

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第1期 Vol.32 No.1 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 1 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

局域种群的 Allee 效应和集合种群的同步性	刘志广, 赵 雪, 张丰盘, 等 (1)
叶片毛尖对齿肋赤藓结皮凝结水形成及蒸发的影响	陶 冶, 张元明 (7)
长江口锋面附近咸淡水混合对浮游植物生长影响的现场培养	王 奎, 陈建芳, 李宏亮, 等 (17)
河流流量对流域下垫面特性的响应	田 迪, 李叙勇, Donald E. Weller (27)
中国中东部平原亚热带湿润区湖泊营养物生态分区	柯新利, 刘 曼, 邓祥征 (38)
基于氮磷比解析太湖苕溪水体营养现状及应对策略	聂泽宇, 梁新强, 邢 波, 等 (48)
滇池外海蓝藻水华爆发反演及规律探讨	盛 虎, 郭怀成, 刘 慧, 等 (56)
采伐干扰对华北落叶松细根生物量空间异质性的影响	杨秀云, 韩有志, 张芸香, 等 (64)
松嫩草原榆树疏林对不同干扰的响应	刘 利, 王 赫, 林长存, 等 (74)
天山北坡不同海拔梯度山地草原生态系统地上净初级生产力对气候变化及放牧的响应	周德成, 罗格平, 韩其飞, 等 (81)
草原化荒漠草本植物对人工施加磷素的响应	苏洁琼, 李新荣, 冯 丽, 等 (93)
自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异	张华兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (101)
晋、陕、宁、蒙柠条锦鸡儿群落物种多样性对放牧干扰和气象因子的响应	周 伶, 上官铁梁, 郭东罡, 等 (111)
华南地区 6 种阔叶幼苗叶片形态特征的季节变化	薛 立, 张 柔, 奚如春, 等 (123)
河西走廊不同红砂天然群体种子活性相关性	苏世平, 李 毅, 种培芳 (135)
江西中南部红壤丘陵区主要造林树种碳固定估算	吴 丹, 邵全琴, 李 佳, 等 (142)
酸雨和采食模拟胁迫下克隆整合对空心莲子草生长的影响	郭 伟, 李钧敏, 胡正华 (151)
棉铃虫在 4 个辣椒品种上的寄主适合度	贾月丽, 程晓东, 蔡永萍, 等 (159)
烟草叶面积指数的高光谱估算模型	张正杨, 马新明, 贾方方, 等 (168)
不同作物田烟粉虱发生的时空动态	崔洪莹, 戈 峰 (176)
长期施肥对稻田土壤固碳功能菌群落结构和数量的影响	袁红朝, 秦红灵, 刘守龙, 等 (183)
新银合欢篱对紫色土坡地土壤有机碳固持的作用	郭 甜, 何丙辉, 蒋先军, 等 (190)
一株产漆酶土壤真菌 F-5 的分离及土壤修复潜力	茆 婷, 潘 澄, 徐婷婷, 等 (198)
木论喀斯特自然保护区土壤微生物生物量的空间格局	刘 璐, 宋同清, 彭晚霞, 等 (207)
岷江干旱河谷 25 种植物一年生植株根系功能性状及相互关系	徐 琨, 李芳兰, 苟水燕, 等 (215)
黄土高原草地植被碳密度的空间分布特征	程积民, 程 杰, 杨晓梅, 等 (226)
棉铃发育期棉花源库活性对棉铃对位叶氮浓度的响应	高相彬, 王友华, 陈兵林, 等 (238)
耕作方式对紫色水稻土有机碳和微生物生物量碳的影响	李 辉, 张军科, 江长胜, 等 (247)
外源钙对黑藻抗镉胁迫能力的影响	闵海丽, 蔡三娟, 徐勤松, 等 (256)
强筋与弱筋小麦籽粒蛋白质组分与加工品质对灌浆期弱光的响应	李文阳, 闫素辉, 王振林 (265)
专论与综述	
蛋白质组学研究揭示的植物根盐胁迫响应机制	赵 琪, 戴绍军 (274)
流域生态风险评估研究进展	许 妍, 高俊峰, 赵家虎, 等 (284)
土壤和沉积物中黑碳的环境行为及效应研究进展	汪 青 (293)
研究简报	
青藏高原紫穗槐主要形态特征变异分析	梁坤伦, 姜文清, 周志宇, 等 (311)
菊属与蒿属植物苗期抗蚜虫性鉴定	孙 娅, 管志勇, 陈素梅, 等 (319)
滨海泥质盐碱地衬膜造林技术	景 峰, 朱金兆, 张学培, 等 (326)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 332 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-01



封面图说: 白鹭展翅为梳妆, 玉树临风巧打扮——这是大白鹭繁殖期时的美丽体态。大白鹭体羽全白, 身长 94—104cm, 寿命 20 多年。是白鹭中体型最大的。繁殖期的大白鹭常常在湿地附近的大树上筑巢, 翩翩飞舞吸引异性, 其繁殖期背部披有蓑羽, 脸颊皮肤从黄色变成兰绿色, 嘴由黄色变成绿黑色。大白鹭是一个全世界都有它踪迹的广布种, 一般单独或成小群, 在湿地觅食, 以小鱼、虾、软体动物、甲壳动物、水生昆虫为主, 也食蛙、蝌蚪等。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201011181645

梁坤伦, 姜文清, 周志宇, 郭霞, 李晓忠, 代万安, 王瑞, 刘雪云. 青藏高原紫穗槐主要形态特征变异分析. 生态学报, 2012, 32(1): 0311-0318.

Liang K L, Jiang W Q, Zhou Z Y, Guo X, Li X Z, Dai W H, Wang R, Liu X Y. Variation in main morphological characteristics of *Amorpha fruticosa* plants in the Qinghai-Tibet Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(1): 0311-0318.

青藏高原紫穗槐主要形态特征变异分析

梁坤伦¹, 姜文清¹, 周志宇^{1,*}, 郭霞¹, 李晓忠², 代万安², 王瑞¹, 刘雪云¹

(1. 兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730020; 2. 西藏自治区农科院, 西藏 拉萨 850000)

摘要:应用数量统计方法, 对在西藏拉萨市、曲水县和甘肃玛曲县等青藏高原区首次种植的紫穗槐 3 个居群的 17 项形态特征指标进行比较分析。变异系数分析结果表明: 不同居群内及居群间的形态特征存在一定程度的变异。采用主成分分析方法, 找到了累积贡献率达 86.603% 的 4 个主成分, 新枝长、新枝直径、老枝直径、主根直径、二级侧根总长 5 个性状是造成紫穗槐形态变异的主要因素, 并分析了其与根际土壤生境的相关性。通过对紫穗槐一级侧根与二级侧根根长频率分布研究, 表明: (1) 不同居群内及居群间各个阶段根长存在差异; (2) 居群 3 (玛曲) 中一级侧根和二级侧根根长 ≥ 40 cm 的频率明显高于另外两个居群。

关键词: 青藏高原; 紫穗槐; 形态特征; 居群; 主成分分析

Variation in main morphological characteristics of *Amorpha fruticosa* plants in the Qinghai-Tibet Plateau

LIANG Kunlun¹, JIANG Wenqing¹, ZHOU Zhiyu^{1,*}, GUO Xia¹, LI Xiaozhong², DAI Wanan², WANG Rui¹, LIU Xueyun¹

¹ School of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou 730020, China

² Tibet Autonomous Regional Academy of Agricultural Sciences, Tibet Lhasa 850000, China

Abstract: This paper investigated the variation in 17 main morphological characteristics of 3 *Amorpha fruticosa* populations inhabiting three sites (Lhasa, Qushui and Maqu) of the Qinghai-Tibet Plateau. Our results showed that there were striking differences in some of the morphological characteristics within and among *A. fruticosa* populations when compared the average coefficients of variation in these morphological characteristics. The average coefficients of the variation of 17 main morphological characteristics across the three populations were 0.09—0.37, with the average coefficient of new branch length variation being largest. In addition, the average coefficient of population variation in the Lhasa site greater than that for the other two sites. Principal component analysis (PCA) indicated that the accumulated contribution of the first four principal components was 86.6%, but the contribution of the first principal component was 40.9%, suggesting that the first four principal components explained most of the variation in the morphological characteristics. New branch length, new branch diameter, old branch diameter, taproot diameter and total length of the second-order lateral root explained the majority of the variation in morphological characteristics of *A. fruticosa* populations. Correlation analysis also indicated that there were complicated relationships between main factors (soil organic carbon, total nitrogen and so on) in the rhizosphere and the above five morphological characteristics. New branch length, taproot diameter showed significant positive or negative correlations ($P < 0.05$) with the contents of soil nutrients, and in particular the content of soil organic carbon,

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目资助(973 项目)(2007CB108903); 国家自然科学基金资助项目(30800801)

收稿日期: 2010-11-18; **修订日期:** 2011-04-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyzhou@lzu.edu.cn

total nitrogen, total phosphorus were significantly and negatively correlated ($P < 0.05$) with the five morphological characteristics. In addition, our results showed some of the differences in the distribution frequency of the first-order and second-order lateral root lengths of *A. fruticosa* plants within and among populations. The distribution frequency of the first-order lateral root lengths (10—20 cm and 20—30 cm) was generally larger than that for the other first-order lateral root lengths in the three sites, and the distribution frequency of the second-order lateral root lengths (0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm, ≥ 40 cm) showed a decline trend in the Lhasa and Maqu sites. Moreover, the distribution frequency of the first-order and second-order lateral root lengths (≥ 40 cm) in the Maqu population was significantly greater than that for the populations of the Lhasa and Qushui sites. This study reported in the first time the variation in the main morphological characteristics of *A. fruticosa* plants in the alpine regions, which may have important implications for the management of such alpine grasslands in China.

Key Words: Qinghai-Tibet Plateau; *Amorpha fruticosa*; morphological characteristics; natural populations; principal component analysis

青藏高原沙漠化是中国沙漠化的重要组成部分。近数十年来,由于高原气候转暖、相对变干,导致冰川大多退缩,雪线升高,多年冻土退化,湖塘面积逐渐缩小,部分沼泽湿地变干,地表盐渍化加重,一些已固定的沙丘又复活,地表风蚀加重,土壤肥力下降,加之近代人类不合理的经济活动破坏了植被和土壤层,使本非沙漠化的土地及草地变成了沙漠化土地和草地,目前沙漠化现象正不断扩展和蔓延。据 1995 年调查,青藏高原沙漠化土地总面积达 313 274.62 km²,占主要行政区域土地总面积的 13.96%,其中严重、中度和轻度沙漠化土地分别占沙漠化土地总面积的 13.13%、55.44% 和 30.03%。此外,还有潜在沙漠化土地 29 863.8 km²,占主要行政区域土地总面积的 1.33%^[1]。防止沙化,特别是在高寒地区防止沙漠化已成为一项长期而艰巨的工程,目前世界范围内还没有一个非常有效的方法,但紫穗槐在高寒沙化地的种植可为青藏高原的治沙工程解决这一难题。

紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)又名棉槐、椒条,是一种易繁殖多年生豆科落叶小灌木,原产北美洲,现广泛栽植于我国华北、东北、西南及长江、黄河流域等地^[2],是一种具有广阔发展前景的优良抗旱速生灌木,因其耐寒、耐盐碱、耐旱涝、耐瘠薄,根系发达,适应性强的特点成为西部干旱、半干旱地区适宜发展的优良灌木。紫穗槐的不同部位都具有很高的应用及利用价值^[3]。它的枝叶对烟尘有较强的抵抗性和固定性,可用做工业区、化工区防护林带下的灌木层;紫穗槐根系发达,又是水土保持的优良树种;紫穗槐根部有根瘤具有固氮作用,可改良土壤,所以又是很好的贫瘠地改良的先锋树种;紫穗槐枝叶繁密,在园林上常种植作绿篱用。

紫穗槐分布环境的多样性,导致紫穗槐不同居群之间甚至同一居群不同个体之间形态性状变异的多样性。我国也是紫穗槐的主要分布国,许多学者也进行了较为详细的研究。杨娜^[2]、王丽^[4]、崔大练^[5]、闫永庆^[3]、刘金根^[6]、Guo^[7]等对紫穗槐光合速率、蒸腾速率、耐旱、抗盐胁迫等生理生态指标及紫穗槐配置方式作了一系列的研究,揭示了紫穗槐具有适应不同生境的能力。但是,将紫穗槐引入青藏高原种植后,并在高寒区安全越冬,关于其形态变异的研究还是首次报道。本研究对西藏和甘南紫穗槐不同居群的形态特征进行测定与分析,旨在探讨紫穗槐在青藏高原不同居群间、居群内形态性状变异的特点及遗传多样性状况,以期对青藏高原大量推广种植紫穗槐及高寒沙化草地长期可持续治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 采集点概况

拉萨市位于西藏自治区东南部,雅鲁藏布江支流拉萨河北岸(29°36'N, 91°06'E),海拔 3658 m。地势由东向西倾斜,气候属高原温带半干旱季风气候区。年日照时数 3000 h 以上。年降水量为 200—510 mm,集中在 6—9 月份,多夜雨,称为雨季。最高气温 28 ℃,最低气温零下 14 ℃。空气稀薄,气温低,日温差大,冬春干燥,多大风。年无霜期 100—120 d。土壤类型主要为潮土、高山草甸土等。

曲水是隶属拉萨市的一个县,地处西藏中南部的拉萨河下游($29^{\circ}21'N$, $90^{\circ}43'E$),海拔 3622 m。气候属高原温带半干旱季风气候区。年日照时数 2980 h。年平均气温 $7.18^{\circ}C$,最高气温 $29.4^{\circ}C$,最低气温 $-16.5^{\circ}C$,年平均无霜期 230 d 左右,年平均降水量 441.9 mm,最长达 796.6 mm,最少为 262.3 mm,降雨量的 95% 以上集中在夏秋雨季,冬春时期则干旱多风,最大风速为 15.5 m/s。土壤类型主要为亚高山草原土、潮土等。

玛曲属甘肃省甘南州管辖的一个县,位于黄河上游,甘肃省西南部,甘、青、川三省交界处,地理位置属青藏高原东端($33^{\circ}06'30''-34^{\circ}30'15''N$, $100^{\circ}45'45''-102^{\circ}29'00''E$),海拔 3300—4806 m。气候以高寒湿润气候为特征,年均气温 $1-2^{\circ}C$,活动积温 $253.6^{\circ}C$,平均风速 7.5 m/s,最大风速 36 m/s,全年大风日数 77.1 d(8 级以上),年日照平均 2583.9 h,年降水量 615.5 mm,年蒸发量 1353.4 mm。土壤为高山草甸土、褐钙土等。

以上 3 个地区是本试验紫穗槐采集点,均为高寒地区,居群 1 位于拉萨,居群 2 位于曲水,居群 3 位于玛曲。

1.2 表型性状的测量与记录

3 个居群紫穗槐移栽前均同一批的 1 年生种苗。2010 年 8 月底至 9 月初,采取随机取样的方法进行采样,每个居群选取两年生紫穗槐 5 株进行形态测定。单株植物测定株高、冠幅、叶长、叶宽、叶厚、老枝长度、老枝直径、当年新生枝条长度、当年新生枝条直径、主根长度、主根直径、一级侧根数目、一级侧根长度、一级侧根直径、一级侧根干重、二级侧根数目、二级侧根长度、二级侧根直径、二级侧根干重等形态指标。其中,叶长、叶宽、叶厚(20 片)、老枝直径、当年新生枝条直径、主根直径、一级侧根直径、二级侧根直径使用游标卡尺测定。

1.3 根际土壤采集与测定

先用铁锹铲去落叶层,然后用土壤刀从植株基部开始逐段、逐层挖去上层覆土,追踪根系的伸展方向,然后沿侧根找到须根部分,剪下分枝,轻轻抖动后落下的土壤为非根际土壤,仍粘在根上的为根际土壤,用毛刷收集到土壤袋保存,供分析用。

将野外带回的样品敞开放置在干燥通风的室内,使其自然风干,并要注意防止污染。样品风干后,拣去动植物残体、杂质、根系和石块,研细并全部通过 0.5 mm 孔径的筛子装袋后封袋储藏备用。

土壤全氮用凯氏消化法消化,用 FIAstar5000 全自动流动注射仪(瑞典 FOSS 公司生产)测定;土壤铵态氮和硝态氮用 2 mol/L KCl 浸提,用 FIAstar5000 全自动流动注射仪测定;土壤有机碳采用重铬酸钾氧化-外加热法测定;全磷采用 NaOH 碱溶-钼锑抗比色法测定;速效磷用 $NaHCO_3$ (pH 值 8.5) 浸提,钼锑抗比色法。

1.4 数据处理

所获得的数据用 SPSS 17.0 和 Microsoft Excel 进行统计分析。用单因素方差分析(ANOVA)测定居群间形态变异度,用主成分分析(PCA)确定哪些性状是造成紫穗槐表型差异的主要因素,并用 Microsoft Excel 比较与分析一级侧根根长与二级侧根根长频率分布。

2 结果与分析

2.1 居群内及居群间形态变异

由表 1 可知,个体间的差异存在于每个居群的每个性状中,但其变异系数大小各不相同。以新枝长为例,居群 3 的变异系数最小(0.111),居群 1 的变异系数最大(0.493)。以居群 2 为例,其中各性状的变异系数也各不相同,变化范围为 0.05—0.492。其中新枝长的变异程度最大,其变异系数为 0.492,而变异程度最小的是主根直径,其变异系数为 0.05。

从总体上看,17 个性状在总居群中平均变异系数为:0.09—0.365。其中新枝长平均变异系数最大(0.365),其次是冠幅(0.339)。3 个居群中,居群平均变异系数:居群 1 (0.241) > 居群 2 (0.163) > 居群 3 (0.139),即居群 1 的变异程度最大,居群 3 的变异程度最小。

2.2 居群形态变异主成分分析

主成分分析是将分散在一组变量上的信息,集中到某几个综合指标和主成分上的统计分析方法(表 2,表 3)。从表 2 可知,前 4 个特征根的累积方差贡献已达 86.603%,即前 4 个主成

表 1 不同居群形态指标的变异系数(CV)

Table 1 The CV of the morphological characters within populations

指标 Index	居群 Population			
	1	2	3	平均 Mean
自然高度 Natural height	0.192	0.227	0.168	0.195
冠幅 Crown diameter	0.478	0.195	0.343	0.339
叶长 Leaf length	0.153	0.170	0.056	0.126
叶宽 Leaf width	0.168	0.131	0.177	0.159
叶厚 Leaf thickness	0.101	0.083	0.213	0.132
老枝长 Old branch length	0.261	0.171	0.102	0.178
老枝直径 Old branch diameter	0.174	0.068	0.073	0.105
新枝长 New branch length	0.493	0.492	0.111	0.365
新枝直径 New branch diameter	0.316	0.080	0.106	0.167
主根长 Taproot length	0.135	0.103	0.086	0.108
主根直径 Taproot diameter	0.131	0.050	0.087	0.090
一级侧根长 First-order lateral root length	0.203	0.237	0.107	0.182
一级侧根直径 First-order lateral root diameter	0.273	0.221	0.122	0.205
一级侧根总长 Total length of first-order lateral root	0.196	0.115	0.244	0.185
二级侧根长 Second-order lateral root length	0.244	0.091	0.060	0.132
二级侧根直径 Second-order lateral root diameter	0.273	0.221	0.253	0.249
二级侧根总长 Total length of second-order lateral root	0.303	0.121	0.050	0.158
居群内平均值 Mean value within populations	0.241	0.163	0.139	0.181

表 2 主成分的特征值、贡献率和累积贡献率

Table 2 The character value, contribution proportion and cumulative contribution proportion

因子 Factor	特征值 Character value	贡献率/% Contribution proportion	累积贡献率/% Cumulative contribution proportion
1	6.952	40.893	40.893
2	4.073	23.959	64.852
3	2.419	14.231	79.083
4	1.278	7.52	86.603

表 3 17 个性状对前 4 个主成分的负荷量

Table 3 Loading dose of four principal components for seventeen characters

指标 Index	成分 Component			
	1	2	3	4
自然高度 Natural height	0.758	0.175	-0.07	-0.296
冠幅 Crown diameter	0.737	0.01	-0.201	0.071
叶长 Leaf length	0.752	0.091	-0.349	-0.15
叶宽 Leaf width	0.737	0.017	-0.307	0.438
叶厚 Leaf thickness	0.726	0.252	-0.281	-0.512
老枝长 Old branch length	-0.467	0.167	-0.763	-0.029
老枝直径 Old branch diameter	0.901	0.171	0.173	-0.11
新枝长 New branch length	0.958	0.044	-0.008	-0.106
新枝直径 New branch diameter	0.93	-0.161	0.195	0.071
主根长 Taproot length	0.651	-0.654	0.181	0.154
主根直径 Taproot diameter	0.142	0.877	-0.171	-0.173
一级侧根长 First-order lateral root length	0.529	0.504	0.435	0.401
一级侧根直径 First-order lateral root diameter	-0.112	0.71	0.565	-0.003
一级侧根总长 Total length of First-order lateral root	0.354	0.63	-0.271	0.622
二级侧根长 Second-order lateral root length	-0.122	0.783	0.396	-0.262
二级侧根直径 Second-order lateral root diameter	0.233	-0.448	0.782	-0.067
二级侧根总长 Total length of second-order lateral root	-0.363	0.848	0.131	0.073

分足以代表整个数据资料的大部分信息。表 3 列出了 4 个主成分中每个指标的载荷系数,即特征向量。通过各形态指标在主成分中系数的大小,确定它们在形态分化中的作用大小和方向。其中第一主成分占 40.893%,对它作用最大的性状包括新枝长(0.958)、新枝直径(0.93)、老枝直径(0.901),表明第一主成分代表了茎部大小的特性。第二主成分占 23.959%,对它作用最大的性状依次为:主根直径(0.877)、二级侧根总长(0.848)、二级侧根长(0.783),表明第二主成分代表了根部的特性。第三主成分特征向量绝对值较大的是二级侧根直径(0.782)。第四主成分负荷量绝对值较大的是一级侧根总长(0.622)。因此,新枝长、新枝直径、老枝直径、主根直径、二级侧根总长等 5 个性状是造成表型差异的主要因素。

2.3 居群形态差异与生境间的关联性

根际土壤性质和表型差异的主要影响因素相关分析表明(表 4),新枝长、主根直径和土壤各个营养元素之间均存在显著的相关性($P < 0.05$);土壤有机碳、全氮、全磷与紫穗槐 5 个主要性状间存在显著的负相关($P < 0.05$),而硝态氮与紫穗槐 5 个主要性状间存在显著的正相关($P < 0.05$)。

表 4 土壤性质和表型差异的主要影响因素的关系

Table 4 Relationships of main factors in morphological characters and soil status

因子 Factor	NBL	NBD	OBD	TRD	TLSLR	OC	TN	A	N	TP
NBD	0.922 **									
OBD	0.942 **	0.821 *								
TRD	0.313	-0.556	-0.116							
TLSLR	0.593	-0.555	-0.403	0.769 *						
OC	-0.840 **	-0.766 *	-0.801 *	-0.809 *	-0.727 *					
TN	-0.729 *	-0.891 **	-0.792 *	-0.837 **	-0.801 *	0.933 **				
A	0.620	0.461	-0.578	-0.730 *	-0.779 *	0.495	0.347			
N	0.791 *	0.766 *	0.752 *	0.801 *	0.735 *	0.741 *	0.877 **	-0.017		
TP	-0.846 **	-0.732 *	-0.776 *	-0.944 **	-0.703	0.940 **	0.933 **	0.428	0.854 **	
AP	0.801 *	0.427	0.023	-0.949 **	-0.668	0.844 **	0.840 **	0.255	0.894 **	0.948 **

* 显著相关 Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed); ** 极显著相关 Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed); NBL:新枝长;NBD:新枝直径;OBD:老枝直径;TRD:主根直径;TLSLR:二级侧根总长;OC:有机碳;TN:全氮;A:氨态氮;N:硝态氮;TP:全磷;AP:速效磷

2.4 侧根根长频率分布差异

2.4.1 一级侧根根长频率分布差异

如图 1 所示,在居群 1 中,20—30 cm 一级侧根根长频率最高,占 36.28%;在居群 2 和居群 3 中,10—20 cm 一级侧根根长频率最高,分别占 28.57%,29.55%。就各个阶段一级侧根根长度而言,居群 2 的 0—10 cm 一级侧根根长频率(26.79%)高于其他两个居群;10—20 cm 一级侧根根长频率依次是:居群 3(29.55%)>居群 2(28.57%)>居群 1(25.66%);20—30 cm 一级侧根根长频率最高的居群是居群 1(36.28%);30—40 cm 一级侧根根长频率依次是:居群 1(20.35%)>居群 3(18.18%)>居群 2(14.29%);≥40 cm 一级侧根根长频率最高的是居群 3(18.18%)。

2.4.2 二级侧根根长频率分布差异

如图 2 所示,在居群 1 和居群 3 中,0—10 cm、10—20 cm、20—30 cm、30—40 cm、≥40 cm 二级侧根根长频率依次降低;居群 2 中,10—20 cm 二级侧根根长频率最高,占 46.03%。就各个阶段二级侧根根长度而言,0—10 cm 二级侧根根长频率依次是:居群 1(47.06%)>居群 3(41.08%)>居群 2(35.71%);居群 2 的 10—20 cm 二级侧根根长频率(46.03%)高于其他两个居群;20—30 cm 二级侧根根长频率最高的居群是居群 2(17.46%);30—40 cm 二级侧根根长频率依次是:居群 3(10.37%)>居群 1(3.46%)>居群 2(0.79%);≥40 cm 二级侧根根长频率最高的是居群 3(2.07%),最低的是居群 2(0%)。

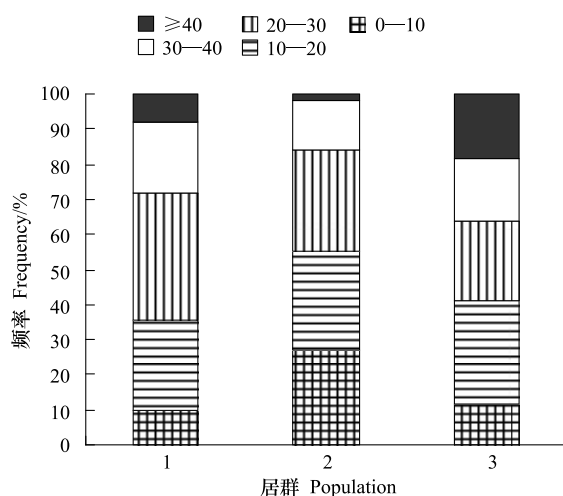


图1 居群间一级侧根根长频率分布

Fig. 1 Frequency distribution of first-order lateral root length within populations

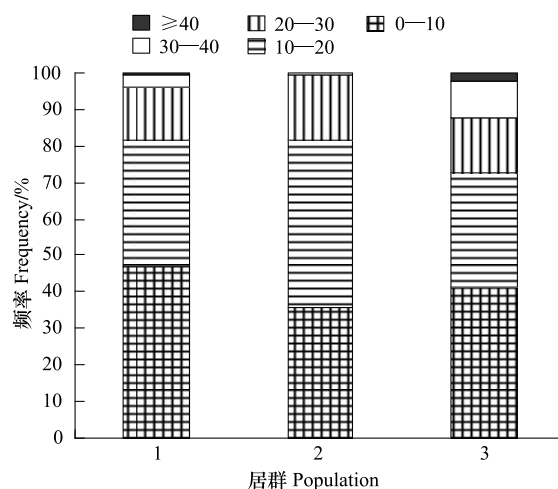


图2 居群间二级侧根根长频率分布

Fig. 2 Frequency distribution of second-order lateral root length within populations

3 讨论

3.1 紫穗槐表型可塑性对高寒生境的响应

植物形态特征和生长特性的改变是其适应环境的重要策略。高寒地区植物的生存环境相对恶劣,能在此极端环境下生存繁衍的植物都具有一些形态解剖和生理生化等方面的进化适应方式。特别是紫穗槐作为一种豆科植物,在高海拔、低温区(特别是甘南地区)若能成功越冬,对于研究青藏高原地区的植物资源保护、抗寒生理生化机理、高寒沙化草地长期可持续治理提供重要科学价值。

生存在不同生境中的同种植物,为了适应不同的生境,表型特征呈现不同程度差异,其不同性状的差异大小可以反映它对生境条件变化的敏感程度。紫穗槐在表型性状上存在有居群间及居群内的差异,而这种差异在居群间及居群内的分布格局是不均衡的,如居群1、居群2、居群3的平均变异系数分别为:0.241、0.163、0.139。笔者认为这种不均衡现象是由于环境或地理因素对性状的选择性影响所造成的,特别是本试验研究的种植在高寒地区的紫穗槐,其不同的性状对相同的生境因子或同一性状对不同的生境因子影响的反应是不同的,紫穗槐通过改变自身性状,来适应外部环境。另外,笔者认为(研究中),紫穗槐采取合理的资源分配格局,去优化各器官的功能,实现自身适合度的最大化,也有利于植株不同物候期对高寒生境的适应。

3.2 居群的形态变异比较

本研究比较分析了青藏高原地区紫穗槐3个居群的17个形态指标,结果表明:形态特征在同一居群内或不同居群间具有一定程度的变异,而且是不均衡的,但主根变异系数变异系数最小,说明这个性状在遗传时具有一定的稳定性。就每个居群内部的形态变异而言,居群3的内部变异相对较小,其形态特征相对较稳定。另外,还发现青藏高原紫穗槐各居群间的差异性和生态环境的异质性密切相关,具有相似生境特点的居群具有相似的表型特征,而与异质性生境的居群相区别。这与王赞等^[8]研究柠条锦鸡儿不同居群形态变异得到的结果相似。

3.3 居群形态差异与生境的相关性分析

本研究就高寒地区紫穗槐的形态学特征进行了主成分分析,将17个形态特征归总为4个主成分因子,从而起到了降维的目的。其中新枝长、新枝直径、老枝直径、主根直径、二级侧根总长等5个性状对4个主成分的作用最大,是造成表型差异的主要因素。同时,紫穗槐在生长过程要从根周围生境即根际中吸收的养分,根际微区的养分状况很大程度上决定其生长状况。因此,八九月份,正处于生长旺期的紫穗槐要不断从根际土壤中吸收更多的有机碳、全氮、全磷等营养元素,从而进行营养生长及生殖生长。例如,紫穗槐将较多的有机

碳用于同化器官的构建。所以,紫穗槐 5 个主要性状在生长状况良好时,根际土壤中有机碳、全氮、全磷等营养元素相应减少。硝态氮为氧化态的氮源,需还原成铵态氮后才能被吸收利用,在根际周围富集,表现出明显的根际效应,从而导致硝态氮与紫穗槐 5 个主要性状间存在显著的正相关。这一分析方法与马斌等^[9]研究的阿拉善荒漠区土壤因子与白沙蒿人工种群生长的主成分分析方法相似。

3.4 侧根根长频率分布分析

本研究在分析高寒地区紫穗槐一级侧根与二级侧根根长频率时发现,居群 3 中一级侧根和二级侧根根长 ≥ 40 cm 的频率明显高于另外两个居群。这表明,生长于高寒地区特别是甘南沙化地中的紫穗槐,只有通过不断增加根深,通过不断吸收水分与有效的营养,来适应其养分贫瘠的生境^[10]。

一般来说,遗传因素在决定表型变异方面的作用是不可忽视的,但居群间变异的量值也取决于种的地理和生态分布区。植物经过长期演化及生境变化,在不同的选择压力下形成不同的基因库,这不仅使物种的演化式样存在很大的差别,而且使种间、种内不同居群在形态上也存在着不同的变异。因此,植物种内变异在不同的地理生态因子之间往往会表现出一定的规律性变化。本研究中,来自青藏高原的 3 个不同居群的紫穗槐在外部形态上表现出一定的差异,表明其生境地的不同也较大程度上导致了植物外部形态上差异变化。进化理论认为,植物的遗传变异水平越高,种群分布范围越大。府宇雷等^[11]研究发现分布于不同纬度的野大豆种群存在较高的遗传变异,认为遗传变异是由环境异质性引起的,但本试验研究材料的生境地相对中国紫穗槐分布区域来说范围有限,外部形态的多样性多大程度的受基因或环境影响是不能完全确定的,这还有待于从细胞学、分子生物学等多角度做进一步研究。

4 结论

1) 个体间的差异存在于每个居群的每个性状中,但其变异系数大小各不相同。

2) 前 4 个特征根的累积方差贡献已达 86.603%。新枝长、新枝直径、老枝直径、主根直径、二级侧根总长 5 个性状是造成紫穗槐形态变异的主要因素,其与根际土壤生境因子间存在复杂的相关性。

3) 不同居群内及居群间各个阶段侧根根长存在不同程度差异;居群 3(玛曲)中一级侧根和二级侧根根长 ≥ 40 cm 的频率明显高于另外两个居群。

References:

- [1] Li S, Dong Y X, Dong G R, Yang P, Zhang C L. Regionalization of land desertification on Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Desert Research*, 2001, 21(4): 418-427.
- [2] Yang N, Wang D M, Wang B T, Zhang J L. Study on the effect of soil water content on *Amorpha fruticosa* L. transpiration rate and photosynthetic rate. *Technology of Soil and Water Conservation*, 2006, (3): 6-9.
- [3] Yan Y Q, Zhu H, Liu X L, Shi X C, Zu Y G. Effect of salt stress on *Amorpha fruticosa* L. growth and physiological index. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2008, 39(12): 31-35.
- [4] Wang L, Zhang J C, Zhang X Q, Meng L, Zhai L. Influence of super absorbent polymer in spray seeding on photosynthesis and transpiration of *Amorpha fruticosa*. *Journal of Southwest Forestry University*, 2010, 30(3): 6-10.
- [5] Cui D L, Ma Y X, Shi G, Fan M H, Du W, Zhang M. Ecophysiological responses of *Amorpha fruticosa* L. seedling leaves to long-term drought gradient treatment. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(2): 178-181, 185-185.
- [6] Liu J G, Xue J H. Effects of different allocation patterns of *Vetiveria zizanioides* and *Amorpha fruticosa* for slope protection on plant community characteristics. *Pratacultural Science*, 2009, 26(12): 75-81.
- [7] Guo Z L, Zhong C, Cai C F, Ding S W, Wang Z M. Nitrogen competition in contour hedgerow systems in subtropical China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2008, 81(1): 71-83.
- [8] Wang Z, Gao H W, Han J G, Shangguan T L. Study on morphological variation of different populations of *Caragana korshinskii*. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2005, 25(1): 118-123.
- [9] Ma B, Zhou Z Y, Zhang L L, Gao W X. The principal component analysis of soil and population growth status of *artemisia sphaerocephala* in arid region of Alex Desert. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(5): 995-999.

- [10] Zhou Z Y, Zhu Z Y, Liu Z L. Arid Desert of Damaged Ecosystem Restoration and Reconstruction and Sustainable Development. Beijing: Science Press, 2010: 260-279.
- [11] Fu Y L, Qian J, Ma Y H, Li J, Zheng S Z. Genetic differentiation research on populations of wild soybeans in different scales. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(2): 176-184.

参考文献:

- [1] 李森, 董玉祥, 董光荣, 杨萍, 张春来. 青藏高原土地沙漠化区划. *中国沙漠*, 2001, 21(4): 418-427.
- [2] 杨娜, 王冬梅, 王百田, 张津林. 土壤含水量对紫穗槐蒸腾速率与光合速率影响研究. *水土保持应用技术*, 2006, (3): 6-9.
- [3] 闫永庆, 朱虹, 刘兴亮, 石溪婵, 祖元刚. 盐胁迫对紫穗槐生长发育及生理特性的影响. *东北农业大学学报*, 2008, 39(12): 31-35.
- [4] 王丽, 张金池, 张小庆, 梦莉, 翟路. 客土喷播措施中保水剂对紫穗槐光合、蒸腾特性的影响. *西南林学院学报*, 2010, 30(3): 6-10.
- [5] 崔大练, 马玉心, 石戈, 范美华, 杜巍, 张明. 紫穗槐幼苗叶片对不同干旱梯度胁迫的生理生态响应. *水土保持研究*, 2010, 17(2): 178-181, 185-185.
- [6] 刘金根, 薛建辉. 香根草与紫穗槐配置方式对护坡地植物群落特征的影响. *草业科学*, 2009, 26(12): 75-81.
- [8] 王赞, 高洪文, 韩建国, 上官铁梁. 柠条锦鸡儿不同居群形态变异研究. *西北植物学报*, 2005, 25(1): 118-123.
- [9] 马斌, 周志宇, 张丽莉, 高文星. 阿拉善荒漠区土壤因子与白沙蒿人工种群生长的主成分分析. *西北植物学报*, 2007, 27(5): 995-999.
- [10] 周志宇, 朱宗元, 刘钟龄. 干旱荒漠区受损生态系统的恢复重建与可持续发展. 北京: 科学出版社, 2010: 260-279.
- [11] 府宇雷, 钱吉, 马玉虹, 李军, 郑师章. 不同尺度下野大豆种群的遗传分化. *生态学报*, 2002, 22(2): 176-184.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.1 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Allee effects of local populations and the synchrony of metapopulation	LIU Zhiguang, ZHAO Xue, ZHANG Fengpan, et al (1)
Effects of leaf hair points on dew deposition and rainfall evaporation rates in moss crusts dominated by <i>Syntrichia caninervis</i> , Gurbantunggut Desert, northwestern China	TAO Ye, ZHANG Yuanming (7)
The influence of freshwater-saline water mixing on phytoplankton growth in Changjiang Estuary	WANG Kui, CHEN Jianfang, LI Hongliang, et al (17)
The responses of hydrological indicators to watershed characteristics	TIAN Di, LI Xuyong, Donald E. Weller (27)
Lake nutrient ecosystems in the east-central moist subtropical plain of China	KE Xinli, LIU Man, DENG Xiangzheng (38)
The current water trophic status in Tiaoxi River of Taihu Lake watershed and corresponding coping strategy based on N/P ratio analysis	NIE Zeyu, LIANG Xinqiang, XING Bo, et al (48)
Reversion and analysis on cyanobacteria bloom in Waihai of Lake Dianchi	SHENG Hu, GUO Huaicheng, LIU Hui, et al (56)
Effects of cutting disturbance on spatial heterogeneity of fine root biomass of <i>Larix principis-rupprechtii</i>	YANG Xiuyun, HAN Youzhi, ZHANG Yunxiang, et al (64)
Responses of elm (<i>Ulmus pumila</i>) woodland to different disturbances in northeastern China	LIU Li, WANG He, LIN Changcun, et al (74)
Impacts of grazing and climate change on the aboveground net primary productivity of mountainous grassland ecosystems along altitudinal gradients over the Northern Tianshan Mountains, China	ZHOU Decheng, LUO Geping, HAN Qifei, et al (81)
Response of herbaceous vegetation to phosphorus fertilizer in steppe desert	SU Jieqiong, LI Xinrong, FENG Li, et al (93)
Spatiotemporal characteristics of landscape change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities	ZHANG Huabing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (101)
Response of species diversity in <i>Caragana Korshinskii</i> communities to climate factors and grazing disturbance in Shanxi, Shaanxi, Ningxia and Inner Mongolia	ZHOU Ling, SHANGGUAN Tieliang, GUO Donggang, et al (111)
Seasonal change of leaf morphological traits of six broadleaf seedlings in South China	XUE Li, ZHANG Rou, XI Ruchun, GUO Shuhong, et al (123)
Correlation analysis on <i>Reaumuria soongorica</i> seed traits of different natural populations in Gansu Corridor	SU Shiping, LI Yi, CHONG Peifang (135)
Carbon fixation estimation for the main plantation forest species in the red soil hilly region of southern-central Jiangxi Province, China	WU Dan, SHAO Quanqin, LI Jia, et al (142)
Effects of clonal integration on growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i> under simulated acid rain and herbivory	GUO Wei, LI Junmin, HU Zhenghua (151)
Difference of the fitness of <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner) fed with different pepper varieties	JIA Yueli, CHENG Xiaodong, CAI Yongping, et al (159)
Hyperspectral estimating models of tobacco leaf area index	ZHANG Zhengyang, MA Xinming, JIA Fangfang, et al (168)
Temporal and spatial distribution of <i>Bemisia tabaci</i> on different host plants	CUI Hongying, GE Feng (176)
Abundance and composition of CO ₂ fixating bacteria in relation to long-term fertilization of paddy soils	YUAN Hongzhao, QIN Hongling, LIU Shoulong, et al (183)
Effect of <i>Leucaena leucocephala</i> on soil organic carbon conservation on slope in the purple soil area	GUO Tian, HE Binghui, JIANG Xianjun, et al (190)
Isolation and the remediation potential of a Laccase-producing Soil Fungus F-5	MAO Ting, PAN Cheng, XU Tingting, et al (198)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass in Mulun National Nature Reserve in Karst area	LIU Lu, SONG Tongqing, PENG Wanxia, et al (207)
Root functional traits and trade-offs in one-year-old plants of 25 species from the arid valley of Minjiang River	XU Kun, LI Fanglan, GOU Shuiyan, et al (215)
Spatial distribution of carbon density in grassland vegetation of the Loess Plateau of China	CHENG Jimin, CHENG Jie, YANG Xiaomei, et al (226)
Effect of nitrogen concentration in the subtending leaves of cotton bolls on the strength of source and sink during boll development	GAO Xiangbin, WANG Youhua, CHEN Binglin, et al (238)
Long-term tillage effects on soil organic carbon and microbial biomass carbon in a purple paddy soil	LI Hui, ZHANG Junke, JIANG Changsheng, et al (247)
Effects of exogenous calcium on resistance of <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle to cadmium stress	MIN Haili, CAI Sanjuan, XU Qinsong, et al (256)
Comparison of grain protein components and processing quality in responses to dim light during grain filling between strong and weak gluten wheat cultivars	LI Wenyang, YAN Suhui, WANG Zhenlin (265)
Review and Monograph	
Salt-responsive mechanisms in the plant root revealed by proteomic analyses	ZHAO Qi, DAI Shaojun (274)
The research progress and prospect of watershed ecological risk assessment	XU Yan, GAO Junfeng, ZHAO Jiahu, et al (284)
A review of the environmental behavior and effects of black carbon in soils and sediments	WANG Qing (293)
Scientific Note	
Variation in main morphological characteristics of <i>Amorpha fruticosa</i> plants in the Qinghai-Tibet Plateau	LIANG Kunlun, JIANG Wenqing, ZHOU Zhiyu, et al (311)
Identification of aphid resistance in eleven species from <i>Dendranthema</i> and <i>Artemisia</i> at seedling stage	SUN Ya, GUAN Zhiyong, CHEN Sumei, et al (319)
Research of padded film for afforestation in coastal argillaceous saline-alkali land	JING Feng, ZHU Jinzhao, ZHANG Xuepei, et al (326)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 1 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 1 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元