

我国西北部分地区豆科植物根瘤菌资源调查研究

赵龙飞^{1,2}, 邓振山¹, 杨文权¹, 韦革宏^{1*}

(1. 西北农林科技大学生命科学学院, 陕西省农业分子生物学重点实验室, 陕西 杨凌 712100;
2. 商丘师范学院生命科学系, 河南 商丘 476000)

摘 要: 通过对青海、甘肃、宁夏和陕西部分地区豆科植物根瘤菌资源调查, 共采集到根瘤样品 1850 份, 包括野生和栽培豆科植物有 20 属 41 种, 采集的根瘤 86% 着生在侧根或须根上, 根瘤的形状主要有棒状、掌状、球状、珊瑚状, 颜色多为黄色、粉色, 少数呈白色或褐色。调查研究发现, 六盘山棘豆为新发现的豆科结瘤植物; 兴隆山棘豆为青海新记录植物。豆科植物与根瘤菌共生结瘤及根瘤特征, 除了与寄主植物的遗传特性、发育时期有关外, 还与其所处的生态环境(水分、温度、光照、土壤结构、土壤 pH 等)有密切的关系。

关键词: 豆科植物; 根瘤菌; 根瘤特征; 共生结瘤; 生态环境

中图分类号: S154.38⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0033-07

豆科植物与根瘤菌形成的共生体系是生物固氮体系中最强的共生体系, 所固定的氮占整个生物固氮总量的 65%, 相当于全世界工业合成氮肥量的 2 倍, 在农业生产和生态系统中起着极其重要的作用^[1]。豆科是被子植物中的大科, 在全世界有约 750 属近 2 万种, 我国约有 150 属 1500 多种。但在这 2 万多种豆科植物中, 进行过结瘤调查的尚不足 16%^[2]。我国西北部分地区(青海、甘肃、宁夏、陕西北部)大部分是大陆性干旱区域, 气候干燥, 降雨量少, 蒸发量大, 昼夜温差较大, 地形较为复杂, 土壤种类繁多, 自然生态条件具有明显的区域差异, 表现为生态环境较为恶劣。受地形、气候、土壤结构等综合因素的影响, 生长着大量豆科植物, 如草本豆科植物黄芪、棘豆、高山豆、披针叶黄华、胡枝子、苦豆子等, 木本豆科植物如紫穗槐、狼牙刺、柠条儿等, 它们在这种恶劣生态环境中能够顽强生长, 一般都具有较强的抗干旱、耐盐碱等优良特性, 并且是这种环境中的先锋植物, 为该地区的土壤体系提供了氮源。所以在防风固沙、保持水土、绿化环境、作为饲用牧草、燃料等方面起着很重要的作用。为此我们对青海、甘肃、宁夏和陕北的部分典型区域的豆科植物根瘤菌资源进行调查, 为根瘤菌种质资源的开发和利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查路线

调查于 2008 年 7~8 月份, 选择典型生态区域

进行调查, 调查地点包括陇县、通渭、定西、陇西、会宁、靖远、永靖、东乡、临夏、循化、同仁、泽库、同德、贵德、湟中、湟源、祁连、民乐、张掖、玉门、瓜州、酒泉、高台、临泽、民勤、中卫、青铜峡、盐池、定边、靖边、米脂、佳县、延安、黄陵等。

1.2 豆科植物根瘤标本的采集

在调查区内每种豆科植物随机挖取植株, 选取新鲜、饱满的根瘤, 置入盛有变色硅胶的离心管, 密封并按采集顺序进行编号, 每株植物上的根瘤装在一个管中。记录植物属名、种名, 结瘤情况, 包括是否结瘤、根系类型、根瘤大小、根瘤颜色、根瘤形状、着生部位; 同时记录生态环境, 包括采集时间、地点、经纬度、海拔、土壤类型、地形地貌、植物生长阶段、生境、伴生植物生态、土地使用情况等。

1.3 根瘤菌的分离与纯化

干燥的根瘤在无菌水中浸泡至吸胀, 新鲜的根瘤用无菌水冲洗干净后, 经无水乙醇处理 20 秒, 3% 的次氯酸钠灭菌 2~5 min, 用无菌水冲洗 8~10 次, 在无菌条件下将根瘤压碎, 挤出汁液, 接种于 YMA 培养基, 置于 28℃ 下培养。采用稀释平板划线法, 挑取单菌落, 进行革兰氏染色, 镜检, 并接入试管斜面中保存备用。

2 结果与分析

2.1 结瘤豆科植物资源

本次调查共采集到根瘤样品 1850 份, 包括野生和栽培豆科植物 20 属 41 种^[3,4]。从表 1~表 5 可以

收稿日期: 2009-06-24
基金项目: 国家自然科学基金(30670372); 科技部农业微生物菌种资源整理、整合及共享试点子项目(2005DKA21201)
作者简介: 赵龙飞(1978—), 男, 河南杞县人, 讲师, 在读博士, 主要从事微生物资源研究。E-mail: hnzhaolongfei@yahoo.com.cn。
(C)*通讯作者: 韦革宏(1969—), 男, 教授, 博士, 主要从事根瘤菌资源研究。E-mail: weigehong@yahoo.com.cn。http://www.cnki.net

看出,采集到的豆科植物以棘豆属、黄芪属、野豌豆属、槐属、岩黄芪属、胡枝子属、大豆属、米口袋属为多,其中棘豆属有宽苞棘豆、黄花棘豆等 10 个种(表 1);黄芪属有糙叶黄芪、马衡山黄芪等 4 个种(表 2);野豌豆属有 4 个种(表 3)、槐属有 3 个种(表 4),岩黄芪、胡枝子属、大豆属、米口袋属分别包括 2 个种,其他还有黄华属、高山豆属、胡卢巴属、紫穗槐

属、苦马豆属、锦鸡儿属、红豆草属、扁蓿豆属、菜豆属、豌豆属、兵豆属、刺槐属各有 1 个种,见表 5。这些豆科植物中,除骆驼刺、甘草、沙冬青没有采集到根瘤外,其他豆科植物都能够结瘤,而且六盘山棘豆为新发现的豆科结瘤植物,兴隆山棘豆为青海新记录植物。

表 1 棘豆属固氮植物资源及其根瘤特征						
Table 1 Resources of nitrogen-fixing plant <i>Oxytropis</i> DC. and root nodule characteristics						
植物属名 Genera	植物种名 Species	发育期 Growth period	根瘤特征 Nodule charateristics			
			形状 Shape	颜色 Color	大小 Size(mm)	着生部位 Position
棘豆属 <i>Oxytropis</i> DC.	宽苞棘豆 <i>O. latibracteata</i> Jurtz	果期 fruit period	棒状、珊瑚状 Claviform, coralliform	黄色、粉红色 Yellow, pink	1~4	侧根 Lateral root
	黄花棘豆 <i>O. ochrocephala</i> Bunge	花期、果期 Blossom and fruit period	棒状、珊瑚状 Claviform, coralliform	黄色、粉色 Yellow, pink	0.5~4	侧根 Lateral root
	甘肃棘豆 <i>O. kansuensis</i> Bunge	花期、果期 Blossom and fruit period	棒状、掌状 Claviform, palmated	黄色、粉红色 Yellow, pink	1~3	侧根、须根 Lateral root, fibre
	兴隆山棘豆 <i>O. xinglongshanica</i> C. W. Chang	花期、果期 Blossom and fruit period	棒状、掌状 Claviform, palmated	黄色 Yellow	0.5~2	侧根 Lateral root
	六盘山棘豆 <i>O. ning xiaensis</i> C. W. Chang	花期、果期 Blossom and fruit period	棒状、珊瑚状 Claviform, coralliform	黄色 Yellow	1~4	侧根 Lateral root
	青海棘豆 <i>O. qinghaiensis</i> Y. H. Wu	果期 Fruit period	棒状、掌状 Claviform, palmated	黄色、粉色 Yellow, pink	0.5~4	侧根、须根 Lateral root, fibre
	急弯棘豆 <i>O. deflexa</i> (Pall.) DC.	花期 Blossom period	棒状、掌状 Claviform, palmated	粉红色 Pink	1~3	须根 Fibre
	小花棘豆 <i>O. xytropis glabra</i> (Lam.) DC.	花期 Blossom period	棒状、掌状 Claviform, palmated	粉红色 Pink	1~3	侧根、须根 Lateral root, fibre
	祁连山棘豆 <i>O. qilianshanica</i> C. W. Chang et C. L. Zhang	花期、果期 Blossom and fruit period	棒状、掌状 Claviform, palmated	黄色 Yellow	1~3	侧根、须根 Lateral root
	密花棘豆 <i>O. imbricata</i> Kom.	营养期、花期、果期 Vegetative, blossom and fruit period	棒状、掌状 Claviform, palmated	黄色 Yellow	1~4	侧根、须根 Lateral root, fibre

表 2 黄芪属固氮植物资源及其根瘤特征						
Table 2 Resources of nitrogen-fixing plant <i>Astragalus</i> Linn. and root nodule characteristics						
植物属名 Genera	植物种名 Species	发育期 Growth period	根瘤特征 Nodule charateristics			
			形状 Shape	颜色 Color	大小 Size(mm)	着生部位 Position
黄芪属 <i>Astragalus</i> Linn	糙叶黄芪 <i>A. scaberrimus</i> Bunge.	花期、营养期 Blossom and vegetative period	棒状 Claviform	黄色、粉红 Yellow, pink	0.5~3	主根、侧根 Lateral root, fibre
	马御山黄芪 <i>A. mahoschanicus</i> Hand.	花期、果期 Blossom and fruit period	棒状、掌状 Claviform, palmated	粉红色 Pink	1~4	侧根、须根 Lateral root, fibre
	多枝黄芪 <i>A. polycladus</i> Bur. et Franch	花期、果期 Blossom and fruit period	棒状、掌状 Claviform, palmated	黄色 Yellow	1~4	侧根、须根 Lateral root, fibre
	达乌里黄芪 <i>A. dahuricus</i> (Pall.) DC.	花期 Blossom period	棒状、掌状 Claviform, palmated	粉红色、褐色 Pink, brown	1~3	主根、须根 Main root, fibre

表 3 野豌豆属固氮植物资源及其根瘤特征

Table 3 Resources of nitrogen-fixing plant *Vicia* Linn and root nodule characteristics

植物属名 Genera	植物种名 Species	发育期 Growth period	根瘤特征 Nodule charateristics			
			形状 Shape	颜色 Color	大小 Size(mm)	着生部位 Position
野豌豆属 <i>Vicia</i> Linn	三齿野豌豆 <i>V. bungei</i> Ohwi	营养期、花期、果期 Vegetative, Blossom and fruit period	棒状、掌状 Claviform, palmated	黄色 Yellow	1~3	侧根 Lateral root
	蚕豆 <i>V. faba</i> Linn.	果期 Fruit period	棒状、掌状 Claviform, palmated	褐色、黄色、粉红色 Brown, yellow, pink	1~12	侧根 Lateral root
	歪头菜 <i>V. unijuga</i> A.Br.	花期 Blossom period	棒状 Claviform	黄色 Yellow	1~5	侧根 Lateral root
	大巢菜 <i>V. sativa</i> Linn.	果期 Fruit period	棒状、掌状 Claviform, palmated	粉红色 Pink	1~4	侧根、须根 Lateral root, fibre

表 4 槐属固氮植物资源及其根瘤特征

Table 4 Resources of nitrogen-fixing plant *Sophora* Linn and root nodule characteristics

植物属名 Genera	植物种名 Species	发育期 Growth period	根瘤特征 Nodule charateristics			
			形状 Shape	颜色 Color	大小 Size(mm)	着生部位 Position
槐属 <i>Sophora</i> Linn	苦参 <i>S. flavescens</i> Ait.	果期 Fruit period	球状、珊瑚状 Spherical, coralliform	黄色 Yellow	2~3	侧根 Lateral root
	狼牙刺 <i>S. vicifolia</i> Hance	营养 Vegetative period	掌状、珊瑚状 Palmated, coralliform	黄色 Yellow	1~10	侧根 Lateral root
	苦豆子 <i>S. alopecuroides</i> L.	花期、果期 Blossom and fruit period	棒状、掌状、珊瑚状 Claviform, palmated, coralliform	黄色、粉红色、褐色 Yellow, pink, brown	1~4	侧根、须根 Main root, lateral root

2.2 结瘤豆科植物的根瘤特征

对采集到的 20 属 41 种豆科植物的根瘤着生部位、形状、大小、颜色进行比较, 结果发现, 86% 的根瘤着生在侧根或须根上, 多数是草本、栽培一年生或木本多年生豆科植物。如草本豆科植物岩黄芪属、米口袋属中狭叶米口袋、高山豆属、扁蓿豆属的根瘤着生在侧根和须根, 还有棘豆属中 5 种植物的根瘤着生在侧根和须根, 其余 4 种着生在侧根, 1 种生在须根(表 1); 野豌豆属(表 3)中除了大巢菜在侧根、须根都有根瘤外, 其余 3 种植物的根瘤都着生在侧根的上部位置; 槐属中除了苦豆子侧根、须根都有根瘤外, 其余 2 种植物的根瘤都着生在侧根; 而黄华属、胡枝子属、大豆属中大豆、红豆草属、菜豆属的绿豆、豌豆属的豌豆、兵豆属的兵豆, 它们的根瘤仅着生在侧根(表 5)上; 胡卢巴属中胡卢巴、苦马豆属中苦马豆、棘豆属的急弯棘豆的根瘤仅着须根上; 多年生木本豆科植物刺槐属、紫穗槐属的根瘤也只着生在须根上。少数草本或一年生豆科植物也可着生在主根上, 如黄芪属的糙叶黄芪、达乌里黄芪(表 2), 大豆属的野大豆(表 5)在主根系都有根瘤分布。

根瘤形状呈现出多样性, 主要有棒状、掌状、球

状, 少数呈珊瑚状。如棘豆属的 10 个种(表 1)除了宽苞棘豆、黄花棘豆和六盘山棘豆外, 其余种植物上的根瘤呈棒状、掌状, 黄芪属(除了糙叶黄芪)、野豌豆属(除了歪头菜)、黄华属、高山豆属、胡卢巴属、豌豆属都成棒状、掌状, 槐属中苦豆子、红豆草属中红豆草的根瘤也都有呈棒状、掌状; 而胡枝子属、大豆属、紫穗槐属紫穗槐、苦马豆属苦马豆、锦鸡儿属中柠条儿锦鸡儿、菜豆属的根瘤菌只呈现球状; 而槐属中 3 种植物(表 4)、棘豆属的宽苞棘豆、黄花棘豆和六盘山棘豆(表 1)以及红豆草属, 它们的根瘤菌都有呈珊瑚状, 而刺槐属的根瘤菌只呈珊瑚状。以上分析表明, 根瘤形态的多样化主要与植物有关, 同属不同种的豆科植物根瘤形态往往是相似的。当根瘤菌侵染寄主时, 寄主植物缺乏感染线或感染线分枝不广, 缺乏永久分生组织, 则根瘤多呈圆形。当类菌体通过感染线感染寄主, 而寄主植物具有永久分生组织, 根瘤通常无限生长, 一般呈棒状或指状。当植物感染线在一个平面上有多个分支, 根瘤多形成掌状, 感染线分支较广, 就会形成珊瑚状的根瘤。可见, 豆科植物根瘤形态涉及到宿主植物的遗传因子而与根瘤菌种类关系不大^[5]。

表 5 豆科其他属固氮植物资源及其根瘤特性

Table 5 Resource of nitrogen-fixing plant other genera and their root nodule characteristics

植物属名 Genera	植物种名 Species	发育期 Growth period	根瘤特征 Nodule charateristics			
			形状 Shape	颜色 Color	大小 Size(mm)	着生部位 Position
黄华属 <i>Thermopsis</i> R.Br	披针叶黄华 <i>T. lanceolata</i> R.Br.	花期、果期 Blossom and fruit period	棒状、掌状 Claviform, palmated	黄色 Yellow	0.5~5	侧根 Lateral root
	块茎岩黄芪 <i>H. algidum</i> L.Z.	花期、果期 Blossom and fruit period	棒状 Claviform	粉红色 Pink	1~3	侧根、须根 Lateral root, fibre
岩黄芪属 <i>Hedysarum</i> Linn.	红花岩黄芪 <i>H. multijugum</i> Maxim.	营养期、花期、果期 Vegetative, Blossom and fruit period	棒状、球状 Claviform, spherical	黄色、粉红色 Yellow, pink	1~3	侧根、须根 Lateral root, fibre
	达乌里胡枝子 <i>L. davurica</i> Schindl.	花期、果期 Blossom and fruit period	球状 Spherical	褐色 Brown	0.5~2	侧根 Lateral root
胡枝子属 <i>Lespedeza</i> Rich	截叶铁扫帚 <i>L. cuneata</i> (Dum. Cours.) G. Don	花期 Blossom period	球状 Spherical	褐色 Brown	1~2	侧根 Lateral root
	大豆 <i>G. max</i> Merr.	营养期 Vegetative period	球状 Spherical	黄色 Yellow	0.5~8	侧根 Lateral root
大豆属 <i>Glycine</i> Linn	野大豆 <i>G. soja</i> Sieb.	花期 Blossom period	球状 Spherical	褐色 Brown	1~3	主根、侧根 Main root, lateral root
	狭叶米口袋 <i>G. stenophylla</i> Bunge.	果期 Fruit period	棒状 Claviform	粉红色 Pink	2~5	侧根、须根 Lateral root
米口袋属 <i>Gueldenstaedtia</i> Fisch	米口袋 <i>G. multiflora</i> Bunge.	果期 Fruit period	棒状 Claviform	粉红色 Pink	2~4	须根 Lateral root
	高山豆 <i>T. himalaica</i> (Baker) Tsui	果期 Fruit period	棒状、掌状 Claviform, palmated	粉红色 Pink	0.5~3	侧根、须根 Lateral root, fibre
高山豆属 <i>Tibetia</i> H.P.Tsui	胡卢巴 <i>T. foenumgraecum</i> Linn.	花期 Blossom period	棒状、掌状 Claviform, palmated	黄色 Yellow	1~4	须根 Fibre
	紫穗槐 <i>A. fruticosa</i> Linn.	营养期 Vegetative period	球状 Spherical	褐黄色 Brown	0.5~2	须根 Fibre
紫穗槐属 <i>Amorpha</i> Linn	苦马豆 <i>S. salsula</i> DC.	花期、果期 Blossom and fruit period	球状 Spherical	粉红色、白色 Pink, white	0.5~2	须根 Fibre
	锦鸡儿 <i>C. korshinskii</i> Kom.	花期、果期 Blossom and fruit period	球状 Spherical	粉红色 Pink	0.5~1	侧根、须根 Lateral root, fibre
锦鸡儿属 <i>Caragana</i> Fabr.	红豆草 <i>O. icifoliascop</i> FL.Carn.	花期、果期 Blossom and fruit period	棒状、掌状、珊瑚状 Claviform, palmated, coralliform	黄色 Yellow	1~10	侧根 Lateral root
	扁蓿豆 <i>M. ruthenius</i> (L.) C. W. Chang.	花期、果期 Blossom and fruit period	棒状、球状 Claviform, spherical	黄色、粉色 Yellow, pink	0.5~3	侧根、须根 Lateral root, fibre
扁蓿豆属 <i>Melissitus</i> Medic.	菜豆 <i>P. radiatus</i> Linn.	果期 Fruit period	球状 Spherical	黄色 Yellow	0.5~8	侧根 Lateral root
	豌豆 <i>P. sativa</i> L.	果期 Fruit period	棒状、掌状 Claviform, palmated	黄色、褐色 Yellow, brown	1~5	侧根 Lateral root
豌豆属 <i>Pisum</i> Linn.	兵豆 <i>L. culinaris</i> Medic.	果期 Fruit period	棒状 Claviform	黄色 Yellow	0.5~3	侧根 Lateral root
	刺槐 <i>R. pseudoacacia</i> Linn.	营养期 Vegetative period	珊瑚状 Coralliform	黄色 Yellow	3~20	须根 Fibre
刺槐属 <i>Robinia</i> Linn.						

根瘤菌的大小在个别属间也出现较大差异。大部分属种植物的根瘤的大小在 1~5 mm 之间,但有的属出现差异较大的根瘤,较明显的如刺槐属中刺槐,它根瘤在 3~20 mm 之间,槐属中狼牙刺的根瘤

和红豆草属中红豆草的根瘤都在 1~10 mm 之间。蔺继尚^[6]研究表明,根瘤的形态结构受到当地长期干旱环境的影响,根瘤皮层明显地比非干旱区豆科植物根瘤皮层厚。相对厚的皮层为根瘤中心区内的

类菌体提供了一个适应范围较大的气体扩散屏障。表明根瘤皮层结构的改变足以抵御外界干旱的气候条件。

调查中发现根瘤的颜色多数呈黄色、粉色,少数为白色、褐色,这与寄主植物所处的发育期有一定的关系。如处于花期、果期的根瘤多呈饱满的粉色、黄色,少数呈白色和褐色。根瘤呈粉红色、黄色为有效瘤,由于豆血红蛋白的存在使根瘤呈粉红色,皮层较厚的根瘤呈现黄色,具有固氮酶活性,豆血红蛋白向类菌体提供低浓度和高流量的氧,是进行固氮作用的必备条件之一。而呈白色和褐色的根瘤属于无效瘤,颜色较深的根瘤是处于固氮的后期,颜色会逐渐变深,呈绿色、褐色或黑色,逐渐衰老,直至死亡、干瘪。

综上所述,豆科植物属间根瘤的特性差异较大,同属种间根瘤特性近似,表明根瘤的特征与宿主植物本身的遗传特性有一定的关系^[7]。在西北地区干旱条件下,豆科植物生态习性比较多样化,根瘤所呈现特点是豆科植物及其共生固氮适应环境的结果。

2.3 影响豆科植物结瘤及根瘤特征的生态因素

根瘤菌侵染豆科植物形成根瘤是一个十分复杂的过程,其中经历根瘤菌对豆科植物根际影响,二者互相识别,根毛弯曲,根瘤菌侵染形成侵入线等过程。所以,影响豆科植物结瘤及根瘤特征的生态因素也是多方面的,本文仅从以下几方面探讨。

2.3.1 土壤含水量 调查发现,多数情况下豆科植物根瘤在数量和有效性方面都与土壤的含水量有密切的关系。如在陕北定边县砖井镇石圈村附近生长大量的苦豆子,在干旱的沙壤土中未能发现结瘤的植株,而在甘肃省酒泉市肃州区清水镇和宁夏青铜峡大坝镇较为湿润的沟渠边或洼地,发现结瘤量多的苦豆子植株,根瘤多呈粉红色,土黄色。分析表明,部分原因是由于植株的生长发育受到土壤含水量的制约,侧根和根毛形成数目减少,或者形成不正常的根毛,妨碍根瘤菌的入侵,从而大大减少根瘤菌对植物根部侵染的机会。这与贺学礼^[8]等人的调查研究相一致,土壤含水量对根瘤的形成和固氮活性影响很大,发现在干旱条件下绝大多数豆科植物形成根瘤很少或固氮活性很低,只有在比较潮湿的土壤中,单株植物结瘤数多,体积较大为粉红色,固氮活性也高。但是,一些干旱区生长的豆科植物,如分布在甘肃西部的锦鸡儿属柠条锦鸡儿、陕北的槐属植物狼牙刺等在干旱、盐碱条件下仍能正常结瘤和固氮,部分原因归于这些植物长期生长在干旱胁迫条件下所产生的适应性有关。

2.3.2 温度 一般认为,温度低于 7℃ 或高于 40℃ 时,根瘤菌不能侵染豆科植物,不容易形成有效根瘤,根瘤固氮酶不稳定,甚至失去活性。虽然在青海省东部地区如循化、泽库境内高海拔山上,或阴面山坡上采集到高山豆植物根瘤,每株上根瘤数量相对较少,且多数在 0.5~3 mm 之间。但是,我们后期的研究进一步证实,温度对根瘤菌多样性的影响不显著,而王卫卫等^[9]研究表明温度对于干旱区豆科植物根瘤的形成和固氮活性不是限定性因子,也证实了这一观点。

2.3.3 光照 在豆科植物根瘤中,类菌体的代谢活动特别是固氮作用的进行都需要能量,而这些能量是依靠寄主植物光合作用提供的。在根瘤中,类菌体固氮作用和植物光合作用的产物存在着相互转移的作用。光合作用每同化 100 单位碳有 32 单位转运到根瘤中,以供类菌体呼吸和膜的能化作用,在这些过程中产生 ATP 形式的能量及电子供给固氮酶催化反应。而类菌体每固定 100 单位氮,只有 6 单位氮保留于根瘤中,其它绝大部分以天门冬氨酸或谷氨酰胺的形式转运到植物各部分^[10]。所以,阴面山坡上采集的高山豆根瘤数量少、个体小,光照不足是原因之一。由此可见,植物光合作用与根瘤固氮作用关系是十分密切的。

2.3.4 土壤结构 土壤结构也直接影响根瘤菌和豆科植物的结瘤及根瘤特性。土壤结构是土壤固相颗粒的大小及其空间排列的形式,不仅影响植物生长所需的土壤水分和养分的储量与供应能力,而且还左右土壤中气体交流、热量平衡、微生物活动及根系的延伸等。如在陕西延安川口镇山坡荒地上,分布着大量狼牙刺(*S. vicifolia* Hance)。该地土壤类型属于黄沙壤土,但土质较硬,说明该地的土壤通气性能较差,而根瘤菌是好氧性微生物,土壤通气状况影响根瘤菌在土壤中的活力,也影响根瘤的固氮活性。另外,土壤质地较硬与树根的挤压,导致狼牙刺根瘤的形状呈扁平的掌状、珊瑚状或不规则状,大小达 10 mm,呈土黄色。这是狼牙刺植株长期生长于这种土壤,与当地生态条件相适应的结果。

2.3.5 土壤 pH 调查发现,分布在甘肃和陕北地区的多种豆科植物能够在中性或偏碱性的土壤中结瘤固氮。我们分析西北地区采样地的土壤理化性质和苦豆子根瘤菌的多样性表明,pH 在 8.07~8.58 之间,pH 与多样性之间表现正相关,表明根瘤菌对碱性土壤环境具有良好的耐性,菌株的生理生化实验也证明了这一点。杨敏等^[11]研究表明,苜蓿根瘤菌适宜的 pH 在 6.5~7.5 之间,最适生长的 pH 值为

6.8~7.2。不同根瘤菌株对环境酸碱度的耐性是不同的。在其他元素供应充足、氮素水平低的酸性土壤环境中,豆科植物的结瘤及生长在很大程度上依赖于土壤中根瘤菌的生长情况和数量的多少。姜云植等^[12]认为,土壤 pH 影响根瘤菌的生存和生长量,从而影响感染寄主发生根瘤。总的趋向是在中性偏碱范围(pH 为 7~8)表现较好,在 pH<4 条件下,对植株生长、结瘤有较明显的抑制作用,而植株高度、鲜重、结瘤的最适 pH 为 8。

2.3.6 土壤营养元素 前人的研究表明,土壤中结合态氮素和无机氮化合物丰富,对豆科作物无害,但阻碍根瘤形成并降低固氮作用;磷可以刺激根瘤菌繁殖,而且会促进根瘤菌的鞭毛运动,以致使根瘤菌易侵入根毛内部,在严重缺磷的土壤,可严重影响根瘤的发育,导致豆科植物不能与土壤中的根瘤菌结瘤;而钙能促进根瘤菌的繁殖。此外,许多微量元素对根瘤菌结瘤和固氮也产生一定的影响,如缺铝导致无效根瘤多;缺硼根瘤的维管束发育差,钼、铁、锰等微量元素对固氮作用也都产生有利影响^[13]。

2.3.7 植物的生长发育阶段 植物的生长发育阶段影响到根瘤的特征。根瘤是豆科植物与根瘤菌的共生体,根瘤的生理活动除受根瘤菌本身代谢过程作用外,也受植物生长发育的影响。调查结果显示,结瘤豆科植物在不同生长时期,根瘤活性不同。营养生长期到开花期,根瘤颜色呈黄色、粉红,饱满,活性高;营养生长前期,根瘤形成过程几乎没有固氮能力,种子成熟后期,根瘤颜色逐渐变黑,最后脱落,导致土著根瘤菌也无固氮能力。在多年生灌木、草本豆科植物中,生长一年以上的根,没有结瘤,可能是由于根表皮老化,甚至有些木质化,颜色呈深褐色,根毛稀少,根瘤菌难以侵染造成的^[14],只有当年新生根上才形成根瘤。

2.3.8 土壤中微生物 土壤中存在多种微生物,除了根瘤菌外还有其他非根瘤菌微生物的存在,这些不结瘤的微生物可占据结瘤位点,阻碍根瘤菌在豆科植物上形成根瘤。所以豆科植物要形成根瘤,只有当土壤中根瘤菌达到一定数量时,豆科植物才有更多的机会和根瘤菌进行“交流”、相互作用才能结瘤。真菌、病毒、病原体和线虫对根瘤菌菌株的竞争结瘤能力都有影响。何庆元等^[15]研究表明,土壤中的异类微生物可能通过抑制根瘤菌而直接影响结瘤,如某些 *Azospirillum* 能够阻碍 *R. leguminosarum* bv. *trifolii* 在三叶草上的结瘤。土壤中还有一些微生物类群能分解有机物,提高土壤中的 C/N 比,从而改变各菌株的竞争结瘤能力^[16]。所以土壤中微生物

的种类和数量直接或间接影响着豆科植物根瘤的形成。

3 讨 论

1) 我国西北地区由于气候干燥,年均气温较低,昼夜温差较大,地形较为复杂,土壤种类繁多,生态环境较为恶劣。该区栽培的豆科植物相对较少,而野生的豆科植物分布较广,如青海循化县分布有兴隆山棘豆、密花棘豆、六盘山棘豆等都有结瘤,根瘤主要呈棒状、掌状,多为黄色、粉色。其中,兴隆山棘豆为青海新记录植物,六盘山棘豆为新发现的豆科结瘤植物。研究发现,这些区域的海拔都在 3 400 m 以上,可能是根瘤菌已经适应这种特殊的气候和地理环境,和植物形成共生固氮体系,具有耐寒的特性。这与陈文新^[17]的研究结果相似,根瘤菌与豆科植物共生关系的建立是细菌、植物及环境三方相互作用的结果,无论是植物原产地还是引种地,无论是栽培种还是野生种,豆科植物都需要与适应当地环境的根瘤菌种建立共生关系。这为选育该区域有抗寒、固氮率高的根瘤菌,开展根瘤菌遗传多样性与生态地理学之间关系的研究提供了条件。

2) 根瘤的特征和固氮活性除了与寄主植物的遗传特性有关外,还因生态环境的差异而具多样性。山地草原和天然草场及栽培的豆科植物,常是一年生或多年生草本,根瘤在形态上较规则,常呈黄色、粉色;生长于荒漠、沙地、盐碱地等地的豆科植物根瘤形态多棒状、掌状,少数呈珊瑚状,表面皮层厚,其颜色呈黄色、褐色。这与以前的研究^[9, 18]相一致,干旱生态环境的胁迫和选择压力的作用,迫使根瘤进化形成较厚的黄色皮层,对类菌体起到保护功能,是豆科植物及共生固氮体系适应环境的结果。同时,西北地区的宿主植物也为进一步研究根瘤固氮抗逆境能力提供了生理基础。

3) 影响豆科植物根瘤特征和能否结瘤的因素有很多,除土壤水分、土壤结构、土壤 pH 值、土壤中营养元素、土壤微生物等因素外,还与光照、温度、植物的生育期、盐浓度、地貌特征、农药、化肥、除草剂^[9, 15, 19~21]的使用等因素有关,它们都会对豆科植物的结瘤和固氮产生作用,所以在调查中发现并非所有豆科植物都能够结瘤,如甘肃境内的甘草、骆驼刺、沙冬青,宁夏青铜峡、盐池境内的苦马豆等,在报道^[19]中可以结瘤,但此次未采集到根瘤,可能与上述影响因素有关系,或许采样的范围太大不够详细,采样时间对有些植物不适宜,因此对影响豆科植物能否结瘤的因素还需更进一步的研究。

参 考 文 献:

[1] 杨文权,郭军康,冯春生,等.宁夏豆科植物根瘤菌资源调查及其生态分布[J].干旱地区农业研究,2007,25(5):176.

[2] 陈文峰,陈文新.我国豆科植物根瘤菌资源多样性及应用基础研究[J].生物学通报,2003,38(7):1-4.

[3] 马德滋,刘惠兰.宁夏植物志[M].银川:宁夏人民出版社,1986:35-50.

[4] 西北植物研究所.黄土高原植物志(第二卷)[M].北京:中国林业出版社,1992:232-236.

[5] Allen O N, Allen E K. The *Leguminosae*: a source book of characteristics uses and nodulation[M]. University of Wisconsin Press, 1981: 1-407.

[6] 蔺继尚,王丽霞,关桂兰.长年干旱环境对新疆豆科植物根瘤形态结构的影响[J].应用生态学报,1993,(3):14.

[7] 韦革宏,龚明福,吕双庆.中国帕米尔高原根瘤菌-豆科植物共生资源调查[J].西北植物学报,2005,25(8):1618-1622.

[8] 贺学礼,韦革宏,赵丽莉.陕西豆科固氮植物资源调查及生态分布[J].陕西农业科学,1996,(1):35-37.

[9] 王卫卫,胡正海.几种生态因素对西北干旱地区豆科植物结瘤固氮的影响[J].西北植物学报,2003,23(7):1163-1168.

[10] Schmidt E L. Quantitative autecological study of microorganisms in soil by immunofluorescence[J]. Soil sci. 1974,118:141.

[11] 杨 敏,陈秀虎,黎晓峰,等.低 pH 对苜蓿共生结瘤与生长的影响研究[J].江西农业学报,2007,19(7):68-70.

[12] 姜云植,张梅芳.豌豆簇根瘤菌菌株分离筛选及某些因素对结瘤的影响[J].广西农学院学报,1992,11(2):31-36.

[13] 王卫卫.陕、甘黄土高原根瘤菌-豆科植物共生体结构及固氮作用研究[D].西安:西北大学,2003:41-44.

[14] 陈华癸,樊庆笙.中国共生固氮研究五十年[M].南京:南京农业大学出版社,1987.

[15] 何庆元,胡 艳,王永雄.生态环境对根瘤菌竞争结瘤影响的研究进展[J].大豆科学,2004,23(1):67.

[16] Heichel G H, Vancel C P. Nitrate⁻N and Rhizobium strain roles in alfalfa seedling nodulation and growth[J]. Crop Science, 1979,19: 7-8,512-5191.

[17] 陈文新,汪恩涛,陈文峰.根瘤菌-豆科植物共生多样性与地理环境的关系[J].中国农业科学,2004,37(1):81-86.

[18] 刁治民.青海豆科植物根瘤菌的初步研究[J].青海科技,1996,3(4):1-5.

[19] 陈卫民,张执欣,张宏昌,等.甘肃中西部豆科植物根瘤菌多样性调查研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):183-186.

[20] 慈 恩,高 明.环境因子对豆科共生固氮影响的研究进展[J].西北植物学报,2005,25(6):1269-1271.

[21] 李友国,周俊初.影响根瘤菌共生固氮效率的主要因素及遗传改造[J].微生物学通报,2002,29(6):86-89.

Investigation of leguminous plants and rhizobial resources in some regions of Northwest China

ZHAO Long-fei^{1,2}, DENG Zhen-shan¹, YANG Wen-quan¹, WEI Ge-hong^{1*}
(1. College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Department of Life Sciences, Shangqiu Normal University, Shangqiu, Henan 476000, China)

Abstract: An investigate was conducted on leguminous plants and rhizobial resources in some regions of Qinghai, Gansu, Ningxia and Shaanxi in Northwest China, in which a total number of 1850 root nodule samples were collected, including 20 genera, 41 species of cultivated and wild legumes legumes. In the samples, 86% of the root nodules were distributed on lateral root or fibre, and they were shaped as claviform, palmated, coralliform or spherical, most in colors of yellow and pink, and few in white and brown. Investigation and research results found that, *Oxytropis ningxiaensis* C. W. Chang is a new discovered leguminous plant, which could be nodulation, and *Oxytropis xinglongshanica* C. W. Chang is a new record to Qinghai. Besides related to the genetic characteristics and development period of host plants, legume symbiosis nodulation with rhizobia and nodule characteristics has close relation to its ecological environment, including moisture, temperature, sunlight, soil structure, soil pH, etc. It would provide a scientific basis for the development and utilization of rhizobia gemplasm resources.

Keywords: legume; rhizobia; root nodule characteristics; symbiotic nodulation; ecological environment