

## 银西高铁干旱区生态修复物种选择及评价技术研究

李舟, 薛春晓, 孔令伟 (中铁西北科学研究院有限公司, 甘肃兰州 730000)

**摘要** [目的]筛选适宜银西高铁宁夏段干旱区的生态修复物种,保障良好的生态修复效果。[方法]利用层次分析法对银西高铁宁夏段干旱区的植物物种进行选择 and 评价技术研究。[结果]不同植物的相对水分亏缺值(RWD)增加值从小到大依次为四翅滨藜、柠条、紫穗槐、枸杞、黄刺梅、小叶锦鸡儿、铺地柏,四翅滨藜具有较强的耐旱性;贫瘠的土壤条件下,紫穗槐、小叶锦鸡儿、柠条种子萌发后存活率高,表明其耐贫瘠性较强;柠条和紫穗槐苗木的越冬存活率相对较高,分别达 92% 和 80%,而铺地柏越冬存活率最低,仅 66%;四翅滨藜的平均冠幅最大,是其他物种的 1.91~3.22 倍,具有较强的水文调节功能;铺地柏的绿色期最长,约 360 d,其次是四翅滨藜,为 270 d,表明其景观效果较好;四翅滨藜的根系抗拉强度最高,达 44.25 MPa,表明其具有较强的护坡能力;在综合评价指标条件下,不同植物的适应性评价结果从大到小依次四翅滨藜、紫穗槐、柠条、小叶锦鸡儿、枸杞、黄刺梅、铺地柏。[结论]银西高铁干旱区生态修复中可优先选用四翅滨藜、紫穗槐和柠条。

**关键词** 干旱区;层次分析法;评价指标;物种选择

**中图分类号** S181 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)05-0096-05

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.05.024

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Study on Species Selection and Evaluation Technology of Ecological Restoration in Arid Area of Yinxi High Speed Railway

LI Zhou, XUE Chun-xiao, KONG Ling-wei (Northwest Research Institute Co., Ltd. of CREC, Lanzhou, Gansu 730000)

**Abstract** [Objective] To screen out the suitable ecological restoration species and ensure the good ecological restoration effect. [Method] The analytic hierarchy process (AHP) was used to select and evaluate the plant species in the arid area of Ningxia section of Yinxi high speed railway. [Result] The results showed that the order of RWD added value of different plants from small to large was *Atriplex canescens*, *Caragana korshinskii*, *Amorpha fruticosa*, *Lycium barbarum*, *Rosa xanthina*, *Caragana microphylla*, *Sabina procumbens*, which indicated that *Atriplex canescens* had strong drought tolerance; the survival rate of *Amorpha fruticosa*, *Caragana microphylla* and *Caragana korshinskii* seeds after germination was the highest in poor soil conditions, indicating that they had strong tolerance to poor soil conditions; the overwintering survival rate of *Caragana korshinskii* and *Amorpha fruticosa* seedlings was relatively high, reaching 92% and 80% respectively, while the overwintering survival rate of *Sabina procumbens* was the lowest, only 66%; the average crown width of *Atriplex canescens* was the largest, which was 1.91~3.22 times of other species, and it had strong hydrological regulation function; the longest green period of *Sabina procumbens* was 360 days, followed by *Atriplex canescens*, which was 270 days; the root tensile strength of *Atriplex canescens* was the highest, which was 44.25 MPa, indicating that it had a strong slope protection effect; under the condition of comprehensive evaluation index, the results of adaptability evaluation of different species from large to small was *Atriplex canescens*, *Amorpha fruticosa*, *Caragana korshinskii*, *Caragana microphylla*, *Lycium barbarum*, *Rosa xanthina*, *Sabina procumbens*. [Conclusion] *Atriplex canescens*, *Amorpha fruticosa* and *Caragana korshinskii* were preferred in the ecological restoration of the arid area of Yinxi high speed railway.

**Key words** Arid area; Analytic hierarchy process; Evaluating indicator; Species selection

银西高速铁路是构成国家“八纵八横”高速铁路网的重要组成部分,对推动中西部经济发展及国防建设具有重要作用。银西高铁宁夏段生态修复区多处于生态脆弱区,气候干旱,存在诸多对生态修复的不利因素。因此,生态修复中应重点考虑物种选择、建植技术和养护技术来克服脆弱区带来的不利因素,而物种选择是影响生态修复成功的关键因素,并对生态修复效果有较大影响作用<sup>[1]</sup>。目前铁路工程建设领域生态修复方面,针对植被建植技术和养护措施等研究较多,取得了较多的研究成果<sup>[2-5]</sup>。忽视了物种选择的重要性,如物种选择中忽视物种适应性、物种单一性,同时存在群落组成结构简单、景观效果差和防护效果差等问题<sup>[6-7]</sup>。因此,开展银西高铁沿线生态修复区植物物种优选技术研究,可有效解决因物种选择带来的生态修复难题,提高生态修复效果。该研究成果可为银西高铁沿线及类似区域工程的生态修复物种调查与选择提供参考,具有较好的研究价值与推广应用价值。

## 1 研究区概况

研究区选在银西高铁宁夏段吴忠市境内,吴忠市位于西北内陆,为干旱、半干旱气候区,具有明显的大陆性特征,四季分明,气候干燥,降水较为集中,昼夜温差较大,无霜期较短,风沙强烈。多年平均气温 9.3℃,历年平均降水量 184.6~273.5 mm,年平均降雨日数为 46.5 d,降雨集中在每年 7—8 月。

## 2 研究方法

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)<sup>[8]</sup>,是通过定量和定性等手段进行决策分析的一种方法,并将决策相关的因素分解为目标、准则和方案等多个层次。AHP 主要是通过模型建立、建立判别矩阵和指标等进行综合评价。笔者通过 AHP 分析手段,筛选出适宜于干旱区高速铁路人工生态修复物种。

**2.1 评价指标体系建立** 根据指标体系构建原则和思路,结合我国银西高铁生态环境状况,对高速铁路人工植被物种选取的评价指标体系进行分类和优化处理,确定指标体系分为 3 层,分别为目标层、准则层和指标层,评价指标体系见表 1。

### 2.2 评价指标的测定和计算

**2.2.1 植物抗逆性。耐旱性:**主要是通过测定植物叶片的

**基金项目** 宁夏回族自治区重点研发计划项目(2019BFG02013);中国中铁股份有限公司引导项目(2016-KJ015-Z013-03)。

**作者简介** 李舟(1980—),男,重庆人,高级工程师,硕士,从事铁路沿线土木工程与生态修复研究。

**收稿日期** 2021-06-08

相对水分亏缺值(RWD)衡量植物耐旱性强弱<sup>[9]</sup>。不同植物在相同的水分胁迫条件下,RWD 降幅越小,表明叶片的保水能力越强,耐旱强度也越强。耐贫瘠性:在其他条件相同的情况下,通过测定不同植物种子在原始边坡土壤中的存活

率来确定植物的耐贫瘠性。耐寒性:在室外环境条件下,对 2 年生苗木的越冬存活率进行测定,通过存活率来评价植物的耐寒性。

表 1 干旱区高速铁路边坡人工植被物种优选评价体系

Table 1 Optimization evaluation system of artificial vegetation species on high-speed railway slope in arid area

| 目标层<br>Target layer  | 准则层<br>Criterion layer | 指标层<br>Index layer | 指标特征<br>Index characteristics | 指标类型<br>Indicator type |
|--|------------------------|--------------------|-------------------------------|------------------------|
| 干旱区高速铁路边坡人工植被物种优选<br>Optimization of artificial vegetation species<br>on high speed railway slope in arid area | 植物抗逆性                  | 耐旱性                | 反映植物耐干旱的特性                    | 定量                     |
|  |                        | 耐贫瘠性               | 反映植物耐养分贫瘠的特性                  | 定量                     |
|  |                        | 耐寒性                | 反映植物抵御寒冷气候的特性                 | 定量                     |
|  | 植物生长状况                 | 冠幅量                | 反映植物对降水的调节功能                  | 定量                     |
|  |                        | 生长势                | 反映物种生长态势的特性                   | 定性                     |
|  |                        | 绿色期                | 反映植被保持绿色的时间                   | 定量                     |
|  | 植物力学质量                 | 根系抗拉强度             | 反映根系对边坡的锚固能力                  | 定量                     |

**2.2.2 生长状况。**冠幅量:通过测定不同植物物种(2 年生苗木)冠幅来衡量。冠幅量越大,表明其对降水的截留效果越明显,水文调节功能越强,有利于边坡的水土保持。绿色期:主要通过测定不同物种展叶期和落叶期来确定物种的绿色期。

**2.2.3 力学质量。**根系抗拉强度:采用数显式测力计测定,测定不同植物根系(直径为 2 mm)的最大拉力值,然后通过式(1)计算根系的抗拉强度<sup>[10]</sup>。

$$P = 4F/\pi D^2 \quad (1)$$

式中, $P$  为根系的抗拉强度; $F$  为根系被拉断时的抗拉力; $D$  为根系的断面直径。

**2.3 评价指标权重的确定** 为合理确定各指标权重,采用 1~9 标度法建立各层次的判断矩阵,求得各指标权重,再进行和积法计算和排序,最后进行一致性检验。各评价指标权重结果见表 2。

表 2 评价指标体系的权重及权值排序

Table 2 Weight and weight ranking of evaluation index system

| 评价目标<br>Evaluation objectives   | 评价准则层<br>Evaluation criteria layer | 权重<br>Weight | 评价指标层<br>Evaluation index layer | 权重<br>Weight | 权值<br>Weight | 排序<br>Sort |
|---|------------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|--------------|------------|
| 干旱区高速铁路边坡人工植被物种优选<br>Optimization of artificial vegetation species on high speed railway slope in arid area | 植物抗逆性                              | 0.65         | 耐旱性                             | 0.54         | 0.351        | 1          |
|   |                                    |              | 耐贫瘠性                            | 0.30         | 0.195        | 2          |
|   |                                    |              | 耐寒性                             | 0.16         | 0.104        | 5          |
|   | 植物生长状况                             | 0.23         | 冠幅量                             | 0.55         | 0.127        | 3          |
|   |                                    |              | 生长势                             | 0.24         | 0.055        | 6          |
|   |                                    |              | 绿色期                             | 0.21         | 0.048        | 7          |
|   | 植物力学质量                             | 0.12         | 根系抗拉强度                          | 1.00         | 0.120        | 4          |

**2.4 待评价植物物种的选取** 通过现场调查、市场调查及专家咨询等手段,并结合高速铁路边坡的立地条件等限制因素,筛选出可能适宜于该区生态修复的植物物种,分别为紫穗槐、四翅滨藜、枸杞、柠条、小叶锦鸡儿、铺地柏、沙地柏、黄刺梅。然后通过 AHP 分析方法,最终确定出适宜于该区种植的植物物种。

### 3 结果与分析

#### 3.1 植物抗逆性

**3.1.1 耐旱性。**由表 3 可知,6—10 月各植物叶片的 RWD 总体呈逐渐升高的趋势,这主要是由于叶片的蒸腾速率随着气温升高、日照时数增加等条件的改变而不断升高,从而导致叶片 RWD 值不断升高。总体来看,不同植物的 RWD 增加值从小到依次为大依次为四翅滨藜、柠条、紫穗槐、枸杞、黄刺梅、小叶锦鸡儿、铺地柏。其中,四翅滨藜的叶片 RWD 增加值最小,仅 9.03,而铺地柏增加值最大,达 24.45,二者之间的差值

为 15.42。这表明在干旱条件下保持水分平衡能力较强的是四翅滨藜、柠条、紫穗槐、枸杞居中,铺地柏、黄刺梅和小叶锦鸡儿较差。导致不同物种 RWD 增加值不同的原因可能与叶片肉质程度、叶面积和耐旱机制等因素有关<sup>[11]</sup>。而四翅滨藜的叶片呈条形或披针形,相较于其他植物单片叶面积较小,可能导致其耐旱性较强。

**3.1.2 耐贫瘠性。**根据全国第二次土壤普查养分分级标准,该区原始边坡土壤养分含量等级为 5,土壤养分含量较低。由图 1 可知,不同植物在原始土壤中的存活率不同,紫穗槐存活率最高,达 98%,铺地柏存活率最低,仅 34%,二者之间相差 64 个百分点。整体来看,不同植物的存活率从大到小依次为紫穗槐、小叶锦鸡儿、柠条、四翅滨藜、枸杞、黄刺梅、铺地柏。其中紫穗槐、小叶锦鸡儿、柠条的存活率高,均达到 85%以上,原因可能是这 3 种植物均属于豆科植物,而豆科植物根部有根瘤菌,有固氮作用<sup>[12]</sup>,可有效改善土壤中

养分状况,为植物生长提供必要的养分,从而提高植物存活率。

表 3 各植物叶片相对水分亏缺值(RWD)比较

Table 3 Relative water deficit value of leaves of various plants

| 月份<br>Month                        | 紫穗槐<br><i>Amorpha<br/>fruticosa</i> | 四翅滨藜<br><i>Atriplex<br/>canescens</i> | 枸杞<br><i>Lycium<br/>barbarum</i> | 柠条<br><i>Caragana<br/>korshinskii</i> | 小叶锦鸡儿<br><i>Caragana<br/>microphylla</i> | 铺地柏<br><i>Sabina<br/>procumbens</i> | 黄刺梅<br><i>Rosa<br/>xanthina</i> |
|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------|
| 6                                  | 12.56                               | 10.97                                 | 6.54                             | 9.65                                  | 15.75                                    | 5.65                                | 10.65                           |
| 8                                  | 23.15                               | 18.51                                 | 19.36                            | 18.65                                 | 32.29                                    | 27.20                               | 26.56                           |
| 10                                 | 30.09                               | 29.03                                 | 24.25                            | 26.68                                 | 40.78                                    | 33.00                               | 29.99                           |
| $\Delta$ RWD 平均值 Mean $\Delta$ RWD | 14.06                               | 9.03                                  | 15.27                            | 13.01                                 | 20.79                                    | 24.45                               | 17.63                           |

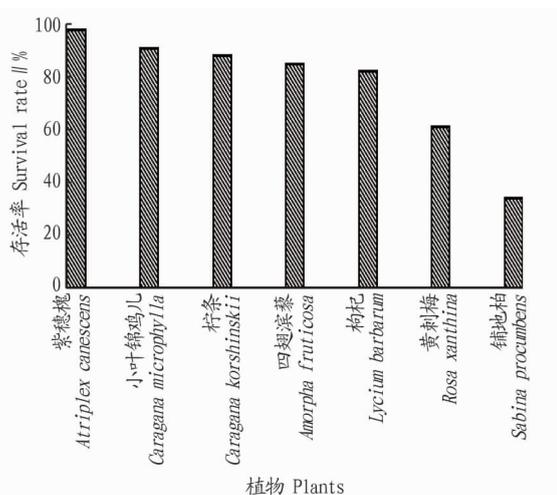


图 1 原始土壤条件下不同植物存活率比较

Fig. 1 Comparison of survival rate of different plants under original soil conditions

**3.1.3 耐寒性。**从图 2 可以看出,四翅滨藜的越冬存活率最高,达 100%,表明其具有较强的耐寒特性,能有效保证在寒冷条件下的存活率。柠条和紫穗槐苗木的越冬存活率也相对较高,分别达到 92%和 80%,铺地柏的越冬存活率最低,仅为 66%。小叶锦鸡儿、枸杞和黄刺梅苗木的越冬存活率在 70%~77%。在耐寒性指标条件下,可优先选用四翅滨藜,其次是柠条和紫穗槐。不同植物之间的耐寒特性与植物的抗寒基因和自我调节功能等有关<sup>[13]</sup>,也从侧面反映出四翅滨藜对寒冷环境有较强的自我调节功能。

### 3.2 植物生长状况

**3.2.1 冠幅量。**从图 3 可知,四翅滨藜的平均冠幅最大,达 62.8 cm,是其他植物冠幅的 1.91~3.22 倍。而冠幅的大小与植物的水文调节强弱相关。在相同栽植密度条件下,冠幅越大,对降水的截留效果越好,可有效减缓降水对边坡的溅蚀和冲刷,减少水土流失,增强水源涵养功能。这表明在相同条件下,四翅滨藜对降水的调节功能最强,可有效起到水源涵养的功能,减少水土流失,维持边坡的稳定性。紫穗槐的冠幅为 32.8 cm,相对四翅滨藜冠幅量下降较多,对降水的调节功能也相对减弱。其余 5 种植物的冠幅均小于 25 cm,在相同栽植密度条件下,不利于水土流失的减少。因此在冠幅指标条件下,可优先选用四翅滨藜,其次是紫穗槐。

**3.2.2 生长势。**在室外条件下对不同植物的 2 年生苗木进行培养,观察不同植物越冬后的生长态势,其生长势评价指

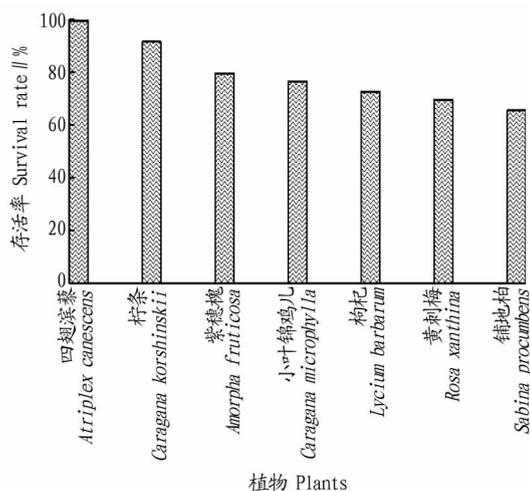


图 2 不同植物 2 年生苗木越冬存活率比较

Fig. 2 Comparison of overwintering survival rate of different plant seedlings (2-year-old)

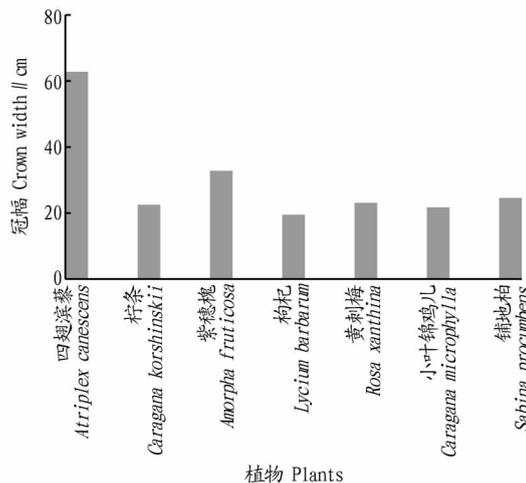


图 3 不同植物 2 年生苗木平均冠幅比较

Fig. 3 Comparison of average crown width of 2-year-old seedlings of different plants

标准见表 4。从图 4 可以看出,四翅滨藜、柠条和紫穗槐的生长势良好,均达到 80 分以上,表明该植物具有较强生长优势,有利于物种可持续性发展,适用于长期的生态修复工程。不同植物生长势指标分值从大到小依次为四翅滨藜(95)、柠条(90)、紫穗槐(88)、小叶锦鸡儿(77)、枸杞(75)、黄刺梅(70)、铺地柏(65)。在生长势指标条件下,可优先选择四翅滨藜、柠条和紫穗槐,可有效保证生态修复效果的可持续性

和较强的稳定性。

表 4 植物生长势评分指标及标准

Table 4 Scoring index and standard of plant growth potential

| 等级<br>Grade | 评分<br>Score      | 生长势<br>Growth potential         |
|-------------|------------------|---------------------------------|
| 良好 Good     | $S \geq 80$      | 生长旺盛,顶端优势强,枝叶旺盛,病虫害现象少,叶片有轻度萎焉  |
| 中等 Medium   | $60 \leq S < 80$ | 生长中等,顶端优势一般,叶量中等,叶片中度萎焉,有中度病害现象 |
| 差 Poor      | $S < 60$         | 生长较弱,顶端优势弱,枝叶稀疏,叶片重度萎焉,病虫害严重    |

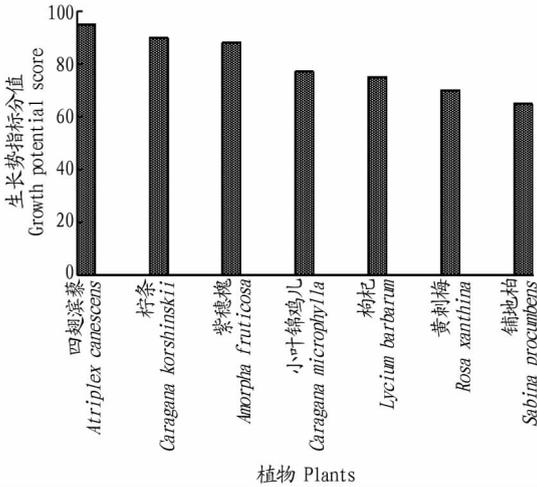


图 4 不同植物生长势指标分值比较

Fig. 4 Comparison of index scores of different plant growth potential

**3.2.3 绿色期。**通过盆栽试验对不同植物 2 年生苗木的展叶期和落叶期进行观测,得出不同植物的绿色期见图 5。从图 5 可见,绿色期最长的是铺地柏,为 360 d,其次是四翅滨藜为 270 d,其余植物的绿色期大多集中在 180~240 d。绿色期可表征植物的景观效果,绿色期越长,可有效提高路域范围内景观效果,减缓司乘人员的视觉疲劳等,提高行车安全和舒适度。因此,在绿色期指标条件下可优先选择铺地柏和四翅滨藜。

**3.3 植物力学质量** 从图 6 可以看出,四翅滨藜的抗拉强度最大,达 44.25 MPa,其次是小叶锦鸡儿,为 26.48 MPa,其余植物种根系的抗拉强度均在 25 MPa 以下,抗拉强度相对较低。而植物根系抗拉强度的强弱对树体的稳定性和维护边坡稳定性有较强关系,二者之间呈正相关<sup>[14-15]</sup>,即根系的抗拉强度越高,边坡和植被的稳定性也越高。这是由于根系与土体之间形成复合体,从而改变了土体的力学性能和水文性能,且根系与土体之间产生黏聚力,进一步提高了边坡的稳定性。因此,在根系抗拉强度指标条件下,可优先选用四翅滨藜,其次是小叶锦鸡儿和柠条。

**3.4 适应性综合分析** 对原始数据采集整理完成后,对其进行无量纲化处理。植物的耐贫瘠性、耐寒性和生长势的值域为[0,1],无需进行无量纲化处理,而其余指标的值域不是[0,1],因此需要分别建立其隶属度函数,使各评价指标的量

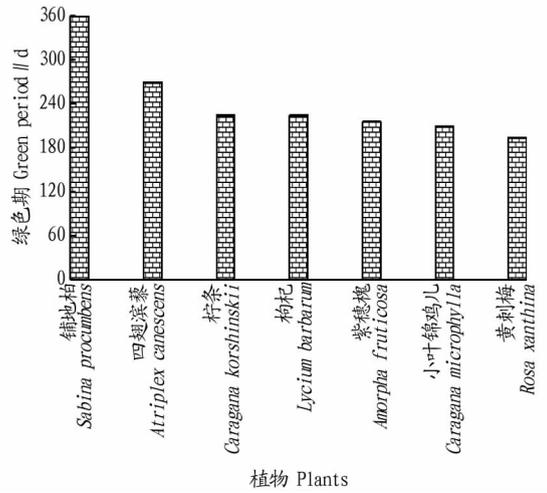


图 5 不同植物绿色期比较

Fig. 5 Comparison of green periods of different plants

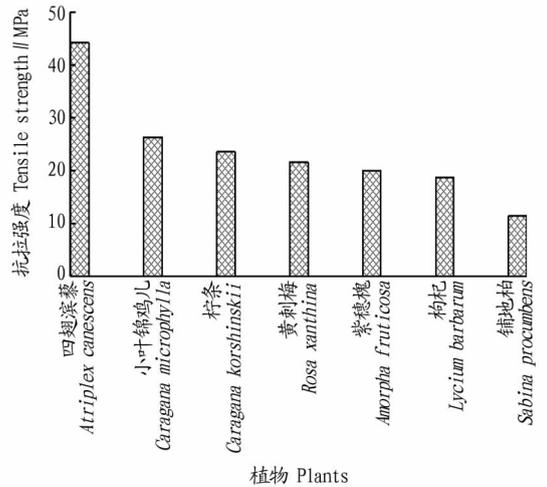


图 6 不同植物根系抗拉强度比较

Fig. 6 Comparison of tensile strength of different plant roots

纲一致。植物耐旱性指标的隶属函数为

$$\mu_D = \begin{cases} 0, & RWD \geq 1 \\ 1 - RWD, & 0 \leq RWD < 1 \end{cases} \quad (2)$$

植物冠幅量指标隶属函数为

$$\mu_C = \begin{cases} 1, & G \geq 62.8 \\ \frac{G}{62.8}, & 0 < G < 62.8 \end{cases} \quad (3)$$

植物绿色期指标的隶属函数为

$$\mu_M = \begin{cases} 1, & M \geq 12 \\ \frac{M}{12}, & 0 < M < 12 \end{cases} \quad (4)$$

植物抗拉强度指标的隶属函数为

$$\mu_T = \begin{cases} 1, & T \geq 44.25 \\ \frac{T}{44.25}, & 0 < T < 44.25 \end{cases} \quad (5)$$

根据式(2)~(5)计算不同植物的不同指标分值,结合表 2 可计算出不同指标权重分值,最后将各指标权重分值进行汇总处理得到不同植物的适应性分值排序(表 5)。

表5 不同植物适应性分值排序

Table 5 Ranking of adaptability scores of different plants

| 植物<br>Plant                       | 分值<br>Score | 排序<br>Sort |
|-----------------------------------|-------------|------------|
| 四翅滨藜 <i>Atriplex canescens</i>    | 92.71       | 1          |
| 紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>      | 77.32       | 2          |
| 柠条 <i>Caragana korshinskii</i>    | 76.25       | 3          |
| 小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i> | 72.28       | 4          |
| 枸杞 <i>Lycium barbarum</i>         | 68.07       | 5          |
| 黄刺梅 <i>Rosa xanthina</i>          | 65.04       | 6          |
| 铺地柏 <i>Sabina procumbens</i>      | 56.50       | 7          |

根据适应性评价结果可优先选择四翅滨藜、柠条和紫穗槐作为银西高铁生态修复项目中路堤边坡生态修复物种。在验证试验中,采用四翅滨藜、柠条和紫穗槐作为生态修复物种,通过2年的观察发现,植被长势良好,覆盖度高,有效减缓了水土流失状况,表明该研究选取的3种植物适宜该区的生态环境,表明该评价方法及评价指标选取的正确性。

#### 4 结论

该研究结果表明,在不同评价指标下,各植物的适应性各不相同。在耐旱性、耐寒性、生长势各指标下可优先选用四翅滨藜,其次是柠条和紫穗槐;在耐贫瘠性指标下,可优先选用紫穗槐、小叶锦鸡儿和柠条;在冠幅量指标下,可优先选用四翅滨藜;在绿色期指标下,可优先选用铺地柏,其次是四翅滨藜和柠条;在根系抗拉强度指标下,可优先选用四翅滨藜,其次是小叶锦鸡儿和柠条。根据综合评价结果,可优先

(上接第95页)

技术创新,培育出了一大批观赏性强、应用价值高的草花品种<sup>[12]</sup>。国内在开展引种工作时,也需加强国内草花资源的调查、评价,发掘出更多具有优异遗传性状的种质资源,同时加大自主品种的培育工作。

不同科属植物种子萌发和生长发育的有效积温不同,这与物种的原产地和地理分布密切相关,并与有利于植物生长的环境相匹配<sup>[13]</sup>。赵斌斌等<sup>[14]</sup>通过研究禾本科和豆科11种植物种子萌发有效积温,发现有效积温为84.0~206.5℃·d,且不同种类间差异显著。高苏岚等<sup>[15]</sup>通过对22个荷花品种进行试验,发现不同品种间、同一品种的不同发育阶段对有效积温的要求也不同。成都地区不同月份间有效积温差异大,为-120.9~486.7℃·d;冬季(12月、1月、2月)气温较低,若要进行草花生产,需进行加温处理。因此在引种草花时,可先将植物生长及开花所需有效积温和当地气候数据进行对比分析,从而指导生产计划的合理制订,并有助于花期调控的实现,同时也能有效缩减引种、生产的相关工作量。但是,植物生长发育速率不仅仅决定于温度因子,还取决于太阳辐射、光周期、土壤性质等。因此,在必要的情况下,要应用这些因素对有效积温方法进行修正,同时,不同植物在不同发育阶段其生物学零度同样需要细致研究,以建立更精确的生长模型来预测植物生长发育。

选用四翅滨藜、紫穗槐和柠条作为生态修复物种,且在现场试验中,生态修复良好,为银西高铁生态修复工程中物种选择提供了合理的理论指导和依据。

#### 参考文献

- [1] 程晔,庄毓琼,黄林冲.高速公路边坡生态防护物种选择的模糊多属性决策方法[J].水土保持通报,2014,34(3):201-206.
- [2] 孔令伟,薛春晓,崔雍,等.新保措施在铁路路域建植技术中的应用研究[J].铁道工程学报,2019,36(5):71-76.
- [3] 梁霞.基于青海半干旱地区公路生态恢复集成技术研究[D].北京:中国地质大学(北京),2011.
- [4] 薛春晓,程建军,蒋富强,等.青藏铁路多年冻土区段沿线生态修复新技术与实践[J].铁道建筑,2010,50(9):146-148.
- [5] 孙盛年,崔虎亮.北京地区3种地被植物在高速公路边坡绿化中的适应性评价[J].安徽农业科学,2020,48(5):135-137.
- [6] 胡兴,李成俊,陈璋,等.公路边坡绿化的景观质量评价等级研究[J].北方园艺,2013(12):82-86.
- [7] 陈红,魏凤虎.公路生态系统评价指标体系构建方法研究[J].中国公路学报,2004,17(4):89-92.
- [8] 杨阳.皖西大别山区高速公路边坡人工植被恢复特征及其质量评价[D].北京:北京林业大学,2016.
- [9] 王浩.宁淮高速公路植物生态适应性的研究[D].南京:南京林业大学,2007.
- [10] 毛伶俐.生态护坡中植被根系的力学分析[D].武汉:武汉理工大学,2007.
- [11] 徐兴友,张凤娟,王子华,等.燕山地区6种花灌木幼苗耐旱特性的研究[J].西北植物学报,2007,27(10):2080-2088.
- [12] 张武,杨琳,王紫娟.生物固氮的研究进展及发展趋势[J].云南农业大学学报(自然科学),2015,30(5):810-821.
- [13] 麦苗苗.连香树干旱胁迫过程中的生理变化与基因差异表达分析[D].雅安:四川农业大学,2009.
- [14] 杨苑君.华北典型乔木根系抗拉及土壤抗剪性能研究[D].北京:北京林业大学,2016.
- [15] 吕春娟,陈丽华,周硕,等.不同乔木根系的抗拉力学特性[J].农业工程学报,2011,27(S1):329-335.

#### 参考文献

- [1] 刘孟霞.春播草花的引种栽培及综合评价研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009.
- [2] 周静.成都花卉产业调查及发展研究[D].雅安:四川农业大学,2008.
- [3] 高银,张建新.成都桂溪生态公园观赏植物调查及配植研究[J].安徽农业科学,2020,48(16):129-133.
- [4] 豆丽萍,穆妮妮,刘亚亚,等.庆阳市草本花卉引种初报[J].甘肃林业科技,2012,37(3):69-71.
- [5] 宋彬,刘景安.宿根花卉花期调控的研究进展[J].北方园艺,2020(1):122-127.
- [6] 李丽伟,范芳,张勇,等.菊花地上部干物质增长过程与有效积温的关系[J].中国农学通报,2007,23(7):543-546.
- [7] 李茂娟,何才生,刘海石,等.优良草本花卉的引种评价与应用[J].中国农学通报,2019,35(25):78-83.
- [8] 张君艳,张继东.层次分析法对几种新优草花的引种适应性评价[J].林业科技通讯,2015(11):59-61.
- [9] 练观萍.成都市居住小区植物配置研究[D].成都:西南交通大学,2011.
- [10] 罗祺.草花新优品种在厦门地区的引种观察及其园林应用[J].绿色科技,2016(15):129-131.
- [11] 刘飞渡.衡阳市草本花卉应用现状调查及适宜品种的筛选[D].北京:中国林业科学研究院,2013.
- [12] 刘桂微,刘香玲,张晓光,等.南宁市“两会”优良花卉新品种引种试验[J].农业研究与应用,2019,32(S1):17-22.
- [13] 陈文.粤东6种菊科植物种子萌发的生物学零度和积温[J].西北师范大学学报(自然科学版),2016,52(4):93-98.
- [14] 赵斌斌,张金星,王文慧,等.华北平原11种植物种子萌发的生物学零点与积温探究[J].中国野生植物资源,2014,33(2):20-23.
- [15] 高苏岚,杨宝利,邓敏.有效积温对荷花催花效果的影响[J].林业科技开发,2014,28(1):105-107.