植物营养与肥料学报 2012,18(4):965 -973
Plant Nutrition and Fertilizer Science

# 拉巴豆在不同土壤上的结瘤效应、饲用品质及养分吸收研究

韩玉竹,张淑霞,时安东,杨成旭,黄建国*
(西南大学资源环境学院,重庆 400716;西南大学荣昌校区,重庆 402460)

**摘要:** 选择重庆市4种具有代表性的土壤(灰棕紫泥两种、红棕紫泥和灰岩黄壤各一种),接种促生根瘤菌,研究了拉巴豆的结瘤性能、生长情况、光合速率、营养品质及矿质养分等。结果表明,在微酸性和酸性灰棕紫泥土壤上,拉巴豆的生长、生理、光合、产量和品质显著优于灰岩黄壤和红棕紫泥。在微酸性灰棕紫泥(pH 6.14)和灰岩黄壤(pH 6.45)上,接种根瘤菌能形成根瘤,但在酸性灰棕紫泥(pH 4.09)和碱性红棕紫泥(pH 7.50)上,形成根瘤极少或不形成根瘤,说明土壤酸碱度过高和过低均抑制根瘤形成。接种根瘤菌形成根瘤之后,不同程度地改善了拉巴豆氮、磷营养,提高了其净光合速率,促进了生长,增加了生物量,改善了品质。拉巴豆生物量,氮、磷吸收量,收获后土壤有效氮、磷含量与根瘤重量呈显著正相关,故根瘤重量可反映根瘤活性。此外,在微酸性灰棕紫泥土壤中,拉巴豆的根瘤数量虽然比灰岩黄壤少53.32%,但根瘤体积较大,根瘤重量为灰岩黄壤上的1.66倍,接种效应总体上优于灰岩黄壤。所以,在重庆市的拉巴豆栽培中,选择微酸性和酸性灰棕紫泥,并接种根瘤菌有益于高产优质。

**关键词:** 拉巴豆;土壤;结瘤;饲用品质;养分吸收
**中图分类号:** S551$^{+}$.9.01　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1008-505X(2012)04-0965-09

# Nodulation effects, feeding quality and nutrient absorption of *Dolichos lablab* L. in different soils

HAN Yu-zhu, ZHANG Shu-xia, SHI An-dong, YANG Cheng-xu, HUANG Jian-guo*
(*College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;*
*Rongchang Campus, Southwest University, Chongqing 402460, China*)

**Abstract:** The influence of rhizobia inoculation on nodulation, growth, photosynthesis, nutrient quality and absorption by *Dolichos lablab* L. and as well as soil nutrients were conducted in four typical and representative soils which are widely distributed in Chongqing, two grey brown purple soils with pH 4.06 and 6.14, a red brown purple soil with pH 7.50 and a yellow limestone soil with pH 6.45. The results show that the growth, yield and quality of *D. lablab* in the two grey brown purple soils are better than those in the yellow limestone soil and alkaline red brown purple soil. Rhizobia inoculation could form nodules in the slight acidic grey brown purple soil (pH 6.14) and yellow limestone soil (pH 6.45), could form fewer nodules or no nodules in the acidic grey brown purple soil (pH 4.09) and alkaline red brown purple soil (pH 7.50), which indicates that higher or lower pH values are unfavorable for nodule formation. Nodule formation could improve *D. lablab*' s nitrogen and phosphorus nutrition, net photosynthetic rate, promote the growth, and increase biomass and quality to some extent. Positive correlations are obtained between biomass, nitrogen and phosphorus absorptions, and the soil nitrogen and phosphorus and nodule weight after harvesting, indicating the nodule weight might reflect the nodule activity. The

**收稿日期:** 2011-11-24　　**接受日期:** 2012-04-16
**基金项目:** 国家科技部"973"重点基础研究资助项目(2007CB109304);国家科技支撑计划(2011BAD36B01);中央高校基本科研业务费专项资金(XDJK2011C034);西南大学动物营养重点学科建设基金资助。
**作者简介:** 韩玉竹(1982—),女,山西绛县人,在职博士,讲师,主要从事植物营养、农业微生物和草业科学方面的研究。
E-mail: 63214419@qq.com。　*通讯作者 E-mail: huang99@swu.edu.cn

nodule number in the slight acidic grey brown purple soil is about 53.32% lower than that in the yellow limestone soil, while the size is larger and the nodule weight is 1.66 time to that in the yellow limestone soil, showing the better inoculation. The selections of slight acidic and acidic grey brown purple soils and rhizobia inoculation could increase the yield and improve the quality of *D. lablab* in Chongqing.

**Key words**: *Dolichos lablab* L.; soil; nodulation; feeding quality; nutrient absorption

拉巴豆(*Dolichos lablab* L.)又名扁豆,属于豆科蝶形花亚科菜豆族扁豆属,种子、豆荚、茎、叶含有丰富的蛋白质、脂肪、维生素和矿质元素,是热带和亚热带温暖地区优良高产牧草和蔬菜,也可作为绿肥覆盖和肥沃土壤[1-5]。为了解决集约化养牛饲料短缺的问题,重庆市目前已引进并开始大面积种植拉巴豆。

土壤是植物生长的场所。重庆市地形复杂,在近10亿年的地质发育过程中经历了多个阶段,其间剧烈的褶皱运动和缓慢的升降运动使该地区的成土母质在小范围内具有多样性,进而发育成多种理化及生物学性不同的土壤。不同土壤类型其理化和生物学性质不同,植物的生长、养分吸收及品质也会有大的差异[6-7]。了解拉巴豆适宜种植的土壤对于合理布局和择土种植十分重要。此外,土壤类型不同,根瘤形成和根瘤效应也可能不一样。据报道,根瘤菌对土壤酸碱度非常敏感,在pH 6.5～7.5的土壤中,适宜苜蓿根瘤菌繁殖、生长和形成根瘤[8];根瘤菌对盐比较敏感,在含盐量较高的土壤中根瘤菌数量较少[9]。土壤通气状况良好,有益于根瘤的气体交换,可促进生物固氮。抗生素、重金属、农药对根瘤菌具有毒害作用,抑制根瘤菌生长繁殖和根瘤形成[10],污染土壤可能不宜根瘤菌生存。在长期不种植豆科植物的土壤中,接种相应的根瘤菌有益于形成根瘤,促进豆科植物的生长和提高产量。

目前,有关扁豆根瘤菌的分离鉴定等研究少有报道[11-12],而关于拉巴豆适宜的土壤类型和根瘤菌的接种效应国内未见报道。本试验选择重庆市典型的具有代表性的土壤,接种本研究组自主分离的拉巴豆根瘤菌[*Rhizobium* sp.(lablabi)],研究土壤和根瘤菌对拉巴豆生长和结瘤性能的影响,旨在为拉巴豆的择土种植和高产栽培提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验点的自然概况

盆栽试验在重庆市北碚区西南大学资源与环境学院网室中进行。试验点海拔240.8 m,年平均气温18.3℃,1月平均气温7.4℃,7月平均气温28.7℃,≥5℃的年均日数为356.6 d,积温6659.4℃,年降水量1105.4 mm,蒸发量1181.1 mm,全年平均日照1276.7 h,无霜期335 d。

### 1.2 试验材料

供试拉巴豆品种为润高,购买于成都绿草园种业有限责任公司。用于试验接种的根瘤菌为自主分离筛选的拉巴豆根瘤菌菌株[*Rhizobium* sp.(lablabi)],可在pH 4～11范围内生长。用酵母粉、甘露醇、土壤提取液(土:水=1:100)组成的液体培养基(每升液体培养基含1 g酵母粉、10 g甘露醇、0.5 g $K_2HPO_4$、0.2 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$、0.1 g NaCl、0.1 g $CaCl_2 \cdot 6H_2O$、4 mL RH微量元素液、100 mL土壤提取液、pH 6.8～7.2。RH微量元素液组成为$H_3BO_3$ 5 g、$Na_2MoO_4$ 5 g、d $H_2O$ 1000 mL。下同)培养7 d(28℃),培养基中的IAA分泌浓度164.29 mg/L。取保存的根瘤菌接种于固体培养基上生长72 h(28℃,避光),再接种于液体培养基中,150 r/min振荡,在同样培养条件下培养72 h,制备出液体根瘤菌剂(菌体浓度大于$10^9$个/mL)备用。

### 1.3 供试土壤

供试土壤为紫色正常新成土—溪庙组砂岩和泥岩发育的酸性灰棕紫泥(AG)和微酸性灰棕紫泥(SA)、遂宁组泥岩发育的碱性紫色土(红棕紫泥(AR)、简育干润富铁土[嘉陵江石灰岩发育的灰岩黄壤(YL)]。分别采集20 cm的耕作层,风干后检去杂物及石块,磨碎过4 mm筛,蒸汽灭菌备用。土壤基本理化性质见表1。

### 1.4 试验设计

试验在拉巴豆生长季节进行。选用直径22.5 cm、高16 cm的塑料培养钵,每钵装土3 kg。先用10% $H_2O_2$进行表面消毒种子,洗净,然后拌入5 mL液体根瘤菌剂(+R),以不接种为对照(-R)。每盆播种30粒,出苗一周后间苗,每盆留10株,15 d后再次间苗,每盆留7株。肥料以基肥方式施入,每kg土施N 150 mg,N:$P_2O_5$:$K_2O$=1.5:1:1,氮、磷、钾肥分别用$NH_4NO_3$、$KH_2PO_4 \cdot 2H_2O$、$K_2SO_4$。培养持续3个月,培养期间定期浇水、除草。试验重复6次。

表 1　供试土壤的基本理化性质

Table 1　The physical and chemical properties of soils

| 土壤类型 Soil type | 有机质 Organic matter | 全氮 Total N | 全磷 Total P | 全钾 Total K | 碱解氮 Available N | 有效磷 Available P | 速效钾 Available K | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (g/kg) | | | | (mg/kg) | | | |
| AG | 19.91 | 8.22 | 0.48 | 20.01 | 63.7 | 20.53 | 87 | 4.06 |
| SA | 20.93 | 7.42 | 0.34 | 19.8 | 40.6 | 14.30 | 85 | 6.14 |
| AR | 21.16 | 7.44 | 0.92 | 19.99 | 53.2 | 2.90 | 74 | 7.50 |
| YL | 29.98 | 7.31 | 0.48 | 17.47 | 109.9 | 18.56 | 108 | 6.45 |

注(Note): AG—酸性灰棕紫泥 Acidic grey brown purple soil; SA—微酸性灰棕紫泥 Slight acidic grey brown purple soil; AR—碱性红棕紫泥 Alkaline red brown purple soil; YL—灰岩黄壤 Yellow limestone soil.

### 1.5　测定项目与方法

收获前选择晴朗少云的天气,于上午 10:00～11:00 气孔张开度最大时选择从上而下第三片三出复叶的顶生叶片,用 Li-6400 便携式光合仪(Lincoln,Nebraska,USA)测定净光合速率(Pn)。收获时测定株高度,并记录根瘤数和瘤重(鲜重)。分别收获地上和地下部,105℃杀青后 80℃烘干至恒重,称取生物产量。过 1 mm 筛,用于测定养分含量。

植株样品经 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消化,用蒸馏法测定氮,钼锑抗比色法测磷,火焰光度法测定钾含量,原子吸收分光光度法测定钙含量[13]。范氏法测定饲草中性洗涤纤维含量,索氏提取法测定饲草粗脂肪含量[14]。植物收获后将土壤风干,磨细过筛,按常规方法分析土壤有效氮、磷、钾含量和 pH 值[13]。

试验数据用 EXCEL 和 SPSS11.0 软件进行统计分析和差异显著性检验($P<0.05$)。

## 2　结果与分析

### 2.1　拉巴豆的生长

从图 1 可以看出,不同类型土壤上拉巴豆的平均总生物量以微酸性灰棕紫泥最高,酸性灰棕紫泥次之,灰岩黄壤第三,碱性红棕紫泥最低,依次为 79.99、76.31、47.42、29.15 g/盆。在微酸性灰棕紫泥和灰岩黄壤上,接种根瘤菌显著促进了拉巴豆生长,生物量分别比不接种提高了 30.52%(微酸性灰棕紫泥)和 15.55%(灰岩黄壤)。但是在酸性灰棕紫泥和碱性红棕紫泥上,接种与不接种的拉巴豆生物量无显著差异。此外,拉巴豆株高的变化与生物量相似。

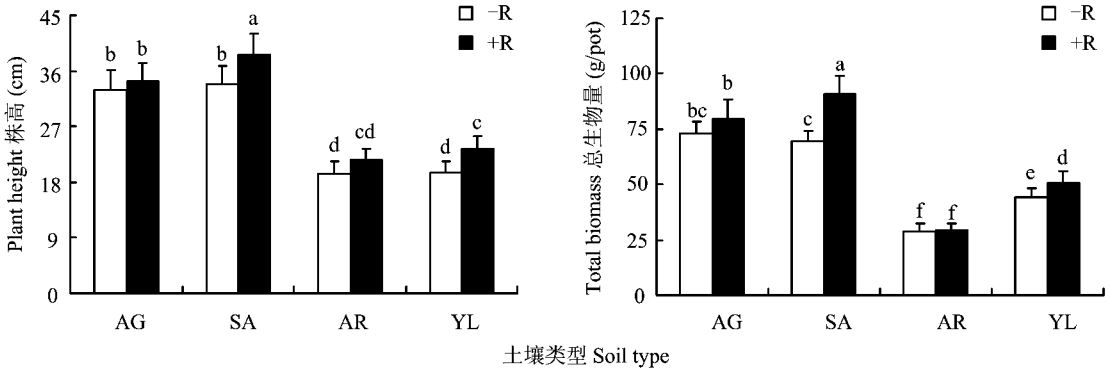


图 1　不同土壤类型上拉巴豆的生长状况

Fig. 1　The growth of *D. lablab* in different soils

[注(Note): AG—酸性灰棕紫泥 Acidic grey brown purple soil; SA—微酸性灰棕紫泥 Slight acidic grey brown purple soil; AR—碱性红棕紫泥 Alkaline red brown purple soil; YL—灰岩黄壤 Yellow limestone soil. -R—不接种 Non-inoculation; +R—接种根瘤菌 Inoculation with rhizobia. 柱上不同字母表示处理间差异显著(LSD 检验,$P<0.05$) Different letters above the bars mean significant difference among treatments (LSD test, $P<0.05$).]

## 2.2 拉巴豆的净光合强度

图2显示,不同类型土壤上拉巴豆的平均净光合速率的大小顺序为微酸性灰棕紫泥>酸性灰棕紫泥>灰岩黄壤>碱性红棕紫泥,依次为14.67、11.16、8.46、7.97 μmol/(m$^2$·s)。在微酸性灰棕紫泥和灰岩黄壤上,接种根瘤菌能显著提高拉巴豆的净光合速率,分别比不接种提高了12.47%(微酸性灰棕紫泥)和8.93%(灰岩黄壤)。但是,在酸性灰棕紫泥和碱性红棕紫泥上,接种与不接种处理拉巴豆的净光合速率无显著差异。

## 2.3 拉巴豆的饲用品质

在灰岩黄壤上,拉巴豆蛋白质含量最高,酸性灰棕紫泥最低,接种与不接种处理的平均值前者比后者高43.06%(表2)。在碱性红棕紫泥上,拉巴豆的粗脂肪含量平均值为6.66%,显著低于其它3个土壤上种植的拉巴豆粗脂肪含量(7.77%~8.40%),在酸性和微酸性灰棕紫泥上,拉巴豆的中性洗涤纤维平均为32.69%和33.99%,显著高于灰岩黄壤和碱性红棕紫泥种植的拉巴豆(25.82和26.74%)。此外,土壤类型对拉巴豆的钙含量无显著影响(表2)。

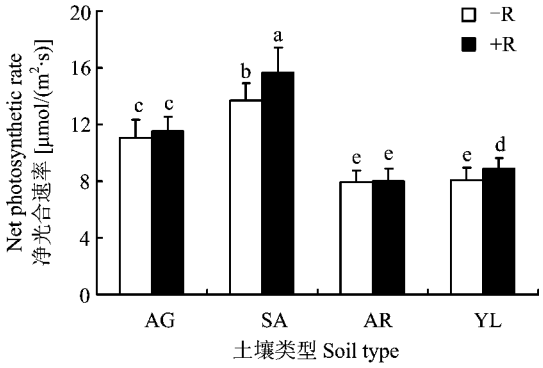


**图2 拉巴豆净光合速率**

**Fig. 2 The net photosynthetic rate of *D. lablab***

[注(Note): AG—酸性灰棕紫泥 Acidic grey brown purple soil; SA—微酸性灰棕紫泥 Slight acidic grey brown purple soil; AR—碱性红棕紫泥 Alkaline red brown purple soil; YL—灰岩黄壤 Yellow limestone soil. -R—不接种 Non-inoculation; +R—接种根瘤菌 Inoculation with rhizobia. 柱上不同字母表示差异显著(LSD检验, $P<0.05$) Different letters above the bars mean significant difference among treatments(LSD test, $P<0.05$).]

**表2 土壤类型及根瘤菌接种对拉巴豆饲用品质的影响**

**Table 2 Effects of soil types and rhizobia inoculation on feeding quality of *D. lablab***

| 土壤类型 Soil type | 接种处理 Inocul. treat. | 含量 Content(%) | | | | 地上部产量 Yield of shoot(mg/pot) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 粗蛋白 CP | 粗脂肪 CF | 中性洗涤纤维 NDF | 钙 Ca | 粗蛋白 CP | 粗脂肪 CF | 中性洗涤纤维 NDF | 钙 Ca |
| AG | -R | 8.06 c | 8.23 a | 31.80 abc | 1.87 a | 810.0 b | 827.1 bc | 3200.9 c | 187.9 bc |
| | +R | 8.94 bc | 8.56 a | 34.12 ab | 2.03 a | 965.5 b | 924.5 b | 3685.0 b | 219.2 b |
| SA | -R | 8.56 c | 7.14 ab | 30.89 abc | 1.75 a | 866.3 b | 722.6 c | 3126.1 c | 177.1 c |
| | +R | 10.31 ab | 8.40 a | 36.49 a | 2.01 a | 1391.0 a | 1133.0 a | 4922.5 a | 271.1 a |
| AR | -R | 9.50 bc | 6.62 b | 25.39 c | 2.08 a | 374.3 e | 260.8 f | 1000.4 f | 82.0 e |
| | +R | 9.43 bc | 6.70 b | 26.25 bc | 2.17 a | 378.2 e | 268.7 f | 1052.6 f | 87.0 e |
| YL | -R | 11.51 ab | 7.96 a | 26.61 bc | 1.96 a | 521.4 d | 360.6 e | 1205.4 e | 88.8 e |
| | +R | 12.81 a | 8.01 a | 26.86 bc | 2.15 a | 705.8 c | 441.3 d | 1479.9 d | 118.4 d |

注(Note): CP—Crude protein; CF—Crude fat; NDF—Neutral detergent fiber. AG—酸性灰棕紫泥 Acidic grey brown purple soil; SA—微酸性灰棕紫泥 Slight acidic grey brown purple soil; AR—碱性红棕紫泥 Alkaline red brown purple soil; YL—灰岩黄壤 Yellow limestone soil. -R—不接种 Non-inoculation; +R—接种根瘤菌 Inoculation with rhizobia. 同列数据后不同小写字母表示处理间差异达5%显著水平(LSD检验)Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level (LSD test).

接种根瘤菌显著提高微酸性灰棕紫泥拉巴豆的蛋白质含量,比不接种提高了20.44%。但接种根瘤菌对其他3种土壤上的拉巴豆蛋白质含量无显著影响;4种类型土壤上各自的接种根瘤菌与不接种处理比较拉巴豆的粗脂肪、中性洗涤纤维和钙含量无显著差异。

在微酸性灰棕紫泥上,拉巴豆粗蛋白、粗脂肪、中性洗涤纤维的产量和钙积累量最高,酸性灰棕紫

泥次之,灰岩黄壤第三,碱性红棕紫泥最低。接种根瘤菌显著提高了微酸性灰棕紫泥和灰岩黄壤拉巴豆粗蛋白、粗脂肪、微酸性洗涤纤维产量和钙的积累量。在微酸性灰棕紫泥上,接种根瘤菌比不接种蛋白质增加了 60.57%,粗脂肪增加 56.79%,中性洗涤纤维增加 57.46%,钙增加 53.08%; 在灰岩黄壤上,接种根瘤菌与不接种比较,蛋白质增加了 35.37%,粗脂肪增加 22.38%,中性洗涤纤维增加 22.77%,钙增加 33.33%。但是,酸性灰棕紫泥和碱性红棕紫泥上,接种根瘤菌对粗蛋白、粗脂肪、中性洗涤纤维的产量和钙积累量无显著影响。

## 2.4　拉巴豆结瘤状况

从拉巴豆结瘤情况看,在酸性灰棕紫泥和碱性红棕紫泥中,接种根瘤菌难于或不能形成根瘤,根瘤数量变化在 0 ~ 3 个/盆之间。但是,在微酸性灰棕紫泥和灰岩黄壤中,接种根瘤菌后拉巴豆可形成根瘤,与灰岩黄壤相比,在微酸性灰棕紫泥上的根瘤数量降低了 53.32%,但根瘤重量是灰岩黄壤上的 1.66 倍(表 3)。因此,接种根瘤菌之后,微酸性灰棕紫泥拉巴豆的根瘤数量少而大; 灰岩黄壤拉巴豆的根瘤多而小(图 3)。

**表 3　不同土壤类型上拉巴豆的结瘤状况**

**Table 3　The rhizobia nodulation of *D. lablab* in different soils**

| 土壤类型 Soil type | 接种处理 Inocul. treat. | 根瘤数 Nodule No. (No./pot) | 根瘤重 Nodule wt. (mg/pot) |
|---|---|---|---|
| AG | -R | 0 | |
| | +R | 3.00 c | 4.50 c |
| SA | -R | 0 | |
| | +R | 87.29 b | 147.41 a |
| AR | -R | 0 | |
| | +R | 0 | |
| YL | -R | 0 | |
| | +R | 187.00 a | 89.01 b |

注(Note): AG—酸性灰棕紫泥 Acidic grey brown purple soil; SA—微酸性灰棕紫泥 Slight acidic grey brown purple soil; AR—碱性红棕紫泥 Alkaline red brown purple soil; YL—灰岩黄壤 Yellow limestone soil. -R—不接种 Non-inoculation; +R—接种根瘤菌 Inoculation rhizobia. 同列数据后不同小写字母表示处理间差异达显著(LSD 检验,$P<0.05$) Values followed by different letters in a column are significant among treatments(LSD test, $P<0.05$).

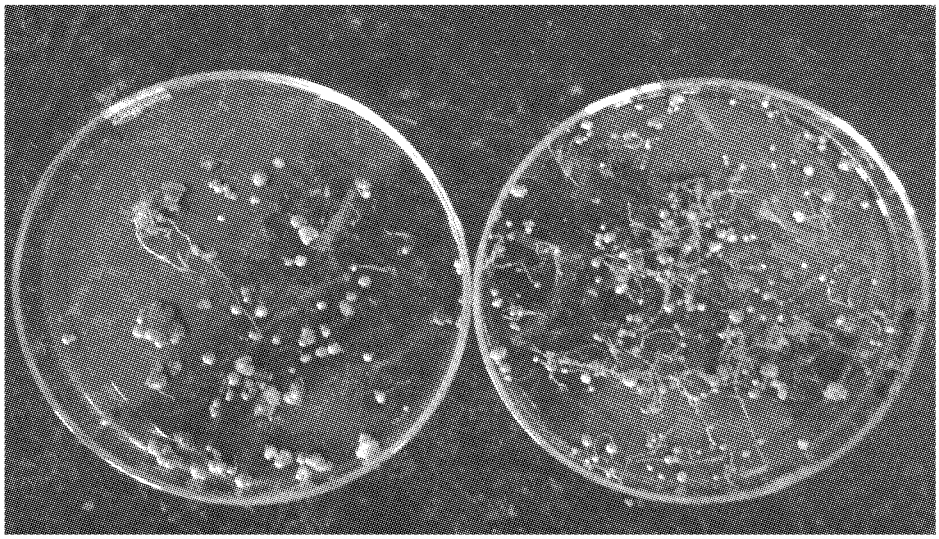

**图 3　拉巴豆在微酸性灰棕紫泥(左)和灰岩黄壤(右)上的结瘤对比**

**Fig.3　The nodule formation of *D. lablab* in the slight acidic grey brown purple soil (left) and yellow limestone soil (right)**

## 2.5　拉巴豆的养分含量

表 4 表明,拉巴豆地上部的养分含量显著高于地下部,地上部氮、磷、钾的平均含量分别比地下部高 13.95%、56.32%、58.93%。在微酸性灰棕紫泥土壤中,接种根瘤菌显著提高了拉巴豆的地上部氮、磷和地下部氮、钾的含量,分别比不接种增加了 20.44%(地上部氮)、43.75%(地上部磷)、34.55%(地下部氮)和 54.55%(地下部钾); 在灰岩黄壤中,接种根瘤菌显著提高拉巴豆地上和地下部含磷量,分别增加了 100%(地上部)和 14.47%

(地下部)。接种根瘤菌对其余土壤上种植的拉巴豆的植株养分含量无显著影响。

在微酸性灰棕紫泥土壤中,接种根瘤菌显著提高拉巴豆的养分吸收量,分别比不接种增加了60.53%(氮)、87.32%(磷)和37.30%(钾);在灰岩黄壤中,接种根瘤菌显著提高拉巴豆氮、磷吸收量,比不接种氮增加了32.62%,磷增加了84.54%。但是,接种根瘤菌对其余土壤上拉巴豆的养分吸收量无显著影响。

### 2.6 拉巴豆收获后土壤有效养分含量

与栽前土壤相比,收获后土壤有效氮、磷、钾含量均有所增加(表5)。在接种根瘤菌的处理中,拉巴豆收后微酸性灰棕紫泥和灰岩黄壤中的有效氮、磷含量显著高于不接种处理,有效氮分别比不接种增加了45.71%(微酸性灰棕紫泥)和65.79%(灰岩黄壤),有效磷分别增加了82.76%(微酸性灰棕紫泥)和34.44%(灰岩黄壤)。但是,接种根瘤菌对收获后酸性灰棕紫泥和碱性红棕紫泥的有效氮、磷含量无显著影响。此外,接种根瘤菌后土壤有效钾含量无显著变化。

### 2.7 结瘤状况与拉巴豆生长、养分吸收和土壤有效养分的关系

统计分析表明,拉巴豆的根瘤重与株高、生物量、净光合速率和氮、磷、钙吸收量,以及收获后土壤有效氮、磷含量呈显著正相关,相关系数依次为0.969*、0.895*、0.898*、0.970*、0.914*、0.865*、0.889*、0.947*($n=18$);但是,根瘤数量与上述因子均无显著相关性(表6)。

**表4 拉巴豆植株养分含量和吸收量**

**Table 4 Nutrient contents and absorption in the seedlings of *D. lablab***

| 土壤类型 Soil type | 接种处理 Inocul. treat. | 养分含量 Nutrient contents (%) | | | | | | 养分吸收量(mg/pot) Nutrient absorption | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 地上部 Shoot | | | 地下部 Root | | | | | |
| | | N | P | K | N | P | K | N | P | K |
| AG | -R | 1.29 c | 0.21 a | 0.71 a | 1.12 c | 0.12 ab | 0.47 ab | 146.9 b | 23.1 bc | 78.64 c |
| | +R | 1.43 bc | 0.22 a | 0.86 a | 1.25 bc | 0.15 a | 0.42 bc | 175.8 b | 25.83 ab | 100.1 ab |
| SA | -R | 1.37 c | 0.16 bc | 0.79 a | 1.10 c | 0.15 a | 0.33 c | 151.5 b | 17.83 c | 83.79 bc |
| | +R | 1.65 ab | 0.23 a | 0.80 a | 1.48 ab | 0.15 a | 0.51 ab | 243.2 a | 33.4 a | 115.0 a |
| AR | -R | 1.52 bc | 0.14 bc | 0.80 a | 1.49 ab | 0.10 bc | 0.46 ab | 68.84 d | 6.03 e | 34.28 d |
| | +R | 1.51 bc | 0.13 c | 0.82 a | 1.41 abc | 0.10 bc | 0.50 ab | 69.68 d | 5.81 e | 36.11 d |
| YL | -R | 1.84 ab | 0.09 d | 0.74 a | 1.52 ab | 0.09 c | 0.62 a | 108.5c | 6.21 f | 43.78 c |
| | +R | 2.05 a | 0.18 ab | 0.71 a | 1.74 a | 0.01 ab | 0.61 a | 143.9 b | 11.46 d | 49.98 c |

注(Note): AG—酸性灰棕紫泥 Acidic grey brown purple soil; SA—微酸性灰棕紫泥 Slight acidic grey brown purple soil; AR—碱性红棕紫泥 Alkaline red brown purple soil; YL—灰岩黄壤 Yellow limestone soil. -R—不接种 Non-inoculation; +R—接种根瘤菌 Inoculation with rhizobia. 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(LSD检验,$P<0.05$) Values followed by different letters in a column are significant among treatments (LSD test, $P<0.05$).

## 3 讨论

目前,拉巴豆广泛种植于重庆市,对于当地畜牧业饲草的供应十分重要。研究表明,在微酸性和酸性灰棕紫泥土壤上生长较好,在灰岩黄壤和碱性红棕紫泥土壤中生长不良,与田间实际情况基本相似,说明拉巴豆适宜种植的土壤为灰棕紫泥土壤。拉巴豆原产于印度、东南亚和非洲的热带和亚热带,当地土壤一般为酸性和微酸性,推测在酸性和微酸性土壤中拉巴豆生长较好可能与它们对酸性土壤环境的长期适应有关。

拉巴豆接种根瘤菌之后,在微酸性灰棕紫泥土壤(pH 6.14)和灰岩黄壤上(pH 6.45)大量结瘤,在酸性灰棕紫泥(pH 4.06)和碱性红棕紫泥(pH 7.50)土壤上不结瘤或基本不结瘤,说明土壤酸碱度过高或过低都会影响根瘤的形成。在pH 4.0~

**表 5　拉巴豆栽前和收获后土壤有效养分含量(mg/kg)**

**Table 5　Contents of available nutrients in soils before planting and after harvesting of *D. lablab***

| 土壤类型 Soil type | 接种处理 Inocul. treat. | 碱解氮 Available N | | | 有效磷 Available P | | | 速效钾 Available K | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 栽前 BP | 收后 AH | 增加量 Increment | 栽前 BP | 收后 AH | 增加量 Increment | 栽前 BP | 收后 AH | 增加量 Increment |
| AG | -R | 63.7 | 187.6 | 60.2 bc | 20.53 | 25.3 | 4.80 d | 87.0 | 158.7 | 71.7 a |
| | +R | | 197.2 | 69.8 b | | 25.8 | 5.35 d | | 155.9 | 68.9 a |
| SA | -R | 40.6 | 82.6 | 42.0 c | 14.30 | 20.1 | 5.80 d | 85.0 | 105.0 | 20.0 d |
| | +R | | 101.8 | 61.2 a | | 24.9 | 10.6 bc | | 110.0 | 25.0 d |
| AR | -R | 53.2 | 79.45 | 26.2 d | 2.89 | 20.2 | 17.3 a | 74.0 | 99.7 | 25.7 c |
| | +R | | 76.82 | 23.6 d | | 18.3 | 15.4 a | | 100.5 | 26.5 c |
| YL | -R | 109.9 | 140.3 | 30.4 d | 18.56 | 28.5 | 9.00 c | 108.0 | 155.5 | 47.5 b |
| | +R | | 160.3 | 50.4 c | | 31.7 | 12.1 b | | 162.1 | 54.1 b |

注(Note): AG—酸性灰棕紫泥 Acidic grey brown purple soil; SA—微酸性灰棕紫泥 Slight acidic grey brown purple soil; AR—碱性红棕紫泥 Alkaline red brown purple soil; YL—灰岩黄壤 Yellow limestone soil. -R—不接种 Non-inoculation; +R—接种根瘤菌 Inoculation with rhizobia. BP—Before planting; AH—After harvesting. 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(LSD 检验, $P<0.05$) Values followed by different letters in a column are significant among treatments(LSD test, $P<0.05$).

**表 6　拉巴豆结瘤性能与拉巴豆生物量、养分吸收及土壤有效养分含量的相关系数**

**Table 6　The correlation coefficients between nodulation characters of *D. lablab* and biomass, nutrient absorption and available nutrient contents in soils**

| 项目 Item | 株高 Plant height | 生物量 Biomass | 净光合速率 Pn | 养分吸收量 Nutrient absorption | | | | 土壤有效养分 Available nutrients in soils | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | N | P | K | Ca | N | P | K |
| 根瘤重 Nodule wt. | 0.969* | 0.895* | 0.898* | 0.970* | 0.914* | 0.55 | 0.865* | 0.889* | 0.947* | 0.711 |
| 根瘤数 Nodule No. | 0.697 | 0.312 | 0.687 | 0.381 | 0.535 | -0.071 | 0.273 | 0.273 | 0.703 | 0.787 |

注(Note): Pn—Net photosynthetic rate; * 表示在 5% 水平上差异显著 Indicates significance at the 5% level.

11.0 的离体培养条件下,供试根瘤菌均可较好地生长繁殖。虽然供试酸性灰棕紫泥(pH 4.06)和碱性红棕紫泥(pH 7.50)的酸碱度也在根瘤菌离体生长繁殖的 pH 范围内,但接种根瘤菌后拉巴豆却不结瘤或结瘤极少,类似 Brockwell 等[8]的研究结果。他们调查了 pH 5.3～8.1 土壤中的苜蓿根瘤菌,发现根瘤菌对土壤 pH 十分敏感,在 pH 7.0 左右时,每克土壤中的根瘤菌数平均为 89000 个; 若 pH 低于 6.0,每克土仅 37 个[8]。在酸性土壤中,除了氢离子之外,还存在大量的铝、锰离子,对根瘤菌有强烈的毒性,影响其生长、繁殖和感染[15]。推测酸性土壤中的铝、锰、氢离子的共同作用可能对根瘤菌产生了更强的毒性。在碱性土壤中,存在钠、氢氧根、氯、硫酸根离子等,同样也会毒害根瘤菌和抑制感染结瘤。此外,在两种结瘤的土壤中,根瘤形态显著不同,相对而言,微酸性灰棕紫泥(pH 6.14)土壤中的根瘤大而少,灰岩黄壤(pH 6.45)中的根瘤多而小,其原因可能与土壤组成、质地等理化性质不同有关。

根据国际通用的饲草评定标准,蛋白质、粗脂肪、中性洗涤纤维、钙含量的高低直接影响饲草营养品质,是衡量饲料质量和营养价值高低的重要指标[16-18]。接种根瘤菌对拉巴豆生长、品质和养分吸收的影响与能否形成根瘤密切相关。在微酸性灰棕紫泥和灰岩黄壤中,接种根瘤菌形成根瘤之后,不同程度地促进了拉巴豆的生长,提高了其净光合速

率,改善了品质和氮、磷吸收量,并提高收获后土壤中的有效氮、磷含量。因此,有理由认为,形成根瘤改善了植物的氮、磷营养,促进了光合作用,进而提高了植株生物量。在种植拉巴豆的实践中,因土接种根瘤菌很有必要,可作为促进拉巴豆的生长和提高产量和品质的有效方法之一。统计分析表明,根瘤重量与拉巴豆株高,生物量和氮、磷、钙、吸收量,以及收获后土壤有效氮、磷含量呈显著正相关关系,说明根瘤重量反映了根瘤的活性。在微酸性灰棕紫泥土壤中,接种根瘤菌改善拉巴豆的生长、品质、养分吸收和土壤有效养分含量的总体效果优于灰岩黄壤,原因可能与根瘤体积和重量较大、活性较强有关。根瘤菌不仅能固氮,而且还能分泌生长激素—生长素,溶解无机磷酸盐[19],这些均可能是接种根瘤菌促进拉巴豆生长的重要原因。此外,有些根瘤菌具有分泌氢离子、甲酸、乙酸、草酸、苹果酸和丁二酸的作用。在分泌的有机酸中,草酸能与钙、镁、铁、铝络合形成草酸钙、草酸镁、草酸亚铁和草酸铝,故草酸可能与 Ca-P、Mg-P、Al-P 和 Fe-P 中的钙、镁、铁、铝发生络合作用而溶解无机磷。氢离子还可直接溶解 Ca-P、Mg-P,提高土壤无机磷的生物有效性,改善植物的磷营养。

总之,土壤类型不同,拉巴豆的生长与产量和品质也不同。在微酸性灰棕紫泥和灰岩黄壤中,根瘤形成不同程度地改善了植物氮、磷营养,促进了光合作用,提高了生物量和品质。根瘤重量可能反映了根瘤活性,与拉巴豆株高,生物量和氮、磷、钙吸收量,以及收获后土壤有效氮、磷含量密切相关。在拉巴豆的栽培过程中,择土种植和因土接种根瘤菌有益于高产优质。

## 参考文献:


[1] 任继周. 草业大辞典[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008. 47-48.
Ren J Z. Pratacultural dictionary[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2008. 47-48.

[2] 陈默君, 贾慎修. 中国饲用植物[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002. 546-548.
Chen M J, Jia S X. Chinese forage crop[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2002. 546-548.

[3] Makembe N E T, Ndlovu L R. Dolichos lablab (*Lablab purpureus* cv. 'Rongai') as supplementary feed to maize stover for indigenous female goats in Zimbabwe[J]. Small Ruminant Res., 1996, 21(6): 31-36.

[4] Kanania J, Lukefahr S D, Stankoa R L. Evaluation of tropical forage legumes (*Medicago sativa*, *Dolichos lablab*, *Leucaena leucocephala* and *Desmanthus bicornutus*) for growing goats[J]. Small Ruminant Res., 2006, 65(9): 1-7.

[5] Naeem M, Masroor M, Khan A *et al*. Phosphorus ameliorates crop productivity, photosynthetic efficiency, nitrogen-fixation, activities of the enzymes and content of nutraceuticals of *Lablab purpureus* L. [J]. Sci. Hort. 2010, 126: 205-214.

[6] 李宗梅, 李秀珍, 常禹, 等. 不同土壤因子对中药牛蒡子品质的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 106-111.
Li Z M, Li X Z, Chang Y *et al*. The influence of different soil factors on the quality of a Chinese medicine, Fructus Arctii[J]. Chin. J. Soil Sci., 2011, 42(1): 106-111.

[7] 韩永芬, 孟军江, 左相兵, 等. 不同土壤不同种植方式普那菊苣的产量分析[J]. 草业科学, 2009, 26(11): 102-105.
Han Y F, Meng J J, Zuo X B *et al*. Study on planting model of *Cichorium intybus* cv. Puna sown in various soil[J]. Pratac. Sci., 2009, 26(11): 102-105.

[8] Brockwell J, Pilka A, Holliday R A. Soil pH is a major determinant of the numbers of naturally occurring *Rhizobium meliloti* in non-cultivated soils in central New South Wales[J]. Austr. J. Exp. Agric., 1991, 31: 211-220.

[9] 黄艳霞, 董荣书, 白昌军, 等. 柱花草根瘤菌的耐酸性与耐盐性[J]. 热带作物学报, 2010, 31(6): 914-919.
Huang Y X, Dong R S, Bai C J *et al*. Acid resistance and salt tolerance of stylosanthes rhizobia strain[J]. Chin. J. Trop. Crops, 2010,31(6): 914-919.

[10] 缪福俊, 熊智, 李素停, 等. 会泽铅锌尾矿区豆科植物根瘤菌耐铅锌性及其生理生化特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(10): 1943-1947.
Miao F J, Xiong Z, Li S T *et al*. Tolerance and physiological response to lead-zinc stress of rhizobia isolated from nodules of leguminous plants in lead-zinc mining tailing of huize, China [J]. J. Agro-Environ. Sci., 2010, 29(10): 1943-1947.

[11] Yue L C, Jing Y W, En T W *et al*. *Bradyrhizobium lablabi* sp. nov., isolated from effective nodules of and *Arachis hypogaea*. [J]. Int. J. Syst. Evol. Microbiol., 2011, 61: 2496-2502.

[12] 常月立. 中国南方地区花生、扁豆根瘤菌的多相分类[D]. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2010.
Chang Y L. Polyphasic systematics of rhizobia isolated from *Arachis hypogaea* and *Lablab purpureus* grown in Southern China [D]. Beijing: Ms. thesis, China Agricultural University, 2010.

[13] 杨剑虹, 王成林, 代亨林. 土壤农化分析与环境监测[M]. 中国大地出版社, 2008. 182-184, 282-290.
Yang J H, Wang C L, Dai H L. Soil agricultural analysis and environmental monitoring[M]. China Earth Press, 2008. 182-184, 282-290.

[14] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009. 62-79.
Zhang L Y. Feed analysis and feed quality testing technology [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2009. 62-79.

[15] 郭彦军, 黄建国. 酸性紫色土上紫花苜蓿的结瘤性能与养分吸收[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(1): 97-103.

Guo Y J, Huang J G. Nutrients absorption and nodulation ability of alfalfas in acid purple soil[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(1): 97-103.

[16] 向东山，郑小江，刘晓鹏，等. 鄂西地区主要牧草营养品质的分析与评价[J]. 湖北农业科学，2008，47(4)：452-453.
Xiang D S, Zheng X J, Liu X P *et al*. Nutritive quality analysis and evaluation of the main forage in the western region of Hubei Province[J]. Hubei Agric. Sci., 2008, 47(4): 452-453.

[17] 于辉，姚江华，刘荣，等. 四个紫花苜蓿品种草产量、营养品质及越冬率的综合评价[J]. 中国草地学报，2010，32(3)：108-111.
Yu H, Yao J H, Liu R *et al*. Comprehensive evaluation on forage yield, nutrition quality and winter surviving rate[J]. Grassl. China, 2010, 32(3): 108-111.

[18] 吴秀兰，唐文武. 东乡野生稻与普通栽培稻中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维等含量的对比研究[J]. 中国农学通报，2009，25(11)：42-43.
Wu X L, Tang W W. Contrast analysis of neutral detergent fiber, acid detergent fiber and acid detergent lignin between Dongxiang wild rice and cultivated rice[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2009, 25(11): 42-43.

[19] 师尚礼. 甘肃寒旱区苜蓿根瘤菌促生能力影响因子分析及高效促生菌株筛选研究[D]. 兰州：甘肃农业大学博士学位论文，2005. 1-3.
Shi S L. The analysis for factors that affect the ability of growth promotion of alfalfa rhizobia in cold and drought regions and screening of high efficient strains [D]. Lanzhou: PhD dissertation, Gansu Agricultural University, 2005. 1-3.