.80	—
N2	5+	—	41.72±0.11	1.995 2±0.000 2
N5	5+	—	70.17±0.04	—
N9	5+	6.87±0.11	10.76±0.04	—
N10	5+	—	53.46±0.08	—
N11	5+	—	11.77±0.08	0.783 9±0.002 6
N12	5+	6.17±0.06	22.41±0.04	—
N14	5+	4.85±0.07	0.45±0.11	—
P2	2+	—	133.95±0.11	—
P3	4+	21.55±0.05	28.57±0.04	—
P4	5+	—	116.84±1.63	0.492 7±0.002 5
P5	1+	3.92±0.03	17.63±0.08	—
P8	3+	6.13±0.30	8.79±0.04	—
P13	5+	1.50±0.10	131.77±0.09	0.080 4±0.003 1
P14	1+	4.37±0.02	55.22±0.11	—
P16	5+	15.79±0.08	108.68±0.38	2.149 0±0.002 5
P17	5+	30.48±0.12	103.47±0.15	0.013 6±0.000 6
K1	5+	9.28±0.40	53.61±0.08	0.625 3±0.001 5
K6	5+	26.81±0.12	61.35±0.15	—
K7	5+	5.36±0.05	10.76±0.04	—
K18	4+	—	131.77±0.09	—
G1	1+	—	92.91±0.08	—
G6	1+	—	6.13±0.00	—
G7	2+	—	68.69±0.04	—
G8	3+	—	34.68±0.00	—
G9	2+	—	—	—
G11	3+	—	3.58±0.08	—
G12	5+	1.01±0.54	—	—
GN3	—	0.78±0.11	30.85±0.08	—
GK5	1+	—	—	—
GK10	—	1.94±0.04	50.01±0.00	—
GK15	3+	—	3.30±0.04	—

注：* 判断铁载体产量标准 (A/Ar 值):0~0.2,5+;0.2~0.4,4+;0.4~0.6,3+;0.6~0.8,2+;0.8~1.0,+。“—”表示不具有相应促生活性。

Note:“*” The evaluation criteria of siderophore production(A/Ar):0—0.2,5+;0.2—0.4,4+;0.4—0.6,3+;0.6—0.8,2+;0.8—1.0,+。“—” means no growth promotion activity.

表 2 油菜亲和性菌株盆栽试验的地上部分干质量

Table 2 Dry mass of rape seedlings in pots with affinity rhizosphere bacteria

菌株编号 Strain number	干质量/(g·盆 ⁻¹) Dry mass	较对照增减/% Increased for comparing with the control group			
		CK2	CK3	CK4	CK1
CK1	1.111 8±0.219 6				
G1	1.103 3±0.332 4				—0.76
G6	1.256 7±0.216 6				13.03
G7	1.243 0±0.317 9				11.80
G8	1.243 8±0.341 4				11.87
G9	1.200 9±0.257 6				8.01
G11	1.280 0±0.238 0				15.13
G12	1.256 3±0.292 4				13.00
GN3	1.220 5±0.226 6				9.78
GK5	1.160 1±0.247 0				4.34
GK10	1.056 5±0.320 7				—4.97
GK15	1.190 7±0.185 9				7.10

续表 2 Continued table 2					
菌株编号 Strain number	干质量/(g·盆 ⁻¹) Dry mass	较对照增减/% Increased for comparing with the control group			
		CK2	CK3	CK4	CK1
CK2	0.828 2±0.214 5				-25.51 *
N1	0.920 5±0.214 6	11.14			-17.21 *
N2	0.868 8±0.208 0	4.90			-21.86 *
N5	0.886 2±0.167 6	7.00			-20.29 *
N9	0.920 0±0.215 3	11.08			-17.25 *
N10	0.994 3±0.166 2	20.06 *			-10.57
N11	0.816 6±0.229 6	-1.40			-26.55 *
N12	0.807 3±0.158 9	-2.52			-27.39 *
N14	0.875 3±0.158 9	5.69			-21.27 *
CK3	1.220 0±0.267 6				9.73
P2	1.302 1±0.232 3		6.73		17.12
P3	1.207 7±0.209 8		-1.01		8.63
P4	1.205 1±0.297 8		-1.22		8.39
P5	1.192 2±0.293 4		-2.28		7.23
P8	1.378 5±0.342 2		12.99		23.99 *
P13	1.327 3±0.351 1		8.80		19.38 *
P14	1.338 7±0.235 7		9.73		20.41 *
P16	1.306 7±0.213 5		7.11		17.53 *
P17	1.398 9±0.298 9		14.66		25.82 *
CK4	1.070 2±0.504 5				-3.74
K1	1.215 3±0.221 4			13.56	9.31
K6	1.360 4±0.271 4			27.12 *	22.36 *
K7	1.183 3±0.301 2			10.57	6.43
K18	1.261 5±0.303 3			17.88	13.46

注：* 代表在 0.05 水平上差异显著。
Note：“*” indicates significant difference at 0.05 level.

3 讨 论

凝集素是一类与特定单糖可逆结合的蛋白质，不同植物凝集素的糖结合专一性不同，油菜凝集素可与半乳糖专一结合^[18]，分布于植物根茎叶，但主要存在于油菜种子中。本研究中油菜凝集素粗提液中蛋白质含量为 6.575 mg/g，而唐超等^[19]用不同提取剂提取黑豆凝集素，最低提取量为 59 mg/g，袁燕等^[20]提取蒜头果凝集素的提取量为 12.32 mg/g。这可能是由于油菜种子蛋白质含量偏低，含油量较大，干扰蛋白质的提取，导致本试验提取的蛋白质含量偏低。

近年来已有研究人员将植物凝集素应用到目标作物 PGPR 的筛选中，并获得了高效的植物特异性亲和促生菌。常惠萍等^[21]用麦胚凝集素成功复筛出与麦胚凝集素具有特异性亲和作用的菌株。祝凌云等^[6]用水稻凝集素筛选出与水稻凝集素具有特异性亲和作用的菌株。本研究从油菜根际中筛选获得油菜根际微生物 51 株，以油菜凝集素为复筛工具，从油菜根际菌株中筛选获得 32 株能与油菜凝集素特异性结合的菌株，初步结果说明油菜根际微生物

约有 63%与油菜凝集素具有亲和性。在 32 株油菜特异亲和性根际细菌中，93.75%的菌株能产铁载体，90.63%的菌株具有溶磷活性，部分菌株能产 IAA 和具有 ACC 脱氨酶活性。促生试验结果表明，有 78.13%菌株具有不同程度的促生作用，能够促进油菜生物量的增加，N10 和 K6 菌株显著促进油菜生长，部分菌株的促生长作用超过了全施肥水平。本研究结果表明，采用凝集素作为筛选工具可以快速获得大量与目标作物具有特异亲和性的 PG-PR 菌株^[22]，据此可以高效获得对目标作物具有专一性的特性优良的 PGPR 菌株，避免筛选的盲目性，提高试验效率。

[参考文献]

[1] 刘静洋,崔松松,唐欣昀,等. 棉花根际细菌的生理活性和促生效果 [J]. 中国土壤与肥料,2013(6):88-92.
Liu J Y,Cui S S,Tang X Y,et al. The physiological acivities and growth-promoting effects of cotton PGPR [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China,2013(6):88-92. (in Chinese)
[2] 李 俊,姜 昕,李 力,等. 微生物肥料的发展与土壤生物肥力的维持 [J]. 中国土壤与肥料,2006(4):1-5.
Li J ,Jiang X,Li L,et al. Developing of microbial fertilizer and maintainning of soil biological fertility [J]. Soil and Fertilizer

- Sciences in China, 2006(4):1-5. (in Chinese)
- [3] 陈廷伟, 葛 诚. 我国微生物肥料发展趋向 [J]. 土壤肥料, 1995(6):16-20.
Chen T W, Ge C. The development trends of microbial fertilizer in China [J]. Soils and Fertilizers, 1995(6):16-20. (in Chinese)
- [4] Haselwandter K, Winkelmann G. Siderophores of symbiotic fungi [J]. Microbial Siderophores, 2007, 12:91-103.
- [5] Afonso-Cardoso S R, Silva C V, Ferreira M S, et al. Effect of the *Synadenium carinatum* latex (ScLL) on Leishmania (*Leishmania*) amazonensis infection in murine macrophages [J]. Experimental Parasitology, 2011, 128(1):61-67.
- [6] 祝凌云, 马忠友, 唐欣昀, 等. 水稻根际高效解磷菌菌株的筛选 [J]. 安徽农学通报, 2008, 14(15):43-44.
Zhu L Y, Ma Z Y, Tang X Y, et al. Selection of effect strains of phosphorus-solubilizing bacteria from rice rhizosphere [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2008, 14(15):43-44. (in Chinese)
- [7] Lifshitz R. Growth promotion of canola (rapeseed) seedlings by a strain of *Pseudomonas putida* under gnotobiotic conditions [J]. Can J Microbiol, 1987, 33:390-395.
- [8] 江木兰, 赵 瑞, 胡小加, 等. 油菜内生防菌 BY-2 在油菜体内的定殖与对油菜菌核病的防治作用 [J]. 植物病理学报, 2007, 37(2):192-196.
Jiang M L, Zhao R, Hu X J, et al. Colonization of antifungal endobacterium BY-2 in oil crop rape and its control effect on disease caused by *Sclerotinia sclerotiorum* [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2007, 37(2):192-196. (in Chinese)
- [9] 刘祥亮, 周晓雷, 唐欣昀, 等. 温莪术根际亲和性高效促生菌的筛选和初步鉴定 [J]. 中国农业科技导报, 2012, 14(4):121-127.
Liu X L, Zhou X L, Tang X Y, et al. Screening and preliminary identification of effective and affinity strains of growth-promoting rhizobacteria from *Curcuma wenyujin* root [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2012, 14(4):121-127. (in Chinese)
- [10] 夏觅真, 马忠友, 唐欣昀, 等. 棉花根际固氮菌、解磷菌及解钾菌的相互作用 [J]. 中国微生物生态学杂志, 2010, 22(2):102-105.
Xia M Z, Ma Z Y, Tang X Y, et al. Interactions between a *N-fixation* bacterium, a *Phosphobacterium* and a K-releasing bacterium of cotton rhizosphere [J]. Chinese Journal of Microecology, 2010, 22(2):102-105. (in Chinese)
- [11] 蒋宝贵, 赵 斌. 解磷解钾自生固氮菌的分离筛选及鉴定 [J]. 华中农业大学学报, 2005, 24(1):43-48.
Jiang B G, Zhao B. Screening and identification of the bacterium which have high efficiency on resolving *Phosphorus* and *Potassium* and in nitrogen fixation [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2005, 24(1):43-48. (in Chinese)
- [12] 李 锋, 田立娟, 杜林方, 等. 三种菜豆凝集素的分离纯化及其与黑皮扁豆凝集素抗血清的免疫交叉反应 [J]. 天然产物研究与开发, 2006, 18(5):799-802.
Li F, Tian L J, Du L F, et al. Purification of three species of *Phaseolus* L. and their immune cross reaction with antiserum raised against dolichos purpureus lectin [J]. Natural Product Research and Development, 2006, 18(5):799-802. (in Chinese)
- [13] Penrose D M, Glick B R. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria [J]. Physiologia Plantarum, 2003, 118(1):10-15.
- [14] Glickmann E, Dessaux Y. A critical examination of the specificity of the salkowski reagent for indolic compounds produced by phytopathogenic bacteria [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1995, 61(2):793-796.
- [15] Zhang J, Liu J Y, Meng L Y, et al. Isolation and characterization of plant growth-promoting rhizobacteria from wheat roots by wheat germ agglutinin labeled with fluorescein isothiocyanate [J]. The Journal of Microbiology, 2012, 50(2):191-198.
- [16] 王 平, 董 颢. 小麦根圈细菌铁载体的检测 [J]. 微生物学通报, 1994, 21(6):323-326.
Wang P, Dong B. Detection and determination of the siderophores produced by wheat rhizobacteria [J]. Microbiology, 1994, 21(6):323-326. (in Chinese)
- [17] 刘晓东, 王补全, 李 伟. 玉米根际促生菌的筛选及其对玉米生长发育的影响 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(10):5043-5045.
Liu X D, Wang B Q, Li W. Selection of the rhizosphere growth-promoting bacterium of maize and its impact on maize growth and development [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(10):5043-5045. (in Chinese)
- [18] 熊维全, 万 群. 植物凝集素及其在生物固氮中的作用 [J]. 热带农业科技, 2005, 28(2):21-26.
Xiong W Q, Wan Q. The lectins of plant and its role in biological nitrogen fixation [J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2005, 28(2):21-26. (in Chinese)
- [19] 唐 超, 王清吉. 黑豆凝集素的提取及血凝效果研究 [J]. 西南师范大学学报, 2012, 37(2):82-87.
Tang C, Wang Q J. On extraction of lectin from black soya bean and its effect of cruor [J]. Journal of Southwest China Normal University, 2012, 37(2):82-87. (in Chinese)
- [20] 袁 燕, 袁再美, 岑晓江, 等. 蒜头果凝集素的提取及血凝效果研究 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(21):144-146.
Yuan Y, Yuan Z M, Cen X J, et al. Study on extracting and cruor effect of *Malania oleifera* lectin [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(21):144-146. (in Chinese)
- [21] 常慧萍, 马忠友, 唐欣昀, 等. 麦胚凝集素的纯化及其对小麦根际促生细菌的亲和作用 [J]. 中国粮油学报, 2009, 24(11):26-29.
Chang H P, Ma Z Y, Tang X Y, et al. Purification of wheat germ agglutinin and its affinity with growth-promoting bacteria from wheat rhizosphere [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(11):26-29. (in Chinese)
- [22] 姚丽娟, 唐欣昀, 常慧萍, 等. 棉花根际促生细菌的研究进展 [J]. 中国土壤与肥料, 2009(6):8-12.
Yao L J, Tang X Y, Chang H P, et al. Research advances in cotton growth-promoting rhizobacteria [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2009(6):8-12. (in Chinese)