

文章编号: 1008-2786-(2010)1-076-09

岷江干旱河谷豆科植物多样性及其空间格局

李芳兰, 包维楷*, 朱林海

(中国科学院成都生物研究所 生态恢复重点实验室, 四川 成都 640041)

摘要: 为研究岷江干旱河谷的豆科植物物种多样性及其在纬度和海拔梯度上的分布格局, 在从四川汶川到松潘的干旱河谷两岸选择了7个地点, 通过204个样方(2 m×2 m)调查, 分析了不同纬度和海拔豆科物种组成、高度、盖度与根系结瘤的空间分布特点。结果表明: (1) 在所有样方中共出现乡土豆科植物16属, 38种, 其中灌木7属19种; 草本植物7属17种, 1或2 a生草本6种, 多年生草本11种。仅刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)和葫芦巴(*Trigonella fenum-graecum* L.)为栽培物种。灌木在该地区豆科植物中占较大优势, 50%以上灌木的频度与盖度均>10%, 尤其白刺花(*Sophora davidii*)、小马鞍羊蹄甲(*Bauhinia bauhincarpa* var *microphylla*)、岷谷木蓝(*Indigofera lenticeolata*)等灌木频度>20%, 而所有草本植物的频率及盖度都<10%。(2) 豆科植物丰富度及生长具有较为明显的空间差异, 干旱河谷核心地区的干热、贫瘠环境中, 总物种丰富度较高, 但是其盖度与高度较小。随着纬度升高, 灌木丰富度和频度均减少, 草本丰富度与和频度增加。随着海拔上升, 灌木丰富度与总物种丰富度都减小, 草本植物丰富度变化不明显; 植物平均高度与盖度高度也无明显的垂直变化规律。(3) 植物根系结瘤能力很低, 66%物种未结瘤, 并且幼苗结瘤能力显著大于成株。这一结果可为豆科植物资源的保护和开发利用提供科学依据。

关键词: 干旱河谷; 豆科植物; 物种丰富度; 分布规律; 环境因子

中图分类号: Q948.2 **文献标识码:** A

豆科植物-根瘤菌共生体的生物固氮是陆地生态系统中天然氮素的重要来源^[1,2], 能够有效缓解氮缺乏对生态系统生产力与其他过程的限制^[3]。因而随着可持续农业发展和生态环境问题的日益突出, 豆科植物的生长、分布、生物固氮能力及其对环境的适应机制已成为生态学研究与生物多样性保护的热点问题之一^[4-6]。从上个世纪50年代我国开始了对豆科植农作物-根瘤菌共生体系的研究, 并在农业生产中广泛应用^[2,7,8]。近年来, 在退化生态系统恢复与重建中, 扩大豆科固氮植物的种植面积, 用生物固氮来改良退化土壤也被认为是一条积极有

效的途径^[4,9,10]。然而, 目前的研究多关注环境胁迫下豆科作物与牧草固氮活性^[11-13], 对木本植物的研究主要涉及热带地区少数物种生物固氮对森林生态系统N素的贡献及其环境因子的关系^[9,14-16], 而对于干旱、半干旱地区的乡土植物生长、分布及结瘤能力的干旱适应性研究相对薄弱。

岷江干旱河谷是横断山区东北缘的典型干旱区, 由于干燥温暖的气候和干旱贫瘠的土壤条件, 该地区形成了脆弱山地生态系统; 加之地震、滑坡等自然灾害与人为活动频繁干扰, 河谷内生态退化十分严重, 是我国生态恢复的重点区域之一^[17,18]。植被

收稿日期(Received date): 2009-10-11; 改回日期(Accepted): 2009-12-29.

基金项目(Foundation item): “西部之光”博士资助项目(08C2041100), 中国科学院山地生态恢复与生物资源利用重点实验室开放基金(08B2011106)和中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-XB2-02)共同资助。[Supported by the Ph.D. foundation in Western Light Talent Training Plan (No. 08C2041100), the Key Laboratory of Mountain Ecological Restoration and Bioresource Utilization, Chengde Institute of Biology, CAS, and the Ecological Restoration and Biodiversity Conservation Key Laboratory of Sichuan Province (No. 08B2011106), and the Chinese Academy of Sciences Action-Plan for West Development (No. KZCX2-XB2-02).]

作者简介(Biography): 李芳兰(1979-)女, 甘肃人, 博士, 助理研究员, 主要从事植物功能生态学。[Li Fanglan (1979) Female born in Gansu Province. Ph.D. Assistant Professor mainly engaged plant functional ecology.] E-mail: lif@cb.ac.cn Tel: 028-85219230

*通讯作者(Author for correspondence): 包维楷 [Bao Weikai, E-mail: baowk@cb.ac.cn, Tel: 028-85231656]

主要是耐旱小灌丛, 伴生有耐旱草丛^[19, 20]。但是, 由于生境的空间异质性很高, 不同地段植物组成及生长均具有明显差异, 主要体现了纬度与海拔梯度效应^[18, 21]。

豆科植物不仅具有较强的生存能力, 而且为生态系统中其他植物的生长与定居创造有利的微生境条件, 是岷江干旱河谷植被的特殊功能群之一。另外, 白刺花 (*Sophora davidii*) 和小马鞍羊蹄甲 (*Bauhinia brachycarpa* var. *microphylla*) 等是干旱河谷的主要灌丛^[20, 22], 它们在保持植被结构完整性与防止水土流失, 促进区域经济发展等方面都起着十分重要的作用。然而, 现有的研究多集中于灌丛类型及其生物量的分布规律^[19, 21], 种群繁殖更新能力的空间格局^[23], 以及形态结构等方面^[24], 而对该地区豆科植物物种组成、生长与结瘤固氮能力的分布格局及其环境解释还未见报道。干旱河谷分布有哪些乡土豆科植物? 其种类组成、数量特征在空间上有何变化规律? 自然条件下豆科植物的结瘤固氮能力如何? 在不同海拔之间是否具有明显差异? 不同物种根系结瘤的环境适应能力有何差异? 对这些问题的探讨, 不仅对揭示该地区植物多样性的环境梯度变化规律具有重要意义, 而且为固氮植物资源保护与合理利用提供理论依据。因此, 本文分析了岷江干旱河谷豆科植物组成与数量特征沿纬度和海拔梯度的分布格局及其与环境因子的关系, 并初步探讨了豆科植物的结瘤状况。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区域位于从四川省汶川县绵虬到松潘县镇江关的岷江河谷干流, $103^{\circ}29'12.2'' \sim 103^{\circ}41'41.4''$

$E 31^{\circ}20'56.3'' \sim 32^{\circ}19'33.4''N$ 海拔 1 280 ~ 2 600 m (图 1 表 1)。总长度约为 200 km, 宽度约为 2 ~ 4 km, 相对海拔在 400 ~ 600 m。该区具有典型的干旱河谷气候^[19], 干燥, 多风; 年平均气温 10 ~ 11 °C, 降水量 490 ~ 760 mm, 干燥度 1.5 ~ 3.49^[18]。河谷内以山地褐土和山地棕壤土为主^[25]。低纬度地区如绵虬, 土壤湿度约 20%; 高纬度地区如太平、镇江关, 土壤湿度约 18%; 而雁门、宗渠、静洲山和野鸡坪等中纬度地区的土壤湿度较低, 约为 8% ~ 10%, 部分地段甚至为 5%^[25]。干旱河谷植被主要由中生耐旱灌丛与草丛构成, 具有稀疏、矮小特征。低、高纬度地区植被发育较好, 盖度多是 40% ~ 50%, 个别地段达 60%, 平均高度为 1.6 m。中纬度地区的植被覆盖率较低, 多为 20% ~ 30%, 高度不到 1.2 m^[29]。常见豆科植物灌木有白刺花、岷谷木蓝 (*Indigofera lenticeolata*)、小马鞍羊蹄甲等; 豆科草本植物有花苜蓿 (*Medicago ruthenica*) 和背扁黄芪 (*Astragalus complanatus*) 等。干旱河谷区人为活动干扰强度大, 地震和滑坡等自然灾害发生频繁, 目前生态系统严重退化。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查方法

在上述研究区域内, 采用机械布点法, 并且依据具体地形特征, 设置了 7 个样地 (表 1, 图 1)。由于干旱河谷地处高山峡谷区, 地形十分复杂, 每个样地间隔 25 ~ 30 km。

2007—09 中旬, 采用样线一样方法开展豆科植物组成、数量特征调查。在每个样地上, 在从河谷沿山坡上行海拔 400 ~ 600 m 的范围内, 海拔每升高 100 m 设置 1 条样线。在每个样线上, 采用机械布点法, 并根据区域面积大小及微地形特点, 布置 5 ~ 7 个 2 m × 2 m 小样方, 样方间距 10 m。

表 1 岷江干旱河谷豆科植物调查样地的基本状况

Table 1 Functional information the sample plots of leguminous species in the dry valley of M in jing R iver SW China

地点 Sites	海拔 Altitude (m)	经度 Longitude	纬度 Latitude	坡向 Aspect	样线数 Line number
绵虬 Miansi	1 260 ~ 1 800	103°29'12.2"	31°20'56.3"	WN40°	6
雁门 Yamen	1 440 ~ 1 812	103°52'52.3"	31°29'11.7"	WN43°	5
宗渠 Zongqu	1 600 ~ 2 150	103°52'56.3"	31°42'9.6"	WN30°	6
静洲山 Jingzhoushan	1 670 ~ 2 200	103°52'56.3"	31°42'36.2"	ES 27°	6
野鸡坪 Yeji ping	1 750 ~ 2 000	103°41'50.7"	31°52'33.2"	WN34°	4
太平 Taiping	2 213 ~ 2 600	103°41'41.4"	32°7'5.4"	ES 62°	5
镇江关 Zhengjiangguan	2 300 ~ 2 590	103°41'41.4"	32°19'33.4"	WS25°	4

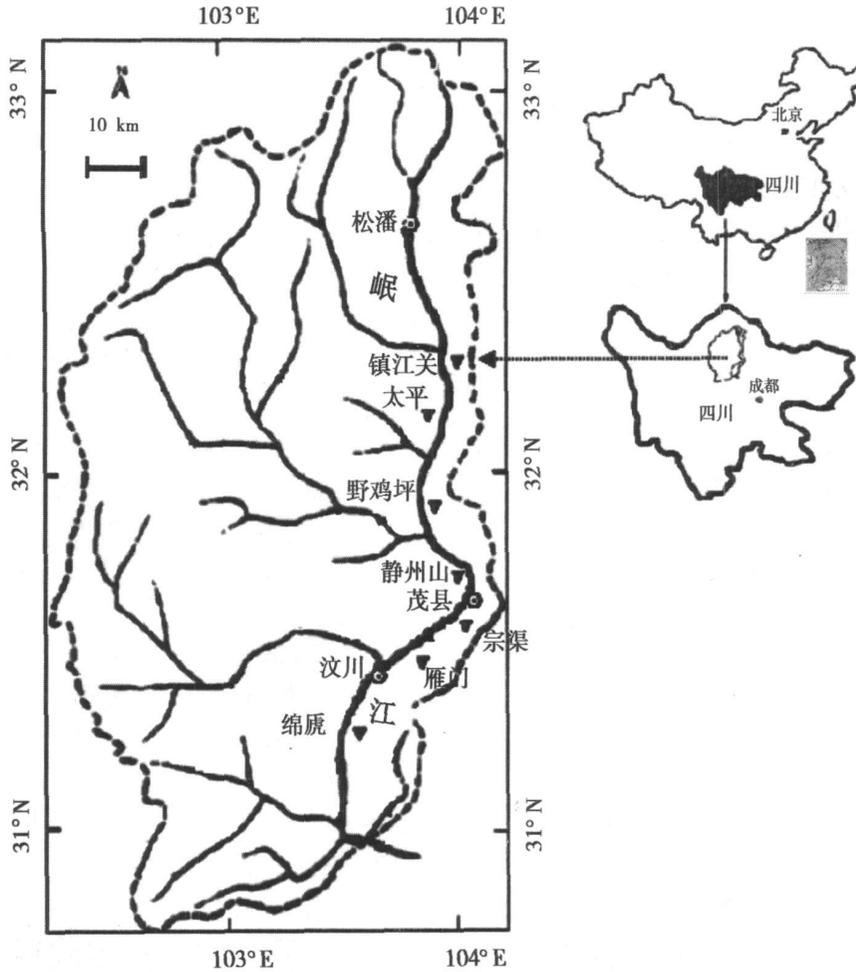


图 1 岷江干旱河谷豆科植物调查样地示意图

Fig 1 Location of the sample plots in the dry valley of Minjiang River SW China

调查时,首先记录样方内豆科植物种类,每个物种的生长型、平均高度与盖度;踏查样方外豆科植物。然后每样地挖取所有出现物种的代表性个体,观察其结瘤情况。最后测定每个样地的经度、纬度、海拔及坡向等环境因子,基本状况见表 1。野鸡坪海拔范围较小,设置 24 个样方,其余 6 个地点设置各 30 个样方,共计设置样线 36 个(见表 1),获得 204 个样方资料。

1.2.2 数据处理与分析

统计 204 个样方中共出现的豆科植物种类,分别计算每个物种频度(即某个物种出现的样方数占整个样方数的百分比)、平均盖度(%) 和平均高度,比较不同生长型豆科植物频度、盖度和高度的差异。

根据调查结果,采用丰富度(即每个样地内所有属数目和物种数目)测度豆科植物物种多样性,分析不同生长型豆科植物多样性与出现频率沿纬度

与沿海拔的分布格局。在纬度梯度上,分析物种丰富度和频度在 7 个样地之间的变化特点,进一步以样线为统计单元,海拔作为协变量,采用协方差分析(ANCOVA)和最小显著差异法(LSD)检验其盖度和高度在不同样地之间的差异。将每个样地海拔最低点(距谷地底最近)记为 0 垂直高度每增加 100 m 设置一个样线,分析各样地豆科植物物种丰富度在海拔梯度上的变化特点;以样线为统计单元,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)分别检验盖度及高度在不同海拔之间的差异。

2 结果

2.1 豆科植物物种组成

204 个样方中共发现 38 种豆科植物,分属于 16 属,其中杭子梢、木蓝属、胡枝子属、黄芪属、苜蓿属

和野豌豆属等发现了 3~7 个物种 (表 2), 而其余各属都有 1 个种。所有样方中共调查到灌木 7 属, 19 种, 占总物种数的 50%, 高度约 (120±83) cm;

草本 7 属, 17 种, 占总物种数的 44%, 并以多年生草本为主, 高度 35±20 cm, 频度为 32%; 蔓生草本占总物种数的 6%。灌木在样方中出现频度显著高于

表 2 岷江干旱河谷豆科植物
Table 2 Leguminous species in the dry valley of Mijiang River SW China

属名	种名 Species	频度 Frequency(%)	盖度 Coverage(%)	高度 Height (cm)	根瘤 Nodule
乔木 Tree					
刺槐属 Robinia Linn	刺槐 <i>R. pseudacacia</i> L.	×	×	476.7±19.4	×
灌木 Shrub					
羊蹄甲属 Bauhinia Linn	小马鞍羊蹄甲 <i>B. bradycarpa</i> var. <i>microphylla</i>	28.9	49.6±9.8	64.9±8.5	-
杭子稍 Campybtropis Bunge	杭子稍 <i>C. macrocarpa</i> (Bunge) Rehd	7.9	10.1±2.7	57.2±4.1	+
	小雀花 <i>C. polyantha</i> (Franch) Schindl	35.4	11.6±2.6	60.3±4.4	+
	小叶杭子稍 <i>C. wilsonii</i> Schindl	31.9	21.2±4.6	44.5±3.7	+
锦鸡儿属 Caragana Fabr	锦鸡儿 <i>Caragana</i> Spp	0.9	0.5±0.3	31.2±1.4	+
山蚂蝗属 Desmodium Desv	圆锥山蚂蝗 <i>D. elegans</i> DC	24.8	19.7±5.2	83.6±6.7	-
木蓝属 Indigofera Linn	岷谷木蓝 <i>I. lenticellata</i> Craib	29.2	8.3±4.1	39.7±5.6	+
	马棘 <i>I. pseudotinctoria</i> Mats	6.2	37.5±12.3	53.5±8.5	+
	刺序木蓝 <i>I. silvestrii</i> Pamp	7.1	20.6±7.1	23.2±1.0	-
	四川木蓝 <i>I. sichuanensis</i> Craib	23.0	5.0±3.1	35.0±6.4	+
	木蓝 <i>I. tinctoria</i> L	6.2	5.8±3.4	41.5±6.1	+
胡枝子属 Lespedeza Michx	胡枝子 <i>L. bicolor</i> Turcz	7.1	15.0±6.3	82.5±12.5	+
	中华胡枝子 <i>L. chinensis</i> G. Don	10.6	12.2±5.9	27.2±2.9	-
	截叶铁扫帚 <i>L. cuneata</i> (Dum. - Cours) G. Don	1.8	3.5±1.7	45.2±6.4	-
	兴安胡枝子 <i>L. daurica</i> (Lam.) Schindl	0.9	3.0±1.2	86.0±9.8	+
	束花铁马鞭 <i>L. fasciculiflora</i> Franch	2.7	1.9±0.8	51.2±7.9	-
	多花胡枝子 <i>L. floribunda</i> (Vog) Koenne	16.8	3.2±1.5	46.9±5.8	-
	牛枝子 <i>L. potaninii</i> Rick	0.9	10.0±2.9	43.0±5.2	-
槐属 Sphora Linn	白刺花 <i>S. davidii</i> (Franch) Skeels	44.3	32.8±3.0	46.9±7.7	+
草本 Herb					
黄芪属 Astragalus Linn	背扁黄芪 <i>A. complanatus</i> Bunge	6.2	5.2±3.4	14.4±0.9	-
	草木樨状黄芪 <i>A. melilotoides</i> Pall	9.7	9.7±5.7	83.3±7.2	-
	膜荚黄芪 <i>A. membranaceus</i> (Fisch) Bge	3.5	4.5±3.6	37.2±2.9	-
	紫云英 <i>A. sinicus</i> L	×	×	22.1±0.0	×
两型豆属 Amphicarpaea Elliot	两型豆 <i>A. edgeworthii</i> (Benth) Ohashi	0.9	0.1±0.1	52.3±2.6	-
米口袋属 Guedensaeitia Fisch	异叶米口袋 <i>G. diversifolia</i> Maxim	×	×	38.0±0.0	×
百脉根属 Lotus Linn	百脉根 <i>L. corniculatus</i> L	1.8	0.5±0.3	31.1±3.9	-
苜蓿属 Medicago Linn	小苜蓿 <i>M. edgeworthii</i> Sirj ex Hand - Mazz	2.7	1.3±0.4	12.0±2.7	-
	天蓝苜蓿 <i>Medicago lupulina</i> L	7.1	6.5±2.1	28.5±4.0	-
	花苜蓿 <i>Medicago ruthenica</i> (Linn) Trautv	8.6	5.6±1.7	38.8±5.2	-
	紫苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L	2.7	4.1±2.4	41.2±2.5	+
棘豆属 Oxytropis DC.	棘豆 <i>Oxytropis</i> sp	1.8	1.0±0.4	11.7±3.2	-
葫芦巴属 Trigonellae Linn	葫芦巴 <i>T. foenum-graecum</i> L	×	×	39.8±7.8	-
野豌豆属 Vicia Linn	窄叶野豌豆 <i>V. angustifolia</i> L	0.9	5.6±1.8	30.0±2.8	-
	三齿芎野豌豆 <i>V. bungei</i> L	1.8	0.9±0.5	13.4±3.8	-
	广布野豌豆 <i>V. cracca</i> L	0.9	1.0±0.3	26.0±1.7	-
	救荒野豌豆 <i>V. sativa</i> L	×	×	26.1±54.1	-
	歪头菜 <i>V. unijuga</i> A. Brown	1.8	1.5±0.8	40.8±3.6	-

+ = 有根瘤, - = 未发现根瘤, × = 未调查

+ = to nodulate, - = not to nodulate, × = no survey

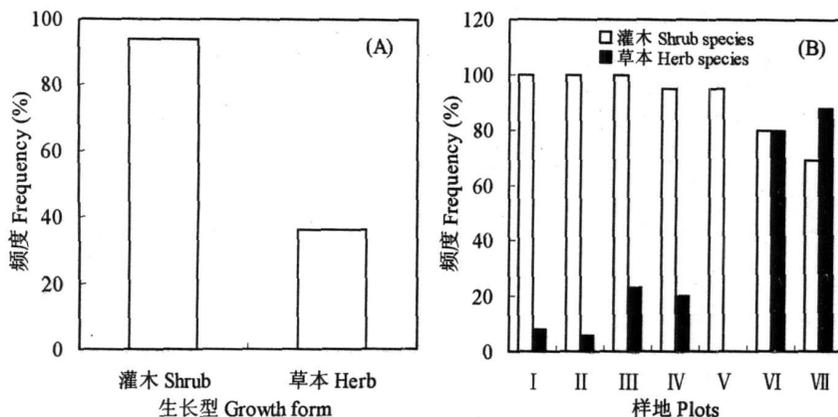


图 2 岷江干旱河谷豆科植物频率

Fig 2 Frequency of leguminous species in the dry valley of Mijiang River SW China

I: 绵鹿 Miansi II: 雁门 Yamen III: 宗渠 Zongqu IV: 静洲山 Jingzhoushan
V: 野鸡坪 Yejiaping VI: 太平 Taiping VII: 镇江关 Zhengjiangguan

草本植物 (图 2A)。仅刺槐 (*Robinia pseudoacacia*) 和葫芦巴 (*Trigonellae foenum-graecum*) 为栽培物种, 其余 36 种为干旱河谷乡土植物。

2.2 豆科植物物种多样性的空间格局

豆科植物丰富度在宗渠与静洲山最大, 分别为 20 和 22 种; 其次为绵鹿、太平和雁门; 野鸡坪与镇江关的物种丰富度最小 (表 3)。调查发现, 不同生长型植物的丰富度在纬度梯度上具有明显差异, 即随着纬度升高, 灌木丰富度减小而草本丰富度有所增加 (见表 3)。杭子梢 (*Campylotropismarocarpa*)、圆锥山蚂蝗 (*Desmodium elegans*)、紫云英 (*Astragalus sinicus*) 和紫苜蓿 (*Medicago sativa*) 在不同纬度广泛分布。

灌木的频率在绵鹿、雁门和宗渠都达到了 100%; 随着纬度升高, 灌木频率减小, 但野鸡坪未发现豆科草本植物 (见表 3)。相反, 草本植物频率随着纬度升高而显著增大 (图 2B)。与其他 5 个样地相比, 太平和纬度镇江关两个样地的灌木盖度较小。草本植物盖度在纬度梯度上无明显的规律性变化。豆科灌木与草本植物的平均高度都在雁门、宗渠和静洲山较小 (见表 3)。

随着距河谷底的垂直高度增加, 豆科灌木与总物种丰富度均减小 ($P > 0.05$, 图 3), 而草本植物丰富度差异不显著。豆科植物盖度与高度在不同海拔之间也无明显变化 (数据未显示)。

表 3 岷江干旱河谷不同调查样地豆科植物组成及生长 (平均值 \pm 标准误)Table 3 Species composition and growth (mean \pm SE) of leguminous species at different sample plots in the dry valley of Mijiang River SW China

样地 Plots	纬度 Latitude ($^{\circ}$)	总属数 Total genus number (个)	总种数 Total species number (个)	灌木 Shrub species			草本 Herb species		
				种数 Species number (个)	盖度 Coverage (%)	高度 Height (cm)	种数 Species number (个)	盖度 Coverage (%)	高度 Height (cm)
绵鹿 Miansi	31 $^{\circ}$ 20'56.3"	7	16	15	27.4 \pm 1.6a	81.0 \pm 10.4a	1	1.0 \pm 0.2a	29.2 \pm 1.6a
雁门 Yamen	31 $^{\circ}$ 29'11.7"	9	12	11	22.2 \pm 3.8ab	52.0 \pm 2.2b	1	2.0 \pm 0.9ac	11.0 \pm 1.4b
宗渠 Zongqu	31 $^{\circ}$ 42'9.6"	13	22	18	19.2 \pm 1.8b	35.1 \pm 3.6c	4	4.5 \pm 1.2ab	12.5 \pm 2.0b
静洲山 Jingzhoushan	31 $^{\circ}$ 42'36.2"	10	20	16	21.6 \pm 4.1ab	37.0 \pm 5.5bc	4	1.6 \pm 0.5a	20.0 \pm 2.8b
野鸡坪 Yejiaping	31 $^{\circ}$ 52'33.2"	8	9	9	31.2 \pm 2.6a	40.0 \pm 4.6bc	0	—	—
太平 Taiping	32 $^{\circ}$ 7'5.4"	10	15	7	5.2 \pm 1.5c	71.3 \pm 10.7a	8	6.8 \pm 1.8b	63.1 \pm 7.2c
镇江关 Zhengjiangguan	32 $^{\circ}$ 19'33.4"	6	9	6	9.3 \pm 2.1c	69.0 \pm 11.2ab	3	5.7 \pm 2.0bc	52.4 \pm 4.9c

注: 同一列不同字母 (a b c) 指示纬度之间差异显著 ($n=4$ 或 6 , $P < 0.05$)。Different letters show significant differences among seven sites ($n=4$ or 6 , $P < 0.05$).

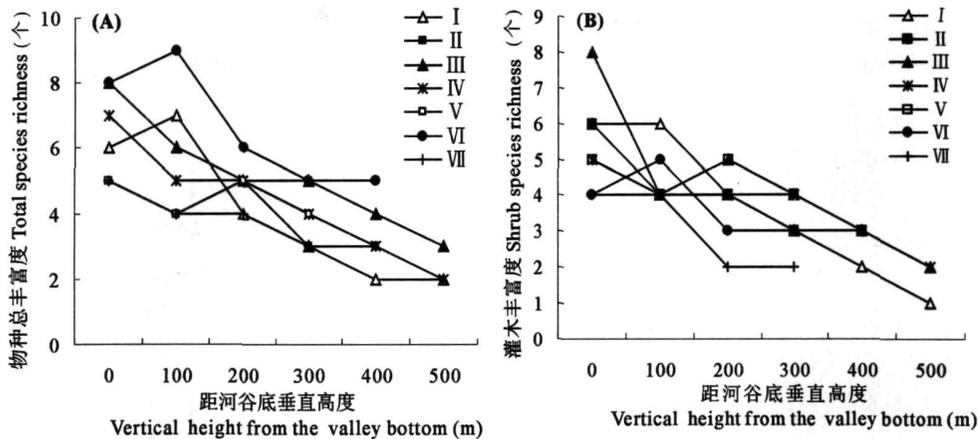


图 3 岷江干旱河谷豆科植物物种丰富度在垂直梯度上的变化 (总丰富度 (A)、灌木 (B))

Fig 3 Changes in species richness of legumes along the vertical gradient in the dry valley of Mijiang River SW China

(Total species (A); shrub species (B))

I: 绵鹿 Miansi II: 雁门 Yamen III: 宗渠 Zongqu IV: 静洲山 Jingzhoushan V: 野鸡坪 Yejiaping

VI: 太平 Taiping VII: 镇江关 Zhengjianguan

2.3 豆科植物结瘤情况

在所有豆科植物中, 34%的物种根系具有结瘤 (见表 2)。调查发现, 灌木幼苗结瘤较多, 成熟个体不产生根瘤。结瘤的灌木物种有: 杭子稍、小雀花 (*Campylobotris polyantha*)、小叶杭子稍 (*C. wilsonii*)、锦鸡儿 (*Caragana Spp.*)、岷谷木蓝、马棘 (*Ipseudotinctoria*)、四川木蓝 (*I. sichuanensis*)、木蓝 (*I. tinctoria*)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor*)、兴安胡枝子 (*L. daurica*) 和白刺花等, 占灌木总物种数的 58%。草本植物结瘤能力很低, 仅紫苜蓿具有根瘤。

在同一样地中, 随着海拔升高, 小雀花、岷谷木蓝和白刺花等灌木幼苗的根瘤数明显增加 (数据已另文显示)。但是, 由于植物物种组成在不同纬度之间存在较大差异, 根系结瘤数量在不同纬度之间无规律性变化。

3 讨论

3.1 豆科植物物种组成的基本特征

除物种形成、竞争及扩散等以外, 地形、气候和土壤等环境因子对植物组成及多样性具有重要的影响^[27-29]。调查结果显示, 干旱河谷地区主要生长着大量的喜阳、耐旱乡土豆科灌木和草本植物, 这与该地区独特的干旱河谷气候类型相符。另外, 该地区豆科灌木种类相对较多, 在样方中的出现频度达到了 93%, 并且 50%以上的灌木频度及盖度都大于草本植物。其中小马鞍羊蹄甲、白刺花、岷谷木蓝与小

叶杭子稍等灌木盖度 > 20% (见表 2), 它们是干旱河谷的优势灌丛, 在区域植被中具有重要地位, 对生态系统的结构与功能有较大影响^[20]。此外, 小雀花、圆锥山蚂蝗与四川木蓝等灌木的频率及盖度也比较大, 是岷江干旱河谷地区的常见灌木, 在局部地段也是灌丛优势种。锦鸡儿、兴安胡枝子、牛枝子 (*Lespedeza potaninii*) 等的频率 < 1%, 是干旱河谷稀有豆科灌木。所有草本植物频率及盖度 < 10% (见表 2), 仅草木樨状黄芪 (*Astragalus melilotoides*)、天蓝苜蓿 (*Medicago lupulina*)、花苜蓿 (*M. ruthenica*) 频率与盖度较大 > 5%, 是常见豆科草本植物。两型豆 (*Amphicarpaea edgeworthii*)、窄叶野豌豆 (*Vicia angustifolia*)、广布野豌豆 (*V. cracca*) 等为稀有豆科草本, 频率 < 1%, 而且仅在太平与镇江关等高纬度的湿润环境中生长。

3.2 豆科植物组成与环境因子的关系

在岷江干旱河谷地区, 豆科植物物种组成及生长具有明显的空间差异, 这可能主要与降水、温度、土壤水分及养分等环境因子的高度空间异质性有关。与位于干旱河谷边缘区的太平、镇江关、绵鹿相比, 河谷中心地段如宗渠、静洲山、野鸡坪等地区, 气候更加温暖、干燥, 土壤水分及养分含量较低^[25, 26], 但是豆科植物种类却干热环境条件下相对较多 (见表 3)。调查还发现, 不同生长类型的豆科植物在纬度梯度上具有替代现象, 随着纬度升高, 灌木种类减少而草本种类增加。野鸡坪属于岷江干旱河谷的核心区, 受干热胁迫最为严重^[24, 29], 该地区仅发现了 7

种豆科灌木,未见豆科草本植物。这表明与豆科草本植物相比,豆科灌木可能对干旱河谷核心区严酷的环境胁迫适应性较强。

在高山峡谷区,气温、降水与土壤性质都具有明显的垂直地带性,导致植被物种组成与生长在不同海拔之间发生明显变化^[31]。前期的研究表明,在干旱河谷范围内(垂直高度 300~500 m),群落物种丰富度高海拔地段较大^[20]。然而,本次调查结果显示,低海拔段豆科植物丰富度较高(见图 3)。可见,该地区豆科植物丰富度与群落整体物种丰富度的垂直变化趋势正好相反。干旱河谷低海拔或者中心地段的气候更加干燥、炎热;土壤更加干旱、贫瘠^[25 26 30],豆科植物可能对干热与贫瘠环境有较强的适应性或者资源竞争能力。此推论还需要通过探讨干旱河谷植物群落中豆科植物对资源的利用效率,以及它们与非豆科植物之间的竞争关系去进一步证实。河谷中心豆科植物平均高度和盖度相对减小,这可能有方面的原因:1)不同地段群落中不同高度的豆科植物组成存在差异;2)同种植物在河谷中心地段严酷的环境胁迫下生长比较缓慢。

3.3 豆科植物结瘤能力及影响因素

植物结瘤能力主要受两方面因素的影响:1)植物本身的生物学特性(主要是根系的被侵染性)是影响结瘤固氮能力的内在因素^[6]。2)外界环境胁迫(如水分、高温、土壤养分和 pH 值等)限制了植物生长发育及微生物活性,从而限制了根瘤形成与发育^[3 14 32 33]。已有研究资料显示,除小马按羊蹄甲以外,我们调查到的所有豆科植物都具有结瘤固氮机制^[6 8 32]。由此看出,根系结瘤对环境胁迫的忍受能力低于植物本身;虽然干旱河谷地区生长着大量的具有生物固氮潜力的豆科植物,但是大多数的物种不能产生根瘤,固氮机制已丧失。这可能主要归因于该地区严酷环境因素胁迫的制约。水分胁迫对豆科植物根瘤固氮效率有限制作用已被大量的实验数据证实^[3 13 33 34]。例如,当田间持水量下降到 75%时,白三叶(*Trifolium repens*)的固氮量减少 50%~30%;当田间持水量为 50%时固氮量为 0^[3]。类似地,苜蓿(*Medicago spp*)和百脉根(*Lotus japonicus*)水势下降到 -3.0~-4.5 MPa时,固氮酶活性为 0^[14]。我们发现白刺花和小雀花等灌木幼苗根系结瘤数量与质量随着土壤干旱胁迫强度的增加而明显下降,当田间持水量 20%时,幼苗根系不结瘤^[35]。高温与 P 元素缺乏也是干旱河谷环

境的主要特征^[24 25],限制豆科植物根瘤形成与生长^[13 14 36]。研究结果还显示,豆科灌木的结瘤能力与其年龄密切相关,幼苗的结瘤能力明显大于其成熟个体。

综合上分析表明:1)受高山峡谷地貌和独特的气候特征影响,岷江干旱河谷分布着大量的乡土豆科灌木与草本植物,其中豆科灌木占优势,其物种组成、生长和分布范围均显著大于草本植物。2)干旱河谷区豆科植物的丰富度具有明显的空间差异,在河谷核心区及低海拔地区,干旱、贫瘠环境胁迫更加严重,豆科植物丰富度却较高。3)该地区豆科的结瘤能力很低,大多数具有固氮潜力种类不产生结瘤;与成熟个体相比,灌木幼苗的结瘤能力较强。

参考文献 (References)

- [1] Spehn E M, Scherer-Lorenzen M, Schmid B. The role of legumes as a component of biodiversity in a cross-European study of grassland biomass nitrogen [J]. *Oikos* 2002, 98: 205~218
- [2] Werner D, Newton W E. Nitrogen fixation in agriculture forestry ecology and the environment [A]. In: Ruiz-Sainz J E, Zhou J C, Rodriguez-Navarro D N (eds). *Soybean cultivation and BNF in China* [C]. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2005: 78~79
- [3] Sprent J I. The effect of water stress on nitrogen-fixing root nodules II. Effects on the fine structure of detached soybean nodules [J]. *New Phytologist* 1972, 71: 441~450
- [4] Vitousek P M, Cassman K, Cleveland C. Towards an ecological understanding of biological nitrogen fixation [J]. *Biogeochemistry* 2002, 57: 1~45
- [5] Niu Shuli, Jiang Gaming. Effect of elevated CO₂ on legume plants with nitrogen fixation [J]. *Acta Phytocologica Sinica* 2003, 27(6): 844~850 [牛书丽, 蒋高明. 豆科固氮植物对 CO₂ 加富的生理响应 [J]. *植物生态学报*, 2003, 27(6): 844~850]
- [6] Sprent J I. Evolving ideas of legume evolution and diversity: a taxonomic perspective on the occurrence of nodulation [J]. *New Phytologist* 2007, 174: 11~25
- [7] Chen Wenxin. The role of legumes-root nodule bacteria nitrogen fixing system in development of west area of china [J]. *Acta Agraria Sinica* 2004, 12(1): 1~2 [陈文新. 豆科植物根瘤菌-固氮体系在西部大开发中的作用 [J]. *草地学报*, 2004, 12(1): 1~2]
- [8] Chen Weinan, Zhang Zhixia, Zhang Hongchang et al. Investigation of rhizobium of legumes in the middle and western areas of Gansu Province [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas* 2006, 24(1): 83~188 [陈卫安, 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): 83~188]
- [9] Pons T L, Pereijn K, van Kessel C. Symbiotic nitrogen fixation in a tropical rainforest. ISN natural abundance measurements supported

- by experimental isotopic enrichment [J]. *New Phytologist* 2007, 173: 154~167
- [10] Sun Hui, Tang Ya He Yonghua et al. Studies on soil nutrient redistribution under contour hedgerow system [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* 2002, 10(2): 79~82 [孙辉, 唐亚, 何永华, 等. 等高固氮植物篱模式对坡耕地土壤养分的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2002, 10(2): 79~82]
- [11] Zeng Zhaohai, Hu Yaogao, Chen Wenxia et al. Review on studies on the important role of symbiotic nitrogen fixation in agriculture and livestock production and the factors affecting its efficiency [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* 2006, 14(4): 21~24 [曾昭海, 胡跃高, 陈文新, 等. 共生固氮在农牧业上的作用及影响因素研究进展 [J]. *中国生态农业学报*, 2006, 14(4): 21~24]
- [12] Albrecht S L, Bennett J M, Boote K J. Relationship of nitrogenase activity to plant water stress in field grown soybeans [J]. *Field Crops Research* 1994, 8: 61~71
- [13] Aranjuelba I, Pérez R, Hernández L. The response of nodulated alfalfa to water supply, temperature and elevated CO₂: photosynthetic downregulation [J]. *Physiologia Plantarum* 2005, 123: 348~358
- [14] López M, Herrera-Cervera J A, Iribarne C. Growth and nitrogen fixation in *Lotus japonicus* and *Medicago truncatula* under NaCl stress. Nodule carbon metabolism [J]. *Journal of Plant Physiology* 2008, 165(6): 641~50
- [15] Ci En, Gao Ming. Research advances in the effects of environmental factors on the symbiotic nitrogen fixation of legumes [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* 2005, 25(6): 1269~1271 [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]
- [16] Sprent J I, Parsons R. Nitrogen fixation in legume and non-legume trees [J]. *Field Crops Research* 2000, 65: 183~196
- [17] Guan Wenbin, Ye Minsheng, Ma Keming et al. Vegetation classification and the main types of vegetation of the dry valley of Minjiang River [J]. *Journal of Mountain Science* 2004, 22(6): 679~686 [关文彬, 冶民生, 马克明, 等. 岷江上游植被分类及其主要类型 [J]. *山地学报*, 2004, 22(6): 679~686]
- [18] Xu X L, Ma K M, Fu B J et al. Influence of three plant species with different morphologies on water runoff and soil loss in a dry-warm river valley, SW China [J]. *Forest Ecology and Management* 2008, 25: 656~663
- [19] Liu Guohua, Zhang Jieyu, Zhang Yuxin et al. Distribution regulation of aboveground biomass of three main shrub types in the dry valley of Minjiang River [J]. *Journal of Mountain Science* 2003, 21(1): 24~32 [刘国华, 张洁瑜, 张育新, 等. 岷江干旱河谷三种主要灌丛类型地上生物量的分布规律 [J]. *山地学报*, 2003, 21(1): 24~32]
- [20] Ye Minsheng, Guan Wenbin, Wu Bin et al. Plant community complexity in the arid valley of Minjiang River [J]. *Acta Ecologica Sinica* 2006, 26(10): 3159~3165 [冶民生, 关文彬, 吴斌, 等. 岷江干旱河谷植物群落的复杂性. *生态学报*, 2006, 26(10): 3159~3165]
- [21] Zhou Rong, Hu Yuzhe, Xiong Yin et al. Interpreting ecological land cover pattern for the riparian zone of the upper minjiang river, china [J]. *Journal of Plant Ecology* 2007, 31(1): 2~10 [周睿, 胡玉*, 熊颖, 等. 岷江上游河岸带土地覆盖格局及其生态学解释 [J]. *植物生态学报*, 2007, 31(1): 2~10]
- [22] Yang Qinzhou. Study on the arid-valley scrubs in the upper reaches of Minjiang River [J]. *Journal of Mountain Science* 2007, 25(1): 1~32 [杨钦周. 岷江上游干旱河谷灌丛研究 [J]. *山地学报*, 2007, 25(1): 1~32]
- [23] Zhou Zhaoping, Bao Weikai, Wu Fuzhong et al. Growth and reproduction of *Rosa multibracteata* population in Minjiang River dry valley [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* 2007, 18(7): 1407~1413 [周志琼, 包维楷, 吴福忠, 等. 岷江干旱河谷多苞蔷薇生长与繁殖特征 [J]. *应用生态学报*, 2007, 18(7): 1407~1413]
- [24] Li Fanglan, Bao Weikai, Liu Junhua et al. Eco-anatomical characteristics of *Sophora davidii* leaves along an elevation gradient in upper Minjiang River dry valley [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* 2006, 17(1): 5~10 [李芳兰, 包维楷, 刘俊华, 等. 岷江上游干旱河谷海拔梯度上白刺花叶片生态解剖特征研究 [J]. *应用生态学报*, 2006, 17(1): 5~10]
- [25] Ma K M, Fu B J, Liu S L et al. Multiple-scale soil moisture distribution and its implications for ecosystem restoration in an arid river valley, China [J]. *Land Degradation Development* 2004, 15: 75~85
- [26] Wu Ning. Restoration and Rehabilitation of Degraded Hill Ecosystem on the Upper Minjiang River [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2007 [吴宁. 山地退化系统的恢复与重建: 理论与岷江上游的实践 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2007]
- [27] Ren Jit B M, Nilsson C, Jansson R. Spatial and temporal patterns of species richness in a riparian landscape [J]. *Journal of Biogeography* 2005, 32: 2025~2037
- [28] Whittaker R J, Willis K J, Field R. Scale and species richness towards a general hierarchical theory of species diversity [J]. *Journal of Biogeography* 2001, 28: 453~470
- [29] Willis K J, Whittaker R J. Species diversity scale matters [J]. *Science* 2002, 295: 1245~1248
- [30] Li Fanglan, Bao Weikai, Pang Xueyong et al. Seedling emergence, survival and growth of five endemic species in the dry valley of Minjiang River [J]. *Acta Ecologica Sinica* 2009, 29(5): 2219~2230 [李芳兰, 包维楷, 庞学勇, 等. 岷江干旱河谷 5 种乡土植物的出苗、存活和生长 [J]. *生态学报*, 2009, 29(5): 2219~2230]
- [31] Yang Yuarhe, Rao Sheng, Hu Hui Feng et al. Plant species richness of alpine grasslands in relation to environmental factors and biomass on the Tibetan Plateau [J]. *Biodiversity Science* 2004, 12(1): 200~205 [杨元合, 饶胜, 胡会峰, 等. 青藏高原高寒草地植物物种丰富度及其与环境因子和生物量的关系 [J]. *生物多样性*, 2004, 12(1): 200~205]
- [32] Wang Weimei, Hu Zhenghai. Characteristics related to symbiotic nitrogen fixation of legumes in northwest arid zone of China [J].

- Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica 2003 23(7): 1163 ~ 1168 [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]
- [33] Foubts W. Response to soil moisture supply in three leguminous species: Rate of N₂-fixation [J]. New Phytologist 1978 80: 547 ~ 555
- [34] Mnasri B, Acuani E, Mhamdi R. Nodulation and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris*) under water deficiency [J]. Soil Biology & Biochemistry 2007 39: 1744 ~ 1750
- [35] Li Fanglan, Zhu Linhai, Bao Weikai. Changes in growth and nodule of endemic leguminous shrub seedlings along environmental gradient of the dry valley of Minjiang River [J]. Chinese Journal of Applied Ecology 2009 20 (8): 1825 ~ 1831 [李芳兰, 朱林海, 包维楷. 环境梯度上干旱河谷乡土豆科灌木幼苗生长及结瘤特征 [J]. 应用生态学报, 2009 20 (8): 1825 ~ 1831]
- [36] Edwards E J, McCaffery S, Evans JR. Phosphorus availability and elevated CO₂ affect biological nitrogen fixation and nutrient fluxes in a clover-dominated sward [J]. New Phytologist 2006 169: 157 ~ 167

Species Diversity and Spatial Distribution of Legumes in the Dry Valley of Minjiang River, SW China

LI Fanglan, BAO Weikai, ZHU Linhai

(ECORES Lab, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: Legumes and their ability in N₂ fixation play an important role in sustainable agricultural practices and ecological restoration of degraded lands. To explore the composition, growth, nodulating ability and spatial distribution of legumes in the dry valley of Minjiang River, southwest of China, we set totally 204 sampling plots of 2 m × 2 m. The results indicate: 1) there are 38 legume species in the dry valley including 2 cultivated ones *Robinia pseudoacacia* and *Trigonella foenum-graecum*. In the native species, 19 shrubs belong to 7 genera and 17 herbs belong to 7 genera, most of the herbs are perennial. Obviously, shrubs were dominant in the legume communities of this area, more than 50% of shrubs had frequencies higher than 10%, specially in *Sophora davidii*, *Indigofera lenticeolata* and *Bauhinia brachycarpa* var. *microphylla* with frequencies higher than 20%, while all herbs had frequencies less than 10%. 2) The species richness and growth had distinctly spatial differences, a higher species richness and lower plant height were observed at the middle of the dry valley (N 31° 42' 9.6" ~ 31° 42' 36.2") where habitats are dry and infertile, shrub species richness decreased with the increasing of latitude, while herb species richness increased. The richness of the total legume species decreased along altitudinal gradients, shrubs' richness changed similarly with the total species richness, but the altitudinal richness pattern of herb species was quite inconspicuous. The height of shrubs increased along the altitudinal gradients, but herbs changed indistinctively. 3) There were very few nodules in roots of the legume species growing in the dry valley, and no-nodulating species accounted for 66% in this study. The seedling with higher nodulating ability than adult plant. The results of our study will precede a discussion of the role of legumes in natural ecosystems in the dry valley and how they may be exploited in a sustainable way.

Key words: the dry valley, species richness, spatial distribution, biological nitrogen fixation, environmental factor