

## 福建省豆科植物根瘤菌资源的初步调查

蚁伟民 周丽霞 丁明懋 曹洪麟 陈炳辉 易志刚

(中国科学院华南植物园, 广东广州 510650)

**摘要:** 对福建省境内(除东北部少数地区外)的 29 个县(市)豆科植物根瘤菌资源进行了调查,共采集到 36 属 63 种豆科植物的根瘤样品 278 份,在豆科栽培作物方面有一定代表性。采集到的根瘤形态多样,大小多在 1-10 mm 之间,以淡黄和淡红色居多。对 32 种 51 份根瘤样品用乙炔还原法进行了固氮酶活性测定,不同种和同一种植物在不同生境下的固氮酶活性均有差异,多数根瘤样品的固氮酶活性在 1-24  $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ g}^{-1} \text{ fresh nodule h}^{-1}$  之间,其中尖叶长柄山蚂蝗 (*Podocarpium podocarpum* var. *oxyphyllum*) 的固氮酶活性相对最高,达 87.29  $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ g}^{-1} \text{ fresh nodule h}^{-1}$ 。从采集到的根瘤中经分离纯化获得了 228 株根瘤菌,其中 155 株根瘤菌进行了原寄主回接试验,有 138 株结瘤,回接成功率为 89.0%。调查结果显示福建省有丰富的豆科固氮及其根瘤菌资源。

**关键词:** 福建省;豆科植物;根瘤菌资源

中图分类号: Q939.114

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395 (2004) 02-0109-08

## An Investigation on Rhizobial Resources of Legumes in Fujian Province

YI Wei-min ZHOU Li-xia DING Ming-mao CAO Hong-lin  
CHEN Bing-hui YI Zhi-gang

(South China Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** Rhizobium resources of legumes were investigated in 29 counties in Fujian Province. Two hundred and seventy-eight nodule samples belonging to 63 legume species in 36 genera were collected. Root nodules are diverse in morphology and light yellow or pink in colors, and the size of root nodules ranging from 1 to 10 mm in the general condition. Nitrogenase activities in nodules measured by acetylene reduction method were 1 to 24  $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ g}^{-1} \text{ fresh nodule h}^{-1}$  for most nodule samples, the highest being 87.29  $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ g}^{-1} \text{ fresh nodule h}^{-1}$  in species *Podocarpium podocarpum* var. *oxyphyllum*. There were 228 rhizobial strains isolated from nodule samples, 155 strains of which were reinoculated to the corresponding host legumes, and 138 strains were nodulated, the nodulation rate being 89.0%.

**Key words:** Fujian Province ; Leguminous plants ; Rhizobia resources

福建省境内群山耸峙,丘陵连绵,河谷盆地众多,地貌复杂,多为山地和丘陵。属亚热带海洋性气候,夏长冬短,气温较高,年均温为 17-22℃,年日照 1 700-2 100 h,无霜期 260-300 d,年降雨量 1 100-2 000 mm,土壤类型较多,主要有红壤、砖红壤化红壤、山地草甸土等。植被组成以被子植物为主,豆科植物是组成福建南亚热带雨林和中亚热带照叶林的重要种类,山蚂蝗属、胡枝子属、葛藤属、鸡血藤

属等是山地灌丛和山地灌草的主要组成成分,大豆等豆类是主要栽培作物<sup>[1]</sup>。豆科植物的共生固氮作用已为人们所共知,且因其良好的固氮肥土效应而越来越被人们所重视<sup>[2,3]</sup>。福建省有着丰富的豆科植物固氮资源<sup>[4]</sup>,但对部分植物的根瘤菌进行过分离和研究<sup>[5-9]</sup>。本文通过较广泛地调查和采集多种植物或同一种植物在不同生境下的根瘤菌,为我国根瘤菌资源研究及其保护和开发利用提供相关的

收稿日期:2003-04-24 接受日期:2003-09-04

基金项目:国家自然科学基金(39730010);中国科学院知识创新工程项目(KZCX 2-407)

科学资料。

## 1 材料和方法

**调查范围和采集时间** 对福建省境内的龙岩、南靖、上杭、武夷山、南平、沙县、三明、连城、宁德、福州、仙游、莆田、永春、厦门、龙海、平和、漳州、长泰、华安、安溪、南安、泉州、惠安、石狮、晋江、同安、漳浦、云霄、诏安等 29 县(市)豆科植物共生固氮资源进行了调查及根瘤菌采集。调查县(市)基本上散布于除东北角以外的福建全省,海拔在 80-800 m 之间,地形地貌以山地丘陵为主,土壤多为红壤或砖红壤化红壤。根据豆科植物的生长情况,选择多数植物根瘤成熟的 7-10 月份进行采集。

**根瘤采集** 挖取新鲜健壮的根瘤,分成 3 份:一份用于固氮酶活性测定,一份就地分离根瘤菌,一份装入内有硅胶的青霉素小瓶中备用。同时编号记录采集时间、地点、生境、根瘤基本特征等,对有疑问的种类采集植物标本以进行分类鉴定。

**固氮酶活性测定** 用乙炔还原法测定<sup>[9]</sup>,测试仪器为惠普 5890 气相色谱仪。

**根瘤菌分离与纯化** 挖取的新鲜健壮根瘤,洗去泥土,用 75%乙醇及 0.1%升汞消毒,无菌水冲洗数次后,将之剖开或根瘤较小时将之压碎,接种于 YMA(酵母汁-甘露醇-琼脂)培养基上,待长

出菌落后进行根瘤菌的分离与纯化<sup>[11]</sup>,经生理生化鉴定后将菌种在 YMA 斜面上于 4-6℃冰箱中保存,并用于回接实验。

**根瘤菌回接** 宿主植物的种子经消毒催芽后,在相应的根瘤菌菌液中浸泡 30-60 min,然后栽植于含灭过菌的蛭石-河沙混合物的小花盆中,在室温(24-32℃)下生长,并添加无氮营养液以维持植株生长时的水分与营养需求。生长 45-60 d 时进行结瘤状况调查及其它相关测定。

## 2 结果和分析

### 2.1 结瘤调查和根瘤特征

福建省豆科植物共生固氮资源调查情况详见表 1。共调查了福建省 29 个县(市)的豆科植物根瘤菌资源,采集到 36 属 63 种豆科植物根瘤样品 278 份,经分离纯化获得 228 株根瘤菌。调查发现,一年生豆科植物根瘤形状较为规则,以圆形居多;多年生的乔木、灌木等植物的根瘤形状则多种多样,有圆形、椭圆形、杆状、姜状、珊瑚状等,大小一般在 1-10 mm 之间,颜色多为淡黄或淡红色。根瘤主要着生在植物的侧根上,或主、侧根上均有。根瘤的生成及其在宿主植物上的着生部位、形状、颜色、大小等基本形态特征因植物本身的遗传特性以及外界生境的不同而存在一定差异<sup>[12-16]</sup>。

表 1 福建省豆科植物共生固氮资源调查情况

Table 1 Symbiotic nitrogen-fixing resource of leguminous plants in Fujian Province

植物 Species	采集地点 Collection site	采集号 Collection No.	海拔 Elevation (m)	根瘤特征 Characteristics of nodules			
				着生部位 * Location	形状 ** Shape	大小 Size (mm)	颜色 *** Color
大叶相思 <i>Acacia auriculiformis</i>	漳浦、云霄	35250, 35268	100-110	LR	C, E	1-8×2-15	LY, LR
台湾相思 <i>A. confuse</i>	福州、南靖、长泰、 华安、安溪、南安、 惠安、泉州、石狮、 晋江、同安、厦门、 龙海、漳浦、诏安	35085, 35125, 35135, 35145, 35158, 35161, 35172, 35178, 35183, 35191, 35206, 35210, 35211, 35224, 35234, 35247, 35275	80-120	LR	G, C, E	1.5-10×2-18	LY, LR
金合欢 <i>A. farnesiana</i>	福州	35086	80	LR	B, G	2×4	LR
马占相思 <i>A. mangium</i>	同安、厦门、云霄	35199, 35220, 35227, 35264	100-120	LR	S, G, B	1.5-3×3-5	Pi, LY, G
黑荆 <i>A. mearnsii</i>	永春	35099	280	LR	B, G	1-4	LR
蛇藤 <i>A. pennata</i>	南平	35052	210	LR	S	1-3	LY
合萌 <i>Aeschynomene indica</i>	武夷山	35038	740	MR, LR	S	1-4	LY
华楸 <i>Albizia chinensis</i>	南平	35049	130	LR	B, G	2-3×4-5	LR
大香藤 <i>A. corniculata</i>	上杭	35023	600	LR	S	1-3	LY
合欢 <i>A. julibrissin</i>	南平	35044	130	LR	G	2×4	P
山合欢 <i>A. kalkora</i>	武夷山	35039	740	LR	G	2×4	LY
白格 <i>A. procera</i>	南平	35040	130	LR	G	3×4-6	P

续表 1 (Continued Table 1)

植物 Species	采集地点 Collection site	采集号 Collection No.	海拔 Elevation (m)	根瘤特征 Characteristics of nodules			
				着生部位 * Location	形状 ** Shape	大小 Size (mm)	颜色 *** Color
花生 <i>Arachis hypogaea</i>	永春、平和、漳州、 安溪、南安、惠安、 晋江、同安、厦门、 云霄、诏安	35093, 35114, 35130, 35150, 35160, 35170, 35198, 35200, 35219, 35232, 35257, 35276	80-370	MR, LR	S	1-4	LY, Pi, DR
猴耳环 <i>Archidendron clypearia</i>	南靖	35009		LR	S	1-3	LR
亮叶猴耳环 <i>A. lucidum</i>	龙岩	35001	350	LR	S	1-3	Pi
虫豆 <i>Atylosia mollis</i>	仙游	35089	100	LR	S	1-3	LY
云实 <i>Caesalpinia decapetala</i>	上杭	35022	600	LR	C	2x4	LY
木豆 <i>Cajanus cajan</i>	连城	35071	200	LR	S	1-2	P
刀豆 <i>Canavalia gladiata</i>	永春、南安、石狮、 晋江、同安	35100, 35167, 35188, 35196, 35207	80-280	LR	S, G	3-8	P, LY
含羞草决明 <i>Cassia mimosoides</i>	龙岩	35002	350	LR	S, B	1-4	LR
猪屎豆 <i>Crotalaria pallida</i>	龙岩、仙游、平和、 南靖、漳州、长泰、 华安、安溪	35005, 35088, 35117, 35123, 35132, 35134, 35146, 35155	100-400	LR	S, B, G, C	1-3x2-5	G, LY, LR
大托叶猪屎豆 <i>C. spectabilis</i>	漳浦、云霄、沙县	35251, 35261, 35064	100-450	MR, LR	S, E, C	1-2	LY, LR
藤黄檀 <i>Dalbergia hancei</i>	南平、沙县、三明	35054, 35056, 35067	210-460	MR, LR	S	1-2	LY
降香黄檀 <i>D. odorifera</i>	厦门	35102	100	LR	S	1-2	LY
小槐花 <i>Desmodium caudatum</i>	龙岩、沙县、永春	35007, 35057, 35095	280-460	LR	S	1-4	LY
大叶山蚂蝗 <i>D. gangeticum</i>	龙海	35106	100	LR	S	1-3	LY
假地豆 <i>D. heterocarpum</i>	三明、宁德	35066, 35080	200-800	MR, LR	S	1-3	LY
异叶山绿豆 <i>D. heterophyllum</i>	龙海	35109	100	LR	S	1-3	LY
刺桐 <i>Erythrina variegata</i> var. <i>orientalis</i>	南平、福州	35051, 35084	80-130	LR	S	1-2	LY
格木 <i>Erythrophleum fordii</i>	南平	35050	130	LR	B	2-3x6-8	DR
皂荚 <i>Gleditsia sinensis</i>	南平	35047	210	LR	G	1x4	P
大豆 <i>Glycine max</i>	上杭、武夷山、连城、 平和、南靖、长泰、 华安、安溪、南安、 惠安、晋江、同安、 厦门、龙海、漳浦、 云霄、诏安	35017, 35030, 35070, 35118, 35124, 35139, 35149, 35157, 35164, 35171, 35197, 35202, 35226, 35230, 35235, 23248, 35267, 35277	80-740	MR, LR	S, E, G	1-5x3-7	LY, Y, Pi
鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i>	上杭、沙县、连城、 莆田	35025, 35059, 35074, 35091	200-600	LR	S	1-2	LY
扁豆 <i>Lablab purpureus</i>	南平、平和、漳州、 长泰、惠安、晋江、 同安、厦门、漳浦、 诏安、云霄	35048, 35116, 35131, 35141, 35175, 35194, 35208, 35215, 35221, 35254, 35258, 35271	80-370	LR	G, S	1-5x2-8	G, LY, LR, RB
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	龙海	35110	100	LR	S	1-3	LY
中华胡枝子 <i>L. chinensis</i>	龙岩	35006	350	LR	S	1-3	LY
铁扫帚 <i>L. cuneata</i>	南平	35053	210	LR	S	1-2	LY
美丽胡枝子 <i>L. formosa</i>	武夷山、宁德	35028, 35078	740-800	LR	S	1-2	LY
新银合欢 <i>Leucaena leucocephala</i>	福州、永春、厦门、 平和、南靖、长泰、 安溪、南安、惠安、 石狮、晋江、同安、 龙海、漳浦	35082, 35094, 35103, 35119, 35122, 35143, 35159, 35162, 35174, 35184, 34193, 35204, 35213, 35223, 35241, 35249	80-280	LR	S, E, B, G	0.5-3x1-6	LR, Pi, LY, G
天蓝苜蓿 <i>Medicago lupulina</i>	厦门	35104	100	LR	S, B	1-2	Pi
山鸡血藤 <i>Millettia dielsiana</i>	上杭、武夷山、沙县、 三明、宁德	35020, 35031, 35061, 35068, 35076	200-800	MR, LR	S, B, G	1-5	LR, DR
亮叶崖豆藤 <i>M. nitida</i>	武夷山	35037	740	LR	B	1-5	LR

续表 1 (Continued Table 1)

植物 Species	采集地点 Collection site	采集号 Collection No.	海拔 Elevation (m)	根瘤特征 Characteristics of nodules			
				着生部位 * Location	形状 ** Shape	大小 Size (mm)	颜色 *** Color
鸡血藤 <i>M. reticulata</i>	上杭, 三明, 永春、 厦门	35014, 35069, 35096, 30101	100-600	LR	S, B, G, C	1-3	LY, LR, DR
无刺含羞草 <i>Mimosa invisa</i> var. <i>inermis</i>	长泰	35136	100	LR	E	2×5	Pi
勒仔树 <i>M. sepiaria</i>	南靖、平和、漳州、 长泰、安溪、泉州、 石狮、晋江、同安、 厦门、龙海、漳浦、 云霄、诏安	35010, 35115, 35128, 35138, 35156, 35168, 35187, 35195, 35203, 35216, 35229, 35237, 35243, 35255, 35270	80-370	LR	S, B, G, C	1-6	LR, LY, G
白花油麻藤 <i>Mucuna birdwoodiana</i>	南靖	35011		LR	S	1-2	LY
狗爪豆 <i>M. pruriens</i>	连城	35072	200	MR, LR	S, G	1-4	D
花榈木 <i>Ormosia henryi</i>	南平、宁德、福州、 永春	35042, 35077, 35087, 35097	80-800	LR	S, B, G	2×6	LR
海南红豆 <i>O. pinnata</i>	福州	35083	80	LR	B, G	2×7	LR
豆薯 <i>Pachyrhizus erosua</i>	沙县	35060	460	MR, LR	S	1-2	LY
菜豆 <i>Phaseolus vulgaris</i>	上杭	35018	600	LR	S	1-3	LR
毛排钱草 <i>Phyllodium elegans</i>	龙岩	35004	350	LR	S	2-5	LY
尖叶长柄山蚂蝗 <i>Podocarpium</i> <i>podocarpum</i> var. <i>oxyphyllum</i>	南靖、上杭、武夷山、 三明	35012, 35013, 35036, 35065	200-740	LR	S	1-2	LY
野葛 <i>Pueraria lobata</i>	上杭、沙县	35015, 35063	460-600	LR	S, C	2-5	LY
粉葛 <i>Pueraria lobata</i> var. <i>thomsonii</i>	上杭、莆田、龙海	35024, 35092, 35105	100-600	LR	S, G	2-8	LY
鹿藿 <i>Rhynchosia volubilis</i>	龙岩	35003	350	LR	S	1-2	LY
田菁 <i>Sesbania cannabina</i>	南靖、漳州、长泰、 惠安、泉州、石狮、 晋江、同安、厦门、 龙海、漳浦、云霄	35126, 35127, 35137, 35173, 35179, 35182, 35190, 35209, 35214, 35225, 35233, 35245, 35266	80-120	LR	S, E, G	1-4×2-6	LY, LR, G, Pi
胡芦茶 <i>Tadehagi triquetrum</i>	龙岩、仙游、龙海	35008, 35090, 35108, 35112	100-350	LR	S	1-4	LR
贼小豆 <i>Vigna minima</i>	武夷山	35032	740	LR	S	1-2	LY
绿豆 <i>V. rabiata</i>	安溪、南安、云霄、 诏安	35153, 35166, 35263, 35278	100-600	LR	S, E, G	1-5	LY, Pi
豇豆 <i>V. unguiculata</i> subsp. <i>sesquipedalis</i>	平和、南靖、漳州、 长泰、南安、石狮、 晋江、同安、厦门、 龙海、漳浦、云霄、 诏安、上杭	35113, 35121, 35129, 35140, 35165, 35186, 35192, 35205, 35218, 35222, 35239, 35252, 35256, 35272, 35016	80-370	MR, LR	S	1-6	G, Pi, Y
眉豆 <i>V. unguiculata</i> subsp. <i>cylindrica</i>	安溪	35154	280	LR	S	2-4	Pi
紫藤 <i>Wisteria sinensis</i>	武夷山	35029	740	LR	S, B	1-5	LR

\* LR: 侧根 Lateral root; MR: 主根 Main root; \*\* S: 圆形 Spherical; E: 椭圆形 Elliptical; B: 杆状 Bacillar; G: 姜状 Ginger-shaped; C: 珊瑚状 Coralloid; \*\*\* LY: 淡黄色 Light yellow; Y: 黄色 Yellow; LR: 淡红色 Light red; Pi: 粉红色 Pink; RB: 红褐色 Reddish-brown; DR: 深红色 Dark red; G: 青绿色 Green; D: 黑色 Dark; P: 灰白色 Pale.

此次采集到了豇豆 (豆角 *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*)、饭豆 (眉豆 *Vigna unguiculata* subsp. *cylindrica*)、菜豆 (*Phaseolus vulgaris*)、绿豆 (*Vigna rabiata*)、豆薯 (*Pachyrhizus erosua*)、狗爪豆 (*Mucuna pruriens*)、大豆 (*Glycine max*)、扁豆

(*Lablab purpureus*)、刀豆 (*Canavalia gladiata*)、花生 (*Arachis hypogaea*) 等 10 余种栽培豆科作物的根瘤, 蚕豆 (*Vicia faba*)、豌豆 (*Pisum sativum*)、赤豆 (*Phaseolus angularis*)、香豌豆 (*Lathyrus odoratus*)、蝴蝶花豆 (*Clitoria ternatea*)、小刀豆

(*Canavalia cathartica*)、紫云英 (*Astragalus sinicus*) 和四棱豆 (*Psophocarpus tetragonolobus*) 等栽培作物, 因受采集时间及范围限制未能见到<sup>[17]</sup>; 野生种以及某些乔木、灌木豆科植物由于种类多且分散, 时间又较短, 未能作较深入系统的调查研究。其中贼小豆 (*Vigna minima*) 以前未见有结瘤固氮的报道<sup>[3, 18-27]</sup>。

## 2.2 根瘤的固氮酶活性

采自 22 个县 (市) 的 23 属 32 种豆科植物的 51 份根瘤样品的固氮酶活性见表 2。94.1% 的根瘤有固氮酶活性, 个别样品因根瘤量不足而未测到活性。同一地区采集的不同植物以及不同地区采集的同一植物的根瘤, 其固氮酶活性均有差异。固氮酶活性较高的是采自上杭的尖叶长柄山蚂蝗, 其次为武夷山的贼小豆, 分别为 87.29 和 47.02  $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{g}^{-1} \text{fresh nodule h}^{-1}$ 。58.3% 的根瘤固氮酶活性在 1-10  $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{g}^{-1} \text{fresh nodule h}^{-1}$  之间, 33.3% 在 10-24  $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{g}^{-1} \text{fresh nodule h}^{-1}$

之间, 高于 24  $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{g}^{-1} \text{fresh nodule h}^{-1}$  与低于 1  $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{g}^{-1} \text{fresh nodule h}^{-1}$  的仅各占 4.2%, 这表明多数根瘤的固氮酶活性居于 1-24  $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{g}^{-1} \text{fresh nodule h}^{-1}$  之间, 高于河西走廊和河北等地区的研究结果<sup>[28, 29]</sup>, 这可能与福建省地处南亚热带边缘, 热量与雨量充裕, 植物生长旺盛有关。影响根瘤固氮酶活性及其固氮作用的因素较多, 除宿主植物和固氮菌本身的遗传因素外, 还与生态环境因素的影响密切相关。豆科植物根瘤在年积温较高、雨量充沛、植物生长茂盛的地域生长较好且具有较高的固氮酶活性<sup>[3, 12-14, 30, 31]</sup>。

## 2.3 根瘤菌回接情况

利用分离得到的 155 株根瘤菌进行回接实验, 有 138 株使原宿主植物结瘤, 回接结瘤率为 89.0% (表 3)。其中栽培豆科作物回接结瘤率为 96.9%, 多年生豆科植物回接结瘤率稍低, 为 84.4%。回接结瘤的菌株证明是有效根瘤菌, 可用作根瘤菌分类研究的原始菌株。

表 2 福建省部分豆科植物根瘤固氮酶活性  
Table 2 Nitrogenase activity ( $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{g}^{-1} \text{fresh nodule h}^{-1}$ ) of legume nodules in Fujian Province

采集编号 Collection No.	植物 Species	采集地点 Collection site	海拔 Elevation (m)	生育期* Growth period	固氮酶活性 Nitrogenase activity
35086	金合欢 <i>Acacia farnesiana</i>	福州国家森林公园	80	FS	2.604
35038	合萌 <i>Aeschynomene indica</i>	武夷山自然保护区	740	S	13.377
35049	华榿 <i>Albizia chinensis</i>	南平市来舟试验林场	130	G	4.411
35044	合欢 <i>A. julibrissin</i>	南平市来舟试验林场	130	FS	9.303
35040	白格 <i>A. procera</i>	南平市来舟试验林场	130	G	7.712
35093	花生 <i>Arachis hypogaea</i>	永春县碧卿林场	280	S	18.250
35071	木豆 <i>Cajanus cajan</i>	连城县文亨乡	200	FS	1.409
35100	刀豆 <i>Canavalia gladiata</i>	永春县碧卿林场	280	G	6.447
35005	猪屎豆 <i>Crotalaria pallida</i>	龙岩市天马山	350	F	/
35102	降香黄檀 <i>Dalbergia odorifera</i>	厦门市植物园	100	S	7.351
35067	藤黄檀 <i>D. hancei</i>	三明市格氏栲保护区	200	G	1.277
35054	藤黄檀 <i>D. hancei</i>	南平市茫荡山	210	G	15.969
35095	小槐花 <i>Desmodium caudatum</i>	永春县碧卿林场	280	G	/
35051	刺桐 <i>Erithrina variegata</i>	南平市来舟试验林场	80	G	23.378
35047	皂角 <i>Gleditsia sinensis</i>	南平市来舟试验林场	130	S	7.735
35171	大豆 <i>Glycine max</i>	惠安县洛阳镇	100	S	0.413
35118	大豆 <i>G. max</i>	平和县小溪镇	130	G	1.708
35124	大豆 <i>G. max</i>	南靖县山城镇	120	G	1.708
35248	大豆 <i>G. max</i>	漳浦县长桥镇	100	S	2.494
35164	大豆 <i>G. max</i>	南安县仑苍镇	100	S	2.718
35139	大豆 <i>G. max</i>	长泰县古龙农场	100	S	4.425
35149	大豆 <i>G. max</i>	华安县浦南镇	120	S	4.425
35202	大豆 <i>G. max</i>	同安县马巷镇	120	S	4.586
35267	大豆 <i>G. max</i>	云霄县常山镇	110	S	4.586
35157	大豆 <i>G. max</i>	安溪县城	120	S	9.494
35070	大豆 <i>G. max</i>	连城县文亨乡	200	FS	11.601
35197	大豆 <i>G. max</i>	晋江县磁灶镇	80	G	12.707
35030	大豆 <i>G. max</i>	武夷山自然保护区	740	S	18.516

续表 2 (Continued Table 2)

采集编号 Collection No.	植物 Species	采集地点 Collection site	海拔 Elevation (m)	生育期 * Growth period	固氮酶活性 Nitrogenase Activity
35017	大豆 <i>G. max</i>	上杭县梅花山	600	S	20.768
35025	鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i>	上杭县梅花山	600	FS	5.768
35048	扁豆 <i>Lablab purpureus</i>	南平市来舟试验林场	130	FS	13.542
35006	中华胡枝子 <i>Lespedeza chinensis</i>	龙岩市天马山	350	F	12.036
35053	铁扫帚 <i>L. cuneata</i>	南平市茫荡山	210	F	4.249
35028	美丽胡枝子 <i>L. formosa</i>	武夷山自然保护区	740	F	1.683
35082	新银合欢 <i>Leucaena leucocephala</i>	福州国家森林公园	80	G	13.217
35031	山鸡血藤 <i>Millettia dielsiana</i>	武夷山自然保护区	740	G	3.860
35020	山鸡血藤 <i>M. dielsiana</i>	上杭县梅花山	600	FS	10.052
35076	山鸡血藤 <i>M. dielsiana</i>	宁德县支提寺	800	G	15.813
35014	鸡血藤 <i>M. reticulata</i>	上杭县梅花山	600	FS	10.512
35011	白花油麻藤 <i>Mucuna birdwoodiana</i>	南靖县和溪自然保护区		G	2.084
35072	狗爪豆 <i>M. pruriens</i>	连城县文亨乡	200	FS	2.342
35042	花榈木 <i>Ormosia henryi</i>	南平市来舟试验林场	130	G	8.414
35077	花榈木 <i>O. henryi</i>	宁德县支提寺	800	G	10.468
35060	豆薯 <i>Pachyrhizus erosua</i>	沙县萝卜岩自然保护区	460	G	1.849
35065	尖叶长柄山蚂蝗 <i>Podocarpium podocarpum</i> var. <i>oxyphyllum</i>	三明市格氏栲保护区	200	FS	2.104
35036	尖叶长柄山蚂蝗 <i>P. podocarpum</i> var. <i>oxyphyllum</i>	武夷山自然保护区	740	G	23.373
35013	尖叶长柄山蚂蝗 <i>P. podocarpum</i> var. <i>oxyphyllum</i>	上杭县梅花山	600	FS	87.294
35032	贼小豆 <i>Vigna minima</i>	武夷山自然保护区	740	FS	47.017
35016	豇豆 <i>V. unguiculata</i> subsp. <i>sesquipedalis</i>	上杭县梅花山	100	S	/
35256	豇豆 <i>V. unguiculata</i> subsp. <i>sesquipedalis</i>	云霄县火田镇	140	S	0.581
35029	紫藤 <i>Wisteria sinensis</i>	武夷山自然保护区	740	G	3.665

\* G: 生长期 Growing stage; F: 开花期 Flowering stage; S: 结实期 Seed formation stage; FS: 开花结实期 Flowering and seeding formation stage.

表 3 豆科植物根瘤菌回接结瘤情况

Table 3 Nodulation of leguminous plants reinoculated with rhizobium strains

宿主植物 Host plants	回接根瘤菌株 Rhizobial strains for reinoculation	
	结瘤菌株 Nodulated	未结瘤菌株 Not nodulated
大叶相思 <i>Acacia auriculiformis</i>	35250, 35268	
台湾相思 <i>A. confuse</i>	35085, 35125, 35135, 35145, 35158, 35161, 35172, 35178, 35183, 35191, 35206, 35210, 35211, 35224, 35234, 35247	
金合欢 <i>A. farnesiana</i>		35086
马占相思 <i>A. mangium</i>	35199, 35220, 35227	
黑荆 <i>A. mearnsii</i>		35099
合萌 <i>Aeschynomene indica</i>	35038	
花生 <i>Arachis hypogaea</i>	35093, 35114, 35130, 35150, 35160, 35198, 35200, 35219, 35232	
猴耳环 <i>Archidendron clypearia</i>		35009
刀豆 <i>Canavalia gladiata</i>	35100, 35167, 35196, 35207	35188
猪屎豆 <i>Crotalaria pallida</i>	35005, 35088, 35117, 35123, 35132, 35134, 35146, 35155	
小槐花 <i>Desmodium caudatum</i>	35095	35007, 35057
大叶山蚂蝗 <i>D. gangeticum</i>	35106	
大豆 <i>Glycine max</i>	35017, 35030, 35070, 35118, 35124, 35139, 35149, 35157, 35164, 35171, 35197, 35202, 35226, 35230, 35235, 35248, 35267	
鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i>		35025, 35059, 35074, 35091
扁豆 <i>Lablab purpureus</i>	35048, 35116, 35131, 35141, 35175, 35194, 35208, 35215, 35221, 35254, 35258, 35271	
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>		35110
中华胡枝子 <i>L. chinensis</i>		35006
新银合欢 <i>Leucaena leucocephala</i>	35082, 35094, 35103, 35119, 35122, 35143, 35162, 35174, 35184, 35193, 35204, 35213, 35223, 35241, 35249	35159
天蓝苜蓿 <i>Medicago lupulina</i>		35104
无刺含羞草 <i>Mimosa invisa</i> var. <i>inermis</i>	35136	
勒仔树 <i>M. sepiaria</i>	35010, 35115, 35128, 35138, 35156, 35168, 35187, 35195, 35203, 35216, 35229, 35237, 35243, 35255	35270
狗爪豆 <i>Mucuna pruriens</i>	35072	

续表 3 (Continued Table 3)

宿主植物 Host plants	回接根瘤菌株 Rhizobial strains for reinoculation	
	结瘤菌株 Nodulated	未结瘤菌株 Not nodulated
豆薯 <i>Pachyrhizus erosua</i>		35060
鹿藿 <i>Rhynchosia volubilis</i>	35003	
田菁 <i>Sesbania cannabina</i>	35126, 35127, 35137, 35173, 35179, 35190, 35209, 35214, 35225, 35233, 35245, 35266	35182
葫芦茶 <i>Tadehagi triquetrum</i>	35008	
绿豆 <i>Vigna radiata</i>	35153, 35166, 35263, 35278	
眉豆 <i>V. unguiculata</i> subsp. <i>cylindrica</i>	35154	
豇豆 <i>V. unguiculata</i> subsp. <i>sesquipedalis</i>	35113, 35121, 35129, 35140, 35165, 35186, 35192, 35205, 35218, 35222, 35239, 35252, 35256, 35272	

### 3 小结

本研究的调查地域较广,除福建东北部少部分地区外,遍及福建全省。栽培的豆科作物,除冬种种类如蚕豆、豌豆等外,均采集到了根瘤,因此调查结果在栽培豆科作物方面有一定代表性;野生种及有些木本豆科植物由于种类多且分布广泛,加之调查时间有限而未能作较深入系统的调查研究。在采集到根瘤的 36 属 63 种豆科植物中,尚未见到有关贼小豆结瘤固氮的报道<sup>[3, 18-27]</sup>,且其固氮酶活性较高,在已测定固氮酶活性的 32 种根瘤中,其酶活性仅次于尖叶长柄山蚂蝗。

据《福建植物志》记载,福建省的豆科植物有 79 属 212 种 5 变种 9 亚种<sup>[17]</sup>,其中结瘤的有 68 属 161 种(变种),占总数的 71.2%,未发现根瘤的有 9 属 19 种,占总数的 8.4%,还有 23 属 46 种(变种、亚种)未进行过结瘤调查,可见福建省有较丰富的豆科植物共生固氮资源,对这一资源加以保护和合理地开发利用,对持续发展生产具有重要意义。

**致谢** 本课题得到了梁晓东、周联选、邓云飞、张征及本园标本馆有关人员的支持和帮助,特此致谢。

### 参考文献

- [1] Lin P(林鹏). Fujian Vegetations [M]. Fuzhou: Fujian Science & Technology Press, 1990. 7-13. (in Chinese).
- [2] Vincent J M. Nitrogen Fixation in Legumes [M]. Sydney: Academic Press Australia, 1982. 1-284.
- [3] Allen O N, Allen E K. The Leguminosae: A Source Book of Characteristics, Uses and Nodulation [M]. Wisconsin: The University of Wisconsin Press, 1981. 1-704.
- [4] Huang W N(黄维南), Cai K Q(蔡克强), Wu Y D(吴以德), et al. Investigation on symbiotic N-fixation resources in Fujian [J]. Subtrop Plant Res Commun (亚热带植物通讯), 1983, (2):15-23. (in Chinese)
- [5] Cai L X(蔡龙祥), Lan G(蓝谷), Huang W N(黄维南). Isolation and reinoculation of *Leucaena leucosphala* and *Acacia glauca* rhizobium [J]. Subtrop Plant Res Commun (亚热带植物通讯), 1985, (2):4-10. (in Chinese)
- [6] Lan G(蓝谷), Cai L X(蔡龙祥), Huang W N(黄维南). Isolation and characterization of rhizobium from *Psophocarpus tetragonolobus* [J]. Subtrop Plant Res Commun (亚热带植物通讯), 1990, (2):17-21. (in Chinese)
- [7] Cai L X(蔡龙祥), Lan G(蓝谷), Huang W N(黄维南). Isolation and characterization of rhizobial strains from *Sesbania* [J]. J Fujian Acad Agri Sci (福建省农科院学报), 1994, 9 (1):31-35. (in Chinese)
- [8] Liu H Z(刘鸿洲), Zou X L(邹小鲁), Huang W N(黄维南). Diversity of plasmid profiles of rhizobia isolated from eight tropical and subtropical legumes [J]. Subtrop Plant Res Commun (亚热带植物通讯), 1995, 24 (2):1-5. (in Chinese)
- [9] Huang W N(黄维南), Lan G(蓝谷), Cai L X(蔡龙祥), et al. Isolation and characteristics of rhizobial strains from nodules of *Albizia falcataria* (L.) Fosberg [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 1998, 6 (3):216-220. (in Chinese)
- [10] Laboratory of Nitrogen Fixation of Shanghai Institute of Plant Physiology, Chinese Academy of Sciences (中国科学院上海植物生理研究所固氮室). A simplified procedure for the determination of acetylene reduction by nitrogen fixing system [J]. Acta Bot Sin (植物学报), 1974, (4):382-384. (in Chinese)
- [11] Vincent J M. A Manual for the Practical Study of Root-nodule Bacteria. IBP Handbook No. 15 [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1970. 3-6
- [12] Liao L Y(廖兰玉), Ding M M(丁明懋), Yi W M(蚁伟民), et al. The research on N<sub>2</sub>ase activity of the nodule of *Acacia auriculaeformis* in different ecological conditions [A]. In: Tropical and Subtropical Forest Ecosystem Vol. 2 [M]. Guangzhou: Popular Science Press Guangzhou Branch, 1984. 152-156. (in Chinese)
- [13] Ding M M, Yi W M, Liao L Y. A survey of the N<sub>2</sub>ase activities of tree legumes, including *Tamarindus indica*, a species not widely known to nodulate, in artificial forests in Dianbai, Guangdong, China [J]. Nitr Fix Tree Res Rep, 1986, (4):9-10.
- [14] Ding M M, Yi W M, Liao L Y. Survey of nodulation and

- nitrogenase activity of legume trees in the forest of Dinghushan Biosphere Reserve [J]. *Nitr Fix Tree Res Rep*, 1993, (11):4-5.
- [15] Wang W W (王卫卫), Guan G L (关桂兰), Guo P X (郭沛新), et al. Studies on the characteristics related to symbiotic nitrogen fixation of legumes in Shapotou Region [J]. *Aris Zone Res (干旱区研究)*, 1994, 11(4):13-18. (in Chinese)
- [16] Han S F (韩素芬), Chen J R (陈景荣), Xie W J (谢文娟). Experiment on the inoculation test between rhizobia from woody legumes and four leguminous species [J]. *For Res (林业科学研究)*, 1997, (6):610-615. (in Chinese)
- [17] Fujian Science & Technology Committee (福建省科学技术委员会). *Flora of Fujianica, Tomus 3 (Spermatophyta)* [M]. Fuzhou: Fujian Science & Technology Press, 1987. 1-157. (in Chinese)
- [18] Halliday J. Register of nodulation reports for leguminous trees and other arboreal genera with nitrogen fixing members [J]. *Nitr Fix Tree Res Rep*, 1984, (2):38-45.
- [19] Brewbaker J L, Willers K B, Macklin B. Nitrogen fixing trees: Validation and prioritization [J]. *Nitr Fix Tree Res Rep*, 1990, (8): 8-16.
- [20] Han S F, Zhou X Q. Register of nodulation reports for leguminous trees and shrubs in China [J]. *Nitr Fix Tree Res Rep*, 1990, (8): 54-61.
- [21] Han S F, Zhou X Q. Studies on symbiotic systems of nodule bacteria and tree legumes [J]. *Nitr Fix Tree Res Rep*, 1991, (9): 35-39.
- [22] Ducousso M, Colonna J P, Thoen D. Occurrence of nodulation among woody legumes in Senegal [J]. *Nitr Fix Tree Res Rep*, 1991, (9):53-55.
- [23] Ding M M (丁明懋), He D Q (何道泉), Yi W M (蚁伟民), et al. A survey on the nitrogen fixing legume resources in the Dinghushan natural forests [J]. *Chin Biodiv (生物多样性)*, 1993, 1(1):2-8. (in Chinese)
- [24] Wang Q Q (王卫卫), Guan G L (关桂兰), Guo P X (郭沛新), et al. Investigations on the symbiotic nitrogen-fixing resource of legumes in Tianshui, Gansu [J]. *Aris Zone Res (干旱区研究)*, 1995, 12(1):7-10. (in Chinese)
- [25] Tan Z Y (谭志远), Zhu M E (朱铭羲), He X L (贺学礼), et al. Investigation of rhizobium of leguminous plants in Shanxi province and some areas of Gansu province and Ningxia autonomous region [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin (西北植物学报)*, 1996, 15(2):189-196. (in Chinese)
- [26] Huang W N (黄维南), Huang Z H (黄志宏). Survey on nodulation of leguminous trees and shrubs in China [J]. *Subtrop Plant Sci (亚热带植物科学)*, 2001, 30(1):36-45. (in Chinese)
- [27] Huang W N (黄维南), Huang Z H (黄志宏). Survey on nodulation of leguminous trees and shrubs in China [J]. *Subtrop Plant Sci (亚热带植物科学)*, 2001, 30(2):46-55. (in Chinese)
- [28] Wang W W (王卫卫), Guan G L (关桂兰), Kong A Q (孔爱琴), et al. Studies on the characteristics related to symbiotic nitrogen fixation of legumes in Hexi corridor, Gansu [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin (西北植物学报)*, 1997, 17(4):450-457. (in Chinese)
- [29] Wang S Y (王素英), Li X S (李新锁), Chen W X (陈文新), et al. Investigation of rhizobia resources in Hebei province [J]. *J Tianjin Norm Univ (Nat Sci) (天津师范大学学报自然科学版)*, 2000, 20(3):33-36. (in Chinese)
- [30] Ding M M (丁明懋), Yi W M (蚁伟民), Liao L Y (廖兰玉). Effects on nodulation and nitrogen fixation of *Acacia mangium* by fertilization [J]. *Nitr Fix Tree Res Rep*, 1989, (7):55-56.
- [31] Ding M M (丁明懋), Yi W M (蚁伟民), Liao L Y (廖兰玉). The quantities of nitrogen fixation by *Acacia auriculiformis* and *Acacia mangium* [J]. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, 1991, 11(3): 289-290. (in Chinese)