

高速公路边坡暖季型草本植物生态适应性评价

梁力¹, 季贵斌¹, 赵颖²

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 中国科学院 武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

摘 要: 为优化、筛选适合高速公路边坡的植被,以广河高速公路边坡建植为研究对象,开展高速公路边坡暖季型植被物种选择研究. 通过对当地的8种暖季型草本植物进行播种试验,并运用层次分析法进行植物物种的生态适应性评价. 结果显示,8种暖季型草本植物中,以香根草、狗牙根、百喜草为最佳,具有较好的生态适应性和护坡功能,结缕草和中华结缕草次之,马尼拉草和狼尾草最差. 因此,在广河高速公路边坡植被护坡中,暖季型草本植物建议选择香根草、狗牙根和百喜草. 研究结果可为广州乃至亚热带地区高速公路边坡建植提供理论依据和技术支撑.

关 键 词: 公路边坡; 植被防护; 生态适应性; 层次分析法; 暖季型草本植物

中图分类号: X 45 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2018)01-0128-05

Ecological Adaptability Evaluation of Warm-Season Herb Plants of Highway Slope

LIANG Li¹, JI Gui-bin¹, ZHAO Ying²

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China. Corresponding author: JI Gui-bin, E-mail: lntu@163.com)

Abstract: In order to optimize the selection of suitable vegetation group for the Guanghe highway slope, a combined experiment on the local well-grown herb vegetation was conducted. Through seeding experiment of eight kinds of warm-season herb plants in the local area combined with analytic hierarchy process (AHP), the ecological adaptability was evaluated. Results indicate that, among the eight kinds of warm-season herb plants, *Vetiveria zizanioides*, *Cynodondactylon* (Linn.) Pers and *Paspalum notatum* are the best plants which have better ecological adaptability and slope protection function; *Zoysia japonica* and *Zoysia sinica* Hance are the second, and the *Zoysia matrella* and *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng are the worst. Therefore, it is suggested that the warm-season herb plants of *Vetiveria zizanioides*, *Cynodondactylon* (Linn.) Pers and *Paspalum notatum* should be chosen as the Guanghe highway slope protective vegetation. The research results provide a theoretical foundation and a technical support for Guangzhou and other subtropical zones.

Key words: highway slope; vegetation protection; ecological adaptability; analytic hierarchy process(AHP); warm-season herb plants

在高速公路建设过程中,公路边坡生态防护系统研究日渐引起重视. 中国的《公路路基设计规范》中规定在适宜于植物生长的公路土质边坡上,应优先采用种草、铺草皮、植树等植物防护措施,选用的草种应根据防护目的、气候、土质、施工季节等确定. 目前,对于适于植物生长的常温、常

降雨量的一般地区,边坡植被恢复技术已较为成熟,取得了一系列成果^[1-4]. 但对于雨水分布不均匀、降雨频繁且雨量大、水土流失严重的亚热带地区相关研究还很少. 考虑到我国南方气候特征、土壤条件等因素,植物物种选择宜以暖季型植物为主,并且耐酸性要强.

由于公路边坡坡面植被恢复工程研究属于植物生态学、水土保持学、土木工程学、景观学等多学科交叉, 研究中存在不同学科各自片面孤立研究现象, 不利于植被恢复取得实效, 因而, 建立边坡坡面植被恢复的科学评价方法及评价体系就显得尤为重要^[5]. 目前, 诸多学者运用神经网络法、多图斑叠加分析法、层次分析法等对植被生态适应性进行评价, 取得了一些研究成果^[6-7]. 神经网络法在理论和方法上还不成熟, 多图斑叠加分析法对地理数据要求严格, 而美国运筹学家 Saaty 提出的层次分析法采用定性和定量相结合的方法来评价由多因子组成的多层次的复杂系统, 评价结果具有科学性和客观性, 因而, 在边坡坡面植被恢复评价中得到更多学者的认可^[8-9].

本文基于广州至河源高速公路边坡, 开展边坡暖季型植被物种选择研究. 利用当地调查、分析、初步筛选获得的公路边坡绿化护坡和水土保持的暖季型优良植物物种, 进行单播试验研究, 并对物种生态适应性进行综合评价, 宏观分析了现场边坡植被保护效果, 筛选适合该地区的暖季型植物.

1 试验材料和试验方法

1.1 试验材料

结合广州气候、土壤条件及当地植物生长状况, 筛选出单播试验材料为 8 种暖季型草本植物: 百喜草 (*Paspalum notatum* Flugge)、狗牙根 (*Cynodon dactylon* (Linn.) Pers)、结缕草 (*Zoysia japonica* Steud)、狼尾草 (*Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng)、马尼拉草 (*Zoysia matrella*)、马蹄金 (*Dichondra repens* Forst)、香根草 (*Vetiveria zizanioides*) 和中华结缕草 (*Zoysia sinica* Hance).

1.2 试验方法

试验小区为 8 个 1 m × 0.5 m × 0.25 m 的土槽, 土壤取自广河高速公路 K2 + 900 ~ K23 + 200 段, 试验地点在公路段附近, 各种草本植物种子的播种量均为 20 g · m⁻², 每个土槽采用相同的养护措施.

试验过程中, 分别对 8 种植物的各项指标进行测定, 指标参考文献[5]确定. 其中, 地上生物量、地下生物量、生长高度、根系深度、盖度、密度、绿期为定量指标, 取一个生长周期后的指标值. 绿度、生长速度、均一性、景观效果、耐热性、耐寒性、耐旱性、抗病虫性、耐贫瘠性为定性指标, 取全年

观测 4 次以上记录的平均值.

地上生物量为单位面积样方内地上部分植物的干重 (kg · m⁻²); 地下生物量为单位面积样方内地下部分 (根) 的干重 (kg · m⁻²); 生长高度为植株的绝对生长高度 (cm); 根系深度为主根系的长度 (cm); 盖度指植物地上部分垂直投影面积与取样面积之比 (%); 密度为样方内植物个体数 (株 · m⁻²); 绿期为植物从出苗期到枯黄期的天数 (d); 绿度采用目测法, 按照 4 级制, 根据主观印象打分, 其中深绿色为好, 取 7 ~ 9 分, 中绿色为较好, 取 5 ~ 7 分, 浅绿或灰绿色为一般, 取 3 ~ 5 分, 黄绿色为差, 取 1 ~ 3 分; 生长速度的测量采用对比法, 相对于其他植物生长速度很快, 取 7 ~ 9 分, 相对于其他植物生长速度较快, 取 5 ~ 7 分, 相对于其他植物生长速度一般, 取 3 ~ 5 分, 相对于其他植物生长速度较慢, 取 1 ~ 3 分; 均一性、景观效果等其余指标测量均采用目测法, 性能好取 7 ~ 9 分, 性能较好取 5 ~ 7 分, 性能一般取 3 ~ 5 分, 性能较差取 1 ~ 3 分.

1.3 评价方法

对暖季型植物物种的生态适应性评价采用层次分析法. 评价指标及权重值确定采用专家打分法^[10], 聘请 30 位岩土工程、土壤学及恢复生态学等相关学科专家, 发放专家咨询表, 对指标重要程度进行打分, 以 70% 以上专家认可为标准, 确定同层指标间优劣程度, 计算评价指标的权值及排序. 运用层次分析法作决策分析, 一般经过 5 个步骤: 建立递阶层次结构模型, 构造比较判断矩阵, 层次因素单排序, 一致性检验和方案层次单排序.

2 结果与分析

2.1 暖季型草本植物生态适应性分析

暖季型草本植物物种生态适应性试验观测结果见表 1. 整体看, 香根草表现最优, 定量指标中地上生物量 2.193 kg · m⁻²、地下生物量 1.428 kg · m⁻²、生长高度 62.7 cm、根系深度 58.9 cm、盖度 100%, 均为最高值, 定性指标除绿度外均为好, 且成本较低, 为优先推荐物种, 而其他物种表现各有优劣. 在地上生物量、地下生物量、生长高度、盖度等定量指标方面, 百喜草、狗牙根表现较好; 从密度看, 排名前三的为结缕草、中华结缕草和狼尾草; 反映绿化植物一年中保持绿色的天数的绿期最长的是马蹄金. 定性指标打分越高, 相对植被生态适应性越好, 从体现植物色泽的绿度看, 狼尾草、马尼拉草、马蹄金最好, 均为深

绿色,百喜草和香根草较差,为浅绿;从生长速度看,除了百喜草、狗牙根和香根草外,其他植物生长速度均为一般;均一性和景观效果是对草坪表面的总体评价,从均一性看,狼尾草、马蹄金、香根草最优,百喜草和中华结缕草最差;景观效果显示

狼尾草最差;百喜草耐旱性一般;狗牙根抗病性和耐贫瘠能力一般;狼尾草耐热性、耐旱性和抗病性表现一般;马尼拉草耐旱性和耐寒性表现一般;马蹄金耐寒性、抗病性和耐贫瘠能力一般.

表 1 暖季型草本植物单播试验指标观测结果
Table 1 Results of observation indexes for single sowing test of warm-season herb

草种名	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8
	百喜草	狗牙根	结缕草	狼尾草	马尼拉草	马蹄金	香根草	中华结缕草
地上生物量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	1. 623	1. 467	0. 828	1. 312	1. 021	0. 927	2. 193	0. 922
地下生物量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	0. 837	1. 134	0. 432	0. 423	0. 252	0. 172	1. 428	0. 255
生长高度/cm	45. 5	37. 2	15. 6	29. 3	18. 8	9. 5	62. 7	17. 2
根系深度/cm	29. 8	36. 5	32. 4	43. 7	37. 2	25. 6	58. 9	29. 6
盖度/ %	100	100	100	96	98	90	100	100
密度/(株 $\cdot\text{m}^{-2}$)	4 128	4 124	4 862	4 428	4 291	3 758	4 213	4 485
绿期/ d	330	272	240	308	242	365	315	245
绿度	浅绿(5)	中绿(7)	中绿(7)	深绿(9)	深绿(9)	深绿(9)	浅绿(5)	中绿(7)
生长速度	快(9)	较快(7)	一般(5)	一般(5)	一般(5)	较慢(3)	快(9)	一般(5)
均一性	一般(5)	较好(7)	较好(6)	好(9)	较好(6)	好(9)	好(9)	较好(6)
景观效果	好(9)	好(9)	较好(7)	一般(5)	较好(7)	好(9)	好(9)	较好(7)
耐热性	较好(7)	好(9)	好(9)	一般(5)	较好(7)	好(9)	好(9)	好(9)
耐寒性	较好(7)	较好(7)	好(9)	较好(7)	一般(5)	一般(5)	好(9)	好(9)
耐旱性	一般(5)	好(9)	较好(7)	一般(5)	一般(5)	较好(7)	好(9)	较好(7)
抗病虫性	好(9)	一般(5)	较好(7)	一般(5)	较好(7)	一般(4)	好(9)	较好(7)
耐贫瘠性	好(9)	一般(5)	较好(7)	好(8)	较好(7)	一般(5)	好(9)	较好(7)
成本/(元 $\cdot\text{kg}^{-1}$)	45 ~ 55	50 ~ 65	50 ~ 85	35 ~ 45	60 ~ 80	85 ~ 100	40 ~ 50	75 ~ 85

可见,从单一指标分析各个植物很难确定最优方案,需通过综合评价来确定最适合的植物.

2.2 层次分析法生态适应性评价

1) 构建递阶层次结构模型. 最高层为目标层,即优良的护坡植物;中间层为指标层及相对应

的准则层,指标层包含试验测定的各项指标及成本共 17 项,准则层包含产量特性、品质特性、抗逆性和成本 4 个方面;最低层为方案层,分别为各种备选植物. 优良护坡植物筛选层次结构模型如图 1 所示.

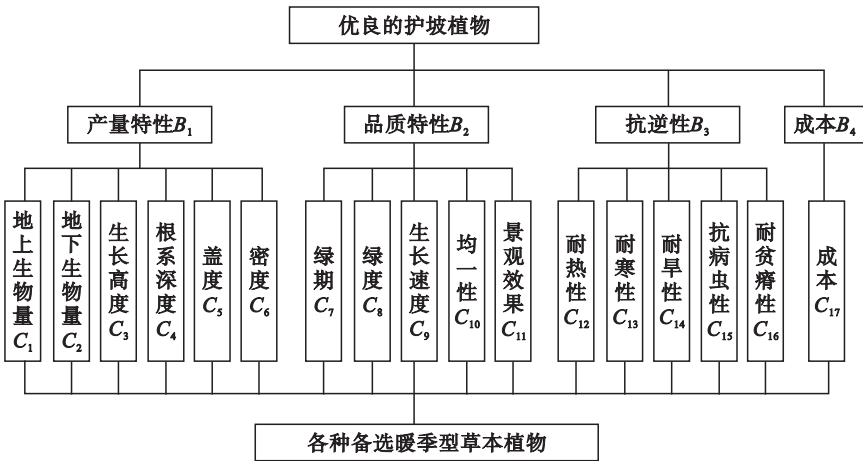


图 1 优良护坡植物筛选层次结构模型图
Fig. 1 Hierarchical structure model of the excellent slope protection plants

2) 构造比较判断矩阵、层次因素单排序及一致性检验. 为确定每个元素对上一层次的相对重

要性,引用 Saaty 的 1 – 9 及其倒数的比例标度法,构造判断矩阵. 判断矩阵如表 2 所示,其一致性检验结果为 $\lambda_{\max} = 4.010\ 4$, $RI = 0.9$, $CI = 0.003\ 5$, $CR = 0.003\ 8$, 其中 $CR < 0.10$, 符合一致性要求,说明权重值合理. 对指标层构造判断矩阵,并进行一致性检验,确定其权重值,结果如表 3 所示.

3) 方案层层次单排序. 比较暖季型草本植物单播试验指标观测结果(表 1)中各指标优劣顺序,结果如表 4 所示.

表 2 准则层判断矩阵				
Table 2 Judgement matrix of criterion level				
优良护坡草种	B_1	B_2	B_3	B_4
B_1	1	3	1/2	5
B_2	1/3	1	1/5	2
B_3	2	5	1	8
B_4	1/5	1/2	1/8	1
单层权重	0.296 3	0.108 2	0.535 6	0.059 9

表 3 指标层判断矩阵			
Table 3 Judgment matrix of standard level			
准则层 B	指标层 C	权重	一致性检验
B_1	C_1	0.323 2	$\lambda_{\max} = 6.135\ 5$, $RI = 1.24$, $CI = 0.027\ 1$, $CR = 0.021\ 9 < 0.10$, 符合一致性要求
	C_2	0.185 5	
	C_3	0.041 1	
	C_4	0.067 0	
	C_5	0.334 0	
	C_6	0.049 2	
B_2	C_7	0.392 2	$\lambda_{\max} = 5.017\ 6$, $RI = 1.12$, $CI = 0.004\ 4$, $CR = 0.003\ 9 < 0.10$, 符合一致性要求
	C_8	0.042 4	
	C_9	0.155 8	
	C_{10}	0.080 8	
	C_{11}	0.328 9	
B_3	C_{12}	0.326 6	$\lambda_{\max} = 5.0153$ $RI = 1.12$, $CI = 0.003\ 8$, $CR = 0.003\ 4 < 0.10$, 符合一致性要求
	C_{13}	0.179 4	
	C_{14}	0.326 6	
	C_{15}	0.106 6	
	C_{16}	0.060 7	
B_4	C_{17}	1.000 0	$\lambda_{\max} = 1$, $RI = 0$, $CI = 0$, $CR = 0 < 0.10$, 符合一致性要求

表 4 方案层层次单排序								
Table 4 Hierarchical single arrangement of plan layer								
指标层	方案层							
	N_1 百喜草	N_2 狗牙根	N_3 结缕草	N_4 狼尾草	N_5 马尼拉草	N_6 马蹄金	N_7 香根草	N_8 中华结缕草
C_1	0.224 5	0.129 9	0.018 8	0.052 1	0.065 2	0.045 9	0.430 5	0.033 1
C_2	0.142 3	0.275 6	0.070 9	0.070 9	0.032 6	0.021 4	0.353 3	0.033 0
C_3	0.270 7	0.141 5	0.038 7	0.078 7	0.038 7	0.019 4	0.374 8	0.037 4
C_4	0.038 3	0.093 3	0.056 5	0.187 1	0.098 1	0.025 7	0.463 2	0.037 7
C_5	0.168 5	0.168 5	0.179 6	0.060 5	0.056 7	0.029 1	0.168 5	0.168 5
C_6	0.057 1	0.057 1	0.355 6	0.162 4	0.091 8	0.019 3	0.091 8	0.164 9
C_7	0.205 0	0.052 6	0.0255	0.112 5	0.025 5	0.388 9	0.162 6	0.027 3
C_8	0.021 9	0.088 5	0.0885	0.224 3	0.224 3	0.224 3	0.039 6	0.088 5
C_9	0.294 3	0.144 8	0.060 2	0.060 2	0.060 2	0.026 1	0.294 3	0.060 2
C_{10}	0.032 5	0.078 3	0.078 3	0.218 1	0.078 3	0.218 1	0.218 1	0.078 3
C_{11}	0.191 8	0.191 8	0.068 8	0.035 3	0.068 8	0.191 8	0.191 8	0.060 0
C_{12}	0.060 9	0.169 8	0.169 8	0.029 3	0.060 9	0.169 8	0.169 8	0.169 8
C_{13}	0.086 2	0.086 2	0.223 3	0.086 2	0.035 8	0.035 8	0.223 3	0.223 3
C_{14}	0.043 0	0.268 2	0.111 5	0.043 0	0.043 0	0.111 5	0.268 2	0.111 5
C_{15}	0.268 2	0.043 0	0.111 5	0.043 0	0.111 5	0.043 0	0.268 2	0.111 5
C_{16}	0.223 3	0.035 8	0.086 2	0.223 3	0.086 2	0.035 8	0.223 3	0.086 2
C_{17}	0.194 3	0.084 9	0.096 7	0.311 8	0.043 1	0.024 8	0.204 8	0.039 5

4) 综合评价结果. 暖季型草本植物综合评价权重值及总排序如表 5 所示.

由表 5 可以看出,8 种暖季型草本植物中,以香根草、狗牙根、百喜草为最佳,具有较好的生态

适应性和护坡功能,结缕草和中华结缕草次之,马尼拉草和狼尾草最差.

2.3 现场应用效果分析

评价结果优良的香根草、狗牙根和百喜草于

2015 年应用于现场边坡植被恢复工程中,植被长势良好,护坡效果明显,有效控制了水土流失.从现场看,香根草生长速度非常快,根系发达,密集丛生,体现较强的抗张力,无愧于“世界上最长根系草本植物”称号;狗牙根匍匐茎平铺地面,节处向下生根,生命力顽强,体现良好护坡作用;百喜草适应性也较强,分蘖旺盛,地下茎粗壮,根系发达,植株高大,长势良好,对于保护边坡具有较强的实用价值.

表 5 暖季型草本植物综合评价权重值及总排序
Table 5 Weight and total ordering of the comprehensive evaluation results of warm-season herb plants

优良的暖季型护坡草种	最终权重	综合排序
N_1 百喜草	0.132 4	3
N_2 狗牙根	0.154 9	2
N_3 结缕草	0.121 5	4
N_4 狼尾草	0.081 2	7
N_5 马尼拉草	0.057 0	8
N_6 马蹄金	0.093 9	6
N_7 香根草	0.246 1	1
N_8 中华结缕草	0.112 9	5

从三种草的习性分析,香根草除耐寒性一般外,其余性能均为良好,且表现出极强的耐热性、耐旱性、耐酸性、耐盐碱性和抗病虫能力,其根系深而发达,可深入土壤数米之深,具有优良的护坡条件;狗牙根耐寒和耐阴性虽一般,但耐热和耐旱性也极强,且根系发达,根量极大,须根细而坚韧;而百喜草生性粗放,对土壤要求不严,耐热和耐旱性极强,且根系发达,入土较深.因此,在温暖的南方地区,这三种草本植物便成了理想的保持水土植物,值得推广应用.

3 结 论

1)从暖季型草本植物中选择 8 种植物进行单播试验,测定了地上生物量等定量指标和绿度等定性指标,为确定适合当地公路边坡的植被奠定了良好基础.在单一指标分析中,除了香根草有明显优势外,其他植物各有优缺点,无法确定优选

物种,需建立指标评价体系,通过综合评价确定.
2)运用层次分析法对广河高速公路边坡暖季型草本植物生态适应性进行了综合评价,确定 8 种暖季型草本植物中以香根草、狗牙根、百喜草为最佳,结缕草和中华结缕草次之,马尼拉草和狼尾草最差.因此,在广河高速公路边坡种植暖季型草本植被建议选择香根草、狗牙根和百喜草.

参考文献:

[1] Barrett M E, Walsh P M, Malina J F Jr, et al. Performance of vegetative controls for treating highway runoff [J]. *Journal of Environmental Engineering*, 1998, 124 (11) : 1121 – 1128.

[2] Shields F D Jr, Gray D H. Effects of woody vegetation on sandy levee integrity [J]. *Water Resources Bulletin*, 1993, 28 (5) : 917 – 931.

[3] Bochet E, García-Fayos P. Factors controlling vegetation establishment and water erosion on motorway slopes in Valencia, Spain [J]. *Restoration Ecology*, 2004, 12 (2) : 166 – 174.

[4] Mok J H, Landphair H C, Naderi J R. Landscape improvement impacts on roadside safety in Texas [J]. *Landscape & Urban Planning*, 2006, 78 (3) : 263 – 274.

[5] 贾致荣, 张玮. 路边坡植被恢复质量评价指标及方法研究 [J]. 水土保持通报, 2008, 28 (1) : 115 – 118.
(Jia Zhi-rong, Zhang Wei. Evaluation index and method of re-vegetation quality on highway slope [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28 (1) : 115 – 118.)

[6] Lan J Y. Application of AHP in environmental pollution prevention planning [J]. *Meteorological and Environmental Research*, 2010, 1 (2) : 69 – 72.

[7] 张大勇, 王冬, 王建军. 基于模糊神经网络的护坡植被优选 [J]. 东北林业大学学报, 2011, 39 (7) : 116 – 119.
(Zhang Da-yong, Wang Dong, Wang Jian-jun. Selection of optimal slope protection plants based on fuzzy neural network [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2011, 39 (7) : 116 – 119.)

[8] 江源, 陶岩, 顾卫, 等. 高速公路边坡植被恢复效果研究 [J]. 公路交通科技, 2007, 24 (7) : 147 – 152.
(Jiang Yuan, Tao Yan, Gu Wei, et al. Assessment on vegetation restoration by soil spray seeding technique on road verge slopes of expressway [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2007, 24 (7) : 147 – 152.)

[9] Ebdon J S, Gauch H G. Direct validation of AMMI predictions in turfgrass trials [J]. *Crop Science*, 2011, 51 (2) : 862 – 869.

[10] Ma W Y. A practical approach to modifying pairwise matrices and two criteria of modificatory effectiveness [J]. *Journal of Systems Science & Systems Engineering*, 1993, 2 (4) : 334 – 338.