

# 8 株优良大豆根瘤菌与不同地区 27 个大豆主栽品种的匹配性研究

伍 惠,钟喆栋,樊 伟,彭亚齐,杜 思,陈大松,王学路,李友国

(华中农业大学 生命科学技术学院/农业微生物学国家重点实验室,湖北 武汉 430070)

**摘 要:**大豆是我国重要的油料作物和高蛋白粮饲兼用作物,具有与根瘤菌共生固氮的能力。近十几年来,我国大豆品种更新快,导致大豆根瘤菌株与新品种匹配能力差、接种效果不明显。筛选与主栽大豆品种匹配性好、固氮效率高的广谱性优良菌株,可为针对性的施用大豆根瘤菌接种剂提供菌种资源和方案。选取本实验室前期分离保存的 6 个优良快生型大豆根瘤菌株和 2 个慢生型大豆根瘤菌株,在砂培盆栽条件下与不同地区的 27 个大豆主栽品种进行匹配试验。测定分析了植株地上部分生物量、高度、根瘤数量、根瘤生物量和根瘤固氮酶活指标。结果表明:不同大豆根瘤菌之间结瘤固氮能力存在极显著的差异;供试根瘤菌均能够与国内 24 个大豆品种结瘤,广谱性较好;植株地上部分高度、根瘤数量、根瘤生物量和根瘤固氮酶活与地上部分生物量呈显著相关;大部分接种根瘤菌后的植物生物量显著高于 CK;HN01、GR3、HH29、HH103 匹配性和固氮效率均不逊色于 USDA110,具有在东北地区、黄淮海地区、长江流域、东南地区推广的潜能;从品种来看,中豆 39、BD2、天隆 1 号与 8 株供试大豆根瘤菌的匹配接种表现出高生物量特点。此外,本文还筛选出大豆-大豆根瘤菌的表型最佳匹配组合中豆 39-GR3,适合长江流域地区;同样筛选到东北地区、黄淮海地区、东南地区最佳匹配组合,分别是 HN01-辽豆 14、HN01-徐豆 14、HN01-BD2。本文初步建立了优良根瘤菌与大豆主栽品种的匹配关系,为在田间试验中进一步筛选和应用这些优良菌株提供了材料和指导。

**关键词:**优良大豆根瘤菌;大豆;主栽品种;匹配性;共生固氮作用

中图分类号:S565.1      文献标识码:A      DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2017.03.0405

## Symbiotic Compatibility Among Eight Elite Soybean Rhizobia Strains and Twenty-seven Soybean Cultivars from Different Planting Regions

WU Hui, ZHONG Zhe-dong, FAN Wei, PENG Ya-qi, DU Si, CHEN Da-song, WANG Xue-lu, LI You-guo  
(Huazhong Agricultural University, College of Life Science and Techonology/State Key Laboratory of Agricultural Microbiology, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** Soybean is an important oil crop as well as a high-protein grain and forage crop, possessing symbiotic nitrogen fixation ability with rhizobia. Over the last decade, China's new soybean varieties have been updated quickly, resulting in its poor matching with lag-behinded soybean rhizobia strains and therefore demonstrating null efficiency with inoculated rhizobia in agricultural field. To study on the compatibility and matching ability between rhizobia and soybean varieties, and screen the elite rhizobia strains with high nitrogen fixation efficiency and a broad-host range is of importance. It can provide elite strains and practical guides for rhizobia inoculant production and application in a specific region of China. This paper selected eight soybean rhizobia strains including six fast-growing soybean rhizobia previously isolated in our lab and two slow-growing soybean rhizobia *Bradyrhizobium japonicum*, TA11 and USDA110, as controls, and twenty-seven soybean cultivars to carry out the matching experiments. The compatibilities between soybean rhizobia and soybean cultivars were characterized through pot sand nodulation experiments. Plant shoot biomass and height above ground, nodule number, fresh weight and nitrogenase activity were measured, and the data were analyzed using SPSS. It showed that nodule nitrogen fixing efficiency was significantly different among the tested rhizobia and soybean cultivars. Plant biomass was positively correlated with other indexes. Eight tested rhizobia were found to be compatible with twenty-four tested soybean cultivars in China. Plant biomass was significantly increased for inoculated plants related to that of the non-inoculated ones. In addition, the strains of HN01, GR3, HH29 and HH103 demonstrated high nitrogen fixation efficiency no less than that of USDA110. These strains are potential merit strains to be applied in Northeast China, Valley of the Yellow and Huaihe Rives, Valley of the Yangze River, and Southeast China. Among the twenty-seven soybean varieties/lines, Zhongdou 39, BD2 and Tianlong 1 showed higher biomass when inoculated with eight tested rhizobia. In addition, we have obtained an outstanding pair of with higher symbiont efficient Zhongdou 39-GR3, which will be applied in Valley of the Yangze River; the best compatibility of soybean-rhizobia in Northeast China, Valley of the Yellow and Huaihe Rives, Southeast China respectively were Liaodou 14-HN01, Xudou 14-HN01, BD2 -HN01 as well. Our study elementary identified the compatibility between elite soybean rhizobia tested and major cultivar of different planting region in China. The results provide the rhizobia resources for inoculant production being supposed to match a region-specific soybean cultivar. Further investigations are need to evaluate and confirm the elite rhizobia strains that can compete

收稿日期:2017-01-18  
基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0100702);国家高技术研究发展计划“863 计划”(2013AA102802-04)。  
第一作者简介:伍惠(1990-),女,硕士,主要从事生物固氮与菌植互作研究。E-mail:674885748@qq.com。  
通讯作者:王学路(1967-),男,博士,教授,主要从事大豆生物学研究。E-mail:xlwang@mail.hzau.edu.cn;  
李友国(1966-),男,博士,教授,主要从事生物固氮与菌植互作研究。E-mail:yuguoli@mail.hzau.edu.cn。

with indigenous rhizobia strains and demonstrate practical higher nitrogen fixation efficiency in the field soils.

**Keywords:** Elite rhizobia strain; *Glycine max*; Soybean major cultivar; Compatibility; Symbiotic nitrogen fixing efficiency

根瘤菌是一类生活在土壤中的革兰氏阴性细菌。在农业生态系统中的氮素循环中发挥重要作用,大豆根瘤菌通过感染大豆植物根部、诱导固氮根瘤形成,为固氮酶提供合适的微环境,从而大量的分子态氮 N<sub>2</sub>被固定转化为铵,供给植物利用。合理和充分利用这个共生固氮体系的功能,在农业生产中可以减少化肥使用,降低化学肥料对土壤和环境的负面影响<sup>[1]</sup>。

大豆是我国重要的油料作物和高蛋白粮饲兼用作物。随着人们对蛋白质、脂肪需求量的增加,大豆在国民经济中的地位越来越重要<sup>[2-3]</sup>;大豆又是重要的共生固氮作物,根瘤菌-大豆共生体系固定的氮素可为大豆生长提供其所需氮素营养的50%~90%<sup>[4]</sup>。大多数研究表明不同的根瘤菌与大豆品种间的共生表型匹配性存在较大的差异,且我国是大豆和大豆根瘤菌的起源地。所以,开展根瘤菌与大豆品种的匹配性研究,具有重要的应用价值。豆科植物外施大豆根瘤菌以提高其固氮效率历史悠久,作为一项有效的农业技术措施<sup>[5]</sup>,接种根瘤菌剂在许多国家如美国、巴西、阿根廷等大豆主产国家得到了广泛应用。巴西、阿根廷种植大豆不施氮肥,美国仅施少量氮肥供大豆前期使用,在巴西每年仅节省氮肥所获得的经济效益就超过了25亿。然而,根瘤菌在我国大豆接种面积近30年来却持续下降,从20世纪80年代30万hm<sup>2</sup>降到2008的10万hm<sup>2</sup>,约占大豆总面积的2%。我国化肥生产量和施用量均居世界第一位,氮肥大量应用促进植物产量大幅度增长,但是化肥利用率呈逐年下降趋势,造成了土壤结构被破坏等负面影响<sup>[6-7]</sup>。我国根瘤菌产业与国外发达国家相比,主要存在如下问题:第一,我国使用根瘤菌菌种与大豆主栽品

种匹配性不强,竞争结瘤能力差,导致共生固氮效率低,影响使用效果。第二,我国是大豆起源国,土壤中存在大量的土著根瘤菌,这些根瘤菌75%以上是无效和低效菌株,但这些根瘤菌是当地土壤条件和大豆品种的适应者,竞争力强,比接种的高效菌株更容易结瘤,造成接种根瘤菌效果不理想。另外,近十几年来,大豆品种更新快,以致菌株与新品种匹配能力差,导致接种根瘤菌的效果不明显<sup>[8-10]</sup>。本实验室前期分离获得了多个高效大豆根瘤菌株。基于我们近期收集的不同大豆主产区27个主栽品种,利用前期获得的6个优良快生型大豆根瘤菌株,以USDA110、TA11慢生型大豆根瘤菌株为参照,在砂培盆栽条件下开展匹配试验研究,旨在为我国不同地域的大豆根瘤菌剂的生产应用提供菌株材料和匹配方案。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌株 供试的6株快生型大豆根瘤菌株由本实验室前期分离和保存的优良大豆根瘤菌,分别为HN01、GR3、HH29、HH103、SMH12和ZX20,均类属于*Sinorhizobium fredii*。其中HN01是华中农业大学农业微生物学国家重点实验室分离、并一直使用的高效固氮根瘤菌<sup>[11-12]</sup>。2株大豆慢生型根瘤菌为美国农业部推荐使用的高效菌株TA11和美国公认的优良菌株USDA110,均类属于*Bradyrhizobium*。

1.1.2 供试大豆品种 供试的27个大豆品种的名称、来源、类型及性状列于表1。这些大豆品种大多数为我国各大豆产区的主栽品种。由华中农业大学生命科学技术学院王学路教授提供。

表1 供试大豆 Soyben cultivars tested

大豆区 Region	大豆品种 Soybean cultivar	来源 Source	类型 Type	适宜种植期 Plant stage ( month. day )	结荚习性 Podding habits	百粒重 100-seed weight/g
东北地区 Northeast China	辽豆 14 Liaodou 14	辽宁 Liaoning	春大豆 Spring soybean	3. 21 ~ 3. 31	亚有限 Semi-determinate	9. 88
	绥农 14 Suinong 14	黑龙江 Heilongjiang	春大豆 Spring soybean	4. 21 ~ 4. 30	亚有限 Semi-determinate	14. 98
黄淮海流域 Valley of the Yellow and Huaihe Rivers	徐豆 14 Xudou 14	江苏 Jiangsu	夏大豆 Summer soybean	6. 1 ~ 6. 15	亚有限 Semi-determinate	—
	徐豆 17 Xudou 17	江苏 Jiangsu	夏大豆 Summer soybean	6. 1 ~ 6. 15	有限 Determinate	—
	徐豆 18 Xudou 18	江苏 Jiangsu	夏大豆 Summer soybean	6. 1 ~ 6. 15	有限 Determinate	—
	徐豆 20 Xudou 20	江苏 Jiangsu	夏大豆 Summer soybean	6. 11 ~ 6. 15	有限 Determinate	—
	冀豆 9 号 Jidou 9	河北 Hebei	夏大豆 Summer soybean	6. 11 ~ 6. 15	亚有限 Semi-determinate	21. 15
	冀豆 12 Jidou 12	河北 Hebei	夏大豆 Summer soybean	6. 11 ~ 6. 15	有限 Determinate	17. 13

续表 1

大豆区	大豆品种	来源	类型	适宜种植期	结荚习性	百粒重
Region	Soybean cultivar	Source	Type	Plant stage ( month. day )	Podding habits	100-seed weight/g
长江流域 Valley of the Yangze River	冀豆 17 Jidou 17	河北 Hebei	夏大豆/春大豆 Summer/Spring soybean	4. 21 ~ 4. 30 or 6. 1 ~ 6. 15	亚有限 Semi-determinate	17. 22
	冀 n58 Ji n58	河北 Hebei	夏大豆 Summer soybean	6. 1 ~ 6. 15	亚有限 Semi-determinate	13. 88
	牛毛黄 Niumaohuang	河北 Hebei	夏大豆 Summer soybean	6. 1 ~ 6. 15	亚有限 Semi-determinate	16. 62
	HP117	河北 Hebei	夏大豆 Summer soybean	6. 1 ~ 6. 15	有限 Determinate	—
	郑 92116 Zheng 92116	河南 Henan	夏大豆 Summer soybean	6. 1 ~ 6. 15	有限 Determinate	13. 29
	ZDD	陕西 Shaanxi	夏大豆 Summer soybean	6. 1 ~ 6. 15	亚有限 Semi-determinate	11. 24
	潍科 9 号 Weike 9	山东 Shandong	夏大豆 Summer soybean	6. 1 ~ 6. 15	有限 Determinate	25. 26
	圣豆 10 号 Shengdou 10	山东 Shandong	夏大豆 Summer soybean	6. 1 ~ 6. 15	有限 Determinate	29. 84
	中黄 35 Zhonghuang 35	北京 Beijing	夏大豆 Summer soybean	6. 1 ~ 6. 15	有限 Determinate	—
	中黄 13 Zhonghuang 13	北京 Beijing	夏大豆 Summer soybean	6. 1 ~ 6. 15	亚有限 Semi-determinate	22. 94
	蒙 1001 Meng1001	安徽 Anhui	夏大豆 Summer soybean	6. 1 ~ 6. 15	有限 Determinate	—
	天隆 1 号 Tianlong 1	湖北 Hubei	夏大豆 Summer soybean	6. 1 ~ 6. 15	有限 Determinate	16. 24
	天隆 2 号 Tianlong 2	湖北 Hubei	春大豆 Spring soybean	6. 1 ~ 6. 15	有限 Determinate	—
	中豆 39 Zhongdou 39	湖北 Hubei	春大豆 Spring soybean	4. 1 ~ 4. 8	有限 Determinate	—
东南地区 Southeast China	BD2	广东/广州 Guangdong/Guangzhou	春大豆 Spring soybean	3. 21 ~ 3. 31	有限 Determinate	—
		巴西 Brazil	—	5. 21 ~ 5. 31	有限 Determinate	—
		美国 American	—	—	—	17. 68

1.2 试验设计

在实验室沙培盆栽条件下,8 个大豆根瘤菌分别接种 27 个大豆品种,每个品种设不接菌 CK 对照,共 243 个处理;每个处理设 8 个平行。每天同时播种和接种 3 个品种,这每 3 个品种同天收获测定各共生指标。对不同大豆品种经过不同根瘤菌处理的共生效应试验结果进行分析。

1.3 方法

1.3.1 菌悬液制备 将根瘤菌在 YMA 斜面上活化后,然后转接到 YMA 液体培养基中,28℃ 震荡培养 2 ~ 4 d。用无菌水统一调其 OD 值到 0.2 左右(λ = 600 nm)。

1.3.2 砂培结瘤试验 选取颗粒饱满大小均匀的大豆种子,用 75% 乙醇处理 5 min,再用次氯酸钠灭菌 3 min,然后用无菌水洗涤 8 ~ 10 次<sup>[13]</sup>。栽种到营养土中,种脐朝下,待到种子发芽后移栽到装有无氮植物营养液的无氮沙钵中,每钵 1 颗。等到植物长出第一片复叶后,于根部接种 1 mL 根瘤菌菌液,每个菌株与不接菌对照均设 8 个重复,于光照室培养,培养温度 28℃,光照时间 16 h。培养 25 d 后,拍照记录植株长势、并测定植物地上部分生物量、地上部分高度、根瘤数、根瘤生物量和固氮酶活指标<sup>[14]</sup>。

1.3.3 固氮酶活测定 采用乙炔还原法测定大豆根瘤的固氮酶活<sup>[15]</sup>。

1.4 数据分析

利用 Excel 2007 和 SPSS 11.5 软件分析处理数据。数据统计均为 5 ~ 6 个重复的“平均值 ± 方差”,均值比较采用 Duncan 法。

2 结果与分析

2.1 匹配试验中的大豆植株整体长势

部分大豆品种与供试大豆根瘤菌共生的植株整体长势见图 1,其品种分别是中国东北、长江流域、东南地区、黄淮海流域各大豆主产区的代表之一。从整体上看,CK 处理的大豆叶片偏黄,植株矮小,茎细。大部分试验组的大豆叶片偏绿,植株偏高且茎较粗。同一品种,不同根瘤菌处理,其大豆的长势不同。同一根瘤菌,处理不同大豆品种,其大豆长势也不一样。由此可知,大豆 - 根瘤菌的匹配性受共生双方控制。从根瘤菌来看,HN01、US-DA110、GR3、HH103、HH29、SMH12、TA11 与供试大豆品种共生效应相对较好,ZX20 与长江流域、东南地区、黄淮海流域各大豆共生时的植株长势明显较差。



瓶身上第一个数字表示大豆品种,第二个数字表示不同的根瘤菌。19:辽豆 14;23:天隆 2号;27:BD2;28:冀 nf58;1:HN01;2:GR3;3:HH29;4:ZX20;5:HH103;6:SMH12;7:USDA110;8:TA11。

The first number on the bottle represents soybean cultivars, the second number on the bottle represents soybean rhizobia. 19: Liaodou 14; 23: Tianlong 2; 27: BD2; 28: Ji nf58; 1: HN01; 2: GR3; 3: HH29; 4: ZX20; 5: HH103; 6: SMH12; 7: USDA110; 8:TA11.

图 1 优良大豆根瘤菌与大豆匹配试验的大豆植株长势

Fig. 1 Representatives of varied plant growth during the elite soybean rhizobia and soybean matching experiments

2.2 匹配试验中的大豆植株的地上部分生物量

本试验室保存的优良大豆根瘤菌与 27 个大豆匹配试验的大豆植株地上部分生物量结果见表 2。由表 2 看出,不同的菌处理不同大豆,其地上部分生物量存在极显著性差异,说明不同的根瘤菌与不同的品种匹配性存在较大差异。

从根瘤菌来看,与 CK 相比,除了 ZX20 处理的大豆植物生物量外,其它 7 个菌处理的大豆地上部

分生物量极显著高于 CK,其中 HN01、GR3、HH29、ZX20、HH103、SMH12、USDA110、TA11 分别接种大豆,分别有 22(81.5%)、15(55.6%)、16(59.3%)、5(18.5%)、16(59.3%)、10(37%)、20(74.1%)、13(48.1%) 个大豆品种的地上部分生物量与 CK 相比存在极显著性差异 ( $P < 0.01$ ), HN01、GR3、HH29、HH103、USDA110 都与 50% 以上供试品种具有极好的匹配性,特别是 HN01 和 USDA110,其分别

达到 81.5%、74.1%。所以,根据地上部分生物量结果,HN01、GR3、HH29、HH103、USDA110 是广谱性好、固氮能力强的根瘤菌。比较各菌在供试大豆品种的地上部分生物量变化程度(变异系数 CV),

SMH12 相对其它快生型大豆根瘤菌,与 27 个大豆品种匹配的地上部分生物量表现差异最大;2 个慢生型根瘤菌相比,USDA110 较 TA11 变化幅度大。

表 2 优良根瘤菌与大豆匹配试验中的大豆植株地上部分生物量

Table 2 Plant shoot biomass of different soybean cultivars when inoculated by different elite soybean rhizobia strains (g·株<sup>-1</sup>)

大豆品种 Soybean cultivar	大豆根瘤菌 Soybean rhizobia									
	CK	HN01	GR3	HH29	ZX20	HH103	SMH12	USDA110	TA11	
辽豆 14 Liaodou 14	2.54±0.96 a	4.59±0.77 c	3.30±0.35 ab	3.58±0.55 abc	3.17±0.58 ab	3.14±0.69 ab	2.79±0.29 a	2.93±0.53 a	4.16±0.66 bc	
绥农 14 Suinong 14	2.70±0.58 a	2.97±0.32 ab	3.30±0.53 ab	3.40±0.77 ab	2.56±0.46 a	2.62±0.26 a	4.75±0.57 c	3.74±0.62 b	3.12±0.48 ab	
徐豆 14 Xudou 14	2.78±0.71 a	6.79±1.06 c	3.95±1.69 ab	5.67±0.58 bc	4.86±0.54 bc	5.25±0.93 bc	4.28±0.58 ab	5.82±0.65 bc	4.96±0.93 bc	
徐豆 17 Xudou 17	2.47±0.60 a	4.76±1.05 bc	5.07±0.65 bc	5.56±0.34 c	3.79±0.52 b	4.45±0.50 bc	4.27±0.64 bc	5.59±0.56 c	3.97±0.73 b	
徐豆 18 Xudou 18	3.9±0.81 a	6.09±0.76 cd	5.63±0.89 cd	5.35±0.56 bcd	4.59±0.30 abc	5.32±0.64 bcd	4.09±0.42 ab	5.63±0.59 cd	5.22±0.21 bcd	
徐豆 20 Xudou 20	3.99±0.63 a	6.05±1.15 ab	7.01±0.96 b	4.87±1.05 ab	5.43±0.69 ab	6.72±2.45 b	5.84±0.57 ab	5.09±0.97 ab	5.34±0.56 ab	
冀豆 9 号 Jidou 9	2.49±0.61 a	5.22±1.51 bc	5.65±1.06 c	4.05±0.99 abc	3.41±0.56 ab	4.16±1.33 abc	3.83±0.93 abc	3.27±1.22 ab	3.21±0.75 ab	
冀豆 12 Jidou 12	3.37±0.47 a	5.06±0.64 b	4.15±0.90 ab	5.04±0.68 b	4.08±0.72 ab	4.02±0.71 ab	2.78±0.28 a	4.04±0.54 ab	4.86±0.77 b	
冀豆 17 Jidou 17	3.02±0.33 a	4.73±0.60 b	2.87±0.37 a	5.31±0.72 b	3.41±0.64 a	2.46±0.38 a	2.53±0.55 a	5.60±1.29 b	4.81±0.81 b	
冀 n58 Ji n58	2.78±0.41 a	3.31±0.87 abc	2.95±0.33 abc	3.81±0.50 cd	2.42±0.44 a	2.56±0.30 a	3.31±0.32 abc	4.61±0.67 d	3.65±0.33 bc	
牛毛黄 Niumaohuang	2.69±0.44 a	5.32±1.17 c	5.10±1.29 c	4.89±0.72 bc	3.11±0.46 a	4.53±0.86 bc	5.44±0.78 c	5.16±0.34 c	3.64±0.41 ab	
HP117	3.59±1.16 a	6.04±0.77 d	4.91±0.58 abcd	4.57±0.39 abcd	4.18±0.83 abc	5.40±0.91 cd	3.33±0.68 a	5.15±0.72 bcd	4.34±0.74 abc	
郑 92116 Zheng 92116	3.05±0.50 a	5.86±1.04 b	5.98±0.82 b	5.82±0.74 b	3.09±0.37 a	4.85±1.02 b	3.07±0.61 a	5.58±1.22 b	4.67±0.34 ab	
ZDD	2.49±0.33 a	4.20±0.85 ab	3.99±1.42 ab	3.86±1.62 ab	4.06±0.65 ab	4.58±1.10 b	2.90±0.67 ab	4.37±1.38 ab	2.72±0.55 ab	
潍科 9 号 Weike 9	3.37±0.66 a	5.79±1.20 b	5.30±1.13 ab	5.01±1.27 ab	4.58±0.51 ab	5.52±1.27 ab	4.72±0.43 ab	6.22±1.27 b	4.83±1.34 ab	
圣豆 10 号 Shengdou 10	4.70±10.73 a	6.46±0.15 b	5.32±0.97 b	6.30±0.80 b	3.61±0.66 a	5.11±0.98 ab	6.14±0.95 b	6.14±0.95 b	5.32±0.86 b	
中黄 35 Zhonghuang 35	2.15±0.64 a	3.36±0.37 bcd	3.10±0.83 abc	4.40±0.70 de	2.65±0.55 abc	4.22±0.51 de	2.35±0.39 ab	4.93±0.86 e	3.53±0.45 c	
中黄 13 Zhonghuang 13	4.22±0.66 a	7.41±1.09 c	7.53±1.09 c	8.29±0.45 c	4.18±0.88 a	6.72±0.93 bc	6.39±0.73 bc	7.17±1.60 c	4.93±0.73 ab	
蒙 1001 Meng1001	4.00±0.50 a	5.07±0.41 bc	5.75±1.04 c	4.18±1.59 abc	2.64±0.96 a	4.60±0.38 abc	3.36±0.84 ab	5.37±0.98 bc	4.07±1.22 abc	
天隆 1 号 Tianlong 1	2.08±0.30 a	4.92±1.02 cd	4.64±0.38 cd	4.21±0.90 cd	3.98±0.64 bc	5.00±0.54 d	2.94±0.77 ab	3.71±0.60 bc	3.92±0.36 bcd	
天隆 2 号 Tianlong 2	2.40±0.36 a	4.52±1.10 b	3.98±0.43 b	3.83±0.52 b	2.22±0.49 a	4.67±1.12 b	4.63±1.15 b	3.45±0.46 ab	3.31±0.80 ab	
中豆 39 Zhongdou 39	2.29±0.49 a	4.92±0.43 bcd	5.88±1.09 d	4.37±0.38 bc	3.88±0.35 b	4.63±0.59 bc	4.67±0.41 bc	5.30±0.62 cd	5.12±0.74 cd	
中豆 41 Zhongdou 41	4.02±1.44 a	6.20±0.10 b	6.03±0.93 ab	5.32±0.92 ab	5.16±1.01 ab	4.26±1.41 ab	5.97±1.07 ab	4.72±0.99 ab	4.86±0.52 ab	
中豆 43 Zhongdou 43	3.92±0.66 a	3.88±0.89 cd	7.79±1.29 d	8.20±0.75 bc	6.54±0.63 b	5.77±0.67 cd	7.78±0.82 bcd	6.79±0.80 bc	6.02±1.14 b	
BD2	3.03±0.50 a	7.15±1.76 c	6.11±0.29 bc	5.21±0.80 bc	3.18±0.64 a	6.19±1.41 bc	6.19±1.32 bc	6.24±1.23 bc	4.25±0.48 ab	
BX10	1.89±0.41 a	4.15±0.59 abc	2.26±1.27 a	3.06±1.43 a	2.68±0.71 a	2.70±1.12 a	5.26±1.27 bc	5.72±1.86 c	3.40±1.30 ab	
Willimus 82	2.48±0.40 a	3.67±1.03 cd	2.47±0.30 ab	2.51±0.35 ab	2.16±0.31 a	3.49±0.59 bcd	2.99±0.50 abc	4.35±0.45 d	3.37±1.06 bcd	
变异系数 CV	0.24	0.23	0.31	0.27	0.28	0.25	0.32	0.21	0.19	

同一排数据不同字母表示在  $P<0.01$  水平差异极显著,下同。

Different letters following the mean values within each row indicate very significant differences at  $P<0.01$ . The same below.

2.3 匹配试验中的地上部分生物量相对增量分析

地上部分相对生物量结果如表 3,大豆根瘤菌-大豆结瘤固氮能力受共生体双方控制。不同的菌处理不同大豆,其地上部分生物量存在极显著性差异,说明不同的根瘤菌与不同的品种匹配性存在很大差异性,就是同一品系的大豆,供试菌的促进效率不同。从菌来看,USDA110 是美国公认的酶活高、固氮能力强、具有广谱性的菌株。与 USDA110、TA11 相比,HN01、GR3、HH29、HH103 处理的大部分大豆的地上部分生物量相对增量没有极显著差异( $P<0.01$ )。接种 HN01、GR3、HH29、ZX20、HH103、SMH12、USDA110、TA11 的大豆,地上部分生物量相对增量在 1.6 倍以上的大豆分别占 59.2%、44.4%、48.1%、11.1%、51.8%、29.6%、

59.2%、25.9% ;其平均相对增量在 2 倍以上的大豆比例分别为 25.9%、22.2%、14.8%、0%、14.8%、14.8%、22.2%、3.7%。此结果说明这些供试菌除了 ZX20 和 SMH12 外,接种效果均不逊于 USDA110 而优于 TA11。从同一品系大豆来看,如品系一(徐豆 14、徐豆 17、徐豆 18、徐豆 20);品系二(中豆 39、

中豆 41、中豆 43),其经过相同的根瘤菌接种,相同品系的大豆相对生物量也不同;品系一中,徐豆 14 和徐豆 18 共生效率相对较好,相对增量都在 1.5 倍以上,品系二中的中豆 39 共生效率相对较好,相对增量都在 1.7 倍以上。

表 3 优良根瘤菌与大豆匹配试验中的植株地上部分生物量相对增量

Table 3 Relative ratios of increased plant shoot biomass between experiment and control groups for different soybean cultivars when inoculated by different elite soybean rhizobia strains

大豆品种 Soybean cultivar	大豆根瘤菌 Soybean rhizobia							
	HN01	GR3	HH29	ZX20	HH103	SMH12	USDA110	TA11
辽豆 14 Liaodou 14	1.80 ± 0.3 c	1.30 ± 0.14 ab	1.41 ± 0.22 abc	1.25 ± 0.23 ab	1.24 ± 0.27 ab	1.10 ± 0.11 a	1.15 ± 0.21 ab	1.64 ± 0.26 bc
绥农 14 Suinong 14	1.10 ± 0.12 ab	1.22 ± 0.2 ab	1.26 ± 0.29 ab	0.95 ± 0.17 a	0.97 ± 0.1 ab	1.76 ± 0.21 c	1.39 ± 0.23 b	1.16 ± 0.18 ab
徐豆 14 Xudou 14	2.44 ± 0.38 b	1.42 ± 0.61 a	2.04 ± 0.21 ab	1.75 ± 0.19 ab	1.89 ± 0.33 ab	1.54 ± 0.21 a	2.09 ± 0.23 ab	1.78 ± 0.34 ab
徐豆 17 Xudou 17	1.93 ± 0.43 ab	2.06 ± 0.26 ab	2.25 ± 0.14 b	1.54 ± 0.21 a	1.80 ± 0.2 ab	1.73 ± 0.26 ab	2.27 ± 0.23 b	1.61 ± 0.29 a
徐豆 18 Xudou 18	1.56 ± 0.2 c	1.44 ± 0.23 bc	1.37 ± 0.14 bc	1.18 ± 0.08 ab	1.36 ± 0.16 bc	1.05 ± 0.11 a	1.44 ± 0.15 bc	1.34 ± 0.06 abc
徐豆 20 Xudou 20	1.52 ± 0.29 a	1.80 ± 0.24 a	1.22 ± 0.26 a	1.36 ± 0.17 a	1.68 ± 0.61 a	1.46 ± 0.14 a	1.27 ± 0.24 a	1.34 ± 0.13 a
冀豆 9 号 Jidou 9	2.10 ± 0.61 ab	2.27 ± 0.43 b	1.63 ± 0.4 ab	1.37 ± 0.22 ab	1.67 ± 0.54 ab	1.54 ± 0.38 ab	1.31 ± 0.49 a	1.29 ± 0.3 a
冀豆 12 Jidou 12	1.50 ± 0.19 b	1.23 ± 0.27 ab	1.50 ± 0.2 b	1.21 ± 0.21 ab	1.19 ± 0.21 ab	0.82 ± 0.08 a	1.20 ± 0.16 ab	1.44 ± 0.23 b
冀豆 17 Jidou 17	1.57 ± 0.2 bc	0.95 ± 0.12 a	1.76 ± 0.24 c	1.13 ± 0.21 ab	0.81 ± 0.12 a	0.84 ± 0.18 a	1.85 ± 0.43 c	1.59 ± 0.27 bc
冀 n58 Ji n58	1.19 ± 0.31 ab	1.06 ± 0.12 ab	1.37 ± 0.18 bc	0.87 ± 0.16 a	0.92 ± 0.11 a	1.19 ± 0.12 ab	1.66 ± 0.24 c	1.31 ± 0.12 b
牛毛黄 Niumaohuang	1.98 ± 0.44 c	1.90 ± 0.48 bc	1.82 ± 0.27 bc	1.16 ± 0.17 a	1.69 ± 0.32 abc	2.02 ± 0.29 c	1.92 ± 0.12 bc	1.35 ± 0.15 ab
HP117	1.69 ± 0.22 c	1.37 ± 0.16 bc	1.27 ± 0.11 abc	1.17 ± 0.23 ab	1.51 ± 0.25 bc	0.93 ± 0.19 a	1.44 ± 0.2 bc	1.21 ± 0.21 ab
郑 92116 Zheng 92116	1.93 ± 0.34 b	1.96 ± 0.27 b	1.91 ± 0.24 b	1.01 ± 0.12 a	1.59 ± 0.34 b	1.01 ± 0.2 a	1.83 ± 0.4 b	1.53 ± 0.11 ab
ZDD	1.69 ± 0.34 a	1.60 ± 0.57 a	1.55 ± 0.65 a	1.63 ± 0.26 a	1.83 ± 0.44 a	1.16 ± 0.27 a	1.75 ± 0.55 a	1.09 ± 0.22 a
潍科 9 号 Weike 9	1.72 ± 0.36 a	1.57 ± 0.33 a	1.49 ± 0.38 a	1.36 ± 0.15 a	1.64 ± 0.38 a	1.40 ± 0.13 a	1.85 ± 0.38 a	1.43 ± 0.4 a
圣豆 10 号 Shengdou 10	1.37 ± 0.03 b	1.13 ± 0.21 b	1.34 ± 0.17 b	0.77 ± 0.14 a	1.09 ± 0.21 ab	1.30 ± 0.2 b	1.30 ± 0.2 b	1.13 ± 0.16 b
中黄 35 Zhonghuang 35	1.56 ± 0.17 ab	1.44 ± 0.39 ab	2.05 ± 0.33 bc	1.23 ± 0.26 a	1.97 ± 0.24 bc	1.10 ± 0.18 a	2.30 ± 0.4 c	1.64 ± 0.21 ab
中黄 13 Zhonghuang 13	1.76 ± 0.26 c	1.79 ± 0.26 c	1.97 ± 0.11 c	0.99 ± 0.21 a	1.59 ± 0.22 bc	1.52 ± 0.17 bc	1.70 ± 0.38 c	1.17 ± 0.17 ab
蒙 1001 Meng1001	1.27 ± 0.1 bc	1.44 ± 0.26 c	1.05 ± 0.4 abc	0.66 ± 0.24 a	1.15 ± 0.1 abc	0.84 ± 0.21 ab	1.34 ± 0.24 bc	1.02 ± 0.31 abc
天隆 1 号 Tianlong 1	2.36 ± 0.49 c	2.23 ± 0.18 bc	2.02 ± 0.43 bc	1.91 ± 0.31 ab	2.40 ± 0.26 bc	1.41 ± 0.37 a	1.78 ± 0.29 ab	1.88 ± 0.17 ab
天隆 2 号 Tianlong 2	1.88 ± 0.46 bc	1.66 ± 0.18 bc	1.60 ± 0.22 abc	0.93 ± 0.2 a	1.87 ± 0.47 bc	1.93 ± 0.48 c	1.44 ± 0.19 abc	1.38 ± 0.34 ab
中豆 39 Zhongdou 39	2.15 ± 0.19 bc	2.57 ± 0.48 c	1.91 ± 0.16 ab	1.70 ± 0.16 a	2.02 ± 0.26 ab	2.04 ± 0.18 ab	2.32 ± 0.27 bc	2.24 ± 0.32 bc
中豆 41 Zhongdou 41	1.54 ± 0.25 a	1.50 ± 0.23 a	1.32 ± 0.23 a	1.28 ± 0.25 a	1.06 ± 0.35 a	1.48 ± 0.26 a	1.17 ± 0.25 a	1.21 ± 0.13 a
中豆 43 Zhongdou 43	2.01 ± 0.23 b	2.11 ± 0.33 b	1.69 ± 0.19 ab	1.49 ± 0.16 a	2.01 ± 0.19 b	1.75 ± 0.21 ab	1.66 ± 0.21 ab	1.55 ± 0.29 ab
BD2	2.36 ± 0.58 c	2.01 ± 0.1 bc	1.72 ± 0.27 ab	1.05 ± 0.21 a	2.04 ± 0.46 bc	2.04 ± 0.44 bc	2.06 ± 0.41 bc	1.40 ± 0.16 ab
BX10	2.20 ± 0.31 ab	1.19 ± 0.67 a	1.62 ± 0.76 ab	1.42 ± 0.37 a	1.43 ± 0.59 a	2.79 ± 0.67 ab	3.03 ± 0.98 b	1.80 ± 0.69 ab
Willimus 82	1.48 ± 0.41 ab	1.00 ± 0.12 a	1.01 ± 0.14 a	0.87 ± 0.12 a	1.41 ± 0.24 ab	1.20 ± 0.2 a	1.76 ± 0.18 c	1.36 ± 0.43 bc
变异系数 CV	0.20	0.26	0.20	0.25	0.25	0.32	0.25	0.19

从表 3 还可看出大豆根瘤菌和大豆最佳匹配性组合是 GR3 – 中豆 39,其地上部分生物量相对增量达到 2.57 倍,其次是 HN01 – 徐豆 14、HH103 – 天隆 1 号、HN01 – 天隆 1 号、HN01-BD2、USDA110 – 中豆 39,其地上部分生物量相对增量分别达到 2.44、2.4、2.36、2.36、2.32。

比较各菌在供试品种地上部分生物量相对增量的变化程度,SMH12 与 27 个大豆品种匹配的地上部分生物量相对增量变易系数达 0.32,相对其它快生型大豆根瘤菌变化最大;2 个慢生型根瘤菌相比,USDA110 较 TA11 变化幅度较大。

从品种来看,中豆 39、天隆 1 号、BD2 相对于其



它大豆,与供试菌的共生促进效应普遍性高,中豆39和BD2与5个供试菌、天隆1号与4个供试菌,地上部分生物量相对增量都达到2.0倍以上。

从不同大豆种植区来,在东北区,HN01-辽豆14是最佳组合,且辽豆14相对绥农14,与供试菌的共生效应稍高。黄淮海地区,HN01-徐豆14是最佳组合;徐豆14和徐豆17与所有供试菌的地上部分生物量相对增量在1.5倍以上,促进效率优于其它品种。在长江流域,最佳匹配性组合是HH103-天隆1号;中豆39、天隆1号与供试菌普遍表现出较优的共生固氮效率和表型,与绝大多数供试菌的地上部分生物量相对增量在1.78倍以上。东南地区,虽只有1个品种,但其促进植物生物量相对增长在2.0倍以上,最佳匹配性组合是HN01-BD2。从数据综合结果看来,HN01具有在所供试大豆主产区进行推广的潜能。

综上所述,HN01、GR3、HH29、HH103和供试大豆共生,促进植物生长能力不逊于USDA110且优于TA11,具有在所供试大豆主产区进行推广的潜能,特别是HN01。中豆39、天隆1号、BD2与供试菌共生促进植物生长能力普遍性高。本试验结果明确

了不同大豆主栽区适宜的接种根瘤菌匹配方式,提供了菌种-大豆品种的适宜组合资源。

2.4 匹配试验中的株高分析

优良大豆根瘤菌与27个大豆匹配试验的大豆植株地上部分高度结果见表4,不同处理地上部分相对生物量存在极显著性差异,说明不同的根瘤菌与不同的品种匹配性存在很大差异性;从菌来看,与CK相比,HN01、GR3、HH29、ZX20、HH103、SMH12、USDA110、TA11分别接种大豆,分别有22(81.5%)、16(59.3%)、9(33.3%)、5(18.5%)、17(62.9%)、11(40.7%)、12(44.4%)、5(18.5%)个大豆品种的地上部分高度极显著性( $P<0.01$ )增高,说明HN01、GR3、HH103都与50%以上供试品种具有很好的匹配性,与USDA110、TA11相比,HN01、GR3、HH103是优良的广谱性根瘤菌且其固氮效率都不亚于USDA110;除了ZX20,其它菌都优于TA11。比较各菌接种供试品种后的大豆高度的变异系数(表4),SMH12相对其它快生型大豆根瘤菌,与27个大豆品种匹配的地上部分高度表现差异最大;2个慢生型根瘤菌相比,USDA110较TA11变化幅度大。

表4 优良根瘤菌与大豆匹配试验中的大豆株高比较

Table 4 Plant heights of different soybean cultivars when inoculated by elite soybean rhizobia strains( cm)										
大豆品种	大豆根瘤菌 Soybean rhizobia									
Soybean cultivar	CK	HN01	GR3	HH29	ZX20	HH103	SMH12	USDA110	TA11	
辽豆 14 Liaodou 14	20.50 ±2.93 ab	24.83 ±3.24 b	21.50 ±1.26 ab	19.50 ±1.5 ab	22.00 ±7.37 ab	22.33 ±1.25 ab	21.50 ±1.26 ab	16.67 ±2.05 a	20.50 ±1.26 ab	
绥农 14 Suinong 14	24.50 ±3.59 bcd	23.00 ±1.63 bcd	26.00 ±2.58 cde	27.00 ±3.06 de	18.17 ±2.85 a	21.83 ±1.3 abc	29.17 ±1.21 e	25.17 ±2.3 cde	20.17 ±1.95 ab	
徐豆 14 Xudou 14	19.32 ±2.82 a	46.12 ±3.73 d	26.06 ±5.55 bc	26.60 ±2.33 bc	27.70 ±4.02 bc	41.24 ±2.65 d	21.14 ±1.21 ab	31.72 ±3.01 c	28.68 ±2.66 c	
徐豆 17 Xudou 17	19.60 ±2.58 ab	27.20 ±3.71 c	35.60 ±3.26 d	25.80 ±2.93 bc	24.20 ±1.33 abc	30.20 ±4.21 cd	18.00 ±4.82 a	26.00 ±1.79 bc	20.20 ±2.23 ab	
徐豆 18 Xudou 18	17.00 ±2.1 a	37.20 ±4.02 d	25.40 ±2.42 bc	22.40 ±1.62 ab	21.00 ±2.53 ab	33.80 ±5.34 d	16.60 ±1.36 a	31.00 ±2.28 cd	25.60 ±4.72 bc	
徐豆 20 Xudou 20	24.28 ±1.23 a	32.90 ±5.54 bc	41.12 ±0.87 e	25.68 ±3.36 ab	27.32 ±3.64 abc	36.34 ±7.35 de	33.90 ±2.22 cde	22.60 ±2.37 a	23.08 ±1.92 a	
冀豆 9 号 Jidou 9	30.86 ±3.82 a	39.30 ±5.42 bc	41.76 ±2.16 c	31.06 ±3.65 a	33.02 ±2.17 ab	35.26 ±3.3 abc	40.54 ±5.9 bc	27.52 ±3.19 a	28.56 ±2.92 a	
冀豆 12 Jidou 12	27.40 ±2.94 abc	34.60 ±2.42 d	33.60 ±3.5 cd	26.80 ±1.33 ab	30.80 ±2.86 bcd	36.00 ±3.63 d	21.40 ±1.02 a	34.40 ±3.38 d	30.40 ±5.08 bcd	
冀豆 17 Jidou 17	17.47 ±1.26 ab	25.02 ±3.25 c	20.10 ±3.58 b	19.63 ±2.09 b	17.42 ±1.75 ab	16.05 ±1.51 ab	14.58 ±0.6 a	20.13 ±3.55 b	19.90 ±0.68 b	
冀 n158 Ji n158	19.00 ±1.63 ab	20.83 ±1.95 b	19.33 ±1.6 ab	25.50 ±1.98 c	17.17 ±1.95 a	18.83 ±1.34 ab	20.33 ±1.7 b	28.50 ±1.26 d	18.67 ±1.37 ab	
牛毛黄 Niumaohuang	21.83 ±1.34 a	34.00 ±2.77 b	31.83 ±3.34 b	22.83 ±1.34 a	21.50 ±1.26 a	31.83 ±3.58 b	31.67 ±3.04 b	23.17 ±0.69 a	20.50 ±1.26 a	
HP117	41.00 ±12.28 bcd	52.52 ±2.88 e	37.98 ±6.79 bc	31.50 ±2.82 abc	35.92 ±4.91 abc	49.56 ±4.23 de	24.86 ±3.86 a	43.10 ±1.86 cde	30.84 ±1.57 ab	
郑 92116 Zheng 92116	29.34 ±5.46 ab	43.58 ±5.14 c	37.08 ±2.31 bc	42.84 ±4.88 c	20.36 ±1.78 a	36.24 ±4.31 bc	26.10 ±6.55 a	42.16 ±5.61 c	25.36 ±3.72 a	
ZDD	20.83 ±2.97 ab	30.00 ±5.66 d	28.17 ±4.78 cd	22.67 ±4.61 abc	26.00 ±2.52 bcd	30.67 ±3.73 d	18.17 ±3.39 a	31.00 ±3.21 d	19.83 ±2.03 ab	
潍科 9 号 Weike 9	32.06 ±3.98 a	43.44 ±5.75 c	35.00 ±2.99 ab	34.14 ±4.96 a	33.58 ±0.96 a	49.00 ±2.77 c	29.78 ±3.06 a	42.24 ±4.6 bc	34.22 ±2.63 a	
圣豆 10 号 Shengdou 10	25.40 ±3.56 ab	34.60 ±4.84 c	27.40 ±4.59 ab	24.80 ±2.23 ab	21.80 ±1.72 a	29.40 ±0.8 bc	30.40 ±3.72 bc	30.40 ±3.72 bc	24.8 ±0.75 ab	
中黄 35 Zhonghuang 35	17.50 ±2.12 a	21.58 ±0.89 bc	17.58 ±1.77 a	22.00 ±2.38 bc	19.33 ±1.82 ab	24.75 ±2.61 cd	16.58 ±1.3 a	25.58 ±2.74 d	19.75 ±1.15 ab	
中黄 13 Zhonghuang 13	27.82 ±2.75 abc	43.62 ±3.49 ef	35.10 ±4.46 de	46.54 ±1.43 g	22.40 ±0.51 a	32.84 ±4.81 cde	30.98 ±1.45 bcd	38.57 ±2.63 ef	25.36 ±2.1 ab	
蒙 1001 Meng 1001	35.60 ±5.74 bcd	38.30 ±5.57 cd	36.80 ±7.79 bcd	27.66 ±3.77 ab	24.70 ±2.89 a	40.84 ±1.28 d	22.18 ±1.92 a	39.52 ±3.33 d	29.48 ±5.05 abc	

续表 4

大豆品种 Soybean cultivar	大豆根瘤菌 Soybean rhizobia								
	CK	HN01	GR3	HH29	ZX20	HH103	SMH12	USDA110	TA11
天隆 1 号 Tianlong 1	12.33 ± 1.14 a	22.50 ± 4.16 cd	24.92 ± 1.48 e	18.33 ± 5.05 bc	18.75 ± 2.04 bcd	23.67 ± 2.72 de	20.42 ± 2.49 abcd	15.17 ± 2.54 ab	15.58 ± 1.3 ab
天隆 2 号 Tianlong 2	12.00 ± 1.63 a	23.00 ± 2.77 c	23.17 ± 1.77 c	16.33 ± 2.49 b	15.00 ± 1.83 ab	23.20 ± 3.29 c	21.00 ± 2.77 c	15.17 ± 1.86 ab	16.50 ± 2.29 b
中豆 39 Zhongdou 39	13.33 ± 1.84 a	26.58 ± 1.67 cd	28.00 ± 2.84 d	15.50 ± 0.82 ab	18.00 ± 1.96 b	22.67 ± 3.68 c	22.75 ± 1.49 c	16.92 ± 0.61 ab	18.17 ± 2.11 b
中豆 41 Zhongdou 41	24.83 ± 5.7 ab	38.83 ± 6.87 cd	45.17 ± 5.15 d	24.50 ± 1.38 ab	27.00 ± 3.37 ab	30.83 ± 6.69 abc	34.17 ± 8.05 bc	23.33 ± 4.15 a	23.33 ± 2.29 a
中豆 43 Zhongdou 43	27.28 ± 3.49 a	54.83 ± 9.96 c	55.42 ± 10.16 c	27.00 ± 2.31 a	26.67 ± 4.12 a	39.50 ± 8.88 b	45.17 ± 5.58 bc	27.00 ± 5.80 a	24.67 ± 2.49 a
BD2	30.83 ± 2.79 ab	50.17 ± 11.71 c	40.67 ± 5.62 bc	48.33 ± 4.96 c	25.00 ± 2.94 a	43.33 ± 7.80 c	45.17 ± 1.34 c	44.50 ± 8.66 c	27.42 ± 3.14 a
BX10	19.25 ± 3.84 abc	24.42 ± 3.36 bc	18.42 ± 4.94 abc	24.83 ± 5.60 c	16.50 ± 1.71 a	17.92 ± 0.79 ab	32.25 ± 3.54 d	32.75 ± 3.13 d	16.42 ± 3.21 a
Willimus 82	19.08 ± 2.79 ab	21.33 ± 2.67 bc	17.58 ± 2.17 ab	18.17 ± 1.49 ab	15.25 ± 1.11 a	18.67 ± 1.84 ab	19.67 ± 2.61 b	24.50 ± 2.94 c	19.75 ± 2.16 b
变异系数 CV	0.30	0.30	0.30	0.31	0.24	0.30	0.32	0.30	0.21

2.5 匹配试验中的大豆植株根瘤数量比较

根瘤数与固氮能力有关,通过统计分析,优良大豆根瘤菌与大豆匹配试验的大豆植株根瘤瘤数如表 5。所有的大豆根瘤菌接种国内供试大豆品种后都结瘤,说明这些菌均具有广谱性。不同的菌处理不同大豆,其根瘤数存在极显著性差异,说明不同根瘤菌与不同品种匹配性存在很大差异性。同一品系的大豆,经过相同菌处理,其根瘤数量也不同。

从菌株来看,除了与 ZX20 和 SMH12 处理共生的大豆根瘤数偏少,其它菌处理的根瘤数相当,60% 以上的大豆品种的根瘤数为 50 ~ 70 个。品种一定,与 USDA110、TA11 相比,ZX20 和 SMH12 处理的约 50% 大豆品种的根瘤数极显著性( $P < 0.01$ )降低;HN01、GR3、HH29、HH103 处理的极少数部分大豆的根瘤数存在极显著性差异( $P < 0.01$ )。

本试验数据表明,根瘤数最多的匹配组合是

HN01-BD2,达到 164 个·株<sup>-1</sup>。GR3 – 辽豆 14、徐豆 14-TA11、HH29 – 天隆 2 号分别是东北、黄淮海地区、长江流域品种与大豆根瘤菌根瘤数最多组合。

比较各菌在供试品种的根瘤数量变化程度,SMH12 相对其它快生型大豆根瘤菌,与 27 个大豆品种匹配的瘤数变异系数达 0.54,变异程度最高;2 个慢生型根瘤菌相比,USDA110 较 TA11 变化幅度最大。

从品种来看,BD2 与其它所有品种相比,与几乎所有供试大豆根瘤菌共生时的根瘤数量多,根瘤数大多在 80 个·株<sup>-1</sup>以上,而其它大豆试验组的根瘤数一般在 70 个·株<sup>-1</sup>以下甚至更少。同一品系的大豆结瘤数量也不同,品系一中的徐豆 14 所结的根瘤数在 40 个·株<sup>-1</sup>以下,徐豆 17 和徐豆 18 所结的根瘤数在 50 个·株<sup>-1</sup>以上。这可能与宿主豆科植物自主调控根瘤数量来平衡对氮素的需求有关。

表 5 优良根瘤菌与大豆匹配试验中植株根瘤数量比较

大豆品种 Soybean cultivar	大豆根瘤菌 Soybean rhizobia							
	HN01	GR3	HH29	ZX20	HH103	SMH12	USDA110	TA11
辽豆 14 Liaodou 14	74.33 ± 18.55 bc	94.67 ± 24.89 c	75.67 ± 13.56 bc	51.17 ± 11.99 ab	81.33 ± 13.02 bc	25.5 ± 12.12 a	57.17 ± 19.09 ab	69.33 ± 15.00bc
绥农 14 Suinong 14	83.17 ± 13.67 c	76.17 ± 7.01 c	69.00 ± 13.03 bc	38.33 ± 11.12 a	77.33 ± 16.32 c	49.00 ± 10.17 ab	52.50 ± 10.81 ab	69.83 ± 16.52bc
徐豆 14 Xudou 14	41.80 ± 9.97 a	28.60 ± 23.81 a	43.20 ± 10.57 a	17.00 ± 4.77 a	36.00 ± 6.51 a	14.00 ± 2.83 a	54.00 ± 7.77 a	112.80 ± 125.88a
徐豆 17 Xudou 17	66.00 ± 13.71 b	57.60 ± 12.14 ab	62.80 ± 5.23 b	35.60 ± 12.27 ab	47.20 ± 18.12 ab	29.00 ± 5.55 a	51.00 ± 12.20 ab	63.60 ± 24.50 b
徐豆 18 Xudou 18	64.00 ± 12.63 b	88.00 ± 9.53 c	71.20 ± 11.07 bc	24.40 ± 6.70 a	52.80 ± 13.79 b	23.00 ± 4.56 a	64.60 ± 9.58 bc	68.60 ± 17.52 bc
徐豆 20 Xudou 20	46.60 ± 22.19 bc	41.20 ± 9.11 abc	46.40 ± 16.84 bc	20.40 ± 6.41 ab	40.80 ± 11.39 abc	18.60 ± 4.41 a	61.00 ± 10.66 c	54.00 ± 13.16 c
冀豆 9 号 Jidou 9	41.20 ± 14.85 ab	52.40 ± 16.85 b	29.80 ± 14.54 ab	14.60 ± 8.48 a	45.40 ± 21.59 b	14.60 ± 6.89 a	34.80 ± 9.87 ab	41.00 ± 14.38 ab
冀豆 12 Jidou 12	58.00 ± 12.31 c	24.60 ± 5.99 a	38.00 ± 18.92 abc	16.20 ± 1.17 a	48.60 ± 15.81 bc	17.00 ± 4.52 a	33.80 ± 10.4 ab	48.20 ± 8.13 bc
冀豆 17 Jidou 17	59.33 ± 14.41 bc	62.50 ± 11.70 bc	75.67 ± 13.56 c	11.17 ± 6.82 a	48.33 ± 9.18 b	20.50 ± 6.90 a	49.33 ± 15.30 b	50.00 ± 13.32 b
冀 n58 Ji n58	23.50 ± 11.70 ab	53.33 ± 18.04 cd	68.67 ± 11.01 d	18.33 ± 1.70 a	42.50 ± 12.26 bc	38.83 ± 13.76 abc	39 ± 13.56 abc	60.83 ± 14.31 c
牛毛黄 Niumaohuang	68.50 ± 27.91 ab	57.67 ± 26.16 ab	91.00 ± 24.87 b	38.83 ± 18.10 a	72.17 ± 24.34 ab	41.17 ± 12.77 a	69.67 ± 9.93 ab	57.33 ± 11.01 ab
HP117	50.40 ± 11.48 b	34.20 ± 10.96 ab	39.00 ± 13.16 ab	18.20 ± 6.14 a	44.20 ± 17.78 b	18.20 ± 2.79 a	43.00 ± 6.45 b	55.00 ± 7.69 b
郑 92116 Zheng 92116	60.20 ± 21.46 ab	58.00 ± 25.59 ab	54.20 ± 16.27 ab	29.60 ± 19.00 a	45.60 ± 21.77 ab	28.40 ± 4.36 a	68.40 ± 13.60 b	66.60 ± 10.37 ab



续表 5

大豆品种 Soybean cultivar	大豆根瘤菌 Soybean rhizobia							
	HN01	GR3	HH29	ZX20	HH103	SMH12	USDA110	TA11
ZDD	62.50 ±21.05 ab	72.83 ±31.85 b	55.50 ±34.63 ab	35.00 ±14.79 ab	51.83 ±21.47 ab	21.83 ±5.34 a	40.67 ±17.94 ab	57.67 ±22.05 ab
潍科 9 号 Weike 9	56.80 ±6.31 ab	96.40 ±28.47 c	49.40 ±12.50 ab	28.40 ±8.36 a	50.2 ±17.92 ab	31.6 ±9.33 a	51 ±4.98 ab	65.6 ±18.64 b
圣豆 10 号 Shengdou 10	73.40 ±6.05 b	80.00 ±20.39 b	79.20 ±9.68 b	25.40 ±4.87 a	77.2 ±11.91 b	62.6 ±11.38 b	62.6 ±11.38 b	69.8 ±29.11 b
中黄 35 Zhonghuang 35	25.33 ±8.29 ab	52.67 ±18.92 c	44.50 ±12.47 bc	14.67 ±7.02 a	45.83 ±10.61 c	12.33 ±3.09 a	38.33 ±11.76 bc	39 ±6.11 bc
中黄 13 Zhonghuang 13	73.00 ±15.74 b	59.60 ±19.56 b	63.20 ±21.08 b	20.60 ±7.39 a	61.8 ±16.53 b	26 ±2.19 a	61.6 ±4.13 b	79.2 ±18.31 b
蒙 1001 Meng 1001	61.20 ±3.43 b	45.00 ±13.69 b	44.80 ±17.88 b	13.80 ±4.17 a	46.4 ±9.22 b	14.4 ±4.32 a	51.6 ±27.88 b	43.8 ±10.87 b
天隆 1 号 Tianlong 1	60.50 ±34.9 bc	68.67 ±26.20 c	76.33 ±9.98 bc	26.67 ±7.36 ab	63 ±13.84 bc	16.33 ±6.70 a	77 ±31.96 c	70.67 ±24.64 c
天隆 2 号 Tianlong 2	70.00 ±25.11 bc	45.00 ±14.78 ab	100.67 ±17.71 c	23.17 ±10.57 a	78.4 ±24.21 bc	47.17 ±17.46 ab	87.67 ±25.43 c	72.83 ±8.90 bc
中豆 39 Zhongdou 39	47.00 ±4.04 b	58.83 ±8.97 bc	56.00 ±12.78 bc	22.33 ±2.98 a	66.33 ±8.63 bc	25.17 ±7.01a	78 ±19.68 c	65.83 ±10.84 bc
中豆 41 Zhongdou 41	70.17 ±15.60 b	52.50 ±13.45 ab	53.33 ±19.63 ab	43.17 ±13.38 ab	78 ±24.21 ab	28 ±7.16 a	60.17 ±36.21 ab	60.5 ±20.01 ab
中豆 43 Zhongdou 43	55.83 ±11.08 a	65.50 ±5.91 b	71.00 ±13.32 b	40.50 ±13.10 a	71 ±16.62 b	40.83 ±13.61 a	72.33 ±12.92 b	68.5 ±15.39 b
BD2	164.17 ±13.8 d	70.50 ±10.14 b	81.00 ±8.567 bc	36.17 ±8.63 a	150.5 ±17.91 d	86.33 ±10.13 bc	97.17 ±8.53 c	93.83 ±9.42 c
BX10	60.00 ±20.28 ab	54.17 ±29.38 ab	73.67 ±26.34 ab	34.83 ±17.89 a	83.83 ±35.52 b	35.5 ±17.44 ab	40.83 ±16.14 ab	62.67 ±31.40 ab
Willimus 82	85.83 ±13.70 c	77.33 ±15.84 c	0	23.50 ±3.15 ab	97.83 ±18.02 c	48.5 ±28.77 b	46.67 ±10.56 b	48.17 ±17.35 b
变异系数 CV	0.39	0.30	0.34	0.38	0.37	0.54	0.28	0.24

2.6 匹配试验中的大豆植株根瘤生物量测定分析

根瘤生物量与固氮能力有关。优良大豆根瘤菌与大豆匹配试验的大豆植株根瘤生物量见表 6，与 USDA110 相比,所有菌处理的大豆,其根瘤生物量都存在极显著性差异 ( $P < 0.01$ ); HN01、GR3、HH29、ZX20、HH103、SMH12、USDA110 和 TA11 处理的大豆根瘤生物量在 0.35 g 以上分别占 51.85%、48.15%、44.44%、22.22%、25.93%、25.93%、33.33% 和 29.63%, HN01、GR3 和 HH29 表现相对较好,说明其广谱性较好。比较各菌在供试品种的根瘤生物量的变化程度(表 6), SMH12 相对其它快生型大豆根瘤菌,与 27 个大豆品种匹配的根瘤生物量差异较大;2 个慢生型根瘤菌相比,US-DA110 较 TA11 变化幅度最大。

本试验结果表明,根瘤生物量最重的匹配组合是 HN01 – 中黄 13,生物量达到 0.64 g,中黄 13 是黄淮海地区的大豆品种;HN01、GR3 和 HH103 与东北大豆辽豆 14 匹配是根瘤生物量最多组合;HN01 和 GR3 与长江流域大豆中豆 43 匹配是根瘤生物量最多组合;HH103-BD2 与东南地区大豆匹配是根瘤生物量最多组合。

从品种来看,大多数大豆的根瘤生物量都不存在极显著性差异 ( $P < 0.01$ ),整体看,中豆 43、圣豆 10、中黄 13 瘤重在 0.4 g 以上,相对较好。通过比较大豆植株根瘤数量指标,BD2 根瘤瘤数普遍高于其它品种,而根瘤生物量偏低,其原因是 BD2 比中豆 43、圣豆 10、中黄 13 结的根瘤小。

表 6 优良根瘤菌与大豆匹配试验中的植株根瘤生物量比较

Table 6 Fresh root nodule weight of different soybean cultivars when inoculated by elite soybean rhizobia strains( $\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$ )

大豆品种 Soybean cultivar	大豆根瘤菌 Soybean rhizobia							
	HN01	GR3	HH29	ZX20	HH103	SMH12	USDA110	TA11
辽豆 14 Liaodou 14	0.50 ±0.12 c	0.50 ±0.12 c	0.42 ±0.07 bc	0.37 ±0.06 abc	0.50 ±0.10 c	0.21 ±0.09 a	0.29 ±0.07 ab	0.36 ±0.06 abc
绥农 14 Suinong 14	0.33 ±0.05 abc	0.40 ±0.07 c	0.38 ±0.13 bc	0.21 ±0.05 a	0.29 ±0.07 abc	0.29 ±0.07 abc	0.24 ±0.05 ab	0.25 ±0.05 ab
徐豆 14 Xudou 14	0.19 ±0.05 a	0.14 ±0.12 a	0.37 ±0.08 b	0.29 ±0.07 ab	0.25 ±0.05 ab	0.22 ±0.04 ab	0.30 ±0.05 ab	0.30 ±0.10 ab
徐豆 17 Xudou 17	0.38 ±0.05 ab	0.27 ±0.08 ab	0.41 ±0.05 b	0.41 ±0.08 b	0.27 ±0.04 ab	0.28 ±0.07 ab	0.29 ±0.07 ab	0.24 ±0.08 a
徐豆 18 Xudou 18	0.38 ±0.06 a	0.40 ±0.13 a	0.32 ±0.03 a	0.42 ±0.20 a	0.34 ±0.07 a	0.30 ±0.06 a	0.38 ±0.09 a	0.39 ±0.06 a
徐豆 20 Xudou 20	0.36 ±0.12 a	0.36 ±0.10 a	0.25 ±0.16 a	0.31 ±0.04 a	0.29 ±0.12 a	0.28 ±0.08 a	0.36 ±0.08 a	0.31 ±0.07 a

续表 6

大豆品种 Soybean cultivar	大豆根瘤菌 Soybean rhizobia							
	HN01	GR3	HH29	ZX20	HH103	SMH12	USDA110	TA11
冀豆 9 号 Jidou 9	0.33±0.10 ab	0.47±0.16 b	0.26±0.06 ab	0.22±0.14 a	0.25±0.13 ab	0.25±0.12 ab	0.17±0.06 a	0.21±0.08 a
冀豆 12 Jidou 12	0.33±0.03 ab	0.23±0.01 a	0.25±0.06 a	0.31±0.06 ab	0.28±0.07 a	0.27±0.05 a	0.28±0.02 a	0.40±0.08 b
冀豆 17 Jidou 17	0.36±0.07 cd	0.23±0.04 abc	0.46±0.08 d	0.16±0.08 ab	0.19±0.03 ab	0.12±0.03 a	0.34±0.14 cd	0.28±0.07 bc
冀 n58 Ji nf 58	0.19±0.04 ab	0.22±0.06 ab	0.38±0.07 c	0.14±0.02 a	0.19±0.05 ab	0.22±0.06 ab	0.33±0.19 bc	0.32±0.05 bc
牛毛黄 Niumaohuang	0.34±0.09 a	0.32±0.11 a	0.38±0.10 a	0.31±0.09 a	0.33±0.10 a	0.37±0.08 a	0.44±0.07 a	0.34±0.07 a
HP117	0.20±0.06 ab	0.24±0.07 ab	0.26±0.07 b	0.23±0.06 ab	0.20±0.04 ab	0.13±0.04 a	0.25±0.05 ab	0.21±0.05 ab
郑 92116 Zheng 92116	0.37±0.09 a	0.38±0.10 a	0.34±0.05 a	0.26±0.08 a	0.23±0.09 a	0.24±0.08 a	0.39±0.14 a	0.36±0.02 a
ZDD	0.31±0.06 a	0.36±0.12 a	0.32±0.15 a	0.33±0.08 a	0.30±0.11 a	0.31±0.06 a	0.32±0.13 a	0.32±0.12 a
潍科 9 号 Weike 9	0.27±0.06 a	0.33±0.08 a	0.27±0.10 a	0.28±0.03 a	0.30±0.07 a	0.31±0.06 a	0.29±0.07 a	0.32±0.09 a
圣豆 10 号 Shengdou 10	0.41±0.05 ab	0.45±0.09 b	0.51±0.07 b	0.28±0.08 a	0.40±0.11 ab	0.44±0.04 b	0.44±0.04 b	0.40±0.04 ab
中黄 35 Zhonghuang 35	0.24±0.03 ab	0.26±0.08 ab	0.39±0.08 c	0.22±0.05 a	0.34±0.05 bc	0.22±0.03 a	0.31±0.06 abc	0.25±0.05 ab
中黄 13 Zhonghuang 13	0.64±0.16 b	0.57±0.20 b	0.49±0.10 ab	0.26±0.08 a	0.40±0.08 ab	0.61±0.11 b	0.43±0.08 ab	0.40±0.07 ab
蒙 1001 Meng 1001	0.32±0.04 a	0.32±0.11 a	0.27±0.06 a	0.21±0.07 a	0.30±0.05 a	0.20±0.08 a	0.25±0.10 a	0.29±0.13 a
天隆 1 号 Tianlong 1	0.26±0.13 a	0.30±0.03 a	0.29±0.04 a	0.30±0.07 a	0.34±0.05 a	0.21±0.09 a	0.31±0.08 a	0.31±0.04 a
天隆 2 号 Tianlong 2	0.35±0.13 a	0.24±0.05 a	0.33±0.05 a	0.22±0.06 a	0.25±0.06 a	0.30±0.11 a	0.31±0.06 a	0.20±0.06 a
中豆 39 Zhongdou 39	0.29±0.05 a	0.44±0.13 bc	0.33±0.06 ab	0.32±0.04 ab	0.33±0.05 ab	0.36±0.04 abc	0.46±0.05 c	0.38±0.06 abc
中豆 41 Zhongdou 41	0.39±0.10 a	0.39±0.08 a	0.33±0.09 a	0.43±0.11 a	0.29±0.14 a	0.43±0.11 a	0.34±0.07 a	0.34±0.10 a
中豆 43 Zhongdou 43	0.57±0.15 a	0.57±0.14 a	0.46±0.08 a	0.55±0.12 a	0.52±0.05 a	0.55±0.11 a	0.55±0.14 a	0.44±0.07 a
BD2	0.57±0.20 cd	0.33±0.04 ab	0.30±0.06 ab	0.42±0.13 abcd	0.60±0.16 d	0.50±0.12 bcd	0.38±0.06 abc	0.26±0.05 a
BX10	0.48±0.16 a	0.33±0.22 a	0.46±0.22 a	0.26±0.09 a	0.46±0.22 a	0.33±0.12 a	0.34±0.10 a	0.34±0.13 a
Willimus 82	0.43±0.12 c	0.37±0.06 bc	0±0 a	0.22±0.08 b	0.43±0.11 c	0.32±0.14 bc	0.30±0.07 bc	0.26±0.11 bc
变异系数 CV	0.31	0.30	0.29	0.31	0.31	0.38	0.23	0.20

2.7 匹配试验中的大豆植株根瘤固氮酶活比较

根瘤固氮酶活性是评价根瘤菌固氮能力和匹配性优劣的重要指标。优良大豆根瘤菌与大豆匹配试验中的根瘤固氮酶活测定结果见表 7。总体来看,所有试验组大豆根瘤均具有固氮酶活性,说明本试验中大豆所结根瘤都是有效瘤,这些供试菌具有广谱性。同时相同品种接种不同根瘤菌,大豆根瘤的固氮酶活不同;同一根瘤接种不同大豆品种,根瘤的酶活也存在差异。

从根瘤菌来看,与 USDA110、TA11 接种大豆的根瘤固氮酶活相比,其它根瘤菌大都不存在极显著差异( $P<0.01$ ),说明这些大豆根瘤菌与供试大豆品种具有较好的共生效应;HN01、GR3、HH29、ZX20、HH103、SMH12、USDA110、TA11 接种的大豆的固氮酶活,高于整体酶活的平均值的个数分别占 25.93%、29.63%、22.22%、59.26%、33.33%、37.04%、40.74%、37.04%,所以 ZX20 接种大豆

后,其根瘤的固氮酶活性普遍较高。

分别比较各单一菌在各供试品种的根瘤固氮酶活的变化程度,SMH12 相对其它快生型大豆根瘤菌,与 27 个大豆品种匹配的地上部分生物量表现差异系数最大,达 0.99;2 个慢生型根瘤菌相比,USDA110 较 TA11 变化幅度较大。

从大豆品种来看,中黄 13 接种除 HN01 外的其它供试菌,其酶活都在  $9.0\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{株}^{-1}$  以上,明显高于其它品种,且中豆 43、圣豆 10 的根瘤固氮酶活也高于 BD2 的根瘤,说明大根瘤的固氮酶活比小根瘤的固氮酶活高。

从大豆产区看,辽豆 14 在东北地区的匹配性比绥农 14 好,最佳组合是 TA11 – 辽豆 14;黄淮海地区,中黄 13 相对该区的其它品种,与根瘤菌共生结瘤酶活均高于其它品种,最佳组合是 SMH12 – 中黄 13;长江流域,最佳匹配是 ZX20 – 中豆 41,中豆 41 共生结瘤酶活高。

表7 优良根瘤菌与大豆匹配试验中的植株根瘤固氮酶活性比较

Table 7 Root nodule nitrogenase activity of different soybean cultivars when inoculated by elite soybean rhizobia strains(  $\mu\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{株}^{-1}$  )

大豆品种 Soybean cultivar	大豆根瘤菌 Soybean rhizobia							
	HN01	GR3	HH29	ZX20	HH103	SMH12	USDA110	TA11
辽豆 14 Liaodou 14	4.68 ± 2.47 a	5.51 ± 2.60 a	4.03 ± 1.97 a	5.09 ± 1.37 a	5.39 ± 1.83 a	2.78 ± 1.25 a	3.06 ± 1.08 a	6.01 ± 2.89 a
绥农 14 Suinong 14	0.76 ± 0.33 a	2.00 ± 0.63 ab	2.37 ± 1.32 ab	1.90 ± 0.86 ab	1.48 ± 0.87 ab	2.98 ± 1.31 b	2.08 ± 0.50 ab	3.00 ± 1.51 a
徐豆 14 Xudou 14	3.93 ± 1.35 a	3.27 ± 2.38 a	5.14 ± 0.34 a	9.52 ± 4.51 a	5.61 ± 1.49 a	9.35 ± 2.43 a	6.96 ± 0.42 a	4.46 ± 1.23 a
徐豆 17 Xudou 17	4.79 ± 0.96 a	4.37 ± 0.80 a	4.62 ± 1.87 a	11.17 ± 2.31 b	6.80 ± 2.10 ab	8.19 ± 2.64 ab	5.76 ± 0.26 a	3.99 ± 0.91 a
徐豆 18 Xudou 18	4.05 ± 0.51 ab	2.40 ± 1.30 a	2.75 ± 0.33 a	4.30 ± 0.60 ab	3.84 ± 0.25 a	3.39 ± 0.73 a	6.07 ± 0.63 b	4.60 ± 0.64 ab
徐豆 20 Xudou 20	2.74 ± 0.02 a	4.20 ± 0.30 a	2.02 ± 0.33 a	4.60 ± 1.33 a	5.93 ± 2.77 a	4.12 ± 0.96 a	4.07 ± 0.44 a	4.33 ± 0.42 a
冀豆 9 号 Jidou 9	2.48 ± 0.15 a	2.36 ± 1.67 a	1.97 ± 2.11 a	3.78 ± 2.68 a	2.81 ± 1.74 a	2.92 ± 0.90 a	0.84 ± 0.77 a	2.07 ± 1.13 a
冀豆 12 Jidou 12	2.12 ± 0.73 a	2.90 ± 2.23 a	2.25 ± 0.71 a	5.91 ± 1.22 a	3.19 ± 0.65 a	7.12 ± 3.26 a	4.18 ± 2.14 a	3.99 ± 1.34 a
冀豆 17 Jidou 17	4.60 ± 0.65 b	5.02 ± 0.94 b	5.05 ± 1.51 b	2.29 ± 1.14 a	2.47 ± 0.67 a	1.75 ± 0.72 a	4.63 ± 1.89 b	2.98 ± 0.93 ab
冀 n58 Ji n58	2.17 ± 0.83 abc	1.66 ± 0.68 ab	4.37 ± 1.15 cd	1.30 ± 0.99 ab	0.88 ± 0.44 a	3.36 ± 1.71 bc	2.63 ± 1.56 abcd	4.72 ± 2.03 d
牛毛黄 Niumaohuang	2.48 ± 1.14 ab	2.61 ± 1.95 a	3.59 ± 1.52 abc	4.59 ± 1.50 bc	2.44 ± 1.14 ab	3.77 ± 1.60 abc	6.07 ± 1.27 c	3.91 ± 0.83 abc
HP117	3.16 ± 1.72 a	0.78 ± 0.62 a	1.64 ± 0.80 a	2.74 ± 0.58 a	1.64 ± 0.96 a	3.74 ± 2.48 a	1.82 ± 0.25 a	1.78 ± 0.89 a
郑 92116 Zheng 92116	2.62 ± 1.01 a	4.08 ± 0.53 ab	2.79 ± 1.56 ab	8.83 ± 1.65 b	4.00 ± 1.52 ab	9.61 ± 3.73 b	8.77 ± 3.22 b	6.04 ± 1.41 ab
ZDD	1.08 ± 0.48 a	1.23 ± 0.34 a	1.27 ± 0.48 a	1.78 ± 1.07 ab	1.82 ± 0.51 ab	3.11 ± 1.62 b	1.32 ± 0.56 a	2.73 ± 1.29 ab
潍科 9 号 Weike 9	4.87 ± 1.24 a	3.55 ± 1.78 a	5.33 ± 1.49 a	6.08 ± 3.23 a	7.26 ± 3.49 a	11.37 ± 2.31 a	13.11 ± 6.82 a	5.35 ± 1.79 a
圣豆 10 号 Shengdou 10	10.32 ± 3.89 a	7.15 ± 0.89 a	6.60 ± 0.16 a	8.29 ± 1.44 a	6.68 ± 1.66 a	10.21 ± 1.72 a	10.27 ± 3.06 a	5.65 ± 1.49 a
中黄 35 Zhonghuang 35	1.93 ± 1.00 a	2.52 ± 1.87 a	4.14 ± 2.44 a	2.92 ± 1.34 a	2.01 ± 1.45 a	3.07 ± 0.99 a	4.51 ± 2.19 a	4.00 ± 1.53 a
中黄 13 Zhonghuang 13	4.57 ± 2.40 a	9.27 ± 9.46 a	9.39 ± 5.60 a	11.95 ± 1.33 a	10.56 ± 4.24 a	33.55 ± 2.43 b	11.44 ± 1.71 a	13.33 ± 2.40 a
蒙 1001 Meng 1001	4.25 ± 2.05 a	6.16 ± 3.64 a	0.65 ± 0.46 a	6.70 ± 4.31 a	3.45 ± 1.80 a	8.47 ± 4.09 a	3.56 ± 1.73 a	8.83 ± 2.36 a
天隆 1 号 Tianlong 1	2.11 ± 1.20 a	3.26 ± 0.71 ab	4.26 ± 1.54 ab	4.76 ± 1.68 b	4.27 ± 1.12 ab	3.03 ± 1.21 ab	3.83 ± 0.96 ab	3.47 ± 0.52 ab
天隆 2 号 Tianlong 2	2.34 ± 1.18 a	2.11 ± 0.37 a	3.30 ± 0.88 a	2.76 ± 0.86 a	2.67 ± 1.67 a	1.89 ± 0.85 a	2.41 ± 0.36 a	2.96 ± 0.93 a
中豆 39 Zhongdou 39	2.14 ± 0.47 a	9.77 ± 4.05 b	3.13 ± 1.22 a	4.68 ± 2.10 a	3.64 ± 1.81 a	5.12 ± 0.69 a	4.29 ± 1.00 a	3.73 ± 0.93 a
中豆 41 Zhongdou 41	5.18 ± 2.01 abc	6.63 ± 2.19 bcd	4.11 ± 0.85 ab	9.02 ± 0.80 d	7.30 ± 2.91 bcd	8.42 ± 2.91 cd	5.75 ± 0.79 abcd	2.98 ± 0.70 a
中豆 43 Zhongdou 43	2.85 ± 1.09 a	2.62 ± 1.63 a	2.29 ± 0.81 a	5.60 ± 1.40 b	4.20 ± 1.00 ab	3.74 ± 0.52 ab	2.24 ± 1.56 a	2.72 ± 1.08 a
BD2	3.70 ± 0.84 a	5.55 ± 1.64 a	3.28 ± 1.13 a	5.29 ± 1.19 a	5.11 ± 2.98 a	3.49 ± 1.64 a	3.78 ± 1.35 a	4.68 ± 1.74 a
BX10	1.86 ± 0.85 a	1.50 ± 0.83 a	1.62 ± 0.99 a	2.98 ± 1.38 a	2.49 ± 1.03 a	3.10 ± 1.07 a	3.20 ± 1.12 a	2.29 ± 0.72 a
Willimus 82	2.26 ± 0.75 b	0 a	0 a	3.38 ± 1.66 b	2.38 ± 1.51 b	3.45 ± 1.10 b	3.10 ± 0.80 b	3.68 ± 0.88 b
变异系数 CV	0.55	0.63	0.56	0.54	0.54	0.99	0.62	0.52

2.8 大豆共生固氮相关表型指标间的相关性分析

对大豆各共生指标进行相关性分析结果见表8。固氮酶活性与植物地上部分生物量显著正相关,与根瘤数呈显著性负相关。植物通过复杂的根与茎之间信号交流严格自主控制结瘤数来平衡本身对氮素的需求,一般是固氮效率较低的菌株,与之共生的大豆根瘤的固氮酶活性也低,因此植物的结瘤数量反而偏高;值得指出的是,在本试验中,接种ZX20的大豆固氮酶活性相对较高,但其植物地上部分生物量相对增量、结瘤数不高。分析认为其原因可能是根瘤固氮酶活仅测定了一次,还存在取样、反应时间差异、测定误差等问题,所以根瘤固氮酶活性的高低并不能完全代表共生固氮表型的优劣

和匹配性。在砂培盆栽条件下,匹配性优劣的判断依据是综合的,一般需要“适当的结瘤数量、特别是大根瘤数量很重要、较高的根瘤酶活性”。关键是考察“植物的长势和生物量变化”(特别是相对增量)。即使根瘤酶活性高,也不一定表明宿主植物实际获得的氮素养分就高,因为涉及到氮素同化吸收等问题。总之,匹配性优劣还是需要依据总体结瘤情况和“促长效应”。另外,从相关性表8中还可以看出,根瘤数与根瘤生物量、地上部分生物量、株高呈极显著性正相关;根瘤生物量与株高相关性不大,与地上部分生物量呈显著性正相关;株高与地上部分生物量显著性相关。由此可知,根瘤固氮酶活性、根瘤数量、根瘤重量、株高与地上部分生物量

存在极显著 ( $P < 0.01$ ) 或显著性 ( $P < 0.05$ ) 相关,

断:大豆地上部分生物量可正确反映不同根瘤菌与

结合相关性和大豆的各个测定指标结果,可以判

不同品种之间的共生匹配性和固氮效率的差异性。

表 8 各共生效应测定指标间的相关性分析

Table 8 The correlation analysis between the various indicators examined in this study

	固氮酶活性 Nitrogen activity	根瘤瘤数 Nodule number	根瘤生物量 Fresh nodule weight	株高 Plant height	地上部分生物量 Biomass above ground
固氮酶活性 Nitrogen activity	1	-0.101 **	0.025	0.008	0.070 *
根瘤瘤数 Nodule number		1	0.198 **	0.111 **	0.177 **
根瘤生物量 Fresh nodule weight			1	0.021	0.151 **
株高 Plant height				1	0.668 **
地上部分生物量 Biomass above ground					1

\* :在 0.05 水平上显著相关; \*\* :在 0.01 水平上显著相关。  
\* : Significant difference at 0.05 level, \*\* : Significant difference at 0.01 level.

3 讨 论

大豆在内的豆科作物共生固氮是植物获取氮素最经济有效和无环境污染的途径,特别是在环境可持续发展的时代背景下,微生物生态最重要的经济问题关注点是固氮菌与豆科植物形成根瘤菌的有效性。大豆根瘤菌菌肥应用,主要是要解决根瘤菌菌株的广适应性、菌株和品种匹配性及菌肥商业化应用等问题,其中大豆根瘤菌 – 品种的匹配性是提高固氮效率的关键<sup>[16-17]</sup>。

马中雨<sup>[18]</sup>通过根瘤菌与黄淮海和黑龙江 11 个大豆核心种质品种共生匹配性研究发现,不同的大豆根瘤菌间存在明显结瘤氮差异,快生型大豆根瘤菌表现出比慢生型根瘤菌更严格的大品种匹配性,不同大豆品种与大豆根瘤菌的共生匹配性差异很大。冀照君等<sup>[19]</sup>发现中华根瘤菌属 (*Sinorhizobium*) 及慢生根瘤菌属 (*Bradyrhizobium*) 的大豆都能与鲁黄 1 号有效共生,中华根瘤菌属比慢生根瘤菌属菌株较好,这与众多地区大豆与根瘤菌的匹配关系发现慢生根瘤菌属菌株是较好的共生者结果相悖,这可能跟大豆品种等因素有关。李涛等和周涛等<sup>[20-21]</sup>分别针对黄淮海地区、四川地区的特定主栽大豆进行高效根瘤菌筛选。由此可见,不同大豆与大豆根瘤匹配性差异是由根瘤菌与宿主共同控制。有文献报道共生专一性来自豆科植物的调控因素包括宿主分泌的类黄酮、抗菌肽 NCR、R 蛋白,来自根瘤菌的调控因素包括胞外多糖、结瘤因子、bacA、T3SS 系统分泌的效应蛋白等<sup>[22-24]</sup>。这些研究结果说明大豆根瘤菌与特定大豆品种共生匹配的复杂性和筛选的重要性。在实践中,可以根据大豆品种和大豆根瘤菌匹配关系,选择相应的菌株接种。本研究通过优良的大豆根瘤菌与东北地区、黄淮海地

区、东南地区、长江流域主栽大豆品种进行匹配性试验研究,为这些优良大豆根瘤菌的大面积推广应用提供了全面信息。

本试验中所有的供试菌与国内不同主栽品种均能够结瘤,说明这些优良根瘤菌具有广谱性。据研究报道,豆科植物通过自主调控结瘤数量来协调对氮素的需求<sup>[25]</sup>。本试验结果显示,根瘤固氮酶活性与根瘤数量呈显著性负相关,我们分析认为一般固氮效率低的根瘤菌,接种植物后结瘤数反而增多,本文的结果在宏观上与上述观点相吻合。根瘤固氮酶活性是评价根瘤菌固氮能力和匹配性优劣的重要指标,但酶活测定受多方面因素的影响以及涉及到宿主植物对氮素吸收同化等问题。因而在砂培条件下,需要综合所有指标判定匹配性的优劣。根据地上部分生物量指标与其它指标存在显著性或极显著性相关,所以在盆栽条件下,大豆地上部分生物量及其相对增量可正确反映出不同根瘤菌与品种之间的共生匹配性和固氮效率的差异性。HN01、GR3、HH29、HH103 处理大豆地上部分生物量及地上部分生物量相对增量与国内品种的共生效率不逊色于 USDA110。所以,HN01、GR3、HH29、HH103 都是潜在的土著性根瘤菌接种剂菌种。

根据匹配试验中的地上部分生物量相对增量的分析结果,在本文中的供试大豆和大豆根瘤菌中,最佳匹配性组合是 GR3 – 中豆 39,可作为长江流域地区推广种植中豆 39 接种高效根瘤菌的菌种资源。这也是针对长江流域的主栽品种中豆 39 筛选到优良匹配根瘤菌的首次报道。同时也筛选到 HN01 – 辽豆 14、HN01 – 徐豆 14、HN01-BD2 分别是在东北区、黄淮海地区、东南地区最佳组合,这也为不同地区推广大豆品种提供了匹配菌株资源。从

上述结果还可看出,HN01 与 3 个地区的大豆存在最优组合,其可以在东北地区、黄淮海地区、长江流域、东南地区等进行推广。快生型大豆根瘤菌不仅繁殖速度快,而且耐盐度高、抗逆性强、碳源利用范围广,具有较强的固氮能力和一定的结瘤竞争力<sup>[26-28]</sup>。许多研究报道,快生型根瘤菌比慢生型根瘤菌对大豆品种选择性强,限制其在生产中的应用。而本试验中的 6 株快生型大豆根瘤菌与我国不同大豆主产区的 27 个供试大豆品种匹配性好,且部分大豆根瘤菌固氮效率高,为快生型大豆根瘤菌菌剂在盐碱地土壤中的接种应用提供了良好的前景。本研究得到的与大豆匹配性变异相差最大的快生型大豆根瘤菌 SMH12 和慢生型大豆根瘤菌 USDA110,为挖掘大豆识别不同根瘤菌及高效固氮的重要自然变异位点提供了良好的试验材料。

在大豆种植主产区域,由于土壤中存在大量的竞争结瘤能力强、固氮能力较弱的土著根瘤菌群,干扰和降低了接种根瘤菌的占瘤率,致使接种根瘤菌剂的增产效果不显著<sup>[29-30]</sup>。陈文新院士指出,根瘤菌选种时必须针对种植的生态环境及寄主植物两方面因素来选择根瘤菌的最佳匹配,HN01、GR3、HH29、HH103、USDA110 广谱性好,固氮效率高,但还需进一步结合不同大豆生产区的土壤,采用荧光标记研究它们与土著性根瘤菌的竞争能力<sup>[31-32]</sup>,再进行小规模的田间试验,筛选出适应当地土壤条件、高效固氮的大豆-根瘤菌共生体,从而使大豆根瘤菌剂在不同大豆产区中发挥其应有的作用效果。本试验初步建立了优良根瘤菌与大豆主栽品种的匹配关系,为后期在土壤盆栽、田间试验条件下进一步筛选和应用这些优良菌株提供了材料和方向。

## 4 结 论

供试菌均能够与国内 24 个品种结瘤,且其结瘤能力具有显著差异,其中 HN01、GR3、HH29、HH103 匹配性和固氮效率不逊色于 USDA110,是优良的土著性大豆根瘤菌剂菌种。

通过大豆地上部分生物量及其相对增加量比较得出 HN01、GR3、HH29、HH103、USDA110 这些大豆根瘤菌均具有在东北地区、黄淮海地区、长江流域、东南地区推广的潜能。其中 HN01 是本文供试根瘤菌中的最优根瘤菌。

本试验筛选到匹配性、固氮效率好的最佳组合 GR3-中豆 39,为长江流域地区推广种植中豆 39 提供了高效根瘤菌剂的菌种资源。同时也筛选到 HN01-辽豆 14、HN01-徐豆 14、HN01-BD2 分别是

在东北区、黄淮海地区、东南地区的适宜匹配组合。

快生型根瘤菌 SMH12 和慢生型根瘤菌 USDA110 相对其它大豆根瘤菌与 27 个大豆品种结瘤固氮能力差异最大表现,可为以核心种质的大豆进行生物固氮相关性的分析、挖掘大豆重要的自然变异位点研究提供试验材料。

本试验的供试大豆-中豆 39、天隆 1 号、BD2 与供试菌的共生匹配性好,固氮效率高,可能是长江流域、东南地区大豆育种中的优良材料。

## 参考文献

- [1] Alam F, Bhuiyan M A, Alam S S, et al. Effect of *Rhizobium* sp. BARIRGm901 inoculation on nodulation, nitrogen fixation and yield of soybean (*Glycine max*) genotypes in gray terrace soil[J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2015, 79(10): 1660-1668.
- [2] 董守坤. 大豆吸收利用氮素规律及相关酶活性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008. (Dong S K. Nitrogen absorption, utilization and related enzymatic activity in soybean[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2008.)
- [3] 郝青南. 大豆氮素利用效率相关基因的克隆及功能验证[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013. (Hao Q N. Identification and functional analysis of nitrogen use efficiency related genes in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation, 2013.)
- [4] 柏宇, 关大伟, 李力, 等. 耐高氮优良大豆根瘤菌株的筛选与鉴定[J]. 大豆科学, 2014, 33(6): 861-864. (Bai Y, Guan D W, Li L, et al. Screening and characterization of superior nitrogen-tolerance soybean rhizobia[J]. Soybean Science, 2014, 33(6): 861-864.)
- [5] Thies J E, Singleton P W, Bohlool B B. Influence of the size of indigenous rhizobial populations on establishment and symbiotic performance of introduced rhizobia on field-grown legumes[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1991, 57(1): 19-28.
- [6] 王光霞, 张少英, 邵世勤, 等. 氮素形态对甜菜代谢酶活性和生长发育的影响[J]. 中国甜菜糖业, 2004(1): 35-37. (Wang G X, Zhang S Y, Shao S Q, et al. Effects of nitrogen forms on metabolism enzyme activities and growth and development of sugar beet[J]. China Beet & Sugar, 2004(1): 35-37.)
- [7] 关大伟, 李力, 姜昕, 等. 长期施肥对黑土大豆根瘤菌群体结构和多样性的影响[J]. 生物多样性, 2015, 23(1): 68-78. (Guang D W, Li L, Jiang X, et al. Influence of long-term fertilization on the community structure and diversity of soybean rhizobia in black soil[J]. Biodiversity Science, 2015, 23(1): 68-78.)
- [8] 李刚. 广谱匹配性大豆根瘤菌的筛选及其机理性研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2010. (Li G. Screening of broad-matching and high efficient *Rhizobium* strains related to soybean varieties[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2010.)
- [9] 关大伟, 李力, 岳现录, 等. 我国大豆的生物固氮潜力研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1497-1504. (Guan D W, Li L, Yuan X L, et al. Study on potential of biological nitrogen fixation of soybean in China[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(6): 1497-1504.)

- [10] 关大伟, 李俊, 曹凤明, 等. 我国大豆根瘤菌菌剂的应用及存在的问题与对策[C]. 全国微生物肥料生产技术研讨会论文, 2010; 2. (Guang D W, Li J, Cao F M, et al. Soybean application and the existing problems and countermeasures Rhizobium inoculants in China[C]. National Symposium on Microbial Fertilizer Production Technology, 2010; 2. )
- [11] 缪礼鸿, 马向东, 周俊初. 费氏中华根瘤菌共生质粒缺失对结瘤和固氮能力的影响[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(2): 117-122. (Miu L H, Ma X D, Zhou J C. Deletion on the symbiotic plasmid of *Sinorhizobium fredii* strains and its effect on nodulation and symbiotic nitrogen fixation[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2002, 21(2): 117-122. )
- [12] 徐传瑞. 高效固氮大豆根瘤菌的筛选和鉴定[D]. 武汉: 华中农业大学, 2004. (Xu C R. Screening and identification of highly efficient soybean rhizobia[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2004. )
- [13] 中欧大豆根瘤菌接种剂研究组. 豆科植物根瘤菌接种剂生产与质量控制指南[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2006. (China-Europe soybean inoculant research group. A guide for the production and quality control of legume inoculants[M]. Heilongjiang: Heilongjiang Science & Technology Press, 2006. )
- [14] 刘莉, 周俊初, 陈华癸. 不同化合态氮浓度对大豆根瘤菌结瘤和固氮作用的影响[J]. 中国农业科学, 1998, 31(4): 87-89. (Li L, Zhou J C, Chen H H. The effect of different compound nitrogen concentration on the nodulation and nitrogen fixation in soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1998, 31(4): 87-89. )
- [15] 杨成运. 根瘤菌内源质粒的属间转移及多样性的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008. (Yang C Y. Study on transfer of indigenous plasmid in rhizobia between genera and diversity of rhizobia[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008. )
- [16] 黄芳, 许修宏. 不同类型土壤中大豆与根瘤菌的匹配性研究[J]. 东北农业大学学报, 2007, 38(2): 211-214. (Huang F, Xu X H. Study on the matching between soybean and soybean bacteria in different soil types[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2007, 38(2): 211-214. )
- [17] Fudi L. Potential for increasing biological nitrogen fixation in soybean[J]. Plant and Soil, 1992, 141(1): 119-135.
- [18] 马中雨. 大豆根瘤菌与大豆品种共生匹配性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008. (Mang Z Y. Symbiotic matching between soybean *Rhizobium* and soybean cultivars[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008. )
- [19] 冀照君, 王非梦, 王素阁, 等. 鲁黄1号大豆与根瘤菌的共生匹配性[J]. 应用生态学报, 2014, 25(12): 3573-3579. (Ji Z J, Wang F M, Wang S, et al. Symbiotic matching between soybean cultivar Lu Huang No. 1 and different rhizobia[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(12): 3573-3579. )
- [20] 李涛, 关大伟, 李俊, 等. 黄淮海地区优良大豆根瘤菌株的筛选与接种方式研究[J]. 大豆科学, 2010, 29(4): 645-650. (Li T, Guan D W, Li J, et al. Screening of superior soybean rhizobial strains and approach to inoculation methods for region of HuangHuiHai[J]. Soybean Science, 2010, 29(4): 645-650. )
- [21] 周涛, 陈远学, 邹依霖, 等. 四川高效大豆根瘤菌的筛选及初步应用研究[J]. 植物营养与肥科学报, 2012(1): 227-233. (Zhou T, Chen Y X, Zou Y L, et al. Screening and preliminary application of high efficient soybean rhizobia strains in Sichuan province[J]. Plant Nutrition Fertilizer Science, 2012(1): 227-233. )
- [22] Tóth K, Stacey G. Does plant immunity play a critical role during initiation of the legume-rhizobium symbiosis? [J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6: 401.
- [23] Haag A F, Arnold M F F, Myka K K, et al. Molecular insights into bacteroid development during rhizobium-legume symbiosis [J]. FEMS Microbiology Reviews, 2012, 37(3): 364-383.
- [24] Yang S, Kondorosi E. R gene-controlled host specificity in the legume-rhizobia symbiosis[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2010, 107(43): 18735-18740.
- [25] Ferguson B J, Indrasumunar A, Hayashi S, et al. Molecular analysis of legume nodule development and autoregulation[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2010, 52(1): 61-76.
- [26] 汤晖, 隋新华, 陈文新. 高效快生型大豆根瘤菌的筛选及分子标记[J]. 大豆科技, 2007(4): 35-38. (Tang H, Sui X H, Chen W X. Screening and molecular marker of high efficiency and fast growing soybean bacteria[J]. Soybean Bulletin, 2007(4): 35-38. )
- [27] 王继华, 程玉鹏. 快生大豆根瘤菌剂的制备及接种效果分析[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2000, 16(6): 92-96. (Wang J H, Cheng Y P, Sun H T, et al. Analysis of the effect of preparation and inoculation of fast-growing soybean rhizobium system[J]. Natural Science Journal of Harbin Normal University, 2000, 16(6): 92-96. )
- [28] 张景岚, 冯丽华, 葛诚, 等. 快生型大豆根瘤菌田间共生效应试验初报[J]. 黑龙江农业科学, 1987(2): 32-34. (Zhang J L, Feng L H, Ge C, et al. Preliminary report on the experiment of symbiotic effect of fast growing soybean bacteria[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 1987(2): 32-34. )
- [29] 肖文丽. 大豆根瘤菌竞争结瘤机理及其主要影响因子的初步研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010. (Xiao W L. The mechanism and impact factors of competitive nodulation of soybean rhizobia[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010. )
- [30] Bogino P, Banchio E, Bonfiglio C, et al. Competitiveness of a *Bradyrhizobium* sp. strain in soils containing indigenous rhizobia [J]. Current Microbiology, 2008, 56(1): 66-72.
- [31] 郭春景, 杨旭升, 陈锡时. 大豆根瘤菌与黑龙江省主栽大豆品种共生匹配的研究[J]. 大豆通报, 2004(2): 6-8. (Guo C J, Yang X S, Chen X S. Study on the symbiotic matching between soybean cultivars and soybean cultivars in Heilongjiang province [J]. Soyben Bulletin, 2004(2): 6-8. )
- [32] 肖文丽, 关大伟, 李俊, 等. 采用 *gfp* 和 *rfp* 基因标记评价大豆根瘤菌竞争结瘤能力[J]. 大豆科学, 2010, 29(3): 366-369. (Xiao W L, Guan D W, Li J, et al. Evaluation on the competitiveness of strains of soybean rhizobia marking with *gfp* and *rfp* genes[J]. Soyben Science, 2010, 29(3): 366-369. )