韶赣高速红砂岩边坡草灌混播防护技术研究

程 晔，谢瑾荣，周翠英，黄林冲
（中山大学 工学院，广东 广州 510275）

摘 要：为研究草灌混播技术在红砂岩边坡防护工程中的生态防护效果与施工工艺，选取韶赣高速典型红砂岩边坡 4 个路段，采用样地记录法对不同草灌配比路段的物种组成，灌木植物的数量、高度、频度等指标进行了调查。通过研究样地植物群落的相对多度、相对高度、相对频度、重要值等指标探讨了试验区植物群落组成与群落特征，并进一步通过各种多样性指标研究试验区植物数量特征及生态学特征。研究结果表明，草灌结合对土壤贫瘠、易风化、易冲刷红砂岩地带具有更强的适应性；豆科植物能通过根瘤固氮作用在坡面贫瘠土壤正常生长，对韶赣高速红砂岩边坡的植被生态恢复起到重要作用；一定配比的本地乡土灌木、豆科植物和少量草种等组成的多物种组合可有效构建较为稳定的红砂岩边坡植物群落，防护效果良好。

关键词：红砂岩边坡；生态防护；草灌混播
文献标识码：B **文章编号**：1000-288X(2013)02-0181-06 **中图分类号**：S157

Grass-shrub Vegetation Protection on Red Sandstone Engineering Slope in Shaoguan—Ganzhou Expressway

CHENG Ye, XIE Jin-rong, ZHOU Cui-ying, HUANG Lin-chong
(*School of Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong* 510275, *China*)

Abstract: Four typical sections of red sandstone slope along Shaoguan—Ganzhou expressway were selected to study the ecological protective effects of the grass-shrub vegetation technology on protection of red sandstone slope. Plots were deployed to investigate the species compositions with different grass-shrub ratio. In addition, the number, height and frequency of shrub were also surveyed and recorded. The indexes regarding relative abundance, relative height, relative frequency, important value of plots, the shrubs were determined to describe the compositional features and quantitative and ecological characteristics of the plant communities in the test area. The results indicated that grass-shrub vegetation technology was more readily adaptable for red sandstone with poor surface soil, which is prone to weathering and erosion. Legume species grow well in the circumstance with pool soil by nitrogen fixation and therefore played an important role in ecological restoration of vegetation on the study area. A certain ratio of local native shrubs, legume and grass could build a stable plant community on red sandstone slope, showing good protective effects.

Keywords: red sandstone slope; ecological protection; grass-shrub vegetation

高速公路建设过程中，大量挖填方易造成公路沿线的植被破坏和表土流失，使周边生态环境遭到不同程度破坏。生态方法修复工程建设造成的大量裸露坡面，对减少水土流失，缓解人与自然的矛盾具有重意义。

对于普通土质边坡的生态防护，湿法喷播、三维网植草等技术已取得了良好效果[1-2]。但对于土壤贫瘠、易风化、易冲刷的红砂岩边坡，其坡面风化破碎严重，土壤颗粒较粗，自然肥力低，不能为植被生长提供必需的环境，在此类贫瘠、不保水的表土上直接引种草种，易造成生态防护的失败[3-5]。

草灌混播技术[6]在普通液压喷播工法的基础上，防护物种选用灌木与草种组配，喷播完成后短期景观以草为主，后期形成灌木混生景观，使边坡植被以草

收稿日期：2012-04-26 修回日期：2012-06-11
资助项目：广东省交通厅科技项目“韶赣高速红层岩土边坡 CF 生态防护技术研究”(2007-11-5)；中央高校基本科研业务费专项资助(11lGPY04)；广东省自然科学基金项目(S2011040005172)
作者简介：程晔(1974—)，男(汉族)，湖南省湘阴县人，博士，讲师，硕士生导师，主要从事岩土工程领域的科研和教学工作。E-mail：chengye0515@126.com。
通信作者：黄林冲(1981—)，湖北省咸宁市人，副教授，主要从事岩土工程领域的科研与教学工作。E-mail：hlinch@mail.sysu.edu.cn。

为主的植物群落快速且自然过渡到更为稳定的以灌为主的灌草混生群落。因此,草灌混播技术在生态防护工程中的应用和研究也正逐渐广泛和深入。郑煜基等[6]成功将草灌混播技术应用于花岗岩、砂页岩等岩性较好的边坡防护工程当中,并取得了良好的防护效果;田国行等[7]对草灌植被在路基边坡中的护坡机理进行了试验研究,为草灌植被护坡在土质边坡中的应用提供了理论参考;王晓亚等[8]对灌木和草本植物在河道边坡整治工程中的生态作用进行了试验探讨,对植物根系的力学效应和水文效应作了深入分析。但是,目前将草灌混播技术应用于红砂岩边坡生态防护中的研究尚不多见。为研究草灌混播技术在红砂岩边坡防护工程中的应用效果及其施工工艺,本研究以韶赣高速粤境段红砂岩边坡防护工程为依托进行试验探讨,采用生态学研究方法,通过对工程实施两年时间的跟踪调查,对草灌混播技术在红砂岩边坡实施效果进行评价,以期为同类边坡生态防护工程的设计和施工提供参考。

1 韶赣高速工程概况

韶赣高速公路粤境段位于广东省北部韶关市境内,路线起于曲江马坝镇,连接京港澳高速,途经浈江区、仁化县、始兴县,终于南雄市梅岭镇,连接江西赣州至大余高速公路,进而与粤赣高速相接。

根据工程勘察资料,工程边坡按岩质条件大致分为3类。第一类为硬质红砂岩边坡,岩性为棕黄色页岩、灰色泥岩夹粉细砂岩,次砂岩,节理、裂隙中等发育。岩体呈薄层状,局部破碎。岩石分带明显,胶结差、易风化、透水性较好;土壤贫瘠,保水性差。周边原生态植物种类较少,以马尾松、桃金娘、梅叶冬青等植物占优势。第二类为软质红砂岩边坡。岩性为红色泥岩夹粉细砂岩,次砂岩,节理、裂隙中等发育。岩体呈薄层状,局部破碎。坡面岩石分带明显,微小型褶曲发育。易风化、易冲刷、强度低等。土壤肥力一般,保水性一般,周边原生态植物种类丰富,植物以马尾松、桃金娘、银合欢,檵木、梅叶冬青、金樱子、黄栀子为优势植物。第三类介于上述二者之间,处于中风化。易风化、易冲刷、透水性较好。土壤肥力较差,保水性一般,周边原生态植物种类丰富,植物以马尾松、银合欢,桃金娘、檵木、金樱子、黄栀子、芦苇为优势植物。

结合项目工程地质条件、物种调研情况,气候、环境特点,该高速公路边坡生态防护的难点主要体现在:(1) 工程所在地区全年温差大,极端最低气温-6.2 ℃,极端最高气温39.5 ℃,对植物耐高温与低温要求高,且土壤酸性强、肥力差,保水性差,外来植物不易成活。(2) 工程地处广东省东北部大余岭南麓,属中亚热带季风湿润区,四季分明,年降雨量1 530.6 mm,短时暴雨强度大,对高速公路边坡抗冲刷能力要求高。

因此,选用抗逆性更强的灌木物种作为主要物种的草灌混播技术更适合该工程实际,由于灌木早期生长速度较缓慢,需注意该时期的灌木生长与养护特点以及坡面抗冲刷能力。

2 草灌混播技术在红砂岩边坡防护工程中的应用

2.1 草灌混播技术

人工建植草、灌结合的生态模式,可实现从草本群落进化到草、灌混生植物群落,再进一步形成稳定的以灌为主的草、灌多样性混生植物群落。其技术特点[6-8]包括:(1) 根据岩石坡面性质选择与之适应的灌木品种,使灌木根系深扎到岩石缝隙中,起到更好地固土、稳坡效果。(2) 灌木抗逆能力强,灌木与草组成立体生态体系,可减少暴雨对坡面的直接冲刷,起到良好的水土保持作用。(3) 加入豆科灌木品种,豆科植物可通过其根部根瘤菌的固氮作用,进行自身营养循环,降低了养护施肥的难度。(4) 灌木和草结合,易使公路边坡达到四季常青的效果。

2.2 施工工艺

根据草灌混播技术特点,结合红砂岩边坡生态防护的实施条件,将其应用于韶赣高速公路红砂岩边坡防护工程,其施工工艺流程为:(1) 坡面清理和施工准备。清理坡面杂物,清除浮石,修整坡面。坡顶开挖截水沟,防止对喷播面造成直接冲刷。(2) 开挖平行沟或开种植孔。软质红砂岩或土夹石坡。直接在坡面上人工开挖平行沟,沟深度为5 cm,平行沟间距为20 cm。硬质岩边坡由于岩石裂隙较少,坡面采用开孔处理,以利于植物根系的伸展,种植孔直径为4 cm,内填充营养土,根据岩石裂隙发育情况,种植孔间距为20～40 cm,种植孔深度为30～50 cm。(3) 挂菱形铁丝网。采用14#经编菱形镀锌铁丝网,网眼尺寸7 cm。铺设网时,铁丝网顺坡面铺设,两网边直接连接,网眼挂入锚杆后,用铁丝扎紧;与纵横梁连接采用膨胀螺栓连接。铁丝网和坡面应保持1～2 cm的距离。(4) 营养土拌制。营养土主要由黏性黄土、椰粉、稻壳或椰丝、有机肥、复合肥等组成,设计体积比为:黏性黄土∶纤维∶有机质=40∶40∶20。椰粉、稻壳可起到疏松土壤的作用,增加种植层氧气和水分含量。纤维起到连接作用,能有效改善营养土的

团粒结构,提高基材的保水性、保肥性,同时使基材具备一定的抗冲刷能力。施工时黄土先行过筛,筛网直径为 2 cm。椰粉砖用水浸泡与各外加物料按照配比倒入土壤中进行干料混合,利用人工或机械混搅拌。拌合后标准为用手抓混合料能成团,松开掉地能散开为度,物料随拌随喷,不宜放置太久。(5) 高压机械喷射营养土。将混合好的营养土,高压喷射到坡面上,喷播平均厚度 6～10 cm。喷射时喷头距坡面距离约 1.5 m,垂直坡面。(6) 液压喷播种子层。将混合草籽、灌木种子、粘合剂、肥料、保水剂、纸浆和水等按一定比例配制成的粘性浆体,利用喷浆机直接喷送至边坡上。泥浆具有良好的附着力及明显颜色,便于避免遗漏和重复,且均匀地将植物种子喷射到目标区。(7) 无纺布覆盖。喷播完成后,覆盖一层无纺布(以 15 g/m^2 为宜),起到保湿、保温的作用。无纺布覆盖采用 U 形钉固定,不留接缝。无纺布覆盖后应注意观察种子发芽和生长情况,待草种功能叶生长稳定,幼苗植株长到 5～6 cm 或 2～3 片真叶时及时撤除无防布。(8) 养护管理。边坡前期养护 15～30 d,以喷水为主,保持土壤湿润,促进种子发芽和快速生长;中期每星期人工喷水 2 次,并追施肥,促苗转青,交付验收。在后期养护期中,注意病虫害防治,全部养护时间 6 个月。

施工时应特别注意:(1) 提前做好催芽工作,特别是对混播中的灌木种子,要提前 3～7 d 进行温水浸种。(2) 应确保边坡已按设计坡比施工到位,排水设施完善并已完工,工程防护措施到位,不出现坍塌现象。(3) 避免在暴雨期喷播施工,若播种后种子损失严重,应补播。(4) 喷播施工后及时覆盖无纺布,以免雨水冲刷,造成喷播材料流失。

3　红砂岩边坡草灌混播技术生态防护效果的调查与评价

3.1　调查对象和方法

红砂岩边坡草灌混播技术生态防护效果调查研究地段选择韶赣高速公路粤境段 A08—A09 标段,里程桩号为 K90＋010—K108＋40,具体调查区段为 K90＋010—K90＋120,K096＋580—K96＋700,K98＋100—K98＋150,K108＋040—K108＋150 共 4 个区段,相应区段草灌种子配比详见表 1。施工开始时间为 2009 年 4 月 22 日,完成时间为 2009 年 8 月 30 日,边坡样地调查时间为 2011 年 3 月 29—31 日。

表 1　调查区草灌种子配比

种子名称		配置量/(g·m^{-2})			
		K90＋010	K096＋580	K98＋100	K108＋040
灌木	木豆(*Cajanus cajan*)	0	0	0	4
	山毛豆(*Tephrosia candida*)	0	8	8	4
	银合欢(*Leucaena leucocephala*)	4	8	4	0
	合欢(*Albizzia julibrissin Durazz*)	6	10	6	10
	多花木兰(*Indigofera amblyatha* Craib)	8	0	4	8
	台湾相思(*Acacia confusa* Merr.)	6	0	4	6
	黄花决明(*Cassia tora* Linn.)	4	0	6	0
	盐肤木(*Rhus chinensis* Mill.)	4	10	4	0
	荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)	4	0	0	4
草种	狗牙根(*Cynodon dactylon*)	0.2	0.2	0.2	0.2
	百喜草(*Paspalum notatum* Flugge)	0.2	0.2	0.2	0.2
合　计		36.4	36.4	36.4	36.4

调查方法采用典型样地记录法,该方法特点是在对一个地区植被全面勘察的基础上,选择典型群落地段,即“群落片段”,随机布置若干能反映群落种类组成和结构的样地,记录其物种种类、数量、生长、分布等。样地设置原则为:(1) 样地面积大小必须能包括群落中的绝大部分种类,能反映该群落片段种类组成的主要特征;(2) 样地的植被应尽可能均匀一致,而不应有明显的分界线或分层的变化;(3) 群落片段内应具有一致的种类成分,即优势种的连续分布;(4) 样地的生境条件应一致。灌木调查样方设计为 3 m×3 m。每个路段随机设置 3 个调查样方,主要调查样地的物种组成及结构,植被盖度,灌木植物的数量,高度和频度等指标。

对植物全群落及功能群的数量特征进行分析,如灌木相对多度、相对高度、相对频度、重要值、生物多样性等指标。其中,重要值是一个综合性指标,它较全面地反映种群在群落中的地位和作用,重要值越大的种群,在群落结构中的优势程度越高。

3.2 调查结果及评价

3.2.1 生态防护护坡群落的物种组成与群落特征分析 草灌实施边坡坡面植物经过 2 a 的生长与演替，到调查时间为止，灌木已占绝对优势，原先播种草种仅局部零星生长。

通过边坡样地调查，发现共有高等植物 18 种(表 2)，分类于 6 科 18 属，其中豆科植物 8 属 8 种，菊科 5 属 5 种，禾本科 2 属 2 种，3 大科植物占总物种数的 83.33%，4 个区段植被覆盖率均在 95%以上，最高达到 98.3%。

总体来看，试验区边坡生态防护总体效果良好，边坡植被覆盖率高，无冲刷现象，防护效果较好。

另外，位于 K98+100—K98+150 外约 50 m 处有一个路基施工取土场，施工后未对其进行生态防护处理，调查发现该取土场边坡表面仅生长少量草本植物和本地灌木，覆盖率极低。

限于篇幅，图 1 仅列出了部分路段不同边坡样地调查物种的相对高度，相对多度，相对频度和重要值。在调查过程中发现不同植物混合配比，群落样地的优势种也有差异，银合欢、多花木兰、合欢、黄花决明在 K90+010—K90+120 边坡中占优势，银合欢和山毛豆在 K096+580 边坡中占优势，山毛豆、银合欢、多花木兰在 K098+100 边坡中占优势，木豆、山毛豆和多花木兰在 K108+040 边坡中占优势。

表 2 韶赣高速公路沿线原生植被调查植物

序号	科名	种名
1	松科(Pinaceae)	马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)
2	桃金娘科(Myrtaceae)	桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa* Hassk.)
3	山茶科(Theaceae)	木荷(*Schima superba* Gardn et Champ)
4	杜鹃花科(Ericaceae)	乌饭树(*Vaccinium bracteatum* Thunb.) 映山红 (*Rhododendron simsii* Planch.)
5	瑞香科(Thymelaeaceae)	了哥王〔*W. indica*(L.)C. A. Mey.〕
6	蝶形花科(Papilionaceae)	截叶铁扫帚(*Lespedeza cuneata* G.) 异果崖豆藤(*Millettia dielsiana* Harms var. heterocarpa)
7	冬青科(Aquifoliaceae)	梅叶冬青(*Ilex asprella*)
8	金缕梅科(Hamamelidaceae)	檵木(*Loropetalum chinensis* Oliv.) 枫香树(*Liquidambar formosana* Hance)
9	里白科(Gleicheniaceae)	铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)
10	马鞭草科(Verbenaceae)	荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)
11	蔷薇科(Rosaceae)	金樱子(*Rosa laevigata* Michx.) 豆梨(*Pyrus calleryana* Decne.) 茅莓(*Rubus parvifolius* Linn.) 小果蔷薇(*Rosa cymosa* Tratt.)
12	茜草科(Rubiaceae)	鸡眼藤(*Morinda officinalis* How.) 黄栀子(*Gardenia jasminoides* Ellis.)
13	野牡丹科(Melastomataceae)	地念(*Melastoma dodecandrum*)
14	千屈菜科(Lythraceae)	紫薇(*Lagerstroemia indica*)
15	山矾科(symplocaceae)	山矾(*Symplocos caudata*)
16	伞形科(Umbelliferae)	崩大碗(*Centella asiatica* Urban)
17	菊科(Asteraceae)	苍耳(*Xanthium mongolicum* Kitag.) 鼠曲草(*Gnaphalium affine* D. Don) 加拿大蓬(*Erigeron canadensis* L.)
18	漆树科(Anacardiaceae)	盐肤木(*Rhus chinensis* Mill.)
19	鼠李科(Rhamnaceae)	雀梅(*Sageretia theezans*)
20	紫金牛科(Myrsinaceae)	酸藤子(*Embelia laeta* Mez.)
21	禾本科(Poaceae)	芦苇(*Phragmites australis*) 茅草(*Imperata cylindrica* Beauv.)

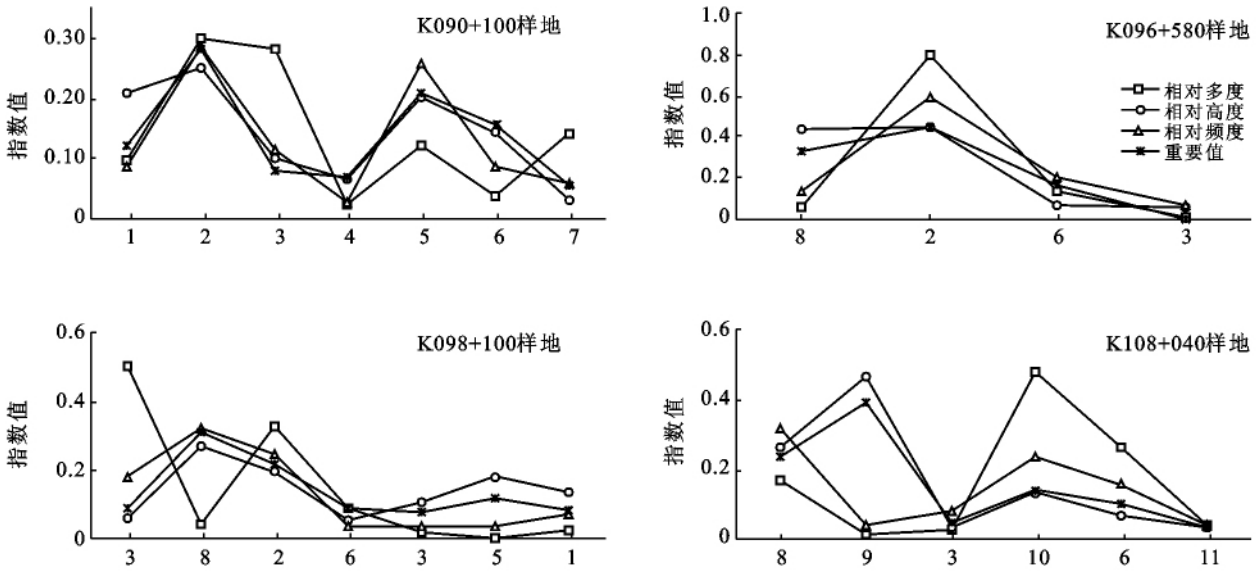


图 1　试验区各样地主要植物群落组成及群落特征

注:1 黄花决明;2 银合欢;3 台湾相思;4 盐肤木;5 多花木蓝;6 合欢;7 荆条;8 山毛豆;9 木豆;10 多花木蓝;11 荆条。

通过对生态防护物种组成及群落特征的调查结果分析可知:(1) 在边坡生态恢复中,按不同灌木种类种子进行配比播种,随播种种子种类不同,群落物种存在显著差异。(2) 在未播种山毛豆、木豆的边坡,银合欢、合欢为主要优势种;播种山毛豆、木豆的边坡,山毛豆和木豆为主要优势种;木豆在所有播种的边坡中都表现出绝对优势,多花木兰也有一定优势。由于豆科植物的快繁快长,对于恢复初期,增加绿地面积,防止水土流失,实现生态系统服务功能具有重要作用,且豆科植物可通过根瘤菌固氮作用,增加土壤氮素含量,改善土壤环境,成为主要的先锋树种,并为其他植物的生长提供条件,适当选用豆科植物具有较好的效果。(3) 物种的相对高度与其自身的生物学特性有关。荆条、台湾相思、盐肤木整体表现较差,生长矮小,尤其是台湾相思生长较差。这与其生长特性显著相关,随着时间的推移,荆条、台湾相思、紫穗槐、盐肤木生长速度加快,对丰富坡面景观将起到重要作用,并对后期植物演替起到积极作用。(4) 一般纯草种防护的覆盖率早期能达到 90%以上,但在 2～3 a 后其覆盖率往往降低到 70%,甚至 50%以下,植被严重退化、甚至消亡[1],而本试验区段两年后的植被覆盖率仍保持在 95%以上。因此整体而言,草灌混播的生态恢复效果要优于纯草种防护,且远优于自然恢复的方式。草灌防护不仅提高了演替速度,使其生态功能加强,而且还使生态群落更加趋于稳定。

3.2.2　*生态护坡群落的数量特征分析*　群落的密度、盖度、高度以及生物量可反映恢复群落的恢复效果和生产能力。

从生态恢复样地调查结果发现,物种密度最大值出现在 K098+100 样地(表 3),达到 95.67 株/m^2,虽然部分样地的物种密度在 40 株/m^2 以下,但其多样性均匀指数较高。表明恢复群落的数量特征指标与物种种类及其快速恢复有密切关系,草灌结合及不同灌木种类的混播,物种多样,生态群落稳定,生态恢复效果良好。

表 3　边坡不同样地植被恢复灌木密度

样地号	恢复方式	灌木密度/(株·m^{-2})	坡面岩性	施工时间
K090+030	草灌混播	23.89	硬质红砂岩	20090504
K090+050	草灌混播	93.11	硬质红砂岩	20090504
K090+100	草灌混播	77.67	硬质红砂岩	20090504
K096+580	草灌混播	59.89	硬质红砂岩	20090701
K098+100	草灌混播	95.67	填 方	20090819
K108+040	草灌混播	49.33	软质红砂岩	20090515

3.2.3 生态护坡群落的生态学特征分析 群落多样性是生态系统维持其功能运行的重要特征，与生态系统抵御逆境和干扰的能力紧密相关，多样性的提高可增加系统的稳定性。因此，群落多样性可反映恢复群落的生态意义大小。从图 2 可看出，随着播种物种的增加，群落多样性指标呈递增变化，群落的 Marglef 丰富度指数、Shannon 指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数变化规律基本一致，差异性不明显，表明增加播种物种种类可显著提高物种多样性，韶赣高速沿线护坡采用多种不同灌木与草本的混播，极大提高了群落的物种多样性。

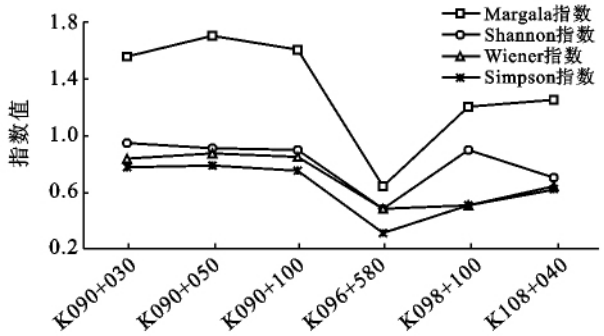


图 2 试验区上边坡不同样地多样性指数

4 结 论

(1) 与纯草种防护相比，草灌混播技术对土壤贫瘠、易风化、易冲刷的红砂岩边坡防护适应性较强，采用一定配比的本地乡土灌木、豆科植物和少量草种等组成的多物种组合可有效构建较为稳定的红砂岩边坡植物群落，生态防护效果良好。

(2) 对依托工程护坡植被的生态学研究结果充分反映了该工程生态防护实施两年后恢复群落物种组成、结构、功能等方面表现出的差异，表明了群落潜在演替趋势。豆科、菊科和禾本科 3 大科植物对该工程生态恢复及丰富群落物种构成起到重要作用。

(3) 较适合粤北红砂岩地区边坡防护工程的灌木植物包括山毛豆，木豆，银合欢，合欢和多花木兰等植物。荆条、台湾相思、紫穗槐、盐肤木等物种可作为次要配选物种，同时，建议引种具有本地优势的乡土植物，如桃金娘、檵木、黄栀子、映山红、金樱子等灌木来丰富高速公路沿线护坡景观。

[参 考 文 献]

[1] 李青芳，何宜典. 公路边坡防护与生态恢复[J]. 水土保持研究，2006，13(6)：273-275.
[2] 谭少华，汪溢敏. 高速公路边坡生态防护技术研究进展与思考[J]. 水土保持研究，2004，11(3)：81-84.
[3] 宋桂龙，高小虎，韩烈保. 高速公路边坡生态护坡效果定量评价研究[J]. 水土保持通报，2011，31(1)：203-206.
[4] 周立荣，向波，周德培. 红砂岩砂岩边坡生态防护技术探讨[J]. 地质灾害与环境保护，2006，17(4)：105-108.
[5] 钟守宾，赵明华，陈昌富. 破碎岩质边坡生态防护技术研究[J]. 公路，2004(10)：174-177.
[6] 郑煜基，卓慕宁，李定强. 草灌混播在边坡绿化防护中的应用[J]. 生态环境，2007，16(1)：149-151.
[7] 田国行，杨春，杨晓明. 路基边坡草灌植被消减降雨侵蚀定量分析[J]. 中国农业大学学报，2010，15(2)：24-29.
[8] 王晓亚，文俭平，蒋飞跃. 河道整治工程中灌草植物应用研究浅议[J]. 草业科学，2009，26(7)：165-172.

(上接第 180 页)

[7] 张平良，郭天文，侯慧芝，等. 半干旱区全膜覆土穴播小麦高产施肥技术研究[J]. 作物杂志，2011(5)：45-47.
[8] 张平良，郭天文，侯慧芝，等. 不同穴播种植方式与平衡施肥对旱地春小麦产量及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究，2012，30(1)：33-38.
[9] 高世铭，杨封科，苏永生. 陇中黄土丘陵沟壑区生态环境建设与农业可持续发展研究[M]. 河南 郑州：黄河水利出版社，2003：8-12.
[10] 张平良，郭天文，吕军峰，等. 全膜双垄沟播玉米干物质积累规律及高产施肥技术研究[J]. 西北农业学报，2010，19(8)：33-35.
[11] Dowdle S，Portch S A. Systematic approach for determining soil nutrient constrains and establishing balanced fertilizer recommendations for sustained high yield[C]. Beijing：Proceedings of the International Symposium on Balanced Fertilization，1988：243-251.
[12] 张金文，马静芳，牛俊义，等. 地膜覆盖穴播小麦光合和干物质积累特点分析[J]. 甘肃农业大学学报，1999，34(4)：42-44.
[13] 元新华，董树亭. 冬小麦地膜覆盖栽培理论与技术的研究[J]. 北京农学院学报，1988(3)：172-185.
[14] 李守谦，兰念军，马忠明，等. 春小麦地膜覆盖栽培技术评价干旱地区农作物需水量及节水灌溉研究[M]. 甘肃 兰州：甘肃科学技术出版社，1992：20-24.