



香根草通讯

Vetiver Newsletter

第 11 卷 第 4 期

2008 年 12 月

香根草系统在铁路边坡防护上的应用

——7 年后仍正常发挥固坡效果

为了推动香根草系统在铁路边坡固定上的应用，中国科学院南京土壤研究所（中国香根草网络）与新长铁路有限责任公司合作，于 2001 年春首次在铁路边坡上进行了试验，并取得成功。同年 10 月召开了“香根草应用于铁路边坡防护试验成果鉴定会”。近 40 名专家出席了该会，他们来自铁道部各大设计院和工程技术部门，以及有关铁路局和铁路公司的领导和技术人员。会上中国香根草网络介绍了香根草系统由来与作用。与会代表参观了应用香根草保护铁路边坡的示范现场，并进行了热烈座谈，充分肯定了香根草系统在铁路边坡防护上的作用。在 2002 年铁道部制定的《铁路路基边坡绿色防护技术暂行规定》中将香根草列为绿化、护坡植物，并于 2003 年正式颁布。此后，铁路部门于 2002 年和 2003 年在江苏、福建、安徽等地进行了更为广泛的应用，并向我国南方地区普遍推开。

1. 试验边坡由极为松散的高沙土构成

试验地点位于江苏省泰兴市黄桥镇新建的新长铁路，该地段属冲积平原区，地势平坦，地下水位较高。填料取自两侧农田或附近集中取土坑的冲积物（照片 1），土壤中细砂、粉砂含量较高，0.2—0.02mm 颗粒占 80% 左右，而粘粒含量较少，<0.002mm 颗粒仅仅占 5—10%。路基设计时一般当填土高度超过 5.5m 时，需进行地基加固处理。本段属高填方（5m 左右）路基，边坡坡度 1: 1.5，土质松散，不稳定，雨后边坡水坑、水槽较多，易发生坍塌和滑坡。种植条件较为恶劣，试验路段边坡不仅需稳定表层土壤，还要固定一定厚度的土层，使表面渗水不会导致下面土层的滑动。

2. 香根草的栽种及固坡情况

2.1 香根草的种植与生长情况

2001 年 4 月 20 日 12 万株香根草苗从大别山运抵黄桥点，分南、北坡等高法种植，种植面积 4079m²。每穴种植草苗 5 株左右不等。栽种时将香根草从均衡地顺其自然由大到小逐步分开，将根部蘸上泥浆，垂直栽种并压实，种后浇定根水。4 月 22 日种植结束。

2001 年 5 月 25 日，调查发现第一次种下去的草苗完全成活的仅为 40%，因此于 5 月 30 日、6 月 26—27 日又分别进行了补栽。

第一次种植的成活率不高，当时分析可能由以下原因引起：①初种施肥时没有按要求在化肥上覆土，肥料接触到了苗的根部；②栽植人员为了省工，栽得不紧，根土不紧密，部分草苗茎、叶留得太长，蒸发量过大，造成枯死；③部分苗子太长，种得过深，有一些草苗约 20cm 长的茎被埋土中，影响了成活率；④每丛分株过细也是影响成活率的一个方面。⑤草苗本身质量存在问题。

然而，真正原因直到几年后才得以知晓，原来运来的草苗是早先挖出后废弃不要的材料，种植后的成活率自然受到影响。

香根草栽种后，定期观察，分别对株高、每丛的分蘖数、根深及长势进行了观察和测量。

7 月 24 日观察时发现根系发达，一丛香根草分蘖数达 60，根粗约 2.7mm，根最深达 75cm，平均株高约 130cm，最高株达 175cm，基本形成绿篱。

9 月 22 日第四次观察，株高平均 155cm，最大株高 220cm，行间杂草密布，根最深达 125cm。根系发达，

稠密，植株下布满粗细不等的根，株与株间的根连成一体，有的根粗约 3.0mm，挖至地表下 80cm 处还可见到根系生长，地表下 60cm 以内根系发达形成网状。平均分蘖数 15~22 个，最大分蘖数 42 个。

此外，9 月 14 日对三处香根草作了刈割试验，分别留茎长 30、40、50cm，9 月 21 日测得新枝平均长高 10cm，最高的长了 20cm，留 50cm 的那一处中最高已经长到了 70cm。

2.2 边坡防护效果

DK377+887~DK378+187 段路基 2000 年开工填筑，2001 年初全部成形，该地段高填方路基在填筑过程中，遭受暴雨冲刷，坡面形成坑槽、冲沟，甚至滑动、塌方，严重威胁着路基本身及行车的安全。雨水夹着泥土冲入两侧农田，不仅造成土方严重流失，而且淤塞了农作物，尤其是部分路基段施工中掺了石灰，雨后冲下的碱性洪水，给路基两侧的生态系统造成了破坏。铁路部门为了防止边坡侵蚀，不得不用大量塑料薄膜将整个路基覆盖。

4 月 22 日在坡上种植了香根草后，稳定了表土层。6 月中下旬当地梅雨季节，连续降雨，空气异常湿润；7~9 月份为每年的高温期、暴雨集中期。然而五个月以来，种植的香根草经受住了持续阴雨、持续高温以及暴风雨和温差骤变的考验，根须发育、茎叶长势良好。路基边坡在香根草的固持下，稳定性好，未发现水槽、水坑和沉降现象，安全度过了雨季。当然，由于局部土壤的差异，香根草生长也不一样，在粒径 0.2~0.02 mm 含量高达 84.8% 的地方发生了微域坍方，对这类土壤应该注意地表排水，并可提前种植，以便使得香根草在雨季到来之前即可发挥固坡作用。

根据土力学原理，在填土边坡上层和下层之间存在一个滑动面，当表面雨水冲刷，不仅会带走表土，形成坑槽，还会因为渗水使上下层之间的摩擦力降低。当上层土自重摩擦力反方向上的分力大于摩擦力时，造成上层土滑坡。由于香根草深根性的特点，能固结上下层土壤，增加横向剪切力，稳定滑动面。另一方面，和同样发达根系的乔木相比，香根草的重心更低，能在大风暴雨天气减少侧向力，对边坡的固结能力更强。

3. 种植 7 年后的固坡效果

3.1 长期的固坡效果

应用香根草固坡有许多优点，诸如使用方便，价格低廉，见效快，保护环境等等。为了了解香根草在斜坡固定上的长期效果，笔者于 2008 两次重返试验现场，发现香根草生长情况很好，比 7 年前生长的更为粗壮，分蘖增多，草篱加密，固坡效果突出，铁路路基上找不到被雨水侵蚀的痕迹（照片 3）。只有在局部地方发现有个别灌木长出，可能对固坡不利，拟予以清除。

试验表明，应用香根草进行铁路边坡防护，有较高的经济效益、环境效益和社会效益。目前，道路边坡保护所采取的措施无外乎工程措施（常称谓“硬”措施）和生物措施。“硬”性工程措施，一般用于填高大于 4 米的高路堤，如浆砌干砌片石、块石或砼预制块，通常做法有满铺边坡和做成拱形或网格形的排水骨架。这种措施效果显著，甚至可以一劳永逸，日后管理很小。但投资巨大，施工困难，工期较长，有些地方如苏北地区，由于石材严重短缺，不能就地取材，还导致运费大大提高。此外还破坏了原有的生态环境。

据有关资料：工程护坡最低价约 36 元/m²，而香根草仅 6~13 元/m²，约为工程护坡费用的 16%~36%。我们做试验的 DK377+887~DK378+187 段路基边坡若按其相邻坡段采用的“浆砌片石排水骨架护坡”进行计算，投资为 31.6 万元，而改种香根草只需 5.3 万元（不含试验费用），节省投资 26.3 万元（约占 83%）。

对于坡高且土质差的路堤，一旦种植香根草篱，其它天然草类随即快速生长，无须在其间再洒草籽。

当然，某些其它的生物措施也可利用，但一般用于 4 米以下的低路堤，如土工网垫内喷播植草；种狗牙根草籽加插紫穗槐、夹竹桃等灌木；种植乔木类等。这些措施造价也不高（6~10 元/m²，与种香根草相当）。但生长慢，成效晚，对季节性要求高，固持土层较浅，对高边坡或地基、土质条件差的路堤防护效果不明显，易发生整块、整体性质的坍塌。草籽出芽前后各半个月，浇水、施肥、养护等管理工作量大且要求细致。另外，喷播对土壤酸碱度要求较高，pH 值须控制在 6.0~8.0 之间，否则应对土壤加以改良。如种植乔木类植物则由于重心较高，在暴风雨下易折断，且根系平均抗张强度没有香根草高。还有，这些措施适应性、抗病虫害能力比不上香根草。

3.2 农民利用香根草编织床垫

在香根草种植以后，除了种植初期浇水、施肥确保成活和正常生长外，此后并无长效管理。唯一的“管理”可能就是当地农民收割香根草用于编织床垫。他们在每年 9 月将香根草地上部分割下，摊在铁路路基上晒干（照片 4），再拿到室内存储起来（照片 5）。利用冬闲在家编织成床垫（照片 6），不仅供自家用（照片 7），还拿到集市上出售。据农民讲，他们以前都习惯于用稻草编床垫，但因稻草容易生虫，因而改用香根草。



照片 1. 用水稻田中的沙土堆起的路基（2001 年初）



照片 2. 2001 年 8 月香根草种植后 2 个多月，草篱已成，平均高度近一人高，充分起到固坡作用



照片 3. 7 年后香根草固定铁路路基的效果（摄于 2007 年 4 月）



照片 4. 当地农民割下香根草的地上部分放在铁路边坡上晾晒（2007 年 9 月）



照片 5. 将晒干的香根草地上部分摊在储藏室



照片 6. 用香根草编织的床垫



照片 7. 香根草床垫常年铺在床上



照片 8. 香根草上发现的水稻螟虫（2001 年 8 月 6 日）

材料与amp;方法

香根草 (*Chrysopogon zizanioides*, 亦称 *Vetiveria zizanioides*) 的组培苗由 AMykor GmbH 提供。参试香根草有三个品种, 分别来自澳大利亚 (AU), 美国德克萨斯 (TX) 和日本 (JP), 都认为是抗冬寒品种。在种植之前, 所有草苗都用特殊的菌根 (AMykor GmbH) 处理过。多蒙 AMykor GmbH 的合作, 为我们在 Elster 河冲积土上选取了 4 块种植地。还有 3 块地选自露天矿坑 (复垦地)。表 2 所示为各地块的土壤参数。

2006 年 5 月, 我们开始种植香根草, 每平方米栽 4 株, 全用手栽 (农地 A, 另一块为复垦矿坑 P1, 各地块缩写见表 2)。随后, 8 月又在三块土地上 (P2, P3, P4, 全是复垦矿坑) 栽下香根草。次年 5 月上旬, 再次种植 (A, P5)。两年间一共栽种了 25,000 余香根草幼苗。种植在复垦矿坑地的香根草完全没有采取管理措施, 但对农地上的草苗, 则在头一个月内进行灌溉和施肥。

我们选取一定数量有代表性的香根草苗来观察香根草生长情况, 定期计算其萌发的芽苗数, 量度其叶片长度。2007 年, 我们在农地里收获一部分香根草生物质, 分别将每个品种用作青饲料。

将香根草用作生物质气源的试验是根据德国技术指引 VDI 4630 进行的。我们分别用大烧瓶 (2 l) 和 5-l-发酵罐对香根草进行批量处理 (Batch processes), 温度为 36° C。生物质气的成分组成用气相色谱仪测定。

表 1 香根草的一些特性 (据 TRUONG 2008)

形态特性	<ul style="list-style-type: none"> -不具侵略蔓延性 -无根状茎或匍匐茎; 根系伸长迅速 -直立挺拔的茎秆 -抗病虫害和抗火灾能力强 -形成致密的绿篱: 可以非常有效地拦截过滤泥沙, 分散水流 -从地下根冠长出草苗。地下根冠可以抗御火灾、霜冻、车辆碾压以及缓解过度放牧的压力
生理特性	<ul style="list-style-type: none"> -耐受极端气候条件变化, 例如耐久旱, 耐洪涝, 耐久淹并可耐受 -14 至 55 ° C 的极端温度 -再生长能力强 -耐受幅度很大的 pH 值 (pH 3.3 至 pH 12.5) -对杀虫剂和除草剂的耐受度很高 -吸收可溶性养分 (N, O) 以及污染物 (重金属) 的能力特强 -抗盐渍能力也强 -耐受土壤中大量金属和重金属的能力特强
香根草系统新的应用方式	<ul style="list-style-type: none"> -侵蚀防治 (沙丘、河岸、海岸和公路边坡等) -稳定斜坡 -防止沙漠化 -处理受污染的水体和土地 -水体净化 -植物保护 (防治螟虫) -生产油

表 2 选取栽植香根草的地块特性

地块	土壤质地	pH 值	磷	钾	镁	有机质 (%)	细度 (<0.0063mm)
			(mg/100g)				
农地							
A	粘壤土	6.8	2.6	5.4	13.5	未测定	未测定
复垦地							
P1, P2, P5	壤质沙土	7.7	1.5	4.2	8.4	0.2	6.7
P3	沙土	2.9	1.3	2.5	6.4	2.6	--
P4	粘壤土	3.6	3.1	2.3	22.2	0.8	-

结果

香根草的生长

香根草是从 2006 年始在上述地块种植的。我们重点报导农地以及两块褐煤露天矿坑地块 (P1 和 P5) 的香根草情况。

我们开始少量种植香根草时, 时值干季 5 月。但仅对地块 A 进行灌溉。初时香根草的生长有些迟滞。为期 6 到 8 周的迟滞过后, 香根草适应了, 萌发的枝苗数不断增多, 叶子不断伸长, 两块地 (A, P1) 情况相同。在发育期末 (十月), 生长停止。在农地里, 品种 AU 和 JP 每株萌发的枝苗最多, 部分可达 160 以上。品种 AU、JP 和 TX 的鲜物质产量分别为 13 t/ha、22 t/ha 和 19 t/ha。矿区复垦地的香根草 (仅为品种 JP) 的

发育情况则与其所处条件相关。这里的香根草生长慢些，生物质产量仅为地块 A 的 10% 到 20%。此处叶片生长量与根系生长量之比为 1 比 1，说明根系生长旺盛得多。在农田，该比值为 2 比 1 到 3 比 1 之间。

在试验的第一期，我们种植 3,800 株香根草。在新近气候条件下，2006/2007 严冬过去后，香根草的成活率如何？大家对此都有兴趣。

表 3 列出了计算结果。部分香根草地块成活率令人失望。按我们的观察，似乎并无系统性的生长表现可言。但也有例外，试验结果表明，在一年中，后期栽种的效果不佳，因为留给香根草苗适应的时间不足。在农地相等条件下，品种 TX 的成活率比其它两个品种要高。相反，在矿坑复垦地，品种 JP 有近 80% 成活。在下半年修割植株，无益于香根草成活。

表 3 2006/2007 严冬过后香根草的成活率

地块	品种	成活率[%]	种植时间	说明
农地 A	TX	56%	5 月	未修割
	JP	13%	5 月	未修割
	AU	25%	5 月	未修割
		3%	5 月	修割, <20 cm
P1	JP	78%	5 月	未修割
P2		0%	8 月	未修割
P3		0%	8 月	未修割
P4		0%	8 月	未修割

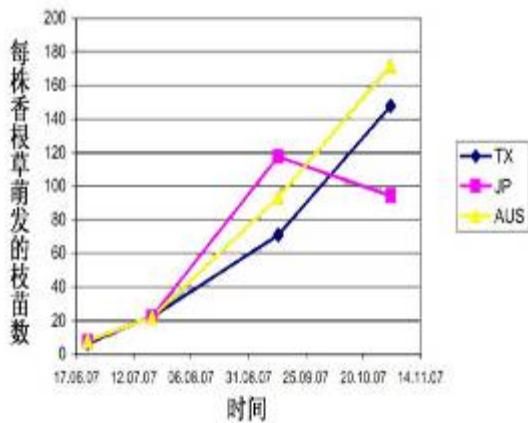


图 1 地块 A 2007 年种植的每株香根草平均萌发枝苗数

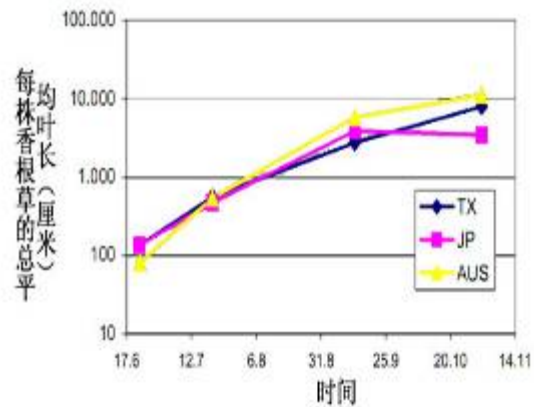


图 2: 地块 A 2007 年种植的香根草生物质生产(每植株总叶长)过程

2007 年，我们在地块 A 种下 19,000 株香根草（各品种皆有），而在邻近地块 P1 的地块 P5 种下 1,000 株。生长迟滞期与 2006 年相似。图 1 显示了地块 A 香根草的分蘖情况。而图 2 则显示生物质的生产过程（以叶长表示）。

当年 9 月，我们将每个品种的一半植株修割下来，当作青饲料，又当生物质气的试验原料。修割后，尽管白天变短而温度下降，植株依然继续生长。

表 4 所示为 2007 年农地试验中 3 个香根草品种的产量。此中，德克萨斯和日本品种的生物质产量仍在 2006 年的数字范围之内，但澳大利亚品种的产量则比 2006 年高得多。澳大利亚品种的叶根生物质产量比甚至也变成了接近 1 比 1，而其它两个品种的叶根生物质产量比值仍在原来的观察值范围之内。

表 4 2007 年农地（地块 A）各香根草品种的生物质产量

品种	AU	JP	TX
根物质产量 (kg/m ²)	3.7	0.86	1.44
叶物质产量 (t 干物质/ha)	9.74	6.43	6.75

在两个露天矿坑地块的试验结果与农地 A 的非常不一样。2007 年在这里栽植的香根草的收获产量范围为 0.4 至 0.8 t 干物质/ ha，与期望值相符。相反，这里的香根草根系发育则比农地 A 的发达的多。叶根生物

质量比分别为 1 比 2 及 1 比 1.5。日本品种在第二发育期的生长数据与这些数据有些不同。其生物质产量在 2 t 干物质 / ha 以上，几乎比第一期翻了一番。叶根比则依然不变，还是 1 比 1。这些结果清楚地显示，无论在何种土地上栽植香根草，香根草的根系均很发达。在贫瘠土地上，根系发育更加明显。

为了利用香根草生物质来产生生物质气，需要对香根草叶片的组成成分加以控制。表 5 所列的叶片成分资料，是在 2007 年 9 月测得的。当时香根草生长正当旺盛期，而且适逢从农地(地块 A)上收获香根草之时。生长期间，叶片的碳含量不断升高，但干物质中的氮含量则下降到 1% 左右或 1% 之下。土地越贫瘠，C:N 比越高，含氮量就越低，因此叶片的粗蛋白质含量也就越低。这种关系在复垦地上似乎也是明显的。叶片的无机物含量受生长条件的影响并不很明显，其在干物质中的含量在 10% 左右徘徊。

生物质气的生产

本试验是初步的，获得的仅是香根草可以作为生产生物质气原料的印象。根据 Truong [2008] 有关香根草有机质含量数据，人们可以大概推算生物质气的最高产量的理论值以及气体的质量。理论上说，我们应当可以获得 780 mlN / g 有机干物质，内含 53% 甲烷。我们利用 2007 年栽植的不同香根草品种的植物材料作初步试验，对该理论值进行探讨。这里的结果是在 5-1 发酵系统对德克萨斯品种作处理后所得。处理在中介质条件下进行，无任何后发酵处理。

以往，人们利用未经处理的香根草用作碳源。但由于香根草的叶子强度大，而且纤维物质含量高，这就使事情比较难办。图 3 所示，是两个互相分离的发酵过程，试验实行的条件是一样的。但很明显试验所得结果可以更高一些。TX 品种的生物质气产量在 460 mlN/g 有机干物质和 500 mlN/g 有机干物质之间。如果采用的技术系统更加成熟，比如能在一定的方式进行特定的搅拌，则生物质气产量可以达到 650 mlN / g 有机干物质以上。

表 5 2007 年 9 月初收获的香根草叶子的成分组成

品种	栽植年份	干物质 (占鲜物质%)	有机干物质 (占干物质%)	碳 (占鲜物质%)	C:N 比
农地-地块 A					
TX	2007	32.6	89.6	14.4	25.0
AU	2007	25.1	91.0	13.8	30.5
JP	2007	23.0	89.4	13.4	15.4
TX	2006	26.3	91.5	13.9	30.5
AU	2006	22.8	91.4	14.3	23.5
JP	2006	23.0	91.1	11.5	26.6
矿坑复垦地-地块 P1					
JP	2006	34.4	89.6	17.6	130.0
矿坑复垦地-地块 P5					
TX	2007	32.6	91.7	15.7	77.1
AU	2007	32.7	91.3	14.4	61.5
JP	2007	33.4	88.9	17.8	87.3

用气相色谱仪测定的结果显示，生物质气中的甲烷含量要比图 4 中所期望的高。在发酵过程中，甲烷的含量大部分时间都在 60% 左右，部分时间内还大大超过这一含量。这些数值大大超过计算的甲烷含量，显示了香根草作为能源植物的巨大潜力，其潜力比已经见诸报端的植物要大得多。

结论

香根草是一种活力甚强的多用途草类。它可应用于水土保持、斜坡稳定、水质改善、污染治理、生物修复和其它环境项目。香根草原生于印度，现在已传遍天下，在世界上不同气候条件下均可生长。种植香根草真是可获百利。

在阿尔卑斯山以北地区，以往对香根草系统的应用以及将其用于生物工程的课题研究从未仔细涉及。通过本项目的研究，我们可以看见香根草可以在北方气候条件下栽植。在此方面，选用并培育抗寒冬的品种是重要的前提条件。应对在不同的生境和土壤质地条件下的生长情况加以更详尽的研究。全球在变暖，气候在变化，这些情况会使香根草得到新的应用，而香根草的应用也会抵消全球变暖、气候变化带来的负面影响。

