

香根草生态工程应用于公路护坡的效益研究

夏汉平, 敖惠修, 刘世忠

(中国科学院华南植物研究所生态中心, 广州 510650)

摘要:应用香根草生态工程对广州市一环路天鹿湖路段的2个滑坡面进行护坡治理。结果表明,香根草生态工程的护坡效益是非常明显的。在生态效益方面,实施工程半年就能产生明显的护坡效果,4年后,生物多样性大幅度增加,土壤水分与养分含量都不同程度升高,并明显改善公路两边的生态环境;而且实施香根草生态工程为公路护坡节省了大笔经费。总的来看,香根草生态工程在我国南方地区应用于公路护坡的前景是十分广阔的。

关键词:香根草生态工程;公路护坡;防护效益;生物措施

中图分类号:S157.433;U471.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0629(2002)01-52-04

* 广东是一个以丘陵山地为主的省份,山丘面积占全省总土地面积的75%。近10年来,广东的公路交通得到飞速发展,原有公路的扩建改造和新建的高等级公路穿山过谷,纵横交错,形成了一幅致密的公路网。然而,广东的公路有很多路段是从风化半风化的松散母质中开挖出来或用这些母质填埋沟谷而成,由此而形成的路基和边坡陡峭、破碎、松散、难看,不少边坡的坡度超过50°甚至接近垂直。另外,广东属热带、亚热带的高温多雨气候,这种降雨量大且暴雨较多的气候条件不仅使岩体高度风化形成深厚、松散的母质层,而且使路基或边坡在暴雨的冲刷下极易造成水土流失或滑坡崩塌。这不仅阻塞交通,危及行人与行车安全,而且清除淤泥乱石还要花费大量人力物力。目前广东公路的护坡方式主要是石墙工程措施,不仅造价昂贵,而且形成“地球伤疤”;更为重要的是它缺乏生态效益,难以达到根治效果,几十年之后,甚至10年左右的时间,它就有可能因岩石风化或“水滴石穿”的侵蚀而终遭破坏^[1]。

香根草(*Vetiveria zizanioides*)是禾本科的一种多年生草本植物,适应性广,抗逆性强,生长迅速,根系发达,是热带亚热带地区理想的水土保持植物^[2,3]。在世界银行和国际香根草网络的推崇下,从1990年起开展以香根草绿篱为纽带、多种植物有机搭配治理水土流失和修复受损生态系统的实验研究,取得了良好效果^[3-10],并形成了具有华南地方特色的“香根草生态工程”^[6,7]。为把研究成果推广扩大,近几年间与广东省公路局等单位合作,先后在多条公路的滑坡面开展香根草生态护坡工程,取得了很好的护坡与植被恢复

效果^[7,8]。现以广州市一环路天鹿湖路段为例,将香根草生态工程用于公路护坡的试验过程与取得结果——特别是经过较长时间治理后的结果——总结如下,以期能为今后进一步开展此类工程提供理论依据和示范样板。

1 公路边坡概况

供试边坡位于广州市北郊的广州市一环路天鹿湖路段,约在23°12'N,113°25'E。这里的年均温21.6℃,年降水量约1700mm,而且春夏暴雨集中,极易使裸露坡面形成冲蚀甚至滑坡。广州市一环路是为缓解市内交通拥挤而新近开凿的一条郊外环市公路。在天鹿湖路段选择了2块相邻的边坡进行试验,一块上边坡,一块下边坡,2个坡面与二者之间的过渡带以及四周待绿化的空白地块的面积总共约10000m²。上边坡是一个接近三角形的四边形边坡,靠路面的底边长130m,高70m。整个边坡都是将山丘切割开凿形成的,非常陡峭,坡度达50°~60°,个别地方接近80°,坡向S偏E70°,坡体为深厚松散的花岗岩母质,呈活动型崩塌,水土流失严重,有时还有大石块冲刷下来,严重威胁交通安全。下边坡为倒梯形,靠路面的边线长约60m,靠底部的边线长35m,坡面高25m。整个坡体都是用开凿上边坡的泥石填埋山谷后筑成的路基,坡面均一平整,坡度36°,坡向N偏W40°。开展试验治理之前,下边坡的坡面已被雨水冲刷出条条水沟,而且路基开

* 收稿日期:2001-01-04

基金项目:中国科学院生命科学与生物技术领域青年科学家创新课题及广东省团队项目(003031)资助

作者简介:夏汉平(1966-),男,湖南汉寿县人,理学博士,副研究员。主要从事草地生态、生态工程与恢复生态学研究。

始下沉,路面开裂、渗水,路肩边同整个路基都有崩塌之危险。公路部门对此十分着急。

供试边坡的土壤均为花岗岩发育的赤红壤,由于开凿和填埋,表土都不复存在,只有心土和半风化的母

岩碎块,砾石所占比例相当高,超过土壤总重的 1/3 (表 1)。土壤酸度较高,非常瘠瘦,养分缺乏。开展试验之前它们都是光秃秃的裸坡,寸草不生。

2 材料与方法

表 1 试验坡地土壤的基本性状

试验地点	pH		有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	水解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	可交换性钾 (mg/kg)	砾石占土壤 (%)
	H ₂ O	KCl						
上边坡	5.80	4.01	1.88	0.08	22.6	0.04	1.15	37
下边坡	4.72	3.96	3.61	0.13	23.6	0.04	2.36	39

对 2 个供试坡面,根据不同的情况进行不同的植物种类配置,并采取不同的实施方案。物种配置与实施的指导思想是遵循植被恢复与重建应遵循的基本生态学原理,参照一般治理滑坡的方法,力争找到一条效果佳、成本低、从根本上解决公路滑坡的新型措施。治理原则是将生物措施与工程措施相结合,以生物措施为主,生物措施是将乔、灌、草、藤结合,以草先行,并以香根草为纽带^[9,10]。治理目标是使植被尽快覆盖和稳定坡面,控制水土流失和滑坡。

按照上述指导思想与治理原则,先按 3 m 行距和 15 cm 株距沿等高线在上边坡种植香根草带,然后再在草带间间种其他植物,其中坡顶间种湿地松 (*Pinus elliottii*),坡腰间种大叶相思 (*Acacia auriculaeformis*)、靠近坡底的多石陡坡种台湾相思 (*A. confusa*)、任豆 (*Zenia insignis*)、菜豆树 (*Radenmachera sinica*)、垂叶榕 (*Ficus benjamina*)、坡裙种尾叶桉 (*Eucalyptus urophylla*)、赤桉 (*E. camaldolensia*),坡面撒播美丽胡枝子 (*Lespedeza formosa*)、糖蜜草 (*Melinis minutiflora*) 和山乌桕 (*Sapium discolor*) 种子各 2.5 kg。由于该坡面的下部有一条 5 m 多宽的人工开凿的平台,它对上部的滑坡与水土流失都有一定的阻拦与缓冲作用,因此上边坡基本不开展工程措施,只是在一些较大的冲沟内填筑一些沙包。同时同一路段与之将相对的上边坡作为对照边坡,对照边坡完全处在自然状态,以考察它和试验上边坡的植物多样性的变化差异。和上边坡相比,下边坡的整个坡面已布满水沟,并有整体崩塌之危险,因此,在开展植被恢复之前,先在坡面开展一定量的工程措施,即按 5 m 的行距用泥包等高修筑水平土埂带,然后再在土埂带上方种植香根草带,草带之间间种马占相思 (*A. mangium*)、海南蒲桃 (*Syzygium cumini*) 和白千层 (*Melaleuca leucadendra*)。同时将相对的下坡面设为对照坡面,对照下边坡种植簕仔树 (*Mimosa sepiana*) 作护坡植物,以比较观测它和试验下边坡的护坡效果。全部试验材料于 1996 年 3 月 24~26 日种植。所有乔木都是按株距 2~3m、树穴深宽 60cm ×60cm 的

规格种植,并施用土杂肥和无机复合肥作基肥。1996 年 5 月和 7 月全面追施复合肥 2 次,以后不再施肥。

种植完成后,先后对 2 个坡面进行了 4 次观测,分别在 1996 年 5 月 15 日、7 月 2 日、9 月 26 日和 2000 年 11 月 14 日,观测内容包括植物的成活率,生长发育状况,物种侵入情况以及香根草生态工程的水土保持效果。香根草固定 10 丛观测株高和分蘖数,选择 6 种乔木作比较观测,每种固定 8 株,测基径(胸径)和株高。最后一次观测时采土进行室内分析,考察生态工程对土壤的改良效果。

3 试验结果

3.1 供试植物的生长情况与香根草生态工程的护坡效果

1996 年 5 月 15 日,即试验材料种植 50 d 后进行第 1 次观测。香根草的成活率达 98%,并开始产生新的分蘖,平均每丛分蘖数由种植时的 3.6 株增加至 4.5 株。乔木苗木的成活率约 90%,大多长势良好。美丽胡枝子和山乌桕的种子萌发不多,但糖蜜草的萌发较为理想。1996 年 7 月 2 日进行第 2 次观测,香根草长势旺盛,并已开始成带,平均每丛分蘖数猛增到 14.0 株。各类种植的树木也出现了不同程度的生长,其中,生长较快的为尾叶桉、赤桉和马占相思(表 2)。9 月 26 日进行第 3 次观测,这时的香根草已经变成致密的绿篱带,平均每丛的分蘖达 18.2 个。1996 年雨季的雨水较多,比往年的平均值高出 20%,而且暴雨较频繁,结果沿下边坡的一条排水沟都被雨水冲毁,而受香根草带保护的路基与坡面受损甚微;更为重要的是,路肩开裂和下沉的趋势得到了完全控制。然而,与之相对的用簕仔树作护坡植物的对照坡面,在同时期内被雨水冲刷出数条宽 1~2 m、深 1~1.5 m、长 10~20 m 的深沟,整个坡面显得破碎不堪。由此可见,香根草绿篱带的护坡效果是多么明显。和下边坡的效果相比,上边坡要显得差一些,这主要是由于上边坡更陡,土质更疏松,结果暴雨时有部分产生崩塌,部

分香根草和树苗也被冲走。在播种的3种植物中,糖蜜草的发芽率最高,半年后形成了茂密深厚的植被层,对护坡和水土保持都起到了良好的辅助作用;胡枝子的发芽率次之,山乌柏最差,最终长大成树的极少。在被观测的几种乔木中,仍数尾叶桉长势最好,赤桉和马占相思次之,海南蒲桃最差(表2)。2000年11月14日进行第4次观测时,2个坡面都已变成茂密的森林,其中下边坡的植被覆盖率超过98%,整个坡面已经完全稳固,不再有水土流失发生;上边坡的植被覆盖率亦达85%,除个别地方还有少量泥沙被冲刷外,整个边坡也处在相当稳定的状态,不会再产生严重水土流失或滑

坡现象。在6种观测植物中,尾叶桉最为粗壮高大,其次为马占相思,二者都表现出十分强劲的生长势头。长势最差的仍为海南蒲桃,其基径和株高都只有尾叶桉的1/3,不到马占相思的一半(表2)。奇怪的是,白千层全部消失,是死亡还是被人为挖走?其原因尚待进一步调查。至于香根草,由于它不耐阴,作为一种先锋植物,在完成它的使命后,在林下逐渐消退。下边坡只存极少的香根草植株,上边坡虽然还能看到香根草绿篱带,但它的长势非常弱,基本上不再起水土保持的作用。

表2 香根草与几种供试乔木在公路边坡的生长状况

观测日期	1996-05-15		1996-07-02		1996-09-26		2000-11-14	
	株高(m)	株高(m)	基径(cm)	株高(m)	基径(cm)	株高(m)	基径(cm)	胸径(cm)
尾叶桉	0.62	1.20	2.2	3.35	6.0	12.1	20.1	16.4
马占相思	0.43	0.70	1.1	2.02	3.1	9.7	15.9	13.9
赤桉	1.07	1.47	1.5	2.64	3.3	10.8	9.5	7.4
大叶相思	0.99	1.03	1.4	1.76	2.8	5.5	7.0	5.7
海南蒲桃	0.66	0.68	0.8	0.95	1.4	4.5	7.8	4.9
白千层	0.88	1.15	0.9	1.67	1.7	/	/	/

3.2 植物多样性的变化 试验开始之前,2个边坡都是完全裸露的,没有一种植物在坡面上生长。第1次观测时,除了人工种植的植物外,亦见不到其他植物的侵入。第2次观测时,坡面出现了五节芒(*Miscanthus floridulus*)、细毛鸭嘴草(*Ischaemum ciliare*)2种草本植物。第3次观测时,除上述种类外,又增加了乌毛蕨(*Blechnum orientale*)、五爪金龙(*Ipomoea cairica*)、芒萁(*Dicranopteris pedata*)等种类。4年8个月后,即第4次观测时,除人工种植的植物外,共有67种植物侵入,其中乔、灌木18种,数量较多的有木荷(*Schima superba*)、三桠苦(*Evodia lepta*)、山苍子(*Litsea cubeba*)、掌叶榕(*Ficus simplicissima* var. *hirta*)、桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、野牡丹(*Melastoma candidum*)、鬼灯笼(*Clerodendrum fortunatum*);藤本有13种,主要是五爪金龙、买麻藤(*Gnetum montanum*)、菝葜(*Smilax china*)、酸藤子(*Embelia laeta*)、野葛藤(*Pueraria* sp.)等;草本34种,主要有细毛鸭嘴草、乌毛蕨、芒萁、五节芒、石芒草(*Arundinella nepalensis*)、粽叶芦(*Thysanolaena maxima*)、铺地蜈蚣(*Lycopodium cernuum*)等。物种侵入的先后顺序与数量多少都明显呈现为草本—藤本—灌木—乔木。然而,对照坡面只有黑莎草(*Gahnia tristis*)和五节芒的侵入,植被覆盖率不到1%,其侵入的植物种类和数量与受保护的坡面相比都相差甚远。

很显然,周围植物的侵入对侵蚀控制和坡面稳定起了很大的作用,特别是从第3年开始,香根草在林下开始退化,其水土保持功效逐渐减弱,直至消失,这时人工种植的和周围侵入的其他植物对护坡固土起了决定性作用。

3.3 土壤理化性状的变化 据种植6个月后测定,下边坡表层土壤(0~20cm)的含水量为14.2%,而对照下边坡仅为9.8%;4年8个月后,上边坡和对照上边坡的土壤含水率分别是13.8%和10.5%。可见实施生态工程后,土壤的含水量明显提高。除含水量外,表层土壤的养分含量也有较大幅度的增加,有机质在上、下边坡分别增加了2.8倍和3.6倍,全N的增幅和有机质差不多,但速效N几乎没有变化;下边坡的速效P增幅最大,在4年8个月的时间增加了82.5倍,上边坡也增加了7.5倍;可交换性K亦有较大幅度提高,上、下边坡分别升高了51倍和55倍。导致边坡土壤养分含量大幅增加的主要原因是:1)由于采取香根草生态工程措施,使得植物多样性和植被覆盖率都从无到有,并得到大幅度增加,每年枯枝落叶,特别是大量的草本植物死亡后都回归土壤,无疑会使土壤结构显著改善,土壤养分大幅度提高;2)香根草绿篱拦截的表土泥沙和枯枝落叶,不断累积在草篱上方的坡面上,从而逐渐增加坡面熟土层的厚度;3)香根草纵深发

达的根系可将地下 2~3 m 深处的土壤养分吸收上来,当植株死亡后,养分又回到土壤中^[6];4)人工施肥的影响,即种植前施入的基肥和第一年的 2 次追肥都有可能使土壤养分含量增加。至于下边坡土壤养分的增幅大于上边坡的原因则可能是由于下边坡位于路面下

方,更有利于养分积累;另外,实施生态工程的第一年,下边坡的香根草长势明显好于上边坡也可能下边坡养分含量增幅更大的原因之一。

3.4 实施香根草生态工程的经济效益 一直以

表 3 实施香根草生态工程前后公路边坡土壤养分含量的变化

测试地点	有机质		全氮		水解氮		速效磷		可交换性钾	
	实施前*	实施后	实施前	实施后	实施前	实施后	实施前	实施后	实施前	实施后
	(g/kg)		(g/kg)		(mg/kg)		(mg/kg)		(mg/kg)	
上边坡	1.88	5.30	0.08	0.2	22.6	22.4	0.04	0.3	1.15	59
下边坡	3.61	13.0	0.13	0.6	23.6	35.7	0.04	3.3	2.36	130

*实施前指 1996 年 3 月 24 日,实施后为 2000 年 11 月 14 日。

来,广州地区和南方其他地区的公路边坡护理都是以土石方工程为主。土石方工程不仅价格昂贵,形成“地球伤疤”,而且无任何生态效益可言。目前南方地区修建公路边坡石砌工程的价格一般都在 200 元/m²左右^[11],有些难度较大的工程接近 300 元/m²。而本试验的 2 个坡面仅投资 12 万元,即花费仅为 12 元/m²,只有一般石砌的 1/16,这还不包括它的生态效益和其它方面的经济效益,如今后可提供的木材、牧草等。另外,石砌多为网络状,且不能与筑路坯同时进行,有个时间差,因此易受暴雨冲刷,致使边坡支离破碎,不得不经常修复^[12]。可见,植被生态工程用于公路护坡的经济效益、生态效益和社会效益都是非常显著的。虽然开展生态工程治理公路滑坡常常要辅以一些土石方工程,这可能会增大一些成本,但总体上它仍比单纯的土石方工程经济得多。

4 讨论

4.1 我国的各类公路边坡的生境条件普遍较差,特别是开凿山体与填埋沟谷形成的边坡大多呈现出土石裸露,侵蚀与滑坡相当严重的景象。虽然石墙工程能在一定程度和一定时间内解决侵蚀与滑坡问题,但在人们对绿色生态环境的要求日益高涨的今天,缺少生态效益且造价昂贵的石墙措施也越来越得不到人们的青睐。相反,价格低廉的植被生态护坡工程正日趋受到重视^[7,8,11,12]。香根草生态工程作为一种新型的生物护坡措施则表现出最佳的护坡效果与生态效益;而且它在公路闭荫,消除噪声,改善公路小气候以及建设绿色通道等方面都具有重要作用。

4.2 香根草虽有较广的适应性和很强的抗逆性,但为了使它能早生快发,尽快起到水土保持作用,应注意采取一定的栽培措施和管理措施。公路边坡通常是开凿山体或疏松半风化母质填埋而成的坡面,十分瘦瘠,栽植时必须施入基肥,返青成活后还应追肥 1~2 次。香

根草种植时必须注意要等高成带,行距根据坡度大小来定,一般在 1~4 m 的范围内,每丛间距则须控制在 15 cm 以内。香根草绿篱带的早生快发,不仅有利于坡面的稳固,更有利于周围植物的侵入,从而使生物多样性在较短时间内得到大幅度提高。相反,在无绿篱带保护的对照坡面,侵入植物无立足之地,结果无法成活生长,始终呈现为近乎全裸的状态。

4.3 实施香根草生态工程,同样应考虑生物措施与工程措施相结合,并以生物措施为主。工程措施虽然昂贵,但有时必不可少,因为它可分流雨水,并保证生物措施初期能站稳根基,特别对陡坡和活动崩坡更为重要。有工程措施作保障,生物篱就能更快更有效地建立起来,生态工程也就能尽早发挥作用^[10]。在生物措施中,应将乔、灌、草、藤结合起来,并以草先行,以香根草为纽带。将植物多层配置就能形成一道立体防护网,从而充分辅助香根草篱来防治水土流失,稳固坡面和路基。另外,因地制宜地引入不同种类的植物,还能较好地起到绿化美化公路的效果。

4.4 香根草生长迅速,抗逆性强,是一种十分理想的先锋植物,因此,将香根草用于公路护坡或其他环境保护方面时应尽量发挥先锋特性,而不宜将它作为永久性的固土植物或环保植物看待。这是因为与香根草同时移栽到坡面上的苗木在草篱的保护下,几年之后都能长大成林,而且周围的植物,包括一些乔木也能侵入并最终长成大树;香根草是 C₄ 植物,很不耐荫,林下生长极差,甚至会严重退化^[5,6]。因此,用香根草生态工程治理的坡面,几年之后见到的香根草可能会长势很弱,甚至整个坡面都见不到香根草。这些都属于正常现象,但这并不影响护坡效果,因为,这时林、灌、草、藤的多层配置已经形成,它们护坡与绿化美化效果甚至比单一的香根草篱更好。

总之,香根草生态工程用于公路护坡具有高效、持

久、廉价、多功能的特点,其生态效益、社会效益和经济效益都相当明显,在我国南方地区乃至全球热带和亚热带地区都有着广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 郑度, 申元村. 坡地过程及退化坡地恢复整治研究——以三峡库区紫色土地为例[J]. 地理学报, 1998, 53(2): 116-121.
- [2] National Research Council. Vetiver Grass: A Thin Green Line Against Erosion [M]. National Academy Press, Washington D. C., 1993.
- [3] 夏汉平, 敖惠修, 刘世忠. 优良水土保持植物与坡地复合农林业[M]. 北京: 气象出版社. 2000.
- [4] 夏汉平, 敖惠修, 何道泉, 刘世忠, 陈龙江. 香根草在土壤改良与水土保持中的作用[J]. 热带地理, 1996, 16(3): 265-270.
- [5] 夏汉平, 敖惠修, 刘世忠, 何道泉. 香根草——优良的水土保持植物[J]. 生态科学, 1997, 16(1): 75-82.
- [6] 夏汉平, 敖惠修, 刘世忠. 香根草生态工程——实现可持续发展的生物技术[J]. 生态学杂志, 1998, 17(6): 44-50.
- [7] Xia Hanping, Ao Huixiu, Liu Shizhong, He Daoquan. Application of the Vetiver Eco-engineering for the prevention of highway slippage in South China. In: International Erosion Control Association (ed). Proceedings of the First Asia Pacific Conference on Ground and Water Bioengineering Erosion Control and Slope Stabilization [M]. Manila, The Philippines, 1999. 522-527.
- [8] 敖惠修, 夏汉平, 刘世忠, 何道泉. 香根草生物工程在公路护坡的试验初报[J]. 广州环境科学, 1997, 12(2): 19-22.
- [9] 敖惠修, 夏汉平. 从化“5·8”特大洪灾原因与整治对策[J]. 广州环境科学 1998, 13(1): 36-39.
- [10] 夏汉平. 论长江与珠江流域的水灾、水土流失及植被生态恢复工程[J]. 热带地理, 1999, 19(2): 124-129.
- [11] 陈宏荣, 徐朋. 公路边坡草地建植技术及其护坡效果[J]. 农村生态环境, 1997, 13(1): 37-39.
- [12] 席嘉宾, 张惠霞. 几种混播绿化组合对高等级公路边坡防护效益的研究[J]. 草业科学, 2000, 17(4): 57~60.

Studies on benefits of the vetiver eco-engineering for protection of highway slopes

Xia Han-ping, Ao Hui-xiu, Liu Shi-zhong

(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: The vetiver eco-engineering was applied in South China for the first time to control landslides and protect highways. The results showed that vetiver planted in slopes of highways under appropriate cultivation and management measures, grew rapidly and luxuriantly and formed dense hedgerows. It was quite effective for stabilization of slopes and soil moisture and nutrients. Furthermore, it did cost only about one sixteenth of the stone-based technique. In a word, application of the vetiver eco-engineering in roadbed and embankment protection can produce quite good ecological, social and economic benefits, which indicates that the engineering will have a broad application perspective.

Key words: the vetiver eco-engineering; highway slope protection; benefit for protection of slope; biological measure

优良草坪品种介绍系列一

“光荣”(Gory)

“光荣”(Gory)狗牙根:坪质优,侵占力强,夏季表现良好,抗褐斑病能力强,耐寒冷,可用于北方地区高尔夫球道建植、公路、边坡绿化及植被恢复。该品种由“草坪种子有限公司”(Turf-Seed Inc.)育成。