

不同根瘤菌株对半无叶型豌豆生育特征、产量及品质的影响

郭丽梅¹ 陈恭¹ 隋新华² 张世晨¹ 杨亚东¹ 龙金成¹ 胡跃高^{1*} 曾昭海^{1*}

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院/农业部农作制度重点开放实验室,北京 100193;

2. 中国农业大学 生物学院/农业部农业微生物资源与应用重点实验室,北京 100193)

摘要 在盆栽条件下,对加拿大豌豆品种 M. P. 1824 接种 8 株豌豆根瘤菌菌株,研究其对豌豆生育特征、产量及品质的影响。结果显示:与不接种对照相比,接种根瘤菌可以延长豌豆生育期,促进后期豌豆植株生长,提高产量,增加籽粒粗蛋白质、粗纤维含量,以及降低可溶性糖含量。其中,接种菌株 ACCC 16058 豌豆初花期、盛花初英期、盛荚期及成熟期分别推迟 3.1、5.2、4.8 及 12 d,盛花初英期分枝数增加 45.5%,成熟期株高增加 16.61%,单株荚数、单株粒数、单株籽粒干重及单盆籽粒干重分别提高 76.67%、85.54%、65.13%和 36.71%,均存在显著差异($P < 0.05$)。接种商用菌株 F98,可显著提高籽粒粗蛋白质含量与降低籽粒可溶性糖含量($P < 0.05$),增减量分别为 +12.37%、-37.77%;接种 CCBAU 43228 和 CCBAU 43232 的籽粒粗纤维含量分别增加 1.24 和 1.20 倍,且比 F98 菌株增加 39.7%和 37.6%,均达极显著水平($P < 0.01$);其中接种 CCBAU 43232 处理可溶性糖含量降低 35.65%,差异达显著水平($P < 0.05$)。综合分析表明,M. P. 1824 盆栽条件下接种菌株 ACCC 16058 表现最佳。

关键词 豌豆根瘤菌; 半无叶型豌豆; 生育特征; 产量; 品质

中图分类号 Q 939.9

文章编号 1007-4333(2012)01-0046-07

文献标志码 A

Effects of inoculation with different *Rhizobium leguminosarum* strains on growth performances, yield, and grain quality of a semi-leafless pea variety

GUO Li-mei¹, CHEN Gong¹, SUI Xin-hua², ZHANG Shi-chen¹, YANG Ya-dong¹,
LONG Jin-cheng¹, HU Yue-gao^{1*}, ZENG Zhao-hai^{1*}

(1. College of Agronomy and Biotechnology/Key Laboratory of Farming System, Ministry of Agriculture,
China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Biology/Key Laboratory of Agro-Microbial Resource and Application, Ministry of Agriculture,
China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract In order to study the effects of inoculation with *Rhizobium leguminosarum* strains on growth performances, yield, and grain quality of Canadian pea M. P. 1824, a pot experiment was conducted involving inoculating with eight different *Rhizobium leguminosarum* strains. The results showed that, compared with no-inoculated control, rhizobium inoculation could extend pea's growth periods, produce a better growth in pea's ripening period, increase yield, and increase grain crude protein and fiber content, but reduce the content of soluble sugar. When inoculated with rhizobium ACCC 16058, periods of flowering beginning, flowering and podding beginning, podding, pod ripening delayed by 3.1,

收稿日期: 2011-04-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30871491,31171509); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD16B15); 公益性行业(农业)科研专项(201103001)

第一作者: 郭丽梅, 硕士研究生, E-mail: lm_1997_2008@163.com; 陈恭, 硕士研究生, E-mail: samanthapizi@gmail.com

通讯作者: 曾昭海, 副教授, 主要从事农作制度研究, E-mail: zengzhaohai@cau.edu.cn; 胡跃高, 教授, 主要从事农作制度、荒漠化防治、燕麦高产栽培技术等研究

5, 2, 4, 8, and 12 d, respectively. The number of branches at flowering and podding beginning period and plant height at pod ripening period increased by 45.5% and 16.61% respectively. In addition, pods per plant, grains per plant, grain dry weight per plant, and grain dry weight per pot were significantly ($P < 0.05$) increased by 76.67%, 85.54%, 65.13%, and 36.71%, respectively. Inoculating with commercial rhizobium F98 significantly ($P < 0.05$) raised the crude protein content and reduced the soluble sugar content, with variable quantity of +12.37% and -37.77%. Inoculating with CCBAU 43228 and CCBAU 43232 significantly ($P < 0.01$) increased the content of crude fiber by 1.24 and 1.20 times compared with CK, and by 39.7% and 37.6% compared with F98. While inoculating with CCBAU 43232 decreased the content of soluble sugar by 35.65%. In conclusion, for pot experiment, the comprehensive performance of M. P. 1824 inoculated with rhizobium ACCC 16058 was the best.

Key words *Rhizobium leguminosarum*; semi-leafless pea; growth performances; yield; grain quality

豌豆是继大豆之后的世界第二大食用豆类作物^[1],富含蛋白质、脂肪、碳水化合物、粗纤维以及维生素 B₁、B₂、C 等,可作为粮食、蔬菜和饲料。我国是世界豌豆主要生产国,播种面积和总产居世界第二位,但是单产偏低,平均为 1 111.10 kg/hm²,排名世界 62 位,为世界平均水平的 65%。因此,提高单产是我国豌豆生产的重要课题。多项研究表明,对豌豆接种根瘤菌是提高单产的重要技术途径之一。宁国赞等^[2]对中豌 4 号接种根瘤菌后增产 28%;Lisette J C Xavier 等^[3]进行丛枝菌根真菌与豌豆根瘤菌联合接种豌豆结果表明,接种可促进豌豆生长,其中单独接种 LX43 根瘤菌增产 61%;谢军红等^[4]对燕农 2 号豌豆接种 ACCC16101 根瘤菌增产 48.76%;马剑等^[5]对燕农 2 号豌豆接种 ACCC16103 根瘤菌单株籽粒产量提高 30.6%。目前国内在豌豆接种根瘤菌方面的工作主要集中在根瘤菌对豌豆生长发育^[4,6-7]、结瘤状况^[4-8]、根瘤数^[4,7-8]、根瘤干重^[4,7-8]、根瘤固氮酶活性^[5]、生物量^[4-8]、植株含氮量^[4-8]、产量及产量构成因子^[2-8]等方面。

豆科作物——根瘤菌共生固氮效率涉及到寄主植物、根瘤菌和环境间复杂的互动。完全有效的结合仰赖寄主植物相关基因和根瘤菌相关基因的相容性^[9]。Duhigg^[10]和 Tan^[9]研究结果表明,与豆科作物固氮过程相伴随的乙炔还原率和其他的一些性状受基因控制,Tan^[9]研究还发现,豆科作物乙炔还原率的变异在不同的根瘤菌间差异较大^[2-3]。Tan^[11]揭示各种变异成分对总变异的贡献发现,豆科品种变异对总变异的贡献超过 30%,根瘤菌菌系的变异占 26%,超过 36%的变异是豆科作物与根瘤菌的互动引起的。因此,针对豆科作物与根瘤菌菌株开展高效共生体筛选可以更有效地发挥共生固氮作用,提高豆科作物的产量与品质。

M. P. 1824 为加拿大引进豌豆品种,为半无叶型,除了具有抗白粉病、抗倒伏特性^[12]外,M. P. 1824 同时也具备其它半无叶豌豆的特征,如小叶突变成发达的卷须,植株直立,彼此间缠绕,群体通风透光好,可用于间套作,也可以防止生产上的倒伏问题^[13]。2006—2009 年间,本课题组在吉林省的白城市、北京市海淀区和延庆县、湖南省的长沙市和华容县等地进行的引种试验表明,M. P. 1824 具有较强的生态适应性^[12]。本试验在盆栽条件下用 8 株豌豆根瘤菌菌株接种 M. P. 1824,研究接种对该品种生产性能的影响,旨在筛选出与供试豌豆品种相匹配的高效豌豆根瘤菌菌株,为该品种在大田中推广应用提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 供试品种

供试豌豆品种为 M. P. 1824,是加拿大半无叶型豌豆,为湖南省华容县 2009 年 5 月份收获种子,千粒重 211.10 g,发芽率 93.7%。

1.2 供试土壤

供试土壤来自湖南省华容县棉田,土壤母质为第四纪红壤土。土壤粉碎后过 4 mm 筛,晒干装盆。花盆上口直径为 24 cm,高 17 cm,每盆装土 3.3 kg。土壤理化性状为有机质 1.914%,全氮 0.309%,碱解氮 223.000 mg/kg,速效磷 55.021 mg/kg,速效钾 83.905 mg/kg,pH6.13。

1.3 供试菌株及试验设计

供试豌豆根瘤菌菌株有 8 株,以不接种处理为对照,共设为 9 个处理(表 1),各处理设 8 次重复(即 8 盆),试验取样在盛花初荚期(I)和成熟期(II),每次取样 4 盆。播种时每盆播 4 穴,每穴 2 粒,间苗时每穴留 1 株,即每盆留 4 棵苗。播种期、间苗期、盛花初荚期及成熟期分别在 2010-01-28、

2010-02-11、2010-03-28 以及 2010-05-06。

表 1 处理设置及供试菌株的名称、寄主植物及来源地区

Table 1 Arrangement of treatments and original names, host plants, and source areas of the *Rhizobium leguminosarum* strains

处理	菌株名称	寄主植物	来源地区
I ₀	—	—	—
I ₁	CCBAU 33109	<i>Pisum sativum</i>	江西
I ₂	CCBAU 43228	<i>Pisum sativum</i>	湖北
I ₃	CCBAU 43227	<i>Pisum sativum</i>	湖北
I ₄	CCBAU 43232	<i>Pisum sativum</i>	湖北
I ₅	ACCC 16058	<i>Pisum sativum</i>	广东
I ₆	CCBAU 41242	<i>Pisum sativum</i>	湖南
I ₇	CCBAU 43242	<i>Pisum sativum</i>	湖北
I ₈	F 98	<i>Pisum sativum</i>	湖北

注: I₀ 表示不接种对照(CK)。以 CCBAU 开头的菌株来自中国农业大学生物学院根瘤菌分类及应用研究室, 其中 CCBAU 33109 为慢生型豌豆根瘤菌; ACCC 16058 来自中国农业科学院土壤肥料研究所微生物研究室; F 98 为目前国内商用豌豆根瘤菌菌株作对照菌株, 来自湖北正佳生物工程股份有限公司。

1.4 根瘤菌培养

将供试菌株接种到 YMA 斜面活化后, 转接于 YMA 平板培养基, 待菌落呈现均匀一致时镜检, 把合格的菌体转接于新鲜的 YMA 斜面培养基中。菌体长出来后, 接种于 5 mL Ty 培养液中, 在 28 °C、170 r/min 的摇床中培养至对数生长期后, 吸 3 mL 菌液于盛有 200 mL YMA 液体培养基的 500 mL 三角瓶中, 置于摇床上继续培养。将不同来源的根瘤菌同时培养, 每隔 3 h 取菌液测其吸光值 OD₆₀₀, 直至所有菌株的菌液 OD₆₀₀ 均超过 1.000。以各菌液 OD₆₀₀ 为纵坐标, 时间为横坐标, 作各菌株的生长曲线图。同时取各菌株 OD₆₀₀ 为 1.000 左右的菌液作稀释平板计数, 并测定相应稀释倍数菌液的 OD₆₀₀, 得到各菌株菌液计数与 OD₆₀₀ 之间的关系, 从而确定所需要接种浓度(约 1.0×10^9 cfu/mL) 对应的 OD₆₀₀。根据生长曲线图计算各菌株所需培养时间, 使各菌株同时培养至所需接种浓度。

1.5 种子处理、接种、播种及管理

将精选消毒的豌豆种子放在无菌琼脂平板培养基上, 每平板放 12 粒种子, 在 28 °C 的培养箱中黑暗催芽 24 h。将发芽的种子放到无菌瓶中, 倒入制备好的菌液, 浸泡 15 min。于温室中播种, 每粒种芽

再加入菌液 1 mL(约 10^9 cfu), 覆土, 从托盘中浇透水。10 d 后所有处理豌豆均出苗时在每棵苗周围土中加入菌液 1 mL(浓度同播种)。温室内温度平均为 20 °C, 光照为自然光, 相对湿度约为 90%。根据花盆失水状况定期浇水。

1.6 测定指标及测定方法

1.6.1 土壤理化性状

在播种前取基础土样测定全氮(半微量凯氏法)、碱解氮(碱解-扩散法)、速效磷(0.5 mol/L NaCO₃ 浸提-钼锑抗比色法)、速效钾(1 mol/L NH₄Ac 浸提-火焰光度法), 有机质含量(铬酸氧还滴定法)及 pH(pH 计测定法)。

1.6.2 生育特征

记录各个生育时期(初花期、盛花初荚期、盛荚期、成熟期)所到达时间, 以“天数(d)”表示, 具体标准如下: 出苗期, 盆内所有植株达到出苗标准(展开托叶数为 2 片或以上)的苗龄; 初花期, 盆内 25% 植株现花或 50% 植株现蕾的苗龄; 盛花初荚期, 盆内 50% 植株现花或 25% 植株现荚的苗龄; 盛荚期, 盆内 50% 植株现荚的苗龄; 成熟期, 盆内 75% 以上的植株荚现成熟色的苗龄。记录盛花初荚期、成熟期豌豆的株高、主茎节数和分枝数以及盛花初荚期豌豆植株地上部干重。

1.6.3 产量及产量构成因子

成熟期取样考种, 测定每盆单株荚数、单荚粒数、单株粒数、单株鲜重、单盆鲜干重、千粒重。

1.6.4 籽粒品质

测定豌豆成熟干籽粒粗蛋白质(凯氏定氮法)、粗淀粉(旋光法)、可溶性糖(萘酚比色法)以及粗纤维(酸碱处理重量法)的含量。

1.7 数据处理

所得数据应用统计软件 SAS V8.2 进行方差分析, 其他分析在 Microsoft Excel 及 DPS(Data Process System)V3.01 软件中完成。

2 结果与分析

2.1 不同菌株对 M. P. 1824 生育特征的影响

2.1.1 不同菌株对 M. P. 1824 生育期的影响

与不接种对照 I₀ 相比, 除 I₂ 的初花期外, 其他接种根瘤菌处理均不同程度延长了 M. P. 1824 初花期、盛花初荚期、盛荚期及成熟期的天数。其中, I₅、I₆、I₇、I₈ 的初花期、盛花初荚期及盛荚期时间与对照差异显著($P < 0.05$), 且 I₅ 在各个时期分别比对

照延长 4.1、5.2 和 4.8 d。I₅、I₇ 的成熟期分别比对照显著延长 12 和 11.5 d ($P < 0.05$)。与接种商用

菌株的 I₈ 相比, I₁ ~ I₇ 的生育时期没有显著变化 ($P > 0.05$) (表 2)。

表 2 不同豌豆根瘤菌菌株对 M. P. 1824 生育期的影响

Table 2 Effects of inoculation with different *Rhizobium leguminosarum* strains on growing stages of M. P. 1824

处 理	初花期	盛花初荚期	盛荚期	成熟期
I ₀	50.4±1.2 d	53.1±1.7 d	57.3±2.1 c	71.0±0.0 b
I ₁	51.0±0.9 cd	53.9±1.4 d	58.8±1.3 bc	72.0±0.0 b
I ₂	50.4±0.5 d	54.0±1.5 d	57.8±1.8 c	72.0±0.8 b
I ₃	51.5±1.2 bcd	55.0±1.2 cd	59.1±2.1 bc	73.3±1.5 b
I ₄	51.8±1.9 bcd	55.0±1.4 cd	58.9±2.4 bc	73.0±1.4 b
I ₅	54.5±2.3 a	58.3±1.7 a	62.1±1.4 a	83.0±10.4 a
I ₆	52.9±1.5 abc	56.0±1.6 bc	60.5±2.4 ab	73.3±1.7 b
I ₇	52.9±2.8 abc	56.3±2.8 bc	60.5±3.2 ab	82.5±9.9 a
I ₈	53.3±2.8 ab	57.1±2.9 ab	60.6±3.5 ab	76.0±0.0 ab

注: 同列数据后小写字母不同表示处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

2.1.2 不同菌株对 M. P. 1824 主要农艺性状的影响

在盛花初荚期, I₅ 的主茎节数比对照 I₀ 显著减少了 8.21% ($P < 0.05$); 分枝数比对照显著增加了 45.45% ($P < 0.05$)。其余所有处理各性状与对照间差异不显著 ($P > 0.05$)。所有处理各性状与 I₈ 间差异亦不显著 ($P > 0.05$)。在成熟期, 与 I₀ 相比, 除 I₂ 外, 其余接种处理对 M. P. 1824 的株高均有一定

促进作用, 且 I₈、I₅ 及 I₁ 株高显著高于对照 ($P < 0.05$), 三者株高分别增加 25.12%、16.61%、16.09%, 但三者间差异不显著 ($P > 0.05$)。除 I₄ 处理外, 其他处理对主茎节数均有促进作用, 处理 I₈、I₆ 分别比对照显著增加 13.19% 和 10.99% ($P < 0.05$), 二者间差异不显著 ($P > 0.05$)。I₅ 分枝数最多, 但与其余处理间差异不显著 ($P > 0.05$) (表 3)。

表 3 接种不同豌豆根瘤菌菌株对 M. P. 1824 生长的影响

Table 3 Effects of inoculation with different *Rhizobium leguminosarum* strains on pea's growth

处 理	盛花初荚期				成熟期		
	株高/cm	主茎节数	分枝数	地上部干重/g	株高/cm	主茎节数	分枝数
I ₀	61.27 a	19.5 a	1.1 b	1.862 a	53.71 c	18.2 b	1.4 ab
I ₁	64.42 a	19.6 a	1.1 b	1.920 a	62.35 ab	19.7 ab	1.3 ab
I ₂	61.13 a	19.6 a	1.3 ab	1.848 a	54.33 c	19.1 ab	1.2 b
I ₃	65.00 a	19.7 a	1.2 ab	1.993 a	60.42 abc	19.5 ab	1.6 ab
I ₄	67.24 a	19.7 a	1.2 ab	2.010 a	58.23 bc	18.2 b	1.4 ab
I ₅	61.43 a	17.9 b	1.6 a	1.850 a	62.63 ab	19.3 ab	1.7 a
I ₆	61.53 a	19.5 a	1.3 ab	1.934 a	59.78 bc	20.2 a	1.2 b
I ₇	63.06 a	19.0 ab	1.1 b	1.906 a	60.81 abc	19.7 ab	1.4 ab
I ₈	62.81 a	18.5 ab	1.4 ab	1.747 a	67.20 a	20.6 a	1.3 ab

2.2 不同菌株对 M. P. 1824 产量及产量构成因子的影响

由表 4 可见, 接种根瘤菌对 M. P. 1824 产量及

其构成因子均有一定促进作用。与对照相比, I₅、I₆、I₄ 的单株荚数、单株粒数、单株籽粒鲜重、单株籽粒干重及单盆籽粒干重均显著高于对照 ($P < 0.05$),

且 I_5 的 5 项指标依次提高 76.67%、85.54%、80.63%、65.13%、36.71%， I_5 的单株荚数、单株粒数亦显著高于 I_8 ($P < 0.05$)，分别增加 39.47% 和 30.51%。 I_7 的单株粒数、单株籽粒鲜重及单株籽粒干重分别比对照显著高 37.35%、36.96% 和 27.72% ($P < 0.05$)。 I_3 的单株荚数、单株籽粒鲜重

分别比对照显著高 30.00% 和 34.75% ($P < 0.05$)。 I_1 的单株籽粒鲜重及单株籽粒干重分别比对照显著高 31.50% 和 32.42% ($P < 0.05$)。各接种根瘤菌处理的单荚粒数和千粒重与对照、 I_8 间差异均不显著 ($P > 0.05$) (表 4)。

表 4 接种不同豌豆根瘤菌菌株对 M. P. 1824 籽粒产量及产量构成因子的影响

Table 4 Effects of inoculation with different *Rhizobium leguminosarum* strains on M. P. 1824's grain yield and yield components

处 理	单株荚数	单荚粒数	单株粒数	单株籽粒鲜重/g	单株籽粒干重/g	单盆籽粒干重/g	千粒重/g
I_0	3.0 c	2.8 abc	8.3 d	2.359 e	2.112 d	9.568 b	255.49 ab
I_1	3.6 bc	3.0 abc	10.5 bcd	3.102 cd	2.797 bc	11.440 ab	266.45 a
I_2	3.5 bc	2.7 c	9.5 cd	2.555 de	2.357 cd	10.553 ab	247.95 ab
I_3	3.9 b	2.8 bc	10.5 bcd	3.179 bcd	2.654 bcd	11.235 ab	250.18 ab
I_4	3.9 b	3.2 abc	12.1 bc	3.656 abc	3.235 ab	12.940 a	266.28 a
I_5	5.3 a	2.9 abc	15.4 a	4.261 a	3.488 a	13.080 a	228.17 b
I_6	4.2 b	3.3 ab	13.1 ab	3.837 abc	3.026 ab	12.600 a	233.64 b
I_7	3.5 bc	3.3 a	11.4 bc	3.231 bcd	2.698 bc	11.208 ab	235.61 b
I_8	3.8 bc	3.2 abc	11.8 bc	3.947 ab	2.999 ab	11.995 ab	254.83 ab

2.3 不同菌株对 M. P. 1824 籽粒品质的影响

表 5 表明,接种不同豌豆根瘤菌菌株对 M. P. 1824 的籽粒粗蛋白质含量、可溶性糖含量及粗纤维含量的影响不同。除 I_3 外,接种根瘤菌处理的粗蛋白质含量均高于 I_0 ;所有接种处理的可溶性糖含量均低于对照;除 I_6 外,其余接种处理的粗纤维含量与对照之间的差异均达极显著水平 ($P < 0.01$);各接种根瘤菌处理的粗淀粉含量与对照及 I_8 间差异

均不显著 ($P > 0.05$)。 I_8 处理的粗蛋白质含量比对照显著提高 12.37% ($P < 0.05$);可溶性糖含量比对照显著降低 37.77% ($P < 0.05$),粗纤维含量比对照极显著提高 60.23% ($P < 0.01$)。 I_4 的可溶性糖含量比对照显著降低 35.65% ($P < 0.05$),其粗纤维含量分别比对照、 I_8 极显著增加 1.20 倍和 37.6% ($P < 0.01$)。 I_2 的粗纤维含量分别比对照、 I_8 极显著增加 1.24 倍和 39.7% ($P < 0.01$) (表 5)。

表 5 接种不同豌豆根瘤菌菌株对 M. P. 1824 籽粒粗蛋白质、粗淀粉、可溶性糖及粗纤维含量的影响

Table 5 Effects of inoculation with different *Rhizobium leguminosarum* strains on contents of crude protein, raw starch, soluble sugar, and crude fiber in pea's grain

处 理	粗蛋白质含量/%	粗淀粉含量/%	可溶性糖含量/(mg/kg)	粗纤维含量/%
I_0	19.812 bAB	0.861 aA	171.48 aA	3.285 eC
I_1	19.821 bAB	0.828 aA	128.78 abA	4.679 cdB
I_2	19.909 bAB	0.787 aA	140.41 abA	7.353 aA
I_3	19.347 bB	0.776 aA	144.40 abA	5.515 bcB
I_4	20.612 abAB	0.786 aA	110.34 bA	7.244 aA
I_5	20.851 abAB	0.904 aA	130.05 abA	5.649 bcB
I_6	20.354 abAB	0.903 aA	129.64 abA	4.500 dBC
I_7	20.898 abAB	0.901 aA	151.39 abA	5.719 bB
I_8	22.264 aA	0.982 aA	106.71 bA	5.264 bcdB

注:同列数据后大写字母不同表示处理间差异极显著 ($P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 不同菌株对 M. P. 1824 生育特征的影响

豆科植物的结瘤及固氮能力因根瘤菌菌株的不同而存在较大差异^[14-18]，本研究中，与不接种对照相比，接种豌豆根瘤菌可以延长 M. P. 1824 的各个生育时期。这可能是因为接种根瘤菌后，由于固氮作用增强，豌豆的氮素含量增加，延长了营养生长期和生殖生长期，从而延长了各个生育时期。但接种不同的菌株对生育期影响效果不同，I₁ ~ I₄ 的各个生育时期与对照间差异不显著，可能原因是 CCBAU 33109、CCBAU 43228、CCBAU 43227 和 CCBAU 43232 4 个菌株与豌豆品种 M. P. 1824 匹配性较差，相关结果宜作进一步研究。

郭丽琢等^[6]在大田试验研究中发现，接种菌株 ACCC16101 能显著提高豌豆的地上部干重等植株生育特征。但在本研究中，与不接种对照相比，接种根瘤菌处理对 M. P. 1824 盛花初荚期的株高、主茎节数和地上部干重的影响均不显著，I₅ 处理的主茎节数甚至显著少于对照。这可能是因为本研究一方面为温室盆栽试验，另一方面，接种效果也受土壤理化性状的影响^[17]。

3.2 不同菌株对 M. P. 1824 产量及产量构成因子的影响

本研究表明，对于豌豆品种 M. P. 1824 而言，接种根瘤菌处理可以增加单株荚数、单株粒数、单株籽粒鲜重、单株籽粒干重及单盆籽粒干重，不同根瘤菌菌株对各个产量构成因子的增长程度不同，这与前人研究基本相符^[2-8]。处理 I₅ 的单株荚数、单株粒数、单株籽粒鲜重、单株籽粒干重及单盆籽粒干重数值最高，与接种商用菌株的 I₈ 相比，I₅ 对单株荚数和单株粒数的增加也有显著的促进作用。以上结果表明，在供选的菌株中，ACCC 16058 与 M. P. 1824 的共生匹配效果较好。

3.3 不同菌株对 M. P. 1824 成熟籽粒品质的影响

据 Ahemad M 等的研究，接种根瘤菌能使籽粒粗蛋白质含量提高 7.14%^[19]。这是因为接种根瘤菌后，豌豆与根瘤菌之间的共生体系固氮作用增强，豌豆从大气中获取更多氮素，供豌豆吸收利用，豌豆自身所含的全氮含量增加，因此豌豆蛋白质含量也

增加。本试验中，只有 I₈ 的粗蛋白质含量显著高于对照，说明菌株 F98 能够较好地与豌豆品种 M. P. 1824 共生匹配并固氮。本研究还发现，接种根瘤菌后，豌豆的粗纤维含量均显著高于不接种对照 I₀，这表明接种豌豆根瘤菌可以提高豌豆籽粒的粗纤维含量，从而有利于提高其食用价值和保健功能。此外，接种根瘤菌处理的可溶性糖含量均低于对照，可能原因是根瘤菌-豆科植物共生体系在固氮过程中需要消耗能量，而可溶性糖可以很好地转化为能量供共生体系利用，导致可溶性糖含量降低(表 5)。

4 结论

本研究在实验条件下得出如下结论：与对照相比，接种根瘤菌可延长豌豆生育期，促进后期豌豆植株生长，提高产量，增加籽粒粗蛋白质、粗纤维含量，以及降低可溶性糖含量。综合分析表明，M. P. 1824 盆栽条件下接种菌株 ACCC 16058 表现最佳。评价根瘤菌是否高效的重要指标还应包括固氮能力与结瘤能力^[20]，相关的筛选工作将通过盆栽与田间试验进一步验证。

参 考 文 献

- [1] 郑卓杰. 中国食用豆类学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 124-130
- [2] 宁国赞, 刘惠琴, 马晓彤. 豌豆根瘤菌优良菌种筛选及应用的研究[J]. 中国草地, 1997(2): 48-51
- [3] Xavier L J C, Germida J J. Selective interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium leguminosarum* bv. Viceae enhance pea yield and nutrition[J]. Biol Fertl Soils, 2003, 37: 261-267
- [4] 谢军红, 黄高宝, 郭丽琢, 等. 豌豆根瘤菌高效菌株的筛选及共生匹配性研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2009, 44(01): 102-106
- [5] 马剑, 黄高宝, 高亚琴, 等. 接种根瘤菌对豌豆根际细菌数量动态变化及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 7-10
- [6] 郭丽琢, 谢军红, 何亚慧, 等. 根瘤菌接种对豌豆生长发育及固氮性能的影响[C]//高旺盛, 孙占祥. 中国农作制度研究进展, 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2008: 543-546
- [7] 谢军红. 豌豆根瘤菌高效菌株的筛选及共生匹配性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2008
- [8] Kumar B S D, Berggren I, Martensson A M. Potential for improving pea production by co-inoculation with fluorescent *Pseudomonas* and *Rhizobium*[J]. Plant and Soil, 2001, 229(1): 25-34

- [9] Tan G Y, Tan W K. Net assimilation rate and relative nitrogen assimilation rate in relation to the dry matter production of alfalfa cultivars[J]. *Plant Soil*, 1981, 59: 185-192
- [10] Duhigg P, Melton B, Baltensperger A. Selection for acetylene reduction rates in "Mesilla" alfalfa[J]. *Crop Science*, 1978, 18: 813-816
- [11] Tan G Y, Tan W K. Interaction between alfalfa cultivars and *Rhizobium* strains for nitrogen fixation[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 1986, 71: 724-729
- [12] 王芳. 加拿大豌豆不同区域生态适应性研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2008
- [13] 王凤宝, 付金锋, 董立峰, 等. 豌豆半无叶突变体性状的遗传及在育种上的利用[J]. *遗传*, 2003(2): 185-188
- [14] 陈文新. 豆科植物根瘤菌固氮体系在西部大开发中的作用[J]. *草地学报*, 2004, 12(1): 1-2
- [15] 陈文新, 李阜棣, 闰章才. 我国土壤微生物学和生物固氮研究的回顾与展望[J]. *世界科技研究与发展*, 2002, 24(4): 6-12
- [16] 窦新田, 李树藩, 李晓鸣, 等. 大豆根瘤菌在黑龙江省接种效果与接种有效性的研究[J]. *中国农业科学*, 1989, 22(3): 62-70
- [17] 曾昭海, 隋新华, 胡跃高, 等. 紫花苜蓿-根瘤菌高效共生体筛选及田间作用效果[J]. *草业学报*, 2004, 13(5): 95-100
- [18] 曾昭海, 陈文新, 胡跃高, 等. 应用 RAPD 分子标记技术研究苜蓿根瘤菌的田间竞争结瘤能力[J]. *生态学报*, 2004(7): 1341-1345
- [19] Ahemad M, Khan M S. Comparative toxicity of selected insecticides to pea plants and growth promotion in response to insecticide-tolerant and plant growth promoting *Rhizobium leguminosarum*[J]. *Crop Protection*, 2010, 29(4): 325-329
- [20] Zeng Z, Chen W, Hu Y, et al. Screening of highly effective *Sinorhizobium meliloti* strains for "Vector" alfalfa and testing of its competitive nodulation ability in the field [J]. *Pedosphere*, 2007, 17(2): 219-228

责任编辑: 袁文业