

接种根瘤菌对豌豆/玉米体系生长状况的影响

张虎天¹, 郭丽琢¹, 柴 强¹, 何亚慧¹, 侯丽娟²

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 西北农林科技大学植物保护学院 陕西省农业分子生物学重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 采用盆栽试验研究了豌豆、玉米单作及豌豆/玉米体系中接种根瘤菌(不接种、接种 XC3.1、接种 ACCC16101)及施氮量(不施氮、施氮 0.3 gN/kg 土)对豌豆、玉米生长及其氮素营养状况的影响。结果表明: 接种 XC3.1 显著提高了豌豆的有效根瘤数量和重量, 单作平均分别提高 79.5% 和 131.6%, 间作平均分别提高 174.1% 和 205.4%; XC3.1 对复合体系中玉米及两种种植模式下豌豆氮素营养状况的改善作用优于 ACCC16101; 接种 XC3.1 对两种种植模式下豌豆的生长以及不施氮条件下复合体系中玉米的生长均具有促进作用, 豌豆、玉米的生物量平均提高 22.0% 和 123.1%; 复合体系中豌豆的有效结瘤状况均优于相应的单作; 接种与否, 间作豌豆的生物量均小于相应供氮水平下的单作, 平均降低 13.7%; 接种 XC3.1 不但强化了复合体系中玉米的竞争力, 而且豌豆对玉米的竞争抵抗力也明显提高。

关键词: 接种; 根瘤菌; 豌豆; 玉米; 根瘤; 氮

中图分类号: S144.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)05-0092-05

豆科与禾本科作物间作可以降低“氮阻遏”促使豆科作物更多的结瘤固氮, 获得双高产^[1]。豆科作物及经济作物实行间、套、轮作时可以为间套作和后茬作物提供氮素营养, 一般情况可提供所需氮素的 30% ~ 60%^[2,3]。长期以来, 关于间套作的研究主要集中在田间作物搭配模式、地上部光热资源利用^[4]、养分吸收利用^[5]、产量及产量形成优势、病虫害控制^[6]等方面, 对在间套作复合群体中接种根瘤菌是否有利于进一步提高间套作优势的研究较少, 仅在蚕豆/小麦和蚕豆/玉米间作系统氮营养的影响及结瘤作用的影响等方面作了初步的研究^[7-9]。

本研究拟采用模拟试验法, 以豌豆、玉米体系为研究对象, 探讨接种对不同种植模式中豌豆根瘤生长发育、固氮作用的影响, 以及接种对豌豆、玉米生长及氮素营养状况的影响, 比较接种不同根瘤菌菌株的差异, 以进一步挖掘间套作中生物固氮的潜力和间套作优势, 为提高生物固氮作用及合理运筹肥料提供理论依据。

1 材料与方法

试验在甘肃农业大学日光温室以土壤模拟培养方式进行。

1.1 试验材料

供试作物: 玉米品种为沈单 16 号包衣种子, 豌

豆品种为燕农 2 号。供试菌株为引自中国农业科学院农业微生物菌种保藏中心(以下简称为 ACCC)的豌豆族根瘤菌菌株 ACCC16101(R₁)和地方筛选的豌豆族根瘤菌菌株 XC3.1(R₂)。供试土壤为黄绵土, 前作为玉米, 土壤的基本理化性状为有机质 16.8 g/kg, 全氮 0.64 g/kg, 铵态氮 1.24 mg/kg, 硝态氮 9.46 mg/kg, 土壤全磷 0.75 g/kg, 速效磷 40.0 mg/kg, 土壤全钾 17.68 g/kg, 速效钾 136.1 mg/kg, pH 7.5。土样风干后过 2 mm 筛备用。

1.2 试验方法

1.2.1 菌悬液制备 将根瘤菌接入 YMA 固体平板培养基活化培养, 再转入 YMA 液体培养基, 置于转速 120 r/min、温度 28℃ 的摇床中培养, 测定根瘤菌悬浮液的光密度值(OD_{600nm}值)。全部供试菌株培养至菌液的 OD_{600nm}值 0.5 以上, 以较低 OD_{600nm}值菌液为基准, 将各菌液加无菌水稀释制成光密度值一致的菌悬液。

1.2.2 种子处理 精选的豌豆种子首先用 75% 乙醇处理 10 min, 再用 0.1% HgCl₂ 处理 5 min, 无菌水冲洗 7 ~ 8 次后, 将种子平铺于内含无菌纱布和少量无菌水的灭菌培养皿中, 28℃ 下催芽, 待露白时备用。接种根瘤菌的处理在播前半小时用相应已培养好的菌悬液浸泡种子, 不接种的处理在播前半小时用无菌水浸泡种子。

收稿日期: 2010-04-20

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAD89B17); 甘肃省自然科学基金(3ZS061 - A25 - 079)

作者简介: 张虎天(1983—), 男, 甘肃定西人, 在读硕士, 主要从事旱地农作制度的研究。E-mail: 287143812@qq.com。

通讯作者: 郭丽琢(1968—), 女, 河南洛阳人, 博士, 副教授, 主要从事作物栽培及农作制度研究。E-mail: guolz@gsau.edu.cn。

1.2.3 试验设计 试验设施氮量、种植方式和接种根瘤菌三个试验因素。施氮量设两个水平,分别为不施氮(N_0)、施氮 0.3 gN/kg 土(N_1);种植方式设玉米豌豆复合体系(MP)、玉米单作(M)和豌豆单作(P)三种种植模式;接种设不接种根瘤菌 R_0 、接种 R_1 、接种 R_2 三种接种类别。共 14 个处理(见表 1),每处理重复 3 次,随机排列。

试验所用盆钵为 300 mm × 350 mm 陶土盆,每盆装过筛土壤 15 kg,装完土后浇水沉实。供试肥料分别为尿素、普通过磷酸钙,磷肥施用量为 0.2 g P_2O_5 /kg 土,所施肥料作基肥与土混匀一次施入。单作玉米每盆最终定苗为 1 株;单作豌豆每盆最终定苗为 5 株;玉米豌豆复合体系定苗为 1 株玉米在中央 5 株豌豆在周围。豌豆、玉米均穴播,播种量均为定苗数的 3 倍。2009 年 3 月 10 日播种豌豆,3 月 20 日播种玉米,5 月 18 日(豌豆盛花期)采样,生长期土壤含水量控制在田间持水量的 75% 左右,定期调换盆的位置。

表 1 试验处理
Table 1 Experiment treatments

氮水平 N level	种植方式 Cropping pattern	根瘤菌处理 Nodule bacteria treatment		
		R_0	R_1	R_2
N_0	M	N_0M		
	P	N_0PR_0	N_0PR_1	N_0PR_2
	MP	N_0MPR_0	N_0MPR_1	N_0MPR_2
N_1	M	N_1M		
	P	N_1PR_0	N_1PR_1	N_1PR_2
	MP	N_1MPR_0	N_1MPR_1	N_1MPR_2

1.3 测定指标与方法

豌豆根瘤数和根瘤重:采样时将豌豆根系洗净并把根瘤全部摘下,分类(以粉红色、粉色和浅粉色为有效根瘤,其它颜色为无效根瘤^[10])、计数、称重;

植株生物量:玉米、豌豆取样后烘干至恒重称重;

植株含氮量采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮,凯氏定氮法测定^[11]。

1.4 数据处理与分析

数据采用 Excel2003 和 Spss13.0 软件进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 接种根瘤菌对豌豆结瘤状况的影响

接种根瘤菌显著影响盛花期豌豆有效根瘤的数

量和重量(表 2)。在 N_0 水平单作条件下,接种 R_1 和 R_2 后豌豆有效根瘤数与未接种相比分别增加了 67.6% 和 102.3%,有效根瘤重分别增加 77.2% 和 208.8%,总根瘤重分别增加 46.7% 和 175.7%;在 N_0 水平的复合群体中,接种 R_1 和 R_2 后豌豆有效根瘤数与未接种相比分别增加 48.7% 和 123.1%,有效根瘤重分别增加 66.2% 和 281.1%,总根瘤重分别增加 18.9% 和 120.4%;无论单作还是复合体系,不施氮时,接种与未接种相比有效根瘤重的增幅远大于总根瘤重的增幅。在 N_1 水平单作条件下,接种 R_2 与未接种相比,豌豆有效根瘤的数量和重量分别增加 56.0% 和 54.3%;但接种 R_1 的处理,其有效瘤数和瘤重都显著低于未接种的处理,这可能是引进菌株的定植能力对高氮环境的反应敏感于 R_2 ,"氮阻遏"表现明显所致;复合群体中,接种 R_1 和 R_2 后,豌豆有效根瘤数与未接种的相比分别增加 155.0% 和 225.0%,有效根瘤重分别增加 92.6% 和 129.6%,接种与否的总根瘤数差异不显著,根瘤的总重量明显降低;在施氮 0.3 gN/kg 土条件下,接种高效的根瘤菌仍可促进豌豆结瘤、形成有效的豆科植物-根瘤菌固氮体系。

同一施氮水平内与相应的单作相比,复合群体也有增加豌豆有效根瘤数量和重量的趋势。在 N_0 条件下,间作体系中 R_0 、 R_1 和 R_2 处理豌豆有效根瘤数较单作分别增加 14.7%、1.7% 和 26.1%,有效根瘤重分别增加 29.8%、21.8% 和 60.2%;间作体系的有效结瘤状况呈现优于单作的趋势,但不同菌株在间作体系中的适应和反应存在种间差异^[7]。在 N_1 条件下,未接种时,复合群体和单作豌豆的有效结瘤状况没有显著差异,接种 R_1 和 R_2 后有效根瘤数分别增加 410.0% 和 66.7%,有效根瘤重分别增加 940.0% 和 14.8%。

施氮显著抑制了豌豆的结瘤, N_0 条件下,豌豆单株有效根瘤重平均为 13.6 mg/株、总根瘤重平均为 19.4 mg/株,而 N_1 条件下仅分别为 3.9 mg/株和 5.7 mg/株。

综合以上分析,无论施氮与否,接种 R_2 均增加了不同种植模式下豌豆的有效结瘤数量和重量;单作及复合群体中,有效结瘤状况均呈现出 N_0 优于 N_1 的趋势;接种 R_1 、 R_2 后,有效结瘤数量及有效根瘤重均为复合群体高于相应的单作。

表 2 接种根瘤菌对豌豆(盛花期)结瘤状况的影响

Table 2 Effects of nodule bacteria inoculation on nodulation conditions of pea (in full flowering)

种植模式 Cropping pattern	N ₀				N ₁			
	根瘤数(个/株) Nodule number		根瘤鲜重(mg/株) Nodule fresh weight		根瘤数(个/株) Nodule number		根瘤鲜重(mg/株) Nodule fresh weight	
	有效 Effective	总数 Total	有效 Effective	总重 Total	有效 Effective	总数 Total	有效 Effective	总重 Total
PR ₀	3.4±0.4 d	5.8±0.5 e	5.7±0.6 d	10.7±0.6 c	2.5±0.3 d	5.9±0.4 c	3.5±0.2 c	9.7±0.6 a
PR ₁	5.7±0.5 c	9.0±0.7 d	10.1±0.8 c	15.7±0.9 b	1.0±0.2 e	2.3±0.3 d	0.5±0.04 d	1.4±0.1 e
PR ₂	6.9±0.8 b	12.3±0.5 b	17.6±0.7 b	29.5±1.2 a	3.9±0.3 c	7.1±0.5 b	5.4±0.3 b	6.4±0.2 c
MPR ₀	3.9±0.7 d	10.3±0.9 c	7.4±0.4 cd	13.7±0.8 c	2.0±0.2 d	9.1±0.7 a	2.7±0.1 c	3.7±0.2d
MPR ₁	5.8±0.6 c	10.3±1.1 c	12.3±0.6 c	16.3±0.7 b	5.1±0.4 b	8.6±0.8 ab	5.2±0.3 b	5.7±0.3 c
MPR ₂	8.7±0.9 a	14.1±1.0 a	28.2±0.9 a	30.2±1.6 a	6.5±0.5 a	8.3±0.6 ab	6.2±0.4 a	7.2±0.3 b
平均 Mean	5.7	10.3	13.6	19.4	3.5	6.9	3.9	5.7

注:除最后一行外,同一列中不同小写字母分别表示处理间差异显著(P<0.05)。

Note: Letters in the same column mean significant differences among different treatments at 5% level, except the last line.

2.2 接种根瘤菌对豌豆、玉米地上生物量的影响

接种根瘤菌、种植模式和施氮均显著影响豌豆和玉米的地上生物量(表 3)。

接种根瘤菌 R₁、R₂ 的豌豆生物量较不接种在单作条件下分别增加了 -5.8% 和 10.2%,在复合体系中分别增加了 10.2% 和 33.7%,间作养分效应显著,且复合体系中以接种 R₂ 的增幅较大。在不施氮条件下,接种根瘤菌均显著增加了同一种植模式下豌豆的生物量;施氮条件下,只有接种 R₂ 的处理,豌豆的生物量显著高于同一种植模式下不接种的处

理,说明氮素水平及菌株对接种根瘤菌的有效性具有较大影响,接种 R₂ 对豌豆具有明显的促生作用。

接种根瘤菌和施氮对玉米生物量的影响与其对豌豆生物量的影响略有不同。在 N₀ 条件下,接种 R₂ 的玉米生物量较其它处理分别增加 129.4%、116.7% 和 85.7%,达显著性差异水平;接种 R₁ 的玉米生物量分别比 M、MPR₀ 增加 23.5% 和 16.7%,达显著性差异水平,说明不施氮条件下,豌豆接种对玉米具有明显的促生效果,R₂ 的促生作用显著高于 R₁;施氮条件下,接种无明显的促生作用。

表 3 接种根瘤菌对豌豆、玉米地上干重的影响

Table 3 Effects of nodule bacteria inoculation on biomass in aerial part of pea and maize

种植模式 Cropping pattern	生物量 Biomass (g/plant)					
	豌豆 Pea			玉米 Maize		
	N ₀	N ₁	平均 Average	N ₀	N ₁	平均 Average
PR ₀	1.38±0.07 bc	1.18±0.06 b	1.28 b			
PR ₁	1.41±0.06 b	1.00±0.04 c	1.21 c			
PR ₂	1.47±0.08a	1.35±0.05 a	1.41 a			
MPR ₀	1.18±0.04 d	0.78±0.02 d	0.98 d	0.90±0.04 cd	1.10±0.09 a	1.00 b
MPR ₁	1.29±0.05 c	0.87±0.02 cd	1.08 d	1.05±0.05 b	1.05±0.05 a	1.05 b
MPR ₂	1.43±0.06 b	1.19±0.04 b	1.31 b	1.95±0.09 a	1.15±0.11 a	1.55 a
M				0.85±0.06 d	1.15±0.06 a	1.00 b
平均 Mean	1.36 a	1.06 b		1.20 a	1.10 b	

注:最后一行中不同字母的值差异显著;除最后一行外,同一列中不同字母分别表示处理间差异显著(P<0.05)。表 4 与此表相同。

Note: Different letters mean significant difference in the last line; letters in the same column mean significant differences among different treatments at 5% level, except the last line. They are the same as the following.

间作条件下,接种 R₁ 后,玉米和豌豆的生物量无显著变化;接种 R₂ 后,玉米和豌豆的生物量分别平均增加 55.0% 和 33.7%,另外,在接种高效根瘤菌 R₂ 后豌豆生物量较单作下降了 7.1%,而在其它

接种水平下分别下降了 10.8% 和 30.6%,即在高效接种的条件下间作使豌豆生物量下降的趋势明显减小,说明在豌豆/玉米间作系统中,接种 R₂ 强化了复合群体中玉米的竞争能力的同时也提高了豌豆对玉

米的竞争抵抗力。

同一供氮水平下,与单作相比,相应间作的豌豆生物量明显降低,而玉米的生物量却有不同程度的提高;在 N_0 水平下,间作对豌豆生物量的降低和玉米生物量的提高效应更加明显。表明不论接种与否,玉米的强竞争作用影响豌豆的生长。

2.3 接种根瘤菌对植株地上部分含氮量的影响

由表 4 可知,接种根瘤菌增加了同一供氮水平及种植模式下豌豆地上部分的含氮量。不施氮时,单作系统中,豌豆接种 R_2 和 R_1 的植株含氮量比不接种提高了 30.1% 和 18.1%;在复合群体中提高了 12.6% 和 4.0%;复合群体中豌豆的含氮量显著高于相应的单作,未接种处理的增幅最大,为 32.1%。施氮条件下,各处理间的差异性与不施氮时基本一致,唯有复合系统接种 R_1 与不接种的处理之间植株含氮量差异不显著,说明在施氮量较高的环境下,接种根瘤菌不一定能提高豌豆植株含氮量,只有接种适宜的根瘤菌才能发挥生物固氮的潜力,达到提高生物固氮量的目的。

对玉米而言,不施氮时,接种 R_1 和 R_2 的植株含

氮量分别比单作 M 提高了 12.8% 和 32.3%,比复合体系的 MPR_0 提高了 11.3% 和 30.6%;施氮条件下,接种 R_1 和 R_2 的植株含氮量分别比单作 M 提高了 8.6% 和 19.2%,比复合体系的 MPR_0 提高了 -1.7% 和 7.9%。和单作玉米相比,与豌豆组成复合体系及对复合体系中的豌豆接种均可以在一定程度上改善玉米的氮素营养状况。

施氮、种植模式及接种对玉米上部分含氮量的影响与对豌豆的影响一致。从地上部分植株含氮量可以看出,施氮分别使玉米、豌豆的地上部分含氮量增加 9.7% 和 5.9%,说明玉米的施氮效应较豌豆大。间作条件下接种后,玉米、豌豆的地上部分含氮量平均增加 11.1% 和 4.2%,说明豌豆接种根瘤菌可改善间作系统中两种组分的氮素营养状况,对玉米氮素营养状况的改善作用较大。接种 R_1 后,间作系统中各组分的含量与单作无显著差异,接种筛选菌株 R_2 后,间作系统中玉米和豌豆的含氮量分别增加 18.1% 和 10.2%, R_2 对间作系统氮素营养状况的改善作用大于 R_1 。

表 4 接种根瘤菌对豌豆/玉米复合群体地上部分植株含氮量的影响
Table 4 Effects of nodule bacteria inoculation on N content in aerial part of pea and maize

种植模式 Cropping pattern	地上部分植株含氮量 N content of aboveground shoot(g/kg)					
	豌豆 Pea			玉米 Maize		
	N_0	N_1	平均 Average	N_0	N_1	平均 Average
PR_0	20.96 ± 1.6 e	27.78 ± 2.8 c	24.37 c			
PR_1	24.76 ± 1.8 d	25.21 ± 2.7 d	24.99 c			
PR_2	27.26 ± 2.1 c	30.08 ± 2.9 b	28.67 b			
MPR_0	27.69 ± 2.3 c	28.97 ± 2.5 bc	28.33 b	23.55 ± 2.1 c	28.68 ± 2.7 b	26.12 b
MPR_1	28.80 ± 2.0 b	26.86 ± 2.4 c	27.83 b	26.22 ± 2.2 b	28.20 ± 3.0 b	27.21 b
MPR_2	31.17 ± 2.6 a	31.27 ± 2.6 a	31.22 a	30.75 ± 2.7 a	30.94 ± 2.4 a	30.85 a
M				23.25 ± 2.5 c	25.96 ± 2.8 c	24.61 c
平均 Mean	26.77 b	28.36 a		25.94 b	28.45 a	

3 讨 论

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^[12~15]。接种菌株 XC3.1,豌豆的结瘤、固氮效果都显著优于未接种的处理;接种 ACC16101 对豌豆有效结瘤状况及其含氮量的影响因氮素的供应状况、种植模式不同而存在差异;接种菌株 XC3.1,豌豆具有较强的结瘤固氮能力,XC3.1 对共生固氮的促进作用具有广泛的适应性,接种效果优于 ACC16101。

豆科作物对外接菌株的反应很大程度受土壤有效氮含量的影响^[16]。窦新田等^[14]研究表明,大豆

接种根瘤菌的有效性 with 土壤有效氮含量呈显著负相关;而在贫瘠土壤上,限制豆科植物固氮能力的主要因素是氮的吸收^[16]。固氮生物在有化合态氮环境中均不能或很难固氮,其固氮酶的合成和活性受到化合态氮的抑制^[11]。本研究表明,较高的施氮量对侵染结瘤具有一定的抑制效果,但还受根瘤菌自身的适应性与抗逆性的影响。复合体系豌豆的有效结瘤数量和根瘤重量,以及豌豆的地上部分含氮量及生物量均呈现 $R_2 > R_1$,与之间作的玉米的地上部分含氮量及生物量亦呈现 $R_2 > R_1$ 的趋势,说明当地筛选的菌株 XC3.1 对氮阻遏的敏感性小于 ACC16101,在含氮量较高的条件下仍具有较好的有效

结瘤及固氮能力。

豆科生物固氮作用固定的氮,能有效供给与之间套作的禾本科作物及后茬作物吸收利用^[17,18],或豆科植物自身进行固氮从而减少了对间作禾本科作物根区氮素的竞争^[8,9,19],促进禾本科作物的生长。复合体系中,豌豆和玉米地上部分的氮含量分别大于相应的单作,未接种条件下间作使豌豆的含氮量平均增加 18.2%,玉米以接种根瘤菌 XC3.1 处理的增幅最大,平均增加 25.8%。在豌豆玉米复合体系中,由于玉米发达的根系消耗掉大量氮素并降低了豌豆根际的氮素浓度,减小了高浓度氮素对豌豆根瘤固氮的抑制。

间套作体系中种间的作用受组分作物种类及环境条件的影响^[8,9,14,20]。孙建好等^[20]研究表明,施用氮肥处理间作大豆减产的原因除氮肥对大豆的负作用外,小麦对大豆的竞争加剧也是重要原因。本研究表明,豌豆/玉米体系中,玉米的竞争力较强,接种 XC3.1 不但进一步加强了复合群体中玉米的竞争能力,而且豌豆对玉米的竞争抵抗力也明显提高,即在合理的间作体系中高效接种可以获得双丰产。

4 结 论

接种根瘤菌对间作体系具有营养和产量优势,根瘤菌 XC3.1 接种效果优于 ACCC16101。施氮影响结瘤及共生固氮的效果,XC3.1 对氮阻遏的敏感性低于 ACCC16101。种植模式影响结瘤及共生固氮效果,复合体系中玉米、豌豆的氮素营养状况均优于相应的单作;接种高效根瘤菌 XC3.1 强化了豌豆/玉米体系中玉米的竞争力,同时豌豆对玉米的竞争抵抗力也明显提高。

参 考 文 献:

- [1] 陈文新,李季伦,朱兆良,等.建议利用合理的农作物种植体系减少化肥污染[A].陈文新.陈文新论文集[C].北京:中国农业大学出版社,2006:1—2.
- [2] 朱兆良.合理使用化肥充分利用有机肥发展环境友好的施肥体系[J].中国科学院院刊,2003,18(2):89—93.
- [3] 陈文新,李季伦,朱兆良,等.发挥豆科植物——根瘤菌共生固

氮作用——从源头控制滥施氮肥造成的面源污染[A].陈文新.陈文新论文集[C].北京:中国农业大学出版社,2006:4—6.

- [4] Taubo M, Walker S, Mukhala E. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations [J]. Field Crops Research, 2001,71(1):17—29.
- [5] Chowdhury M K, Rosario E L. Comparison of nitrogen, phosphorus and potassium utilization efficiency in maize/mungbean intercropping [J]. The Journal of Agricultural Sciences, 1994,122(2):193—199.
- [6] 董 艳,汤 利,张福锁,等.小麦-蚕豆间作条件下氮肥施用量对根际微生物区系的影响[J].应用生态学报,2008,(7):1559—1566.
- [7] 肖焱波,李 隆,张福锁.接种不同根瘤菌对间作蚕豆和小麦生长的促进作用研究[J].农业现代化研究,2003,24(4):275—277.
- [8] 房增国,张福锁,李 隆,等.接种根瘤菌对蚕豆/玉米间作系统氮营养的影响[J].华北农学报,2009,24(4):124—128.
- [9] 房增国,张福锁,李 隆,等.接种根瘤菌对蚕豆/玉米间作系统产量及结瘤作用的影响[J].土壤学报,2009,46(5):887—893.
- [10] 李 湘,杨红玉.豆科植物根瘤形成条件初探[J].西南农业学报,2007,20(1):95—98.
- [11] 鲍士旦.土壤化学分析(第3版)[M].北京:中国农业出版社,2005:264—268.
- [12] 王福生,李泉棣,陈华葵.土壤中大豆根瘤菌之间竞争结瘤的研究Ⅲ.接种菌量对大豆生长的影响[J].土壤学报,1989,26(4):388—392.
- [13] 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.
- [14] 陈文新,李阜棣,闫章才.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.
- [15] 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.
- [16] 赵丹丹,李 涛,赵之伟.丛枝菌根真菌-豆科植物-根瘤菌共生体系的研究进展[J].生态学杂志,2006,25(3):327—333.
- [17] Peoples M B, Herridge D F, Ladha J K. Enhancing legumes N₂ fixation through plant, soil management[J]. Plant and Soil, 1995,174(1—2):83—101.
- [18] 褚贵新,沈其荣,李宾林,等.用¹⁵N 叶片标记法研究旱作水稻与花生间作系统中氮素的双向转移[J].生态学报,2004,24(2):278—284.
- [19] Kessel C V, Hartley C. Agricultural management of grain legumes: has it led to an increase in nitrogen fixation[J]. Field Crops Research, 2000,65(2—3):165—181.
- [20] 孙建好,李 隆,李 娟.小麦/大豆间作氮磷肥效的双变量分析[J].干旱地区农业研究,2007,25(4):183—186.

(英文摘要下转第 103 页)

Study on physiological and biochemical characters and numerical taxonomy of rhizobia isolated from *Lespedeza floribunda* in Shangluo Region of Shaanxi

Ji Yu-liang^{1,2}, ZHAN Jun-peng², WEI Ge-hong²

(1. Department of Biological and Medical Engineering, Shangluo University, Shangluo, Shaanxi 726000, China;

2. College of Life Sciences, Shaanxi Key Laboratory of Molecular Biology for Agriculture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 59 unknown rhizobia strains isolated from *Lespedeza floribunda* in Shangluo, Shaanxi Province and 15 reference strains were analyzed with 125 phenotypic features and numerically classified. The result showed that the unknown strains could use the majority of all the carbon and nitrogen sources and adapt to a wide range of temperature and pH. The proportion of unknown strains which could be resistant to antibiotic, dye and heavy metals and could produce oxidase was relatively high. Some strains had endurance property to high concentrations of salt or alkali, in which about 67% strains could be resistant to 3.0% NaCl and 25% strains could grow in YMA medium with pH12. Numerical taxonomy showed that, in addition to strain CCNWSX0922, other test strains were clustered into 8 clusters at 80.5% similarity level. Clusters I contained 6 unknown strains and 3 reference strains of *Mesorhizobium*. Cluster II had 19 unknown strains and 6 reference strains of *Sinorhizobium*. Cluster III consisted of 1 unknown strain and 3 reference strains of *Rhizobium*. Cluster IV and V all included reference strains of *Rhizobium*. Clusters VI, VII and VIII may be new groups, which were not clustered into the reference strains, and their taxonomic status must be confirmed by further measurements.

Keywords: *Lespedeza floribunda*; rhizobia; phenotypic diversity

(上接第96页)

Effects of nodule bacteria inoculation on growth of pea/maize system

ZHANG Hu-tian¹, GUO Li-zhuo¹, CHAI Qiang¹, HE Ya-hui¹, HOU Li-juan²

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. College of Plant Protection and Shaanxi Key Laboratory of Molecular Biology for Agriculture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A pot experiment was conducted to investigate the effects of nodule bacteria inoculation (Non-inoculation, Inoculating XC3.1, Inoculating ACCC16101) and N application levels (Non-N, 0.3 gN/kg soil) on pea and maize growth and N content in different cropping patterns (pea and maize sole, pea/maize intercropping). The results showed that inoculating selected strain XC3.1 increased effectively nodules number and weight by 79.5% ~ 131.6% and 174.1% ~ 205.4% respectively, and improved N nutrition status of intercropped maize and pea in two cropping patterns. The improvement of N nutrition resulting from XC3.1 was better than that from strain ACCC16101. Inoculating XC3.1 promoted pea biomass in mono- and intercropping system by 22.0%, so did intercropped maize under non-N applying condition by 123.1%. More effective pea nodules were formed in intercropping system than that in mono-cropping system. Intercropped pea accumulated less dry matter than mono-cropped pea at the same N level, and the average rate of decrease was 13.7%. Inoculating XC3.1 increased significantly not only the competition of maize to pea, but also the resistance of pea to maize.

Keywords: inoculation; nodule bacteria; pea; maize; nodule; nitrogen