

四川盆地岩石边坡适应性植物选择

庞亮¹, 陈璋¹, 张琼瑛¹, 李成俊¹, 胡兴¹, 孙海龙²

(1. 四川大学 生命科学学院, 四川 成都 610064; 2. 四川大学 水力学与山区河流保护国家重点实验室, 四川 成都 610065)

摘要:根据四川盆地的自然气候条件及岩石边坡立地条件,以抗逆性(抗旱性、抗病虫害等)、品质特性(出苗率、覆盖度等)、功能效益(涵固土性、景观效果等)为筛选准则,运用层次分析法,综合评价并选择出适合于四川盆地岩石边坡立地条件生长的适应性植物。结果表明:在参试的24种植物中,银合欢、紫穗槐、黄荆、多花木蓝、截叶胡枝子等9种适应于四川盆地岩石边坡立地条件的恢复植物,它们具有抗逆性强、护坡效果好、造价相对低廉等特点,可应用于植被恢复实践。

关键词:四川盆地;岩石边坡;适应性;植物选择

中图分类号:Q 948.118(271) **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)07-0094-04

随着高速公路、铁路等基础建设加快,大量新的裸露岩石边坡不断形成,引发严重的生态问题。对岩石边坡进行生态防护,植被护坡成为了必由之路^[1]。由于岩石边坡立地条件恶劣,其微生境中环境因子变化剧烈^[2],因而选择出该生境下的适应性植物成为边坡生态防护的重点和难点。

在边坡植物选择与配置研究中,国外科研人员越来越重视乡土植物在边坡恢复中的应用^[3-4]。我国已有很多相关研究,包括植物种类选择、配置、种植密度,以及野生乡土护坡植物的开发利用等研究。但由于岩石边坡立地水分等环境条件恶劣,有研究者指出^[5-6],在植物选择中应以乡土旱生植物为主,辅引抗逆性更强的外来物种,如湿润区选择半湿润区植物,半干旱区选干旱区植物等。在植物选择方法上,层次分析(AHP)为植物材料的选择提供了科学的依据^[7-8],提出了以植物抗逆性、品质特性和护坡效果等为评价指标的体系^[9-10]。但我国地域辽阔,气候及地质地貌条件多样,现有植物选择与配置研究远远不能满足实际工程运用需要,根据地域立地条件,建立适合的评价体系,综合植物特性进行边坡植物筛选成为亟待解决的问题。

该研究根据四川盆地自然气候条件和岩石边坡立地条件,建立一套完整科学的评价体系,以24种常用护坡植物为研究对象,结合试验研究,运用层次分析法对其进行评价,综合选择适应性强的边坡适应性植物,为

四川盆地边坡植被恢复提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究地点位于四川省彭州市升平镇积泉村,东经103°53',北纬30°59'。该区属于四川盆地亚热带湿润气候区,年平均气温15.6℃,年极端最高温36.9℃,最低温-6.2℃,最热月份(7月)24.8℃,最冷月(1月)5.2℃,全年无霜期平均276 d,多年平均降水量932.5 mm。针对该地区气候条件以及岩石边坡的立地条件,结合之前数年的试验研究,从初选的87种植物中,确定了18种乡土植物。由于岩石边坡特定的干旱胁迫条件,辅引6种干旱抗性植物作为参试植物(表1)。

表1 参试植物清单

编号	植物名	科名	生活型	来源
1	百喜草 <i>Paspalum natatum</i>	禾本科 Poaceae	多年生草本	该 区 广 泛 应 用 商 品 种 及 乡 土 种
2	批碱草 <i>Elymus dahuricus</i>	禾本科 Poaceae	多年生草本	
3	高羊茅 <i>Festuca arundinacea</i>	禾本科 Poaceae	多年生草本	
4	扁穗冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	禾本科 Poaceae	多年生草本	
5	无芒雀麦 <i>Bromus inermis</i>	禾本科 Poaceae	多年生草本	
6	沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>	豆科 Leguminosae	多年生草本	
7	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	豆科 Leguminosae	乔木	
8	银合欢 <i>Leucaena leucocephala</i>	豆科 Leguminosae	灌木或乔木	
9	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	豆科 Leguminosae	灌木	
10	截叶胡枝子 <i>Lespedeza cuneata</i>	豆科 Leguminosae	灌木	
11	白刺花 <i>Sophora davidii</i>	豆科 Leguminosae	灌木	干 旱 抗 逆 植 物
12	多花木蓝 <i>Indigofera amblyantha</i>	豆科 Leguminosae	灌木	
13	马桑 <i>Coriaria nepalensis</i>	马桑科 Coriariaceae	灌木	
14	黄荆 <i>Vitex negundo</i>	马鞭草科 Verbenaceae	灌木或乔木	
15	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	漆树科 Anacardiaceae	灌木或乔木	
16	车桑子 <i>Dodonaea viscosa</i>	无患子科 Sapindaceae	灌木	
17	白灰毛豆 <i>Tephrosia candida</i>	豆科 Leguminosae	灌木	
18	柠条 <i>Caragana korshinskii</i>	豆科 Leguminosae	灌木	
19	花棒 <i>Hedysarum scoparium</i>	豆科 Leguminosae	灌木	
20	沙冬青 <i>Ammopiptanthus mongolicus</i>	豆科 Leguminosae	灌木	
21	沙拐枣 <i>Calligonum mongolicum</i>	蓼科 Polygonaceae	灌木	
22	沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>	胡颓子科 Elaeagnaceae	灌木	
23	梭梭 <i>Haloxylon ammodendron</i>	藜科 Chenopodiaceae	灌木	
24	四翅滨藜 <i>Atriplex canescens</i>	马鞭草科 Verbenaceae	灌木	

第一作者简介:庞亮(1986-),男,硕士,现主要从事生态工程及恢复生态学研究。

责任作者:孙海龙(1976-),男,黑龙江人,博士,讲师,现主要从事生态护坡技术研究工作。E-mail:44070081@qq.com。

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2011BAK12B04)。

收稿日期:2012-12-20

1.2 试验设计

试验坡面位于四川省彭州市升平镇积泉村四川省励自生态技术有限公司科研基地进门右侧,坡面背靠升平镇-军乐镇的公路,公路外侧为人民渠杨柳渠。人工模拟边坡坡高 4.35 m,坡向为北偏西 16.52°,坡度为 60.61°,下层原始坡面共分为 3 个区域,分别为原浆砌片石边坡、原混凝土边坡,内填经夯实的土壤(图 1)。

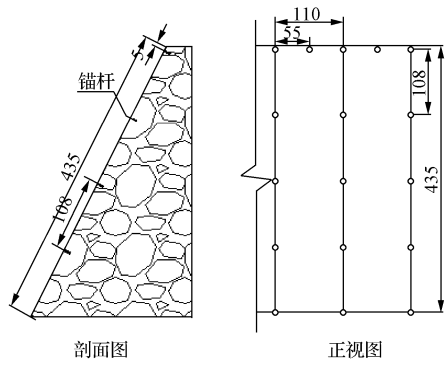


图 1 人工模拟边坡坡面布置图
注:图中单位以 cm 计。

应用护坡卷材技术^[11],将参试植物种子直播于坡面,定期进行全生育期的生长量观测、物候观测、护坡及覆盖功能观测。该试验开始于 2011 年 4 月,取得的试验数据用于层次分析的专家评分参考。

1.3 试验方法

植物筛选应用层次分析法 AHP(Analytic Hierarchy Process)^[12],它基于系统层次原理建立,是一种定性和定量相结合的多指标分析评价方法。主要分三步:一是建立多要素层次分析的评价体系;二是建立判断矩阵,专家运用 1~9 标度法判断各因子的相对重要性,确定各指标的权重;三是对各指标赋值进行综合评价。

1.3.1 指标体系 将收集到的各种生态因子和试验观测数据进行筛选,提取对岩石边坡植被恢复有影响的主要因子。以植物抗逆性、品质特性(试验效果)和功能效益作为筛选准则,把抗旱性、抗病虫害、抗贫瘠性、耐高温、生长速率、覆盖度、出苗率、保存率(第 2 个生长季的保存率)、涵固土性、绿期、景观效果、培育成本作为相应评价指标,建立层次分析模型,选择出最具竞争力的目标植物材料(图 2)。

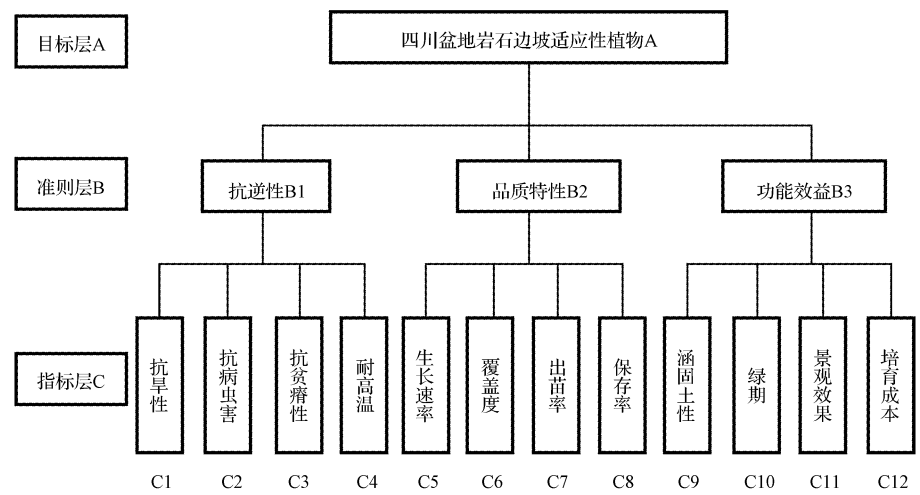


图 2 评价指标体系

1.3.2 判断矩阵的建立及计算 构造各层次的判断矩阵,邀请专家以 1~9 标度法(表 2)对各层次指标进行评价赋值和成对比较,并计算权向量,进行一致性检验。具体计算过程为:通过对各层进行评分构建判断矩阵 A-B、B1-C、B2-C、B3-C;排序计算:按列规范化得到 b_{ij} , $b_{ij} = a_{ij} / \sum a_{ij}$;对规范化后的判断矩阵进行规范列平均得 W_i ;一致性检验:计算判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} , $\lambda_{\max} = (A \times W_i) / (n \times W_i) = (CW)_i / (n \times W_i)$,其中 A、 W_i 为矩阵;计算一致性指标 CI , $CI = (\lambda_{\max} - 1) / (n - 1)$;查阅随机一致性指标 RI ;计算随机一致性比例 $CR = CI / RI$,当 $CR < 0.1$,判断矩阵具有一致性。

表 2 赋值标准	
赋值标准	相对重要程度
1	同等重要
3	稍微重要
5	比较重要
7	十分重要
9	绝对重要
2,4,6,8	相邻程度的中间值
1/2,1/3,1/4,1/5,1/6,1/7,1/8,1/9	重要程度的互反值

2 结果与分析

2.1 判断矩阵权重分析

植物抗逆性决定了试验物种能否在岩石边坡严酷的气候及土壤条件下成活、生存与发展,比植物的品质

特性和功能特性略为重要。品质特性是建立在试验基础上,消除了主观随机因素的影响,是抗逆性的直接体现,因此,品质特性略比功能效益重要。功能效益是工程质量效益评价的重要指标,需纳入指标分析体系。建立准则要素的判断矩阵时,综合多名专家意见,得到各项准则的权重(表3)。经计算,集结后的判断矩阵 A-B 一致性比例 $CR=0.0081<0.1$,因此判断矩阵具有一致性。

表3 判断矩阵 A-B 及计算结果

A	B1	B2	B3	Wi
B1	1.000	1.621	3.693	0.520
B2	0.617	1.000	3.000	0.352
B3	0.271	0.333	1.000	0.128

抗逆性是岩石边坡植被恢复物种选择的首要考虑因素,主要由抗旱性、抗病虫害、耐贫瘠和耐高温等因素决定。由于四川盆地地处南方,最冷月均温在 5° 以上,耐寒性不是主要考虑因素,而因岩石边坡形成的裸地,土壤结构遭到破坏,辐射强烈,持水保水能力差,所以对植物抗旱性要求更加苛刻;同时由于岩石边坡辐射强烈,边坡较其周边微生境的气温更高,因此要求所选植物具有耐高温等特性;植物耐贫瘠与抗病虫害对植株的生长也具有重要的作用。由此建立植物环境适应性各因子正互矩阵,得到各项因子的权重(表4)。集结后的判断矩阵 B1-C 一致性比例 $CR=0.0783<0.1$,因此判断矩阵具有一致性。

表4 判断矩阵 B1-C 及计算结果

B1	C1	C2	C3	C4	Wi
C1	1.000	6.684	4.290	2.259	0.517
C2	0.150	1.000	0.234	0.234	0.055
C3	0.233	4.277	1.000	0.273	0.132
C4	0.443	4.277	3.669	1.000	0.296

品质特性由实地试验得出,主要由生长速率、覆盖率、出苗率和保存率等因子决定。保存率为建植后第2年的存活率,是植物对边坡生长环境适应性的集中体现,受植物抗逆特性及边坡微生境条件的共同制约;出苗率为生长季最高出苗数量与播种量的比率,是植物品质特征的重要指标;覆盖率与生长速率代表了植物侵占和竞争能力。用生长季中测得的试验数据对植物品质特性进行评价,从而取得较为客观的评价结果。各因子权重见表5。集结后的判断矩阵 B2-C 一致性比例 $CR=0.0681<0.1$,因此判断矩阵具有一致性。

表5 判断矩阵 B2-C 及计算结果

B2	C5	C6	C7	C8	Wi
C5	1.000	0.176	0.138	0.137	0.045
C6	5.684	1.000	0.578	0.251	0.177
C7	7.240	1.732	1.000	1.403	0.381
C8	7.311	3.977	0.713	1.000	0.397

功能效益主要由涵固土性、绿期、景观效果和培育成本等因子决定。涵固土性是植物护坡的重要功能,主要表现在护坡植物根系的锚固和保持水土作用,因其在土壤中盘根错节,使边坡土体成为土与根系的复合成材料,是边坡稳定性的重要保证;绿色期主要是由植物的生物学特性决定,在一定程度上也受到环境条件的制约,但变化幅度较小,一般作为物种常量由专家给出;景观效果是评价边坡绿化的重要指标,主要体现在植物形态、花、叶、果景观价值和色彩、协调性等方面;培育成本是在试验过程中材料、劳务、运输等方面实际发生的工程量的货币值体现,是工程效益的重要评价指标。各因子权重见表6。集结后的判断矩阵 B3-C 一致性比例 $CR=0.0394<0.1$,因此判断矩阵具有一致性。

表6 判断矩阵 B3-C 及计算结果

B3	C9	C10	C11	C12	Wi
C9	1.000	4.290	2.158	0.333	0.262
C10	0.233	1.000	0.464	0.214	0.077
C11	0.464	2.158	1.000	0.306	0.147
C12	3.000	4.676	3.270	1.000	0.514

在各层因子单排序符合一次性检验的基础上,将各因子层对准则层的权重及准则层对目标层的权重进行综合,得到各因子对边坡生态恢复植物选择的权重(表7)。

表7 要素综合排序

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
0.269	0.028	0.068	0.154	0.016	0.062	0.134	0.140	0.034	0.010	0.019	0.066

2.2 综合评价结果

在邀请相关的专家对供选植物进行评分后,对各项因子分数进行标准化处理。结合层次分析法计算出的权重结果,采用综合评价指数(CEI)来反映最终结果。公式如下: $CEI_i = \sum n_i = 1M_i C_i$ 。式中, M_i 为单项指标分值, C_i 为评价指标 C 第 i 指标的权重, n 为评价指标数,并以此得出备选植物的综合评分。根据 CEI 的计算结果,将参试的植物按照草本与木本分类后,再进行排序。

参照综合评分排序的结果(表8),按照得分高低最终选择出9种最适宜于四川盆地岩石边坡植被恢复的

表8 适应性植物最终得分

类型	植物名	标准得分	类型	植物名	标准得分
草本	高羊茅	0.787	木本	刺槐	0.645
草本	批碱草	0.616	木本	白灰毛豆	0.638
草本	百喜草	0.569	木本	白刺花	0.635
草本	扁穗冰草	0.486	木本	车桑子	0.631
草本	沙打旺	0.416	木本	梭梭	0.630
草本	无芒雀麦	0.327	木本	沙冬青	0.599
木本	银合欢	0.887	木本	花棒	0.578
木本	紫穗槐	0.703	木本	马桑	0.553
木本	黄荆	0.663	木本	盐肤木	0.488
木本	多花木蓝	0.649	木本	四翅滨藜	0.322
木本	截叶胡枝子	0.648	木本	沙拐枣	0.310
木本	柠条	0.646	木本	沙棘	0.294

适应性植物。得分较高的草本植物依次为:高羊茅、批碱草、百喜草;最适宜的木本植物:银合欢、紫穗槐、黄荆、多花木蓝、截叶胡枝子、柠条。

3 讨论

针对四川盆地的自然条件以及岩石边坡立地条件,运用层次分析法,共选择了9种适应性植物,其中草本植物3种,分别为高羊茅、批碱草、百喜草;木本6种,分别为银合欢、紫穗槐、黄荆、多花木蓝、截叶胡枝子、柠条,可供植被恢复的设计和和实践。适应性植物在岩石边坡植被恢复中的应用需要长期的试验观测和实践过程,需要不断进行探索和改进,因此,仍需要做好以下工作:一是筛选出的适应性植物,需要对其进行长期试验观测和工程验证,最终应用于大规模工程施工。二是外来引进物种应用前进行实地调研,观测其入侵性和对本土植物的影响,避免造成重大的生态灾难。三是应加大乡土植物在边坡恢复中的调研和应用。由于大量乡土植物种源缺乏,应加强进行乡土植物种子的收集及苗木培育,扩大繁育的规模和应用范围,建立足够的植物储备库。筛选出的适应性植物应根据边坡的立地条件,采用灌木和草本植物的原则进行组合,以便能形成稳定的群落。

参考文献

[1] 张俊云,周德培,李绍才.高速公路岩石边坡绿化方法探讨[J].岩石

力学与工程学报,2002,21(9):1400-1403.

[2] 胡森,李绍才,孙海龙,等.都汶高速公路岩石边坡植被恢复物种选择及评价[J].北方园艺,2011(5):132-136.

[3] Bochet E, García-Fayos P. Factors Controlling Vegetation Establishment and Water Erosion on Motorway Slopes in Valencia[J]. Restoration Ecology, 2004,12(2):166-174.

[4] Grant A, Nelson C, Switalski T, et al. Restoration of Native Plant Communities after Road Decommissioning in the Rocky Mountains: Effect of Seed-Mix Composition on Vegetative Establishment[J]. Restoration Ecology, 2011,19(201):160-169.

[5] 刘甲荣,舒安平,郭建民,等.半干旱区高速公路生态护坡技术[M].北京:人民交通出版社,2011:120-135.

[6] 石东杨,熊忠臣,金代钧,等.高速公路边坡绿化的研究[J].中国园林,2002(3):10-12.

[7] 李自强.运用层次分析法解决宁夏石中高速公路北段边坡绿化植物的选择问题[J].宁夏大学学报,2004,25(1):72-76.

[8] 欧阳德恩,何慧琴,李倩. AHP法在选择公路边坡绿化植物中的应用[J].科技创新导报,2008(13):111-112.

[9] 李自强,赵学仁.运用数学模型解决宁夏石中高速公路北段边坡环保绿化植物的选择问题[J].宁夏农林科技,2003(3):19-22.

[10] 李志刚,陈云鹤,钱国超.高速公路边坡野外模拟冲刷试验研究[J].公路交通科技,2004,21(1):30-32.

[11] 刘冲,李绍才,罗双,等.护坡植物在植物卷材中的适应性研究[J].中国水土保持,2012(5):52-56.

[12] 刘新宪,朱道立.选择与判断: AHP(层次分析法)决策[M].上海:上海科学普及出版社,1990.

Selection for Adaptive Plants to the Rock Slope in Sichuan Basin

PANG Liang¹, CHEN Zhang¹, ZHANG Qiong-ying¹, LI Cheng-jun¹, HU Xing¹, SUN Hai-long²

(1. College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064; 2. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065)

Abstract: In order to select suitable plants that can be used for the rock slope in Sichuan Basin, an assessment system were established, which consisted of plants resistance (drought resistance, diseases resistance, etc.), quality (emergence rate, coverage, etc.) and function (soil fixing, visual effect, etc.). The AHP approaches were used, which stands for analytic hierarchy process, combined with experiment, to assess the adaptability of 24 suitable plants from the data of experiment. The results showed that in 24 species tested, 9 suitable species were selected, such as *Leucaena leucocephala*, *Amorpha fruticosa*, *Vitex negundo*, *Indigofera amblyantha*, *Lespedeza cuneata*, etc. for the restoration on rock slope in Sichuan Basin. These adaptive plants were resistant to stress, effective to revetment, and relatively inexpensive.

Key words: Sichuan Basin; rock slope; suitable plants; plants selection