广东省豆科植物结瘤固氮及根瘤菌资源的初步研究

周丽霞 蚁伟民 丁明懋 陈炳辉 曹洪麟 易志刚

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要: 于2000~2001年在广东省境内54个县(市、区)进行了豆科植物结瘤固氮资源的调查及根瘤菌的采集工作。共采集到豆科植物根瘤样品484份,隶属于37属78种;根瘤的形状以圆形、椭圆形、珊瑚状和姜状居多,大小一般在1~10 mm之间,颜色多为淡红色或黄色。用乙炔还原法对24种93份根瘤样品进行了固氮酶活性测定,结果表明,大多数样品的固氮酶活性在1~10 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间。从采集到的根瘤中分离纯化出410株根瘤菌,对其中312株进行了回接试验,回接成功率为93.3%。调查发现广东省现有栽培豆科作物种类与《广州植物志》的记载相似,所以本研究在豆科栽培作物方面有一定的代表性。在调查采集到根瘤的豆科植物中,三尖叶猪屎豆(*Crotalaria micans*)、毛排钱草(*Phyllodium elegans*)、细长柄山蚂蝗(*Podorcarpium leptopus*)等在本研究之前未见到有结瘤固氮的报道。

关键词: 根瘤菌资源, 豆科作物, 固氮酶活性

中图分类号: Q938

文献标识码: A

文章编号: 1005-0094(2003)04-0309-13

Nodulation and the rhizobial resources of legumes in Guangdong Province: a preliminary study

ZHOU Li-Xia, YI Wei-Min, DING Ming-Mao, CHEN Bing-Hui, CAO Hong-Lin, YI Zhi-Gang
South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650

Abstract: The nodulation and nitrogen-fixing resources of legumes from 54 counties (or towns) of Guangdong Province were investigated, and the corresponding rhizobia were isolated and collected. The investigation on nodulation and rhizobial collection for leguminous crops was representative of Guangdong because a widespread area was investigated within the province (from 110°54' to 117°11'E and from 21°04' to 24°52'N). However, the investigation for wild leguminous plants was not complete due to their scattered distribution in the field and the restricted time. In total, 484 nodule samples were collected, belonging to 78 species and 37 genera, of which those of *Crotalaria micans*, *Phyllodium elegans* and *Podorcarpium leptopus* have not been previously reported. All of the nodule samples were collected from the natural nodulation legumes without inoculation with rhizobia, and two-thirds of the nodulated legumes originated from or are distributed in China, such as *Albizia turgida*, *Archidendron* (*Pithecellobium*) *clypearia*, *Erythrophleum fordii*, *Ormosia glaberrima*, *Desmodium reticulatum*, *Phyllodium elegans*, *Podorcarpium leptopus*, *Millettia dielsiana*, *Mucuna birdwoodiana*, and *Kummerowia striata*. The species *Mimosa sepium*, *Crotalaria pallida*, *Sesbania cannabina*, *Acacia confusa*, *Acacia auriculiformis* (all perennial legumes), *Glycine max*, *Arachis hypogaea*, *Vigna radiata*, *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*, and *Vigna unguiculata* subsp. *cylindrica* (all annual leguminous crops) were widely distributed in Guangdong Province. Their nodules were round, ellipse or coralloid in shape and pink or yellow in color, with sizes ranging from 1 to 10 mm in length. The nitrogenase activity of 24 species was determined using acetylene reduction method, and it ranged from 1 to 10 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$. High nitrogenase activities were found among leguminous crops in the nodule sample of *Glycine soja* (21.29 ~

46.76 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$) and among wild legumes in *Codariocalyx gyroides* (38.93 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$) of wild legumes. Among the 410 rhizobial strains isolated from the nodule samples, 58.4% colonies appeared within seven days and 41.6% after the 8th day. Of the 312 strains reinoculated to their corresponding host legumes, the nodulation rate was 96.3% for the leguminous crops and 86.9% for the wild legumes. Our investigation showed that all the 20 species of leguminous crops which had been recorded in the *Flora of Guangzhou* were nodulation and nitrogen-fixing.

Key words: rhizobial resource, leguminous crops, nitrogenase activity

豆科是被子植物中的大科,在全世界有 700 多属近 2 万种,我国约有 150 属 1500 多种(中国科学院植物研究所,1955)。在这 2 万多种豆科植物中,进行过结瘤调查的尚不足 5%(Allen & Allen, 1981)。众所周知,生物固氮在农林业生产中有重要作用,而在各类生物固氮体系中,与豆科植物共生的根瘤菌的固氮量约占一半(Hamdi, 1982; 周湘泉, 韩素芬, 1989; 李庆远, 1989)。豆科植物根瘤菌的共生固氮作用不仅可以为豆科植物本身提供氮素,而且在土壤改良和可持续发展生产等方面也发挥了不可低估的作用(Allen & Allen, 1981)因而开展固氮资源的调查与相关研究已引起了人们的极大兴趣(Vincent, 1982)。

广东省是华南地区的重要省份,北回归线横贯全省,大部分地区为亚热带季风气候,夏长冬暖、雨量充沛、干湿季节明显,热带、亚热带植物资源丰富,其中豆科植物占有重要地位(广东省植物研究所, 1976)。省内虽有一些地区进行过豆科植物固氮资源调查(Ding *et al.*, 1986; 丁明懋等, 1993; Ding *et al.*, 1993),但范围极为有限。因此,对广东省豆科植物共生固氮资源作进一步的调查研究,对其保护及开发利用有重要意义。

豆科植物根瘤菌资源的分离和采集,是为根瘤菌分类研究提供原始菌株的工作,在此之前广东省境内也从未开展过。由于本研究需要进行根瘤菌回接实验,以获得供根瘤菌分类研究用的原始菌株,而栽培种比野生种更易于取得种子用于回接实验,故在调查采集过程中侧重了对栽培豆科作物的调查。

1 调查范围

对广东省境内 110°54' ~ 117°11' E, 21°04' ~ 24°52' N 之间的电白、阳江、阳春、阳东、阳西、云安、郁南、封开、德庆、云浮、罗定、怀集、广宁、高要、阳山、肇庆、四会、清远、清新、花都、广州、中山、鹤山、

新会、开平、珠海、从化、东莞、增城、博罗、东源、河源、连平、惠州、惠东、和平、海丰、惠阳、龙川、五华、陆丰、兴宁、揭西、普宁、梅县、梅州、惠来、蕉岭、潮州、大埔、澄海、饶平、揭东、揭阳等 54 个县(市、区)的豆科植物共生固氮资源状况进行了调查。调查区域内地貌类型复杂多样,山地、丘陵、台地、平原交错,土壤类型较多,其中以赤红壤和红壤分布较广。气候条件属亚热带季风气候,年均温 16.5 ~ 23℃, 年均日照 1569 ~ 2217.7 小时,年均降雨 1260 ~ 2382.8 mm,无霜期 248 ~ 362 天(广东省农业区划委员会, 1988; 广东省土壤普查办公室, 1993)。根据广东豆科作物生长的物候情况,在 2000 年与 2001 年的 7 ~ 10 月份,对上述地区栽培或野生的豆科植物结瘤固氮情况进行了调查,并对根瘤菌进行了分离和采集。

2 材料与方法

2.1 根瘤采集

在豆科植物适当繁育期挖取根瘤,选取新鲜健壮根瘤分成 3 份:一份用于测定固氮酶活性,一份用于根瘤菌分离,一份装入内有硅胶的青霉素小瓶中备用。并按采集顺序进行编号,记录采集时间、地点、生境、根瘤形状、颜色、大小等数据,对有疑问的植物同时采集植物标本,以便进行分类鉴定。

2.2 固氮酶活性测定

根瘤固氮酶活性的测定采用乙炔还原法,单位为 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$ (中国科学院上海植物生理研究所固氮室, 1974),测试仪器为惠普 5890 气相色谱仪。

2.3 根瘤菌的分离与纯化

采用 Vincent (1970) 所述方法分离纯化根瘤菌,经革兰氏染色、镜检呈阴性的菌落接种于 YMA 斜面保存并进行回接实验。

2.4 根瘤菌回接

表 1 广东豆科植物结瘤及根瘤特征
Table 1 Nodulation and nodule characteristics of leguminous plants in Guangdong Province

植物名称 Species	采集地点 Collection site	采集号 Collection number	海拔 Elevation (m)	根瘤特征 Characteristics of nodules			
				着生部位 Position	形状 Shape	大小 Size (mm)	颜色 Color
* 毛相思子 <i>Abrus mollis</i>	云安,肇庆,珠海	51069, 51090, 51110	50 ~ 390	主、侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄色
大叶相思 <i>Acacia auriculiformis</i>	鹤山,四会,东莞,博罗, 河源,东源,龙川,梅县, 澄海,潮安,潮州,普宁, 惠来,陆丰,海丰,惠东	51074, 51163, 51234, , 51265, 51273, 51280, , 51300, 51346, 51373, , 51381, 51388, 51417, , 51422, 51439, 51444, , 51454	30 ~ 400	侧根	圆 至 椭 圆, 杆 状,姜状	0.5 ~ 5; (1 ~ 3) × (2 ~ 6)	浅黄,棕 红, 淡 红,青绿 色
卷荚相思 <i>Acacia cincinata</i>	东莞	51237	60	侧根	圆形	2	浅红色
* 台湾相思 <i>Acacia confusa</i>	河源,东源,龙川,五华, 兴宁,梅县,大埔,饶平, 澄海,潮安,揭阳,普宁, 陆丰,海丰,惠东,惠阳	51275, 51289, 51302, , 51311, 51324, 51345, , 51348, 51368, 51374, , 51382, 51406, 51416, , 51438, 51445, 51465, , 51475	80 ~ 440	侧根	圆 或 椭 圆, 姜 状,珊瑚 状	1 ~ 3; (1 ~ 4) × (3 ~ 10)	黄色,淡 红 或 粉 红色
厚荚相思 <i>Acacia crassicarpa</i>	东莞	51235	60	侧根	圆形	2	浅红色
绢毛相思 <i>Acacia holosericea</i>	鹤山	51076	60	侧根	圆形	2	浅黄色
马占相思 <i>Acacia mangium</i>	鹤山,东莞,增城,博罗, 梅县,澄海,潮州,普宁, 惠来,海丰,惠东,惠阳, 惠州	51075, 51236, 51251, , 51264, 51344, 51372, , 51389, 51419, 51426, , 51448, 51453, 51471, , 51483	60 ~ 330	侧根	圆 或 椭 圆, 杆 状,姜状	1 ~ 2; (1 ~ 6) × (3 ~ 15)	浅红,粉 红,黄色 或 淡 黄 色
黑荆 <i>Acacia mearnsii</i>	电白	51070	20	侧根	圆 形 或 杆状	1 ~ 4	淡黄色
黑木相思 <i>Acacia melanoxylon</i>	东莞	51233	60	侧根	姜状	10 × 10	棕红色
南洋楹 <i>Albizia falcata</i>	鹤山,增城	51077, 51253	60	侧根	珊瑚状	(2 ~ 3) × (4 ~ 5)	淡红色
* 山合欢 <i>Albizia kalkora</i>	电白	51071	20	侧根	圆形	1 ~ 2	浅红色
* 黑格 <i>Albizia odoratissima</i>	鹤山	51078	60	侧根	姜状	5 × 9	浅红色
* 白格 <i>Albizia procera</i>	鹤山	51079	60	侧根	姜状	4 × 8	浅红色
* 鼎湖合欢 <i>Albizia turgida</i>	肇庆	51085	150	侧根	圆 形 或 姜状	2 × 2	浅红色
** 花生 <i>Arachis hypogaea</i>	和平,高要,云浮,新兴, 云安,罗定,郁南,德庆, 肇庆,四会,清新,清远, 花都,阳东,阳江,阳西, 阳春,开平,新会,广州, 博罗,河源,东源,龙川, 五华,兴宁,梅县,梅州, 大埔,饶平,陆丰,海丰, 惠东,惠阳	51010, 51115, 51119, , 51123, 51130, 51139, , 51146, 51148, 51153, , 51156, 51164, 51169, , 51173, 51178, 51186, , 51194, 51200, 51213, , 51221, 51228, 51257, , 51268, 51282, 51299, , 51313, 51321, 51330, , 51338, 51351, 51362, , 51434, 51449, 51463, , 51467	20 ~ 600	主、侧根	圆形	1 ~ 6	浅 黄 或 浅红,青 绿色
* 猴耳环 <i>Archidendron (Pithecel- lobium) clypearia</i>	封开,电白,肇庆,珠海	51043, 51073, 51083, , 51104	20 ~ 200	主、侧根	圆 或 椭 圆形,杆 状	1 ~ 3	浅红色

表 1 (续) Table 1 (continued)

植物名称 Species	采集地点 Collection site	采集号 Collection number	海拔 Elevation (m)	根瘤特征 Characteristics of nodules			
				着生部位 Position	形状 Shape	大小 Size (mm)	颜色 Color
* 亮叶猴耳环 <i>Archidendron lucidum</i>	东莞	51238	60	侧根	圆形	1	浅黄色
** 刀豆 <i>Canavalia gladiata</i>	大埔	51358	220	侧根	圆形	2 ~ 3	黄色
* 短叶决明 <i>Cassia leschenaultiana</i>	怀集 , 郁南	51035 , 51054	180 ~ 500	主、侧根	杆状	1	浅红色
* 圆叶舞草 <i>Codariocalyx gyroides</i>	云安	51064	250	主、侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄色
* 舞草 <i>Codariocalyx motorius</i>	郁南	51055	180	主、侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄色
* 响铃豆 <i>Crotalaria albida</i>	怀集	51036	500	主、侧根	姜状	1 ~ 2	灰白色
小叶猪屎豆 <i>Crotalaria nana</i>	揭阳	51408	70	侧根	珊瑚状	5 ~ 10	粉红色
三尖叶猪屎豆 <i>Crotalaria micans</i>	龙川 , 潮州 , 揭阳 , 惠来	51298 , 51394 , 51407 , 51424	70 ~ 400	主、侧根	圆 或 椭圆形 , 姜状 , 珊瑚状	1 ~ 4 ; (1 ~ 3) × (2 ~ 5)	粉红 , 淡红 , 淡黄色
猪屎豆 <i>Crotalaria pallida</i>	阳春 , 增城 , 河源 , 东源 , 五华 , 兴宁 , 梅县 , 梅州 , 饶平 , 澄海 , 潮安 , 潮州 , 揭东 , 陆丰 , 海丰 , 惠东 , 惠阳 , 惠州	51210 , 51241 , 51270 , 51281 , 51304 , 51319 , 51328 , 51336 , 51369 , 51371 , 51383 , 51393 , 51396 , 51432 , 51442 , 51458 , 51470 , 51479	40 ~ 440	侧根	圆 形 或 椭圆 , 姜状 , 珊瑚状	1 ~ 3 ; (2 ~ 8) × (3 ~ 12)	淡红 , 粉红 , 黄色 , 青绿色
* 两粤黄檀 <i>Dalbergia benthami</i>	珠海	51106	200	侧根	圆形	1 ~ 3	浅黄色
* 海南黄檀 <i>Dalbergia hainanensis</i>	鹤山	51080	60	侧根	圆形	1 ~ 2	黄色
* 藤黄檀 <i>Dalbergia hancei</i>	和平 , 怀集 , 广宁 , 珠海	51014 , 51028 , 51046 , 51101	150 ~ 800	主、侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄色
* 斜叶黄檀 <i>Dalbergia pinnata</i>	肇庆	51098	150	侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄色
* 小槐花 <i>Desmodium caudatum</i>	龙川 , 和平 , 广宁 , 云安	51004 , 51017 , 51048 , 51067	250 ~ 600	主、侧根	圆形	1 ~ 4	浅黄 , 浅棕色
* 大叶山绿豆 <i>Desmodium gangeticum</i>	肇庆	21093	150	侧根	圆形	1 ~ 3	浅黄色
* 假地豆 <i>Desmodium heterocarpum</i>	连平 , 怀集 , 珠海 , 中山 , 阳江 , 兴宁 , 普宁 , 惠阳 , 惠州	51021 , 51045 , 51103 , 51113 , 51187 , 51317 , 51410 , 51473 , 51481	40 ~ 400	主、侧根	圆形	1 ~ 3	浅黄 或 黄色 , 浅红 或 红色
* 异叶山绿豆 <i>Desmodium heterophyllum</i>	珠海 , 阳西	51100 , 51197	40 ~ 150	主、侧根	扁 圆 或 圆形	2 ~ 3	浅红 , 浅黄色
* 显脉山绿豆 <i>Desmodium reticulatum</i>	肇庆	51088	150	侧根	圆形	0.5 ~ 1	浅黄色
* 格木 <i>Erythrophleum fordii</i>	鹤山 , 肇庆	51081 , 51097	60 ~ 150	侧根	姜状 , 椭圆形	4 × 10	淡褐色
* 大叶千斤拔 <i>Flemingia macrophylla</i>	龙川 , 郁南 , 云安	51005 , 51057 , 51066	180 ~ 400	主、侧根	圆形	1 ~ 1.5	浅黄色
* 干花豆 <i>Fordia cauliflora</i>	珠海	51108	70	侧根	圆 或 杆状	2 × 4	浅黄色

表 1 (续) Table 1 (continued)

植物名称 Species	采集地点 Collection site	采集号 Collection number	海拔 Elevation (m)	根瘤特征 Characteristics of nodules			
				着生部位 Position	形状 Shape	大小 Size (mm)	颜色 Color
* , ** 大豆 <i>Glycine max</i>	龙川 , 和平 , 新兴 , 罗定 , 郁南 , 清新 , 花都 , 阳春 , 开平 , 广州 , 博罗 , 河源 , 龙川 , 五华 , 梅县 , 梅州 , 大埔 , 饶平 , 潮安 , 揭东 , 普宁 , 惠来 , 陆丰 , 海丰 , 惠州	51002 51011 51124 , 51132 51140 51165 , 51174 51206 51217 , 51229 51256 51269 , 51293 51307 51331 , 51337 51353 51361 , 51387 51398 51415 , 51428 51430 51452 , 51476	30 ~ 600	主、侧根	圆 或 近 圆形 , 椭圆形 , 姜 状	1 ~ 5 ; (3 ~ 4) × (5 ~ 8)	浅黄 , 淡 红 或 粉 红 , 青 绿 色
* , ** 乌豆 <i>Glycine soja</i>	云浮 , 新兴 , 罗定 , 德庆 , 肇庆 , 开平	51121 51127 51137 , 51149 51150 51151 , 51215	30 ~ 60	侧根	圆形	1 ~ 5	浅黄色
* 庭藤 <i>Indigofera decora</i>	龙川	51009	400	侧根	椭圆	1	浅红色
* 鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i>	龙川 , 和平 , 连平 , 从化 , 封开 , 郁南 , 云安 , 阳东	51001 51018 51023 , 51026 51041 51050 , 51059 51182	30 ~ 800	主、侧根	圆形	0.5 ~ 2	浅黄色
** 扁豆 <i>Lablab purpureus</i>	云浮 , 博罗 , 河源 , 东源 , 五华 , 梅县 , 大埔 , 饶平 , 潮安 , 陆丰	51120 51255 51278 , 51283 51310 51343 , 51356 51363 51385 , 51429 51016	30 ~ 440	侧根	圆 或 椭 圆形	1 ~ 8	淡黄 , 淡 红 或 粉 红 , 青 绿 色
* 胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	和平	51016	600	主、侧根	圆形	2 ~ 3	浅黄色
* 铁扫帚 <i>Lespedeza cuneata</i>	连平 , 怀集 , 云安	51022 51038 51068	250 ~ 500	主、侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄色
* 美丽胡枝子 <i>Lespedeza formosa</i>	怀集	51032	800	主、侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄色
新银合欢 <i>Leucaena leucocephala</i>	四会 , 河源 , 东源 , 龙川 , 五华 , 兴宁 , 梅县 , 梅州 , 大埔 , 饶平 , 澄海 , 普宁 , 惠东 , 惠阳	51162 51276 51287 , 51303 51308 51325 , 51326 51341 51352 , 51364 51370 51413 , 51455 51468	30 ~ 440	侧根	圆形 , 椭圆形 , 杆 状 , 姜 状 , 珊瑚 状	1 ~ 4 ; (1 ~ 3) × (2 ~ 6)	粉 红 或 红 色 , 黄 色 或 黄 褐色
* 山鸡血藤 <i>Millettia dielsiana</i>	龙川 , 和平 , 连平 , 从化 , 怀集 , 封开 , 广宁 , 肇庆	51008 51013 51020 , 51027 51029 51040 , 51047 51087	150 ~ 800	主、侧根	长 或 椭 圆形	1 ~ 4	浅红色
* 鸡血藤 <i>Millettia reticulata</i>	肇庆	51092	150	侧根	长 或 椭 圆形	1 ~ 2	浅红色
无刺含羞草 <i>Mimosa invisa</i> var. <i>inermis</i>	陆丰	51437	100	侧根	椭圆形	2 × 5	青绿色
巴西含羞草 <i>Mimosa invisa</i>	龙川	51006	400	侧根	椭圆形	1	浅红色
含羞草 <i>Mimosa pudica</i>	阳东 , 阳江 , 阳春 , 新兴 , 新会 , 广州 , 梅县 , 梅州 , 大埔 , 潮安 , 揭东 , 揭阳 , 陆丰 , 海丰 , 惠东 , 惠阳 , 惠州	51184 51191 51209 , 51211 51219 51231 , 51334 51342 51355 , 51380 51397 51402 , 51436 51441 51457 , 51466 51477	30 ~ 300	侧根	圆 或 椭 圆形 , 姜 状 , 珊瑚 状	1 ~ 3 ; (1 ~ 5) × (2 ~ 7)	浅红 , 浅 黄 , 青 绿 或 黄 绿 色
勒仔树 <i>Mimosa sepiaria</i>	连平 , 郁南 , 珠海 , 四会 , 阳东 , 阳江 , 阳西 , 阳春 , 新兴 , 开平 , 广州 , 增城 , 博罗 , 东源 , 龙川 , 五华 , 兴宁 , 梅县 , 梅州 , 大埔 , 饶平 , 澄海 , 潮安 , 潮州 , 揭东 , 揭阳 , 普宁 , 惠来 , 陆丰 , 海丰 , 惠东 , 惠州	51025 51053 51107 , 51161 51181 51189 , 51196 51207 51212 , 21214 21226 21242 , 21258 51286 51296 , 51312 51322 51329 , 51340 51350 51360 , 21375 51384 51391 , 51400 51409 51418 , 51421 51433 51450 , 51460 51484	30 ~ 440	主、侧根	圆 或 椭 圆形 , 姜 状 , 珊瑚 状	1 ~ 5 ; (1 ~ 3) × (2 ~ 10)	浅红 , 淡 黄 , 青 色 或 青 绿 , 褐色 , 黄 褐色

表 1 (续) Table 1 (continued)

植物名称 Species	采集地点 Collection site	采集号 Collection number	海拔 Elevation (m)	根瘤特征 Characteristics of nodules			
				着生部位 Position	形状 Shape	大小 Size (mm)	颜色 Color
* 白花油麻藤 <i>Mucuna birdwoodiana</i>	肇庆	51096	150	侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄色
** 狗爪豆 <i>Mucuna pruriens</i>	郁南 , 龙川	51145 , 51297	40 ~ 400	侧根	椭圆形	1 × 2	黄色
* 光叶红豆 <i>Ormosia glaberrima</i>	肇庆	51086	150	侧根	杆状	2 × 5	淡红色
* 茸荚红豆 <i>Ormosia pachycarpa</i>	封开	51039	400	主根	椭圆形	1 × 2	浅红色
* 海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i>	广州	51099	30	侧根	杆 状 或 分叉	7 × 11	浅红色
* 软荚红豆 <i>Ormosia semicastrata</i>	肇庆	51084	150	侧根	杆状	2 × 3	粉红色
** 豆薯 <i>Pachyrhizus erosus</i>	云浮	51118	30	侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄色
** 棉豆 <i>Phaseolus lunatus</i>	珠海	51111	50	主、侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄色
** 菜豆 <i>Phaseolus vulgaris</i>	阳春 , 广州	51202 , 51225	30 ~ 40	侧根	圆形	2 ~ 5	淡 黄 或 浅红色
* 毛排钱草 <i>Phyllodium elegans</i>	郁南 , 云安 , 阳东	51056 , 51065 , 51183	30 ~ 250	主、侧根	圆形	1 ~ 5	浅 黄 或 浅红色
* 长柄山蚂蝗 <i>Podocarpium podocarpum</i>	怀集	51031	800	侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄
* 细长柄山蚂蝗 <i>Podorcarpium leptopus</i>	连平 , 和平 , 怀集	51024 , 51015 , 51034	300 ~ 600	主、侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄色
** 四棱豆 <i>Psophocarpus tetragonolobus</i>	阳春 , 广州	51203 , 51227	30 ~ 40	侧根	圆 或 近 圆形	3 ~ 6	淡黄色
* 紫檀 <i>Pterocarpus indicus</i>	中山	51112	60	侧根	圆形	1 ~ 3	浅黄色
* 野葛 <i>Pueraria lobata</i>	增城 , 河源 , 怀集 , 阳江 , 阳西 , 新会 , 博罗 , 东源	51245 , 51279 , 51030 , 51188 , 51199 , 51223 , 51261 , 51284	60 ~ 300	侧根	圆 形 或 扁圆 , 姜 状	2 ~ 5 ; 5 × 12	淡 黄 或 黄色 , 淡 红色
* , ** 粉葛 <i>Pueraria lobata</i> var. <i>thomsonii</i>	珠海 , 云浮 , 罗定 , 郁南 , 清新 , 增城	51109 , 51122 , 51138 , 51141 , 51167 , 51244	30 ~ 800	主、侧根	圆 或 扁 圆 , 杆 状 , 姜 状 , 珊瑚 状	2 ~ 8 ; 3 × 7	淡 黄 或 淡红色
* 鹿藿 <i>Rhynchosia volubilis</i>	郁南 , 云安	51052 , 51061	180 ~ 250	主、侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄色
* , ** 田菁 <i>Sesbania cannabina</i>	阳春 , 广州 , 增城 , 河源 , 五华 , 兴宁 , 梅县 , 梅州 , 饶平 , 澄海 , 揭东 , 揭阳 , 普宁 , 惠来 , 海丰 , 惠东 , 惠阳 , 惠州	51205 , 51232 , 51248 , 51277 , 51314 , 51323 , 50333 , 51335 , 51367 , 51378 , 51399 , 51404 , 51414 , 51425 , 51447 , 51461 , 51474 , 51482	30 ~ 300	主、侧根	圆形 , 椭 圆形	2 ~ 5	浅黄 , 浅 红 , 深 红 , 少有 青绿色
* 葫芦茶 <i>Tadehagi triquetrum</i>	龙川 , 广宁 , 郁南 , 云安 , 珠海 , 阳江 , 阳西 , 阳春	51007 , 51049 , 51051 , 51060 , 51105 , 51193 , 51198 , 51208	40 ~ 400	主、侧根	圆 或 扁 圆形	1 ~ 4	浅黄 , 浅 红色
* 猫尾豆 <i>Uraria crinita</i>	珠海	51102	150	侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄色
* 贼小豆 <i>Vigna minima</i>	怀集	51044	400	侧根	圆形	1 ~ 2	浅黄色

表 1 (续) Table 1 (continued)

植物名称 Species	采集地点 Collection site	采集号 Collection number	海拔 Elevation (m)	根瘤特征 Characteristics of nodules			
				着生部位 Position	形状 Shape	大小 Size (mm)	颜色 Color
** 绿豆 <i>Vigna rabiata</i>	云浮 ,罗定 ,肇庆 ,四会 , 清远 ,花都 ,阳东 ,阳春 , 增城 ,博罗 ,河源 ,东源 , 龙川 ,五华 ,大埔 ,澄海 , 陆丰 ,惠州	51117 51133 51155 , 51159 51172 51177 , 51185 51204 51252 , 51263 51274 51291 , 51294 51305 51357 , 51379 51431 51478	30 ~ 440	侧根	圆 或 椭 圆形	1 ~ 6	浅黄 ,淡 红 ,粉 红 色
* ,** 赤小豆 <i>Vigna umbellata</i>	云安 ,罗定 ,郁南 ,四会 , 清新 ,阳江 ,博罗	51063 51129 51135 , 51142 51160 51168 , 51190 51262	30 ~ 250	主、侧根	圆 或 椭 圆	1 ~ 2	浅 黄 或 粉红色
** 豇豆(眉豆) <i>Vigna unguiculata</i> sub- sp. <i>cylindrica</i>	新兴 ,罗定 ,肇庆 ,四会 , 清远 ,花都 ,阳东 ,新会 , 广州 ,博罗 ,东源 ,龙川 , 五华 ,兴宁 ,梅县 ,大埔	51126 51136 51154 , 51158 51171 51175 , 51180 51222 51230 , 51267 51290 51295 , 51306 51318 51332 , 51354	30 ~ 440	侧根	圆 或 椭 圆形	2 ~ 8	浅黄 ,淡 红 , 粉 红 ,少有 青绿色
* * 豇豆(豆角) <i>Vigna unguiculata</i> sub- sp. <i>sesquipedalis</i>	和平 ,高要 ,云浮 ,新兴 , 云安 ,罗定 ,郁南 ,德庆 , 肇庆 ,四会 ,清新 ,清远 , 花都 ,阳东 ,阳江 ,阳西 , 阳春 ,开平 ,新会 ,广州 , 增城 ,博罗 ,河源 ,东源 , 龙川 ,五华 ,兴宁 ,梅县 , 梅州 ,大埔 ,饶平 ,澄海 , 潮安 ,潮州 ,揭东 ,揭阳 , 普宁 ,惠来 ,陆丰 ,海丰 , 惠东 ,惠阳	51012 51114 51116 , 51125 51131 51134 , 51143 51147 51152 , 51157 51166 51170 , 51176 51179 51192 , 51195 51201 51216 , 51218 51224 51239 , 51254 51272 51285 , 51301 51309 51316 , 51327 51339 51347 , 51359 51377 51386 , 51390 51395 51401 , 51411 51427 51435 , 51440 51464 51472	20 ~ 600	主、侧根	圆 ,椭圆 形 ,姜状	2 ~ 6 ; (1 ~ 3) × (2 ~ 5)	浅黄 ,粉 红 或 淡 红色

* 属于以我国为原产地或在我国有分布的豆科植物；** 《广州植物志》记载的栽培植物
* The legumes with origin or distribution in China；** The leguminous crops recorded in Flora of Guangzhou

选取同一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 分钟 ,然后栽植于载体为灭过菌的蛭石-河沙混合物(1 1 混合)的小花盆内 ,放于温室中生长并定期添加无氮营养液 ,生长 45 ~ 60 天时进行结瘤状况及其他相关测定。

3 结果与分析

3.1 结瘤调查及根瘤特性

在广东省 54 个县(市、区)内共采集到豆科植物根瘤 37 属 78 种 484 份 ,其中约 2/3 的种类是原产我国或在我国有分布的豆科植物(中国科学院植物研究所 ,1955 ;侯宽昭 ,1956 ;陈德昭 ,1988 ;傅坤俊 ,1993 ;韦直 ,1994 ;李树刚 ,1995 ;崔鸿宾 ,1998)。结瘤及根瘤特征情况详见表 1。

调查发现 ,多年生豆科植物中大叶相思(*Acacia auriculiformis*)、马占相思(*Acacia mangium*)、台湾相思(*Acacia confusa*)、勒仔树(*Mimosa sepiaria*)、含羞草(*Mimosa pudica*)、猪屎豆(*Crotalaria pallida*)、新

银合欢(*Leucaena leucocephala*)、田菁(*Sesbaria canabina*)等分布较广且较易采集到根瘤。根瘤的形状多种多样 ,以圆形、椭圆形、杆状、珊瑚状和姜状居多 ,大小在 1 ~ 15 mm 之间 ,颜色一般为淡红色或浅黄色。根瘤在植物的主、侧根上均有着生。

分布较广的栽培豆类作物有花生(*Arachis hypogaea*)、大豆(*Glycine max*)、豇豆(*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*)、眉豆(*Vigna unguiculata* subsp. *cylindrica*)、绿豆(*Vigna rabiata*)等种类 ,其根瘤的形状较为规则 ,多为圆形或椭圆形 ,大小在 1 ~ 8 mm 之间 ,颜色一般为粉红或淡黄色 ,多数栽培豆科作物的根瘤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、大小、形状、颜色等与调查时植物的生境条件、植物本身的遗传特性以及生长情况等均有密切的关系(Vincent ,1970 ;Allen *et al.* , 1981 ;廖兰玉等 ,1984 ;丁明懋等 ,1994 ;汪卫卫等 ,1995 ;韩素芬等 ,1996)。

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

样品号 Sample no.	植物名称 Species	采集地点 Collection site	海拔 Elevation (m)	生长期 Growing period	固氮酶活性 Nitrogenase activity
51234	大叶相思 <i>Acacia auriculiformis</i>	东莞市同沙林科园	60	营养生长期	2.721
51235	厚荚相思 <i>Acacia crassicarpa</i>	东莞市同沙林科园	60	营养生长期	0.598
51233	黑木相思 <i>Acacia melanoxylon</i>	东莞市同沙林科园	60	营养生长期	0.344
51010	花生 <i>Arachis hypogaea</i>	和平县热水镇	600	结实期	2.388
51115	花生	高要县马安镇	20	结实期	3.579
51119	花生	云浮市腰古镇	30	结实期	7.090
51123	花生	新兴县城	30	结实期	8.063
51130	花生	云安县茶洞镇	50	结实期	4.241
51139	花生	罗定县素龙镇	40	结实期	5.702
51146	花生	郁南县大湾镇	40	结实期	4.060
51148	花生	德庆县新墟镇	40	结实期	5.571
51153	花生	肇庆市鼎湖区	30	结实期	5.828
51156	花生	四会市东城区	30	结实期	6.385
51164	花生	清新县三坑镇	30	结实期	0.321
51169	花生	清远市郊	30	结实期	6.163
51173	花生	花都市雅瑶镇	30	结实期	1.782
51178	花生	阳东县那龙镇	30	结实期	3.726
51186	花生	阳江市郊	40	结实期	16.492
51200	花生	阳春县潭水镇	40	结实期	8.958
51213	花生	开平县大沙镇	60	结实期	2.153
51221	花生	新会县司前镇	30	结实期	11.309
51228	花生	广州市华南植物所	30	营养生长期	3.891
51064	圆叶舞草 <i>Codariocalyx gyroides</i>	云安县大雾山林场	250	开花期	38.933
51004	小槐花 <i>Desmodium caudatum</i>	龙川县细坳镇	400	营养生长期	2.569
51002	大豆 <i>Glycine max</i>	龙川县细坳镇	400	营养生长期	5.529
51011	大豆	和平县热水镇	600	营养生长期	9.332
51124	大豆	新兴县城	30	结实期	14.259
51132	大豆	罗定县素龙镇	40	结实期	8.980
51140	大豆	郁南县大湾镇	40	结实期	8.851
51165	大豆	清新县三坑镇	30	结实期	0.784
51174	大豆	花都市雅瑶镇	30	结实期	8.025
51206	大豆	阳春县合水镇	40	结实期	4.577
51229	大豆	广州市华南植物所	30	营养生长期	7.112
51256	大豆	博罗县罗浮山镇	60	结实期	4.805
51269	大豆	河源市埔前镇	300	结实期	4.805
51293	大豆	龙川县陀城镇	400	结实期	1.401
51353	大豆	大埔县银江镇	200	结实期	4.586
51398	大豆	揭东县玉滘镇	100	结实期	2.493
51121	乌豆 <i>Glycine soja</i>	云浮市腰古镇	30	开花期	46.761
51127	乌豆	新兴县车岗镇	30	营养生长期	21.292
51149	乌豆	德庆县新墟镇	40	营养生长期	21.444
51150	乌豆	德庆县新墟镇	40	结实期	22.588
51151	乌豆	肇庆市鼎湖区	30	营养生长期	24.592
51215	乌豆	开平县马岗镇	60	结实期	0.499
51120	扁豆 <i>Lablab purpureus</i>	云浮市腰古镇	30	营养生长期	1.288
51016	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	和平县热水镇	600	营养生长期	1.762
51008	山鸡血藤 <i>Millettia dielsiana</i>	龙川县细坳镇	400	开花期	1.715
51219	含羞草 <i>Mimosa pudica</i>	新会县司前镇	60	结实期	0.698
51212	勒仔树 <i>Mimosa sepiaria</i>	新兴县埗村镇	40	营养生长期	2.245

表 2 (续) Table 2 (continued)

样品号 Sample no.	植物名称 Species	采集地点 Collection site	海拔 Elevation (m)	生长期 Growing period	固氮酶活性 Nitrogenase activity
51226	勒仔树 <i>Mimosa sepiaria</i>	广州市天河区	30	营养生长期	26. 826
51202	菜豆 <i>Phaseolus vulgaris</i>	阳春县潭水镇	40	结实期	0. 713
51225	菜豆	广州市天河区	30	结实期	—
51065	毛排钱草 <i>Phyllodium elegans</i>	云安县大雾山林场	250	开花期	28. 017
51203	四棱豆 <i>Psophocarpus tetragonolobus</i>	阳春县潭水镇	40	结实期	4. 846
51227	四棱豆	广州市华南植物所	30	营养生长期	8. 042
51112	紫檀 <i>Pterocarpus indicus</i>	中山市紫马岭公园	60	营养生长期	17. 790
51141	粉葛 <i>pueraria lobata</i> var. <i>thomsonii</i>	郁南县大湾镇	40	营养生长期	6. 610
51167	粉葛	清新县三坑镇	30	营养生长期	—
51223	野葛 <i>Pueraria lobata</i>	新会县大泽镇	30	营养生长期	9. 011
51205	田菁 <i>Sesbania cannabina</i>	阳春县合水镇	40	结实期	1. 643
51117	绿豆 <i>Vigna rabiata</i>	云浮市腰古镇	30	结实期	5. 916
51155	绿豆	肇庆市鼎湖区	30	结实期	2. 341
51159	绿豆	四会市东城区	30	营养生长期	0. 723
51172	绿豆	清远市郊	30	营养生长期	14. 540
51185	绿豆	阳东县那龙镇	30	结实期	—
35063	赤小豆 <i>Vigna umbellata</i>	云安县大雾山林场	250	开花期	2. 228
51129	赤小豆	云安县茶洞镇	50	结实期	0. 908
51160	赤小豆	四会市东城区	30	营养生长期	1. 212
51190	赤小豆	阳江市郊	40	营养生长期	3. 910
51012	豇豆(豆角) <i>Vigna unguiculata</i> subsp. <i>sesquipadalis</i>	和平县热水镇	30	结实期	3. 749
51114	豇豆(豆角)	高要县新桥镇	30	结实期	15. 545
51116	豇豆(豆角)	云浮市腰古镇	30	结实期	7. 407
51125	豇豆(豆角)	新兴县城	30	结实期	2. 015
51131	豇豆(豆角)	云安县茶洞镇	30	结实期	2. 460
51134	豇豆(豆角)	罗定县素龙镇	30	结实期	0. 767
51143	豇豆(豆角)	郁南县大湾镇	30	结实期	—
51147	豇豆(豆角)	德庆县新墟镇	600	结实期	1. 035
51152	豇豆(豆角)	肇庆市鼎湖区	20	结实期	7. 478
51157	豇豆(豆角)	四会市东城区	30	结实期	1. 292
51166	豇豆(豆角)	清新县三坑镇	30	结实期	0. 595
51170	豇豆(豆角)	清远市郊	50	结实期	0. 430
51176	豇豆(豆角)	花都市雅瑶镇	40	结实期	17. 343
51179	豇豆(豆角)	阳东县那龙镇	40	结实期	—
51201	豇豆(豆角)	阳春县潭水镇	40	结实期	—
51216	豇豆(豆角)	开平县马岗镇	30	结实期	—
51224	豇豆(豆角)	广州市天河区	30	结实期	0. 597
51126	豇豆(眉豆) <i>Vigna unguiculata</i> subsp. <i>cylindrica</i>	新兴县车岗镇	30	结实期	0. 502
51154	豇豆(眉豆)	肇庆市鼎湖区	30	结实期	3. 044
51158	豇豆(眉豆)	四会市东城区	30	结实期	2. 625
51171	豇豆(眉豆)	清远市郊	30	结实期	1. 545
51175	豇豆(眉豆)	花都市雅瑶镇	40	结实期	5. 940
51222	豇豆(眉豆)	新会县大泽镇	60	结实期	—
51230	豇豆(眉豆)	广州市华南植物所	30	结实期	10. 260

3. 2 根瘤的固氮酶活性

用乙炔还原法对采自广东省 26 个县(市)的 16 属 24 种豆科植物的 93 份根瘤样品进行了固氮酶活

性的测定 ,结果见表 2。测试样品中的 91.4 % 有固氮酶活性 ,只有少部分样品因根瘤量不足而未测出结果。同一地区采集的不同植物以及不同地区采集

表 3 豆科植物根瘤菌回接结瘤情况
Table 3 The result of rhizobial reinoculation on nodulation of leguminous plants

宿主植物 Host plants	回接的根瘤菌株 Strains of reinoculated rhizobia	
	结瘤菌株 Nodulation	未结瘤菌株 Not to nodulate
毛相思子 <i>Abrus mollis</i>	51090	
大叶相思 <i>Acacia auriculiformis</i>	51074 ,51163 ,51234 ,51265 ,51273 ,51300 ,51373 ,51381 ,51388 , 51417 ,51422 ,51439 ,51444 ,51454	
台湾相思 <i>A. confuse</i>	51275 ,51289 ,51311 ,51324 ,51345 ,51348 ,51374 ,51382 , 51465 ,	51416
绢毛相思 <i>A. holosericea</i>	51475 51076	
马占相思 <i>A. mangium</i>	51075 ,51236 ,51344 ,51372 ,51389 ,51419 ,51426 ,51471 ,51483	51251 ,51264
南洋楹 <i>Albizia falcate</i>	51077 ,51253	
白格 <i>A. procera</i>	51079	
花生 <i>Arachis hypogaea</i>	51010 ,51115 ,51119 ,51123 ,51130 ,51139 ,51146 ,51148 ,51156 , 51164 ,51194 ,51200 ,51228 ,51257 ,51268 ,51299 ,51313 ,51321 , 51330 ,51338 ,51351 ,51362 ,51434 ,51449 ,51463 ,51467	
刀豆 <i>Canavalia gladiata</i>	51358	
圆叶舞草 <i>Codariocalyx gyroides</i>	51064	
三尖叶猪屎豆 <i>Crotalaria micans</i>	51298 ,51394 ,51407 ,51424	
猪屎豆 <i>Crotalaria pallida</i>	51210 ,51270 ,51281 ,51304 ,51319 ,51328 ,51336 ,51369 ,51371 , 51383 ,51393 ,51396 ,51458 ,51470 ,51479	51241
小槐花 <i>Desmodium caudatum</i>	51017	
假地豆 <i>D. heterocarpon</i>	51021 ,51045 ,51187 ,51317 ,51410 ,51473 ,51481	51103 ,51113
显脉山绿豆 <i>D. reticulatum</i>	51088	
格木 <i>Erythrophleum fordii</i>	51097	
大豆 <i>Glycine max</i>	51452 ,51002 ,51011 ,51124 ,51132 ,51140 ,51174 ,51206 ,51217 , 51229 ,51256 ,51269 ,51293 ,51307 ,51331 ,51337 ,51353 ,51361 , 51387 ,51398 ,51415 ,51428 ,51430	
扁豆 <i>Lablab purpureus</i>	51120 ,51255 ,51278 ,51283 ,51310 ,51343 ,51356 ,51363 ,51429	51385
新银合欢 <i>Leucaena leucocephala</i>	51162 ,51276 ,51287 ,51303 ,51308 ,51325 ,51326 ,51341 ,51352 , 51364 ,51370 ,51455 ,51468	
含羞草 <i>Mimosa pudica</i>	51231 ,51334 ,51342 ,51355 ,51397 ,51402 ,51436 ,51441 ,51457 , 51466	51184 ,51191 , 51209 ,51211
勒仔树 <i>Mimosa sepriaria</i>	51025 ,51053 ,51107 ,51161 ,51181 ,51196 ,51214 ,51242 ,51258 , 51286 ,51296 ,51312 ,51322 ,51340 ,51350 ,51360 ,51375 ,51384 , 51391 ,51400 ,51409 ,51418 ,51421 ,51433 ,51460 ,51484	51189 ,51207 , 51212 ,51329
狗爪豆 <i>Mucuna pruriens</i>	51145	
海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i>	51099	
豆薯 <i>Pachyrhizus erosua</i>	51118	
菜豆 <i>Phaseolus vulgaris</i>	51202 ,51225	
毛排钱草 <i>Phyllodium elegans</i>	51056 ,51065 ,51183	
四棱豆 <i>Psophocarpus tetragonolobus</i>	51203 ,51227	
鹿藿 <i>Rhychosia volubilis</i>	51052 ,51061	
田菁 <i>Sesbania cannabiab</i>	51205 ,51232 ,51248 ,51277 ,51314 ,51323 ,51333 ,51335 ,51367 , 51378 ,51399 ,51414 ,51425 ,51447 ,51474 ,51482	51404 ,51461
葫芦茶 <i>Tadehagi triquetrum</i>	51007	
绿豆 <i>Vigna rabiata</i>	51117 ,51133 ,51155 ,51159 ,51172 ,51177 ,51204 ,51252 ,51263 , 51274 ,51291 ,51294 ,51305 ,51357 ,51379 ,51431 ,51478	51185
赤小豆 <i>V. umbellate</i>	51063 ,51129 ,51135 ,51142 ,51160 ,51168 ,51190 ,51262	
豇豆(眉豆) <i>Vigna unguiculata</i> subsp. <i>cylindrica</i>	51126 ,51136 ,51154 ,51158 ,51171 ,51175 ,51180 ,51222 ,51230 , 51267 ,51290 ,51295 ,51306 ,51318 ,51332 ,51354	
豇豆(豆角) <i>V. unguiculata</i> subsp. <i>sesquipadalis</i>	51012 ,51114 ,51116 ,51125 ,51131 ,51134 ,51147 ,51152 ,51157 , 51166 ,51170 ,51176 ,51179 ,51192 ,51195 ,51201 ,51216 ,51218 , 51224 ,51239 ,51254 ,51285 ,51301 ,51309 ,51316 ,51339 ,51347 , 51359 ,51377 ,51386 ,51390 ,51395 ,51401 ,51427 ,51435 ,51440 , 51464 ,51472	51272 ,51327 , 51411

的同一植物的根瘤,其固氮酶活性均有差异,多数根瘤的固氮酶活性在 $1 \sim 10 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间,小于 $1 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$ 的占 16.5%,大于 $10 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$ 的有 18.8%。

在本实验中采集时间及采集时生境条件相近的情况下,一年生栽培豆科植物中乌豆根瘤的固氮酶活性较高,在 $21.29 \sim 46.76 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间,而测试样品较多(10 个以上)的几种栽培作物中,根瘤固氮酶活性最高的分别是花生($16.5 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$, 采自阳江)、大豆($14.3 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$, 采自新兴)和豇豆($17.3 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$, 采自花都),三者的最高固氮酶活性很接近,均比乌豆低。花生及大豆中,根瘤固氮酶活性在 $3 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上的样品分别占测试样品总数的 78.9% 和 78.6%,所以可以认为花生根瘤的固氮酶活性在 $3 \sim 16.5$,而大豆在 $3 \sim 14.5 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间;豇豆根瘤固氮酶活性的最高值比花生及大豆高,然而固氮酶活性在 $3 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上的样品仅占测试总数的 38.5%,可见豇豆根瘤固氮酶活性变幅较大,易受环境条件的影响。采集到的野生豆科植物根瘤的固氮酶活性差异较大,其中圆叶舞草(*Codariocalyx gyroides*)根瘤的固氮酶活性相对较高,为 $38.93 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$,其次是毛排钱草(*Phyllodium elegans*),为 $28.02 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh nodule} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

影响豆科植物根瘤固氮活性的因素很多,除植物本身的遗传因素外,调查时植物的生长状况、土壤及生态环境条件等的差异,都会影响到根瘤的固氮酶活性与固氮量的变化(廖兰玉等,1984;Ding et al.,1989;丁明懋等,1991,1994)。因而本研究中某种植物固氮酶活性的高或低,是根据本次试验测定结果而论的,但从根瘤固氮酶活性测定的总体结果来看,处于亚热带地区的广东省其豆科植物根瘤的固氮酶活性稍高于温带地区(王卫卫等,1997;王素英等,2000)。

3.3 根瘤菌回接结瘤情况

在本研究中经分离纯化共获得 410 株根瘤菌,其中在 7 天内形成根瘤菌菌落的占 58.4%,超过 7

天的占 41.6%。用 36 种豆科植物的 312 株根瘤菌与其相应的宿主植物进行了回接试验(表 3),回接结瘤率为 93.3%,其中栽培豆科作物回接结瘤率较高(96.3%),野生豆科植物较低(86.9%)。回接结瘤的菌株,进一步被证明是有效根瘤菌,将被用作根瘤菌分类研究的原始菌株。通过接种根瘤菌可以提高寄主植物的结瘤能力,进而提高植物的固氮能力及其产量,并促进植物对磷、钾元素的吸收和积累(王作明等,1996),这在生产实践中具有重要意义。

4 小结和讨论

4.1 广东豆科植物资源的分布情况

广东省地处我国热带亚热带地区,地貌类型复杂多样,在豆科植物的地理分布上表现为丘陵山区的种质资源要比平原地区更为丰富。调查中发现,栽培豆科植物分布较广,且一般均可见到根瘤。其中如豆角、菜豆、四棱豆、豆薯、粉葛等蔬菜类作物,多分布在城市附近的农村,主要种植在村边或耕地中;其他栽培豆科作物,如赤小豆、眉豆、乌豆、绿豆、刀豆、狗爪豆、扁豆等,多集中在丘陵山地,种植在山坡地和村庄附近,平原地区较少见;花生和大豆种植面积较大,分布也较广,山区和平原均有种植。野生豆科植物则种类繁多,分布也很复杂,需要有更多的调查研究才能阐明其分布情况。但已有报道表明,在鼎湖山、南昆山、黑石顶三个自然保护区的自然林中,豆科乔木有 8 属 23 种,其中红豆属(*Ormosia*)就有 10 种,灌木有 6 属 19 种,其中山蚂蝗属(*Desmodium*)有 4 种,藤本有 10 属 24 种,其中鸡血藤属(*Millettia*)有 10 个种(丁明懋等,1993)。

4.2 广东省栽培豆科作物的种质资源状况

本研究的调查范围较广,北起清新县,南至电白县境内,东起饶平县,西至郁南县境内,横贯广东全省,除了广东北部及西南少部分地区外,对广东的大部分地区进行了调查,所以其结果有一定的代表性,尤其是对作为调查重点的栽培豆科作物而言。调查结果得出,栽培豆科作物有花生、大豆、乌豆、绿豆、赤小豆、刀豆、棉豆、扁豆、菜豆、狗爪豆、四棱豆、眉豆、豆角、豆薯、粉葛、田菁等 16 种,对比《广州植物志》(侯宽昭主编,1956)记载,尚有紫云英(*Astragalus sinicus*)、豌豆(*Pisum sativum*)、蚕豆(*Vicia faba*)、赤豆(也称红豆)(*Phaseolus angularis* 或 *Vigna angularis*)等 4 种未采到根瘤样品。前 3 种在广东常为

冬种作物,因调查不适时故未采到样,红豆通常为农家零星种植并自用,所以也未采到。但据调查了解,豌豆(广东又称荷兰豆)在广东仍广为种植,且在上市的时节到处可见,紫云英在粤北、蚕豆在粤北及粤东亦广为种植,赤豆(红豆)种子我们在云浮农家也曾见到,因此调查中未采集到根瘤样品的这4种豆科作物,仍是广东现有的栽培豆科作物。由此可以认为自20世纪50年代至今,广东20种左右的栽培豆科作物的种质资源并未流失且保护使用得较好。

4.3 广东栽培豆科作物的固氮资源

豆科植物不一定是结瘤固氮的,结瘤固氮的豆科植物也不是处处都可见到根瘤。因此,结瘤固氮调查是一项基础性的重要研究工作,此前广东豆科作物结瘤固氮方面只有荷兰豆和花生等极少数的研究报道(杨风等,1997),本研究则对广东豆科作物结瘤固氮作了大范围的全面调查。调查所见到的花生等16种作物随处均可见到结瘤,而且据我们调查了解,除花生、大豆和紫云英于20世纪60年代在广东部分地区有接种根瘤菌的栽培史外,其他的豆科作物均属自然结瘤,表明根瘤菌资源丰富且地域分布较广泛。根瘤固氮酶活性测定除刀豆、狗爪豆、棉豆和豆薯4种作物因根瘤量不足而未测定外,其余种类的根瘤均有活性,而未测定活性的刀豆等作物,以及本调查未见到但广东有记载的蚕豆、豌豆、赤豆、紫云英等4种作物,也均有结瘤固氮的记录和报道(Allen & Allen,1981)。可见广东20余种豆科作物均是结瘤固氮的种质资源,固氮活性最高的为乌豆,可达 $46.8\text{ }\mu\text{mol C}_2\text{H}_4\cdot\text{g}^{-1}\text{ fresh nodule}\cdot\text{h}^{-1}$,同时乌豆还是保健食品,但目前乌豆的栽培面积并不大,所以对乌豆这一种质资源的保护及开发利用是值得重视的。

4.4 新发现的豆科固氮资源

采集到的37属78种豆科植物根瘤中,在本研究之前未见到有结瘤固氮报道的豆科植物有三尖叶猪屎豆(*Crotalaria micans*)、毛排钱草(*Phyllodium elegans*)、细长柄山蚂蝗(*Podorcarpium leptopus*)等几种(Allen & Allen,1981;Brewbaker & Zhou,1990;Han *et al.*,1990;黄维南等,2001a,2001b)。

致 谢 本课题得到了傅声雷、王作明、黄向旭及本所分类室有关人员的支持和帮助,特此致谢。

参考文献

Allen O. N. and Allen E. K. 1981. *The Leguminosae: A Source Book of Characteristics, Uses, and Nodulation*. The University of Wisconsin Press, Wisconsin.

Brewbaker J. L., Willers K. B. and Macklin B. 1990. Nitrogen fixing trees: validation and prioritization. *Nitrogen Fixing Tree Research Report*, 2: 8-16.

Chen D-Z(陈德昭). 1988. Leguminosae. In: *Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 39* (中国植物志, 第三十九卷). Science Press, Beijing. (in Chinese)

Cui H-B(崔鸿宾). 1998. Leguminosae. In: *Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 42(2)* (中国植物志, 第四十二卷第二分册). Science Press, Beijing. (in Chinese)

Ding M-M(丁明懋), He D-Q(何道泉), Yi W-M(蚁伟民) and Fu S-L(傅声雷). 1993. A survey on the nitrogen fixing legume resources in the Dinghushan natural forests. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), 1(1): 2-8. (in Chinese)

Ding M-M, Yi W-M and Liao L-Y. 1986. A survey of the N_2 ase activities of tree legumes, including *Tamarindus indica*, a species not widely known to nodulate, in artificial forests in Dianbai, Guangdong, China. *Nitrogen Fixing Tree Research Report*, 4: 9-10.

Ding M-M, Yi W-M and Liao L-Y. 1989. Effects on nodulation and nitrogen fixation of *Acacia mangium* by fertilization. *Nitrogen Fixing Tree Research Report*, 7: 55-56.

Ding M-M, Yi W-M and Liao L-Y. 1993. Survey of nodulation and nitrogenase activity of legume trees in the forest of Dinghushan Biosphere Reserve. *Nitrogen Fixing Tree Research Report*, 11: 4-5.

Ding M-M(丁明懋), Yi W-M(蚁伟民), Liao L-Y(廖兰玉), Fu S-L(傅声雷) and Yu Z-Y(余作岳). 1994. Effect of ecological conditions on nodulation nitrogen fixation of *Acacia mangium*. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), 2(2): 15-21. (in Chinese)

Ding M-M(丁明懋), Yi W-M(蚁伟民) and Liao L-Y(廖兰玉). 1991. The quantities of nitrogen fixation by *Acacia auriculaeformis* and *Acacia mangium*. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 11(3): 289-290. (in Chinese)

Fu K-J(傅坤俊). 1993. Leguminosae. In: *Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 42(1)* (中国植物志, 第四十二卷第一分册). Science Press, Beijing. (in Chinese)

Guangdong Agricultural Division Committee(广东省农业区划委员会). 1988. *Guangdong Agricultural Resources* (广东省农业资源要览). Guangdong People's Press, Guangzhou, 403-444. (in Chinese)

Guangdong Institute of Botany(广东省植物研究所). 1976. *Guangdong Vegetations* (广东植被). Science & Technology Press, Beijing, 16-21. (in Chinese)

Hamdi Y. A. 1982. Application of nitrogen-fixing systems in soil improvement and management. *FAO Soil Bulletin*, 49, FAO, Rome, 188.

Han S-F and Zhou X-Q. 1990. Register of nodulation reports for leguminous tree and shrubs in China. *Nitrogen Fixing Tree*

Research Report, 2: 54 – 61.

Han S-F(韩素芬), Chen J-R(陈景荣) and Xie W-J(谢文娟). 1996. Experiment on the inoculation test between rhizobia from woody legumes and four leguminous species. *Forest Research* (林业科学研究), 6: 610 – 615. (in Chinese)

Hou K-Z(侯宽昭). 1956. *Flora of Guangzhou* (广州植物志). Science Press, Beijing, 302 – 375. (in Chinese)

Huang W-N(黄维南) and Huang Z-H(黄志宏). 2001a. Survey on nodulation of leguminous trees and shrubs in China. *Subtropical Plant Science* (亚热带植物科学), 30(1): 36 – 45. (in Chinese)

Huang W-N(黄维南) and Huang Z-H(黄志宏). 2001b. Survey on nodulation of leguminous trees and shrubs in China. *Subtropical Plant Science* (亚热带植物科学), 30(2): 46 – 55. (in Chinese)

Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences (中国科学院植物研究所). 1955. *Diagrams of the Main Plants in China* (Leguminosae) [中国主要植物图说(豆科)]. Science Press, Beijing. (in Chinese)

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). 1974. A simplified procedure for the determination of acetylene reduction by nitrogen fixing system. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 4: 382 – 384. (in Chinese)

Li Q-K(李庆远). 1989. Development and prospect of soil science in China. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 26(3): 207 – 216. (in Chinese)

Li S-G(李树刚). 1995. Leguminosae. In: *Flora Reipublicae Popularis Sinicae*, Tomus 41(中国植物志, 第四十一卷). Science Press, Beijing. (in Chinese)

Liao L-Y(廖兰玉), Ding M-M(丁明懋), Yi W-M(蚁伟民) and Chen T-X(陈泰雄). 1984. The research on N₂ase activity of the nodule of *Acacia auriculaefomis* in different ecological conditions. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem* (热带亚热带森林生态系统研究), 2: 152 – 156. (in Chinese)

Office of Soil Survey in Guangdong (广东省土壤普查办公室). 1993. *Guangdong Soil* (广东土壤). Science Press, Beijing. (in Chinese)

Vincent J. M. 1970. *A Manual for the Practical Study of Root-nodule Bacteria*. IBP Handbook No. 15.: Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Vincent J. M. 1982. *Nitrogen Fixation in Legumes*. National Library of Australia Cataloguing-in-publication Data, Australia.

Wang S-Y(王素英), Li X-S(李新锁), Chen W-X(陈文新) and Liu X-C(刘新成). 2000. Investigation of rhizobia resources in Hebei Province. *Journal of Tianjin Normal University* (天津师范大学学报), 20(3): 33 – 36. (in Chinese)

Wang W-W(王卫卫), Guan G-L(关桂兰), Guo P-X(郭沛新), Dong W-C(董文彩) and Li Y(李颖). 1995. Investigations on the symbiotic nitrogen-fixing resource of legume in Tianshui, Gansu. *Arid Zone Research* (干旱区研究), 12(1): 7 – 10. (in Chinese)

Wang W-W(王卫卫), Guan G-L(关桂兰), Kong A-Q(孔爱琴) and Wang W(王伟). 1997. Studies on the characteristics related to symbiotic nitrogen fixation of legumes in Hexi Corridor, Gansu. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 17(4): 450 – 457. (in Chinese)

Wang Z-M(王作明), Yi W-M(蚁伟民), Yu Z-Y(余作岳) and Ding M-M(丁明懋). 1996. Responses of tree legumes to rhizobial reinoculation. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 20(4): 363 – 370. (in Chinese)

Wei Z(韦直). 1994. Leguminosae. In: *Flora Reipublicae Popularis Sinicae*, Tomus 40(中国植物志, 第四十卷). Science Press, Beijing. (in Chinese)

Yang F(杨风), Pan C-M(潘超美), Wang D-Q(王德琼), Li Y-J(李幼菊) and Wei C-F(魏朝芬). 1997. Isolation of nodule bacteria from *Pisum sativum* and the application of nitrugin from the isolate. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), 5(2): 47 – 53. (in Chinese)

Zhou X-Q(周湘泉) and Han S-F(韩素芬). 1989. Research progress in rhizobial nitrogen fixation of legume trees. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 25(3): 243 – 251. (in Chinese)

(责任编辑：时意专)