

香根草系统的理论与实践

徐礼煜 夏汉平 主编



中国  广播电视出版社
CHINA RADIO & TELEVISION PUBLISHING HOUSE

香根草系统的理论与实践

徐礼煜 夏汉平 主编

中国  广播电视出版社
CHINA RADIO & TELEVISION PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

香根草系统的理论与实践/徐礼煜 夏汉平 主编.

-北京: 中国广播电视出版社, 2008.1

(媒体创意专业核心课程系列教材)

ISBN 978-7-5043-5284-2

I.香… II.徐… 夏… III.理论-作品集-中国-当代

IV.J061

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 055665 号

香根草系统的理论与实践

编 者:	徐礼煜 夏汉平
责任编辑:	刘耀钊
封面设计:	李丽娜
责任校对:	李小南
监 印:	马 兰
出版发行:	中国广播电视出版社 CHINA RADIO & TELEVISION PUBLISHING HOUSE
社 址:	北京复外大街 2 号 (邮政编码 100866)
经 销:	全国各地新华书店
刊 本:	787×1092 毫米 1/16
字 数:	401.4 千字
印 张:	16
版 次:	2008 年 01 月第 1 版 2008 年 01 月第 1 次印刷
印 数:	1-700 册
书 号:	ISBN 978-7-5043-5284-2
定 价:	48.00 元

(版权所有 翻印必究·印装有误 负责调换)

序

香根草系统 (Vetiver System, 原称香根草技术) 是一种价格低廉、用于水土保持、基础设施保护、污染控制和治理、和减轻自然灾害等的有效系统。香根草 (*Vetiveria zizanioides*), 最近国外将其归入金须茅属 (*Chrysopogon zizanioides*), 于 1988 年由格雷姆肖先生引入世界银行中国南方红壤开发项目, 主要应用于中国南方红壤的水土保持。一年后, 即 1989 年 10 月 20-23 日由农业部和水利部合作于福建邵武召开了香根草种植技术研讨会。进一步促进了香根草在我国的试验与研究。为了总结经验, 在世界银行的赞助下, 中国香根草网络于 1997 年 10 月 20-26 日在福州召开了“国际香根草学术研讨会”, 会后出版了《香根草的研究与展望》一书, 该书主要总结了香根草在中国过去十年中的研究成果, 阐述了我国对香根草基本特性的试验、研究、和应用情况同时也介绍了香根草技术在国外的进展。

两年之后, 即 1999 年 10 月 19-21 日中国香根草网络又与江西省公路管理局一起在南昌召开了“国际香根草生物工程技术保持水土与工程保护讲习研讨会”, 会上邀请了国际知名专家向来自全国各地从事公路建设的工程技术人员系统介绍了香根草技术在工程保护上的应用。此外, 某些从事绿化工程或有志于从事这方面工作的公司或个人也出席了会议。代表们还参观了由上饶公路分局在武夷山上分线建立的香根草应用于公路边坡防护的示范区。会后香根草系统在我国公路边坡防护上迅速推广开来, 并扩展到了铁路、水库、矿山、污水处理等领域。

在中国科学院和广东省人民政府等单位的联合主持下, 2003 年 10 月 6-9 日第三届国际香根草大会在广州隆重召开。为迎接大会的召开, 我们出版了《香根草系统及其在中国的研究与应用》(中英文本), 该书主要概述了自“福州会议”以来中国香根草的研究与应用进展。与此同时, Paul 和夏汉平主编了《第三届国际香根草大会论文集》, 该书为英文版, 其中收集了少数由中国作者撰写的论文。

为了进一步促进香根草的应用和推广, 使得农民在利用香根草保持水土的同时得到更加直接的经济效益, 在德国 EED、国际香根草网络及泰国皇家项目发展委员会和泰国产业促进部的大力支持下, 中国香根草网络与桂林市农业环境保护监测站等单位通力合作于 2007 年 10 月 22 日至 11 月 6 日在广西桂林香根草与

复合农林业技术项目实施区举办了“国际香根草编织培训班”。由于办班前深入广泛宣传和各方面的精心筹备；办班过程中泰国老师的悉心传授和学员的勤奋学习，使编织培训取得了巨大成功，成为中国香根草网络自 1996 年成立以来，进行诸多技术培训中最圆满的一次，为香根草的利用，尤其是山区的利用开辟了新的途径。

从 1988 年格雷姆肖先生引入香根草算起，香根草系统在我国的发展已经经历了整整 20 个年头，从农田水土保持到基础设施防护，到应用于环境保护、防灾减灾等等。她的点滴成就都离不开全国各地同仁的支持、关心和努力。本书的出版也得到了国内外同仁的大力支持，王明珠教授为本书的出版做了大量工作，熊国炎教授完成了本书的译校，我们对他们付出的艰辛劳动深表谢意。

我们现在出版的《香根草系统的理论与实践》一书，主要包括两大部分：一是汇集近些年来我国科技工作者在香根草的研究和应用方面所取得的最新成就；二是将国外的主要研究成果和信息介绍到中国。与此同时，由 Paul Truong, Tran Tan Van 和 Elise Pinnars 编著的 *Vetiver System Applications: Technical Reference Manual* 已由熊国炎、熊炜烨翻译，即将面世。该书被称为“棕皮书”，以便与“绿皮书”《香根草—防治侵蚀的绿篱》相匹配。这些书的印刷、发行有利于更好地总结经验，交流成果，加速香根草系统在我国和世界上的研究、应用和推广。

徐礼煜

中国香根草网络协调员

2008 年元旦

第一章

香根草系统及其在世界上的发展与应用情况

目 录

序

第一章、香根草系统及其在世界上的发展与应用情况

香根草系统:用于可持续发展的绿色投资·····	Richard G. Grimshaw (1)
香根草系统:将香根草与人联系到一起的全球性技术以便加强乡村社区和保护自然资源·····	Narong Chomchalow (14)
香根草的生态特征及研究现状与展望·····	聂军 廖育林 纪雄辉 鲁艳红 谢坚 向艳文(20)
香根草研究与应用进展·····	张国发(28)
越南香根草的研究与进展·····	Paul N. V. Truong(35)
世界上历年召开的香根草会议·····	Narong Chomchalow (42)
历年发放的国际香根草奖项·····	Narong Chomchalow (56)

第二章、香根草的性质与基础研究

香根草等三种植物的抗盐性比较·····	夏汉平 刘世忠 敖惠修 (69)
三个草本 C4 植物(香根草、类芦和芒草)组培体系比较研究·····	马国华 张新华 吴国江 (81)
香根草系统在我国水土保持上的应用区域·····	徐礼煜 (90)
北亚热带地区香根草秋季种植防寒措施研究·····	徐礼煜 张绍德 (95)
香根草能用来控制作物害虫吗? ·····	·····J. Van den Berg, C. Midega, L. J. Wadhams, and Z. R. Khan (100)
香根草篱中的昆虫(一)·····	陈尚文(109)
香根草篱中的昆虫(二)·····	陈尚文(112)
香根草优良生态型筛选研究·····	夏汉平 刘世忠(115)
贵州香根草苗圃建设及管理初探·····	王文华 熊元 孙锐锋 秦松 (123)
香根草在广西山地种植的试验研究·····	陈尚文 唐克 (126)
中国野生的香根草种及其保护与分类问题·····	夏汉平 敖惠修 (129)
环境因子对粤西香根草生长发育和光合特性的影响·····	刘金祥 张世伟 刘震(134)
香根草属与狼尾草属植物对土壤线虫营养类群的影响·····	·····邵元虎 夏汉平 周丽霞 林永标 赵灿灿 傅声雷 (144)
香根草根际 AM 菌的感染特性·····	高丽霞 陈羽 仲崇录 陈珍(155)
香根草种质资源耐寒性的变异研究·····	范月君 席嘉宾 张惠霞 杨国柱 徐远新 徐晖 (159)
香根草种质资源抗旱性的变异研究·····	席嘉宾 范月君 杨国柱 张惠霞 徐晖(165)

第三章、香根草在水土保持、护坡及环境修复上的应用

香根草公路护坡现状、效果及关键技术·····	卢升鉴 傅恒生 (171)
宁合高速公路边坡应用香根草防护试验·····	徐礼煜(176)
香根草在江苏泰东河水利工程河坡防护上的应用及效果·····	袁根(181)

贵州喀斯特山区公路边坡香根草种植技术规程.....熊元 王文华 孙锐锋(186)

香根草生物工程技术在江西公路边坡防护上的应用 —以东临一级公路为例.....

.....龙建新 李勃绪 卢升奎 傅恒生 黄智群(191)

香根草草篱套播灌木在公路边坡固定绿化中的应用.....陈光红(196)

香根草篱在井永 319 改建公路边坡防护中的应用.....

.....程洪 李建庆 肖刚 尹爱华 杨小洁(200)

浙江省引种香根草治理公路边坡试验与推广.....赵肇庆 赵扬 潘碧影(204)

香根草等高植物篱系统—适用于江西高等级公路边坡防护的生物技术.....

.....程洪 黎明 杨小洁(210)

以香根草为主体的漂浮型复合系统结合微生态制剂治理滇池富营养有机污染的研究.....

.....黄波 (213)

第四章、香根草加工与香根草的其它利用方式

利用香根草编织工艺品.....Narong Chomchalow, Suyanee Vessabutr (221)

香根草油的提炼和利用.....U. C. Lavania(224)

香根草油及其镇静止痛作用.....Sirinan Thubthimthed, Krittiya

Thisayakorn, Ubon Rerk-am, Sinn Tangstirapakdee and Taweesak Suntorntanasat (229)

香根草的其他用途和利用途径.....Narong Chomchalow, Keith Chapman (232)

香根草系统：用于可持续发展的绿色投资

Richard G. Grimshaw

(国际香根草网络主席)

摘要：香根草能在范围很宽的生境条件下生长，香根草绿篱是水土保持的有效措施，它不会与其相邻的作物竞争，相反会使作物增产。香根草不是杂草，不会侵犯作物；香根草具有抗御病虫害的能力，又具有抗火灾能力，且能驱防老鼠和其它动物；香根草仅要求极少的土地和少量的维护或管理，可用作青饲料，并可以用作土坝、排灌渠、道路和冲沟修复和治理工程的结构增强材料，因而是一种成本低廉而经济的生物工程技术，值得进一步的研究、应用和推广。

关键词：香根草；水土保持；生物工程

1. 概述

在世界银行推动下，香根草技术作为一种低廉的、用于水土保持的植物系统，于 1986 年首先应用于印度的发展项目。从那时开始至今，香根草技术已应用于 100 多个国家，主要在热带和亚热带地区作为一种生物方法应用于稳固土方工程（例如铁路和公路）、矿山复垦、污水处理和改善水质等，目前其已成为土木工程师和环境工程师们的关注热点。香根草技术是一项“绿色”的、非常“可持续”的技术。同时，它也是一项劳动密集型技术，能为具有广大贫困人口的国家提供大量工作岗位。此外，它也是一项成本低廉、简单易懂但行之有效的技术，能为个人和社区群众所掌握而解决他们的问题。

世界面临着许多与水土有关的生态和环境问题，其中包括土壤流失、土地过度利用及水污染等问题。土壤流失导致土壤物理、化学和生物学性质退化并丧失生产粮食的能力；大面积土地被过度利用和不当利用，或受来自矿山的有毒径流的污染和盐化；许多水体受到矿物质和有机质沉积物和污染物所污染，已不宜人们饮用，且往往亦不宜灌溉；地下水已得不到补给，引起缺水及盐碱化；由于建筑工地管理不善，基本设施崩塌或受损。解决这许多问题的方法往往很复杂，如用工程方法来解决，成本很高且并不实用。况且，工程方法要求高质量的投入和监管，换来的却是不具可持续性和维护不良的名声。因此，应当寻求一种成本低廉的生物方法来取代这种工程方法。

如果有一种植物，它可用于农业和生物工程，而又“安全”从而为人接受的话，它应当具备如下若干特性：

- 其种子具不育性，不生长太具蔓延、侵略性的匍匐茎或根，或不会成为农田杂草。
- 其根颈长于地面之下，所以能抗御野火、践踏及过度牧食。
- 其应有能力形成致密的贴近地表的永久性绿篱，发挥有效的泥沙过滤作用，防止形成土壤流失径流。看起来，只有无性系的植物才能长成“互相交织”的样子，成为此种绿篱。
- 其应为多年生，长期生长，能形成数十年不倒，并就地屹立的绿篱。
- 具有坚挺直立茎，从而最低限度能抗御 0.028 立方米/秒及 0.3 米深的洪水冲击。
- 应同时具备旱生和水生性能，从而能在任何自然环境下成活。
- 具备深扎地下的根系，并能适应土壤具有隧孔和裂隙的特性。根系应垂直向下穿透，最

少能向下延伸 3 米。

- 具备在极端土壤条件下生长的能力。无论土壤的肥力如何，无论土壤酸碱度如何，在碱土中也好，在咸酸田也好，都能生长。还可在沙子、页岩或者花岗岩上成活，甚至在毒性很大的土壤和尾矿中也能长大。

- 具备在压条后从节结长出新根的能力，从而能在地面继续生长，最终形成天然梯地。
- 不会同其保护的作物发生竞争。
- 具备不受虫病侵蚀的能力。
- 具备在一系列气候条件下生长的能力，在雨量低于 300 mm 到高于 6,000 mm，气温从 -15°C 到高于 55°C 的环境中都能生长，还能抵御 6 个月以上的长期而持续的干旱。
- 其定植为绿篱时，成本应低廉，操作应简易。定植后，应容易维护，且成本极低。
- 其若不再为人们需要时，应易于铲除或移走。

香根草具备以上所列的所有特性。

2. 香根草技术

香根草技术(VGT)的最常见形式，就是横穿坡地定植一行行窄行(宽度小于 1 米)且活生生挺立的香根草篱笆，即设立香根草绿篱。若运用得当，该技术在小于 1% 大于 100% 的坡度范围内都行之有效。生长良好的香根草篱笆能有效地减缓降水径流，使水流分散均匀流动，并能成功地将泥沙截留，形成天然梯地。此外，香根草的强大根系能增大土壤的剪切强度，从而使陡坡土壤的稳定性大大加强。

香根草是从生植物，具有坚挺而直立的茎，高可达 2m。它的根非常长，主根长可达 3~5 米，但其并不会往根冠之外的远处蔓延。根系非常浓密，且其张力强度平均可达 75Mpa。香根草以无性方式繁殖。栽种时，分成 3 株为一丛插栽。

香根草绿篱等高按行设置。定植时，株距为 10-15cm。定植时机很重要，最好在雨季栽植，也可以在栽植时浇水。绿篱的行距依坡度而定。一般而言，绿篱的垂直行距应为约 1-2 m，依气候、坡度和土壤类型而异。

香根草(*Vetiveria zizanioides*)是一种古老的植物，其中心起源地为印度，但其他相关香根草品种 *V. nigriflora* 和 *V. nemoralis* 则分别起源于非洲和东南亚等地。可是，后两个香根草种则不具备 *Vetiveria zizanioides* 的全部特性，所以，我们并不推荐它们用作香根草技术的基本材料。

我们出版了一本以农民为发行对象的小手册，书名为“香根草：防治侵蚀的绿篱”^[2,3]，目前已经发行第五版了。这本小手册叙述了香根草技术的基本内容，以及其管理和应用等。此外，在另一本新近出版的书“香根草-地球行星的重要草类”(John C. Greenfield 著)^[4]中，更全面地讨论和评述了这种技术。P. K. Yoon 也写了一本名为“审视香根草”(有 CD ROM 版)的小册子，大量收集了马来西亚的研究资料和照片，叙述了香根草和有关绿篱植物的基本属性和管理方法。

在以下数节中，我们将提出一些范例，解析为什么说香根草是生物工程首选应用的植物。

2.1 香根草绿篱是水土保持的有效措施

印度的 ICRISAT 开展了一项研究^[6]，在自然条件(总雨量 689 mm)以及人工降雨条件下，将香根草技术同石砌挡墙、香茅草和光板地(对照)进行比较。研究表明，在所有条件下，香根草技术都是最有效的减少水土流失的措施。香根草技术减少了 57% 的降雨径流，降低了

80%以上的土壤流失。研究结果以图表清楚地显示, 香根草地块中排出径流的时间被大大地延缓了。香根草绿篱的这一优点, 可以用来作为防治流域上游洪水发生的措施。次年, 同一研究组^[7]再次证实这种结果, 且证明香根草的优点甚至更加突出。香根草绿篱设置得越稠密, 时间越长, 其水土保持效率越高。在哥伦比亚的 CIAT^[8], 在与木薯地接壤的地带, 也将香根草绿篱同其它植物性系统进行比较。在进行观察的 11 个月中 (雨量 1240 mm), 光板休闲地的土壤流失为 142 t/ha, 降雨径流为 11.6%, 而香根草绿篱行间的木薯地土壤流失降低到 1.3 t/ha., 降雨径流降低到 3.6%。其它研究报道的结果与此相似。在印度西部进行的研究^[9]显示, 当将香根草技术应用于黑色变性土时, 土壤流失与降雨径流的降低呈明显正相关, 而香根草技术明显比其它植物性篱笆优越。在美国路易斯安那^[10], 试验得出了香根草绿篱能拦截泥沙的结论。在马来西亚进行的大规模的示范^[11]显示, 香根草绿篱后面, 泥沙被立刻拦截淀积下来, 在某一情况下, 一年之间泥沙被拦截淀积的厚度达到 1 米。

农民们都看好香根草技术。据报道, 农民几乎在任何情况下均喜欢应用香根草技术。南非 Natal 一位农民, 70 多年来一直在甘蔗地里利用香根草来稳定道路边坡。1989 年起, 这位农民在 186 ha 农田上设立了香根草绿篱, 用于保护自己的土地, 收到立竿见影的效果: 降雨径流大幅度降低, 土壤墒情好, 所以即使在大旱的 1992 年, 他的小荔枝树一棵也没有损失。在中美洲, 香根草技术也得到应用。其中, 洪都拉斯^[13]的用户证实, 香根草绿篱是所有水土保持措施中, 成本最低廉的一种。埃塞俄比亚^[14]和非洲的其他用户也得出同样的结论。从菲律宾 Layete 17 位农民反馈的意见看来^[15], 他们看好香根草技术的作用, 而且认为香根草技术的确明显比其它系统优越。还应当指出, 香根草在其茎节间能长出根来, 这就使在香根草绿篱之后或绿篱内部沉积的泥沙的形成一道道梯地, 而随着梯地长高, 香根草也同时长高。在斐济, 这样自然形成的梯地其高度竟可达 3 米^[1]。

迄今, 尚没有任何证据表明香根草绿篱的表现会劣于其它类型的绿篱。相反, 所有证据都指明香根草绿篱是效果最好的植物性障篱。

2.2 香根草能在范围很宽的生境条件下生长

澳大利亚在盐碱土壤条件下进行香根草试验^[16]。试验显示, 香根草可以承受 ECse 高达 38 mScm⁻¹ 高盐度条件。而在盐度为 ECse 20 mScm⁻¹ 时, 香根草干物质产出降低 50%。科学家还进行了香根草对宽范围土壤 pH 值承受度的研究^[17], 结果表明, 香根草能承受 pH 值低至 3.3 而土壤铝毒性度为 68% 的条件。这些指标说明, 香根草可能是最能承受铝毒害的作物和草原植物种之一。试验还显示, 香根草还能在土壤 pH 值为 11.5 的条件下成活, 且在适当的 P 和 N 营养条件下生长良好。香根草能在许多类型的土壤上成活, 无论土壤厚薄, 无论土壤结构如何均能生长。马来西亚的研究人员对比了香根草在 5 种类型的土壤上的生长情况^[18], 发现尽管香根草在不同土壤类型上的生长情况有所差异, 但都生长得相当理想。他们发现, 香根草可以在废锡矿的土壤上定植, 从而决定利用香根草来复垦这类退化的土地。在印度, 在黑色变性土上生长的香根草同在淋溶土上生长的一样, 非常茁壮; 而在旱地上生长的香根草同湿地上生长的香根草一样旺盛非常, 显示了香根草同时具备旱生和湿生特性^[18]。香根草能够忍耐约 -9.5° C 的酷寒^[19], 而有些植株能够忍耐短时 -15° C 的低温^[20]。

雨量是香根草生长的限制性因素。香根草能在雨量为 300-400mm 的地区生长, 但此时则要求加强管理。在这样的环境中, 香根草的定植比较困难。如果遇到季节性的极端气候条件, 或者碰到过度放牧、周期性干旱的情况, 香根草和其它植物一样也会生长困难。然而, 只要

地下水位较高,或者具备灌溉条件,即使在零雨量的地区,香根草照样生长。记录说明,在极端干旱,雨量少于 50 mm 的地区,在连续 12 个月无降雨的条件下,香根草依然活了下来。一般而言,香根草在热带和亚热带的多数生境条件下都能生长。当然,在排水良好的环境中生长的更好。在冬天极寒之地,或在永冻之区,香根草不能生长。香根草在任何海拔高度上都能生长,不过,这恐怕还得考虑温度条件的限制。在洪都拉斯海拔 2,800 米的地方,香根草生长的很好^[13]。在埃塞俄比亚西部海拔 2,000 米的高度上,照样定植香根草绿篱^[21]。在莱索托海拔 3,000 米的冰雪高度上,香根草也能存活^[22]。香根草在澳大利亚盐渍土壤地区生长的潜力巨大^[23]。于是,有人成功的将香根草应用于印度西北部遗弃的碱土 Ussar 地的复垦上。

最近,Truong 等^[24, 25]的研究发现,香根草可以承受非常严重的重金属污染和很强的毒性条件,其承受阈值远远高于其它植物。中国和泰国的研究均证实上述发现。由于香根草可以承受重金属污染,加上它具有吸收过量磷和氮的能力,就可以用作定植在人工或天然湿地的理想植物,让它净化湿地里的受污染的水,净化生活污水和工厂排出的废水。在这一重要领域的研究和试验中,澳大利亚的 Paul Truong 及其同事,以及中国的夏汉平处于领先地位。从国际香根草网络所刊登的第二和第三届国际香根草大会的文献汇编中可以查阅相关资料。

总之,香根草可以承受范围极宽的生境条件,可以在对植物极度有害的环境中生长。

2.3 香根草不会与其相邻的作物竞争,香根草绿篱会使作物增产

大多数研究都证明,香根草不会造成相邻的作物减产。哥伦比亚的试验^[8]指明,木薯同香根草绿篱长在一起时,木薯产量并没有降低。可是,木薯同象草(*Pennisetum purpureum*)绿篱长在一起时,木薯产量降低了 33%。这是因为,象草的根系四处伸展,与其相邻的作物大力竞争。印度马哈拉施特拉邦^[25]和马来西亚^[17]的试验得出与上述研究相似的结果。从印度南部到斐济的农民的生产实践也证实这些结论。南非 Natal 的蔗农和斐济的农民都宣称香根草使他们增产了。

印度马哈拉施特拉邦的 Akola 地区(年均雨量 840 mm,土壤为石质半干润正常新成土),1989~1991 年期间进行了一些试验^[27]。试验显示,受香根草绿篱保护地块的作物产量较高,与生长在土埂梯田以及横坡耕作土地的作物相比,其平均产量分别高出 17.1% 和 32.3%。在香根草绿篱保护的地块中,水分利用效率以及土壤剩余养分都是最高。研究人员还比较了香根草以及其它植物性篱笆的有效性。参加比较的绿篱植物有四种:香根草(*Vetiveria zizanioides*),银合欢(*Leuceana leucocephala*),香茅草(*Cymbopogon flexuosus*)和金须茅(*Chrysopogon martini*)。香根草绿篱保护地块,其籽棉的产量比对照(无障篱)地块的高 25.5%,比有银合欢、香茅草和金须茅障篱的地块分别高出 24%、15% 和 11%。在由参加比较的四种障篱植物保护的地块中,平均含水量和有效储水量都以香根草绿篱保护地块为最高。菲律宾的农民也报告说,靠近香根草绿篱地块的玉米和稻谷产量要好一些^[15]。

也有一些例子指明,如香根草绿篱与作物垄行靠的太近,则其会同作物发生竞争。尽管如此,绝大多数试验结果和压倒多数的农民都指出,香根草绿篱对作物产量并无负面影响。相反,由于在香根草绿篱影响下,土壤持水量增加了,作物产量也会有正面响应。应当指出,与其它障篱系统,例如通道耕作相比,香根草绿篱的用地面积最少。因此,在其它条件相同时,与其它障篱系统的土地相比,受香根草绿篱保护地块的单位面积产量也可望最高。近年来,南非有人将香根草作为害虫的生物陷阱使用:让香根草叶子从与其长在一起的作物(如

玉米和高粱)植株上把螟虫吸引过来,从而大大降低螟虫对作物的危害^[28],而螟虫却不会对香根草产生太大的影响。

2.4 香根草不是杂草,不会侵犯作物

在高地旱作条件下,人们并没有发现香根草有侵犯作物的证据^[29]。可是,在天然沼泽条件下,香根草却有一些自然地四处蔓延的迹象^[30、31]。然而,并没有任何地方发现香根草有侵犯作物的现象。但其它绿篱植物就并非这样,例如若管理不当,银合欢(*Leuceana* sp.)就会成为重要的杂草。香根草的根不呈匍匐状,印度香根草的后代很少开花,即使产生了种子,也属于不育性的。在美国路易斯安那一个地方生长的香根草(或许起源于危地马拉)已经有25年没有开花了^[32]。香根草以无性方式繁殖。在赞比亚的Msamfu研究站香根草绿篱已经有60多年没有结籽。全国研究理事会对香根草进行了考查^[29],其主要目的之一,就是想证实香根草究竟有无成为潜在杂草的可能性。结果发现,在绝大多数情况下,香根草都不会侵犯作物。不过,理事会还是强调只使用不产生种子的香根草为宜。人们发现,产于印度南部香根草比产于印度北部的更不易产生种子。有人报导说,美国密西西比ARS研究站从印度北部引进的香根草则产籽力强,且发芽率高。但是,Le Blanc所指在美国路易斯安那州Baton Rouge附近的香根草以及Boucard^[33]所指在得克萨斯州利基的香根草则似乎并非如此。究竟香根草开花结籽的生境条件如何?恐怕得从草种、气候、降水和日照长短等方面加以探究。有研究者结合生物统计分析法对香根草进行分子诊断^[35],从而确定不同香根草品种之间的关系。他们从香根草嫩叶组织中提取DNA。结果发现,Boucard香根草种与据信起源于危地马拉的Huffman香根草种属于同一基因型,但这两者都与来自印度的3种香根草非常不一样。据信,引入美国的香根草不下20种。运用分子诊断手段,可以鉴别各种不同的香根草,从而对各香根草的优良特性加以利用。这样,对香根草的利用就更加理性,更加不会失于控制,也就会产生更好的效果。

泰国已经对30余种香根草进行鉴别^[36]。这30余种香根草之间,其性质往往各异,而且,有六个高地香根草尚被鉴定为*Vetiveria nemoralis*。这些香根草中,还包括一些开花,但产生不育种子的种类,还有一些香根草的种子却容易发芽。根据澳大利亚最近的研究^[37]以及对作物无侵犯性的各种香根草进行的DNA分析^[38],就可以作出这样的结论:起源于印度南部,并为各国广泛应用的香根草(*Vetiver zizanioides*)对作物不具侵犯性。

总之,世界上多数地方的香根草罕有侵犯作物的记录。况且,即使发现有种子发芽的香根草,在耕作中将其铲除亦非难事,还可以用除草剂Round Up去除之。既然各种香根草的差异相当明显,这些差异就应更好地加以鉴别。从长远看来,这些鉴别可以辨定最适用的香根草种,也可以将各种香根草同不同的生境条件和人类需求进行匹配。有些香根草种在香根草用户中间已经是名满天下,其中有Huffman(美国),Sunshine(美国)以及Monto(澳大利亚)。所有这类香根草的DNA相同,而且互相间不易区分。世界上最少还有另外50种的香根草,据DNA分析,它们的基因类型相似。然而,没有一种香根草对作物具有侵犯性。

2.5 香根草具有抗御病虫害的能力

香根草具有抗御病虫害的强大能力^[18、19]。印度的研究证明^[39],当死亡的香根草被白蚁吃掉后,可能会发生等位效应,使香根草不会从植物体中心再生。在发生严重干旱时,香根草植株四周新抽的芽枝都会被牲口啃食,遂造成植株死亡。或者是,香根草幼苗的根不能穿

透坚硬的白蚁巢。要解决这些问题，最好的处理方法就是把它们烧掉。巴西报导说^[40]，香根草对严重侵害烟草的根线虫 *Meloidogyne javanica* 和 *M. incognita*（根节线虫）具有抗御能力。在中国，曾有报导说香根草是稻螟虫的寄主^[19]，尽管这并不影响香根草的生长，但香根草确实寄生过螟虫。在福建省，虽然香根草多年来一直同水稻混生，但看来似没有发生什么问题。在多数情形下，香根草中的病虫害都可一烧了之。下文我们还会提到，燃烧是管理香根草绿篱的重要方法之一。害虫一般不吃香根草，所以香根草可以用来盖房顶，用来做作物的幕蔽物。

最新的研究显示，香根草具有抗御病虫害的能力，但并非病虫害的主要寄主。事实上，越来越多研究指出香根草却是益虫偏爱的生境^[30]。

2.6 香根草具有抗火灾能力，且能驱防老鼠和其它动物

香根草的抗火灾能力颇有名气。比如说，当农民收割甘蔗前，会放火烧田，但大火过后，长在甘蔗田里的香根草依然活着。在南非，人们用香根草来保护森林防火带，使之免于侵蚀^[22]。该方法已被森林火险公司认可。在马来西亚，人们往往将割下的香根草烧掉，可是，有些烬余的香根草幼株，只要四个星期就可以完全复生^[11]。历史上，西非马里尼日尔河洪泛平原上的游牧人为了更快获得新牧草，就采取放火烧香根草的办法。香根草的抗火能力以及火后快速重生的本领，主要是由于它具有受保护的根颈以及深扎的根系，也归功于它的养分贮备。正因为香根草具有抗火能力，火就可以被利用来作为管理香根草绿篱的一种手段。在干旱地区，香根草绿篱上积聚了大量干叶子。在此情况下，放火烧香根草绿篱，就可以“清扫”该绿篱，从而减少白蚂蚁对香根草绿篱的滋扰。香根草火后快速重生的本领对香根草绿篱很重要，因为这样香根草绿篱就可以在湿季来临，土壤侵蚀营力增强时及时恢复并发挥作用。

不过，对于香根草是否能有效驱防老鼠和其它动物方面，意见并不统一。农民们认为，老鼠会被香根草驱逐，而且老鼠不能在香根草根部位打洞。事实上，尼泊尔许多农民在灌溉渠之间的田埂上栽种香根草，目的是防止老鼠滋扰^[43]。最近，一位巴布亚新几内亚的森林工作者报导说^[47]，三年来，连臭名昭著的丛林猪也对已扎根的香根草绿篱敬而远之。

2.7 香根草仅要求极少量的维护或管理

最初推广香根草技术的人员介绍香根草时，都说香根草要求的维护或管理极少。他们这样说，是以香根草在雨量很高的地区，例如斐济和印度西部的生长状况为依据的。根据这些地区的种植香根草的经验，这种草在耕地上生长自如，基本上不必管理，唯一要求的维护就是每年加以修剪。可是，当香根草被引入气候条件并非那么优越的地区，例如印度中部半干旱区（雨量 500-600mm.）时，就得悉心加以管理了。管理措施包括：选用高质量的种苗，适时栽植（在半干旱区的栽植时间窗口很窄），栽植一年内或更长时间内进行补栽，在极端不利条件下使用培养袋定植，利用火烧来清除过多的死物质等等。还应注意采用不同的栽植方法来适应不同的生境条件。在采用不同的重要管理措施时，首先应对条件作出恰当而符合实际的判断。试验显示^[18]，香根草绿篱作为水土保持手段的成功与否，管理是否跟得上非常重要。总之，那句老话“将香根草插在土里，就可以坐享其成”并不会时时使你获得成功，因为无所作为往往会使多数好技术都会一事无成。

在印度 Andhra Pradesh^[48]及菲律宾^[15]开展的研究显示，在农民理解了香根草技术，正确应用与管理香根草系统的地方，香根草系统的效益就会得到发挥。若政府越俎代庖，取代

农民去开展香根草工作，农民就会忽视香根草管理，香根草系统就会退化。另一方面，在哥斯达黎加^[42]柑橘园应用香根草技术时，尽管在五年期间没有对香根草加以维护，但香根草一点也没有退化的迹象。另一项研究在一个小农场(面积小于 0.5 ha.)进行^[49]，研究显示，农民不愿意在自己土地上设置任何障碍物，因为他们希望挖掘自己的每一寸土地的潜力来生产粮食。所以，在类似情况下，我们应当了解农民的生产实践，鼓励农民象印度南部 Gundalpet 以及尼日利亚北部 Kano 城外的农民若干世纪以来所做的那样，利用香根草来设立自己的田埂。

2.8 香根草可用作青饲料

在长有适口性甚佳的其它牧草的地方，一般来说牲口对香根草不屑一顾。这一点很重要。这就是香根草绿篱可以生长多年而完整无损的缘故。对于香根草作为牲口饲料的价值及其管理方面，所作的研究还非常有限。据观察，在许多情形下，如果农场的香根草绿篱管理得当，就可以定期将香根草嫩叶子收割下来，而这些嫩叶子作为青饲料可以评为“佳”级。在马来西亚，若田野上长有大量适口性甚佳的其它牧草，羊群不会啃食香根草。但是，如果把香根草的叶尖割下来喂养圈养的羊只的话，羊只甚为欢迎。在中国和马来西亚，利用香根草来喂养草鱼获得成功。在印度尼西亚东部，若气候非常干燥，牛马都吃香根草。若养护得当，香根草嫩叶的养分同象草相似，含粗蛋白 7.0~12%。若条件优越的话，香根草绿叶可以大量产出。在美国得克萨斯有灌溉条件的地方，香根草干物质产量为 100 t/ha.，相当于每年每公顷产香根草鲜叶 350 吨。在中国，报告称^[41] 100 平方米香根草绿篱连续三年的香根草覆盖物产量分别为鲜重 11.4、14.7 和 17.8t。注意，在此例中 100 平方米香根草绿篱相当于 230 长的绿篱。无疑，若改善管理的话，香根草可以为旱季的牲口提供适量青饲料。当然，其时若与高蛋白饲料伴喂则更佳。印度 Gundalpet 的农民若干世纪以来一直利用香根草作农田的界栅。同时，在香根草生长高峰期，他们每三个星期就割一次香根草叶子来充当青饲料。其它许多国家也有利用香根草当青饲料的报告。如中国、危地马拉、洪都拉斯、尼日尔和马里等。有一些香根草种更具适口性，例如在印度卡纳塔克邦有一种叫“农民”的香根草品种，几十年前就被农民选为适口性好的香根草，据说又松软又非常适口。

在适口性甚佳的其它牧草丰富，或者牲口数量甚少的地方，若用户想物色一种牲口不去啃吃，而且不必费心管理而旺盛生长的草类的话，就会选取香根草。在这一方面，哥斯达黎加就是这么做的^[42]。该国农民选取香根草来保护陡坡上的芒果园。

中国最新的分析^[43]指出，定期收割的香根草嫩草含粗蛋白高达 11-14%。即使长老的香根草，含粗蛋白也达 5-6%的范围。既然香根草极端耐旱，若在中东地区有灌溉条件(利用丰富的咸水灌溉?)的话，香根草何尝不能成为一种非常有用的饲料作物?

2.9 香根草可以用作土坝、排灌渠、道路和冲沟修复和治理工程的结构增强材料

利用香根草技术来稳定堤坝的事例全世界处处可见^[2, 3, 11, 12, 22, 44]。利用香根草技术来稳定道路边坡的做法，则在巴西、中美洲、中国、埃塞俄比亚、印度、意大利、马来西亚、菲律宾、南非、斯里兰卡、委内瑞拉、越南和西印度群岛都有成功的事例。在尼泊尔和南非稳定堤坝的工程中，香根草和建筑工程结合起来，获得成功。南非成功地利用香根草来稳定金矿矿渣场^[22]。孟加拉、中国、马达加斯加、越南、津巴布韦和一些其它国家也利用香根草稳定防洪堤及河流堤岸。

这是因为，香根草具有吸收和消弭震动的强大力量和能力，因此就具备抗衡船只和大风

激起的波浪对堤岸冲击和震动的潜力。国际香根草网络收到了许多这方面的正面消息。津巴布韦利用香根草降低小型堤坝泄洪道的侵蚀^[40]；斐济利用香根草降低冲沟的冲刷^[26]；危地马拉、南非、马来西亚和尼泊尔利用香根草保护排灌渠道^[11, 12, 42, 44]。香根草技术还用来保护地处坡地的建筑工地^[22]。

香根草技术能有效地应用于加固灌溉渠^[45]。有人在具有垂直边坡的灌溉渠开展比较试验，对利用香根草护坡的未贴面灌溉渠，同用香根草护坡的以聚酯材料贴面的灌溉渠加以比较。结果，用香根草护坡的聚酯材料贴面的灌溉渠边坡保持垂直，但利用香根草护坡的未贴面的灌溉渠边坡也几乎依然保持垂直。试验结果表明香根草具有固定土壤（此例为砂壤土）的强大能力，也显示了利用这一结果来设计边坡坡度更大的灌溉渠的潜力，从而节约用地。最近，在利用香根草来稳定堤坝方面，开展了许多研究。其中最重要的一项^[46]指出香根草根系的平均拉张强度高达 75 Mpa，可以将土壤的剪切强度提高 30%之多。这些发现引起工程师们应用香根草技术的极大兴趣，从而大大推动香根草技术在工程领域的推广。近年来，在将香根草技术应用于主要公路和铁路路基边坡的稳定方面，中国处于领先地位。关于这方面的成果，可以参阅国际香根草网络的网站 http://www.vetiver.org/TVN_ICV3_proceedings.htm。

香根草技术作为治理冲沟的有效手段，已在许多国家得到应用。由于香根草强而有力，可以抵挡高速水流的冲击。冲沟水流的速度很大，但香根草可在冲沟中屹立生长，而且定植在冲沟的香根草绿篱后边沉积了厚厚的泥沙。结果，冲沟中形成了一道天然台阶。人们在治理冲沟和河道时，往往在冲沟和河道边坡上砌上护坡，若与种植香根草的技术结合起来，会有助于稳定效果。

2.10 香根草是一种成本低廉而经济的生物工程技术

经济分析表明，设立 1 公顷香根草绿篱只需要不到 30 美元，而建设 1 公顷常规工程系统则花费 500 美元以上。香根草绿篱的经济回报率为 90% 以上，而常规工程回报率仅为约 20%。设立香根草绿篱的成本各地不同，而且各国之间也有差异，因为劳动力成本各有不同。在平缓坡地上设立香根草绿篱，绿篱相间距离达 50 米，故而 1 公顷土地只要 100 米绿篱就可满足保护要求；而坡度为 60% 的陡坡地，香根草绿篱相间距离则仅为 4 米或以下，那么 1 公顷土地则要 2,500 米绿篱可能满足保护需求。香根草种苗的成本依其培育方法而异。在商业性香根草苗圃手工培育的香根草种苗就比机械化技术（如得克萨斯 Boucard 兄弟公司）生产的香根草种苗便宜。然而，如果采用从现有香根草绿篱中分苗移植法，种苗当然还更便宜。在印度，一位农民每天能挖穴种植 200 米长的香根草绿篱，成本为每天 3 美元。1998 年，印度的“商业性”苗圃 3 株香根草种苗的价钱为 1 美分。每穴种植 3 株香根草种苗，成本为 300 卢比（每设立 1 公里香根草绿篱的成本为 10 美元）。在泰国，高质量的裸根“草株生产苗”1993 年市价为每公顷（120 万株）2,600 美元，计合每株种苗 0.2 美分，每公里香根草绿篱种苗成本为 60 美元。该国也生产聚合物袋香根草苗，其绿篱种植成本为每米 62 美分。机械化种植香根草的成本（包括种苗成本）估计为每英里绿篱 175 美元。在美国，保护 1 公顷坡度为 4% 的土地需要设立 6 行香根草绿篱，成本约为 90 美元。因为土地坡度决定种植密度，劳力成本也大不相同，所以，计算建立香根草绿篱成本时，可能最好还是以定植 1m 长为单位较好。

利用香根草绿篱获得多少效益？这个问题比较难于确定。在多数情形下，利用香根草绿

篱可以将土壤流失量迅速而又永久性地降低下来。常常是，一年之间，香根草绿篱就可以将土壤流失量从每公顷 143 吨降低到 1.3 吨^[6]。香根草技术也可以使粮食产量短期内得到提升。印度人估算，香根草技术的短期效益/成本比高于 2:1。印度的农民报告说，因为应用了香根草绿篱，他们的庄稼在大旱之年都分毫无损，但邻近的农民的农田因为没有香根草绿篱保护，则受到损失。香根草绿篱的效益，有些是可以量化计算的：例如，香根草当作物幕盖物用（在中国是每公斤 2 美分），香根草当燃料用（香根草的能源价值约为煤的 55%），香根草当青饲料用的价值。香根草绿篱的间接效益则包括挽回土壤和养分流失造成的损失，增加地下水补给带来的价值，防治上游洪患的作用以及降低堤坝维护成本节约资金等。如果有人认为常规工程设施和香根草系统的效益都是一样（实际上并不一样，香根草系统要好得多）的话，那么，还是应当把香根草技术列为应优先采用的技术，因为相比之下，香根草技术的成本要低得多，只有常规工程设施成本的五分之一。详细分析香根草绿篱和其它系统的成本之后，就可发现香根草技术的效益成本比其它系统（包括常规工程系统）都优越。

香根草系统应用成本大概只有常规工程系统的 20%。至于每个地方的香根草应用工程或某一项香根草应用项目的成本多少，则得个别计算。一般来说，香根草技术的技术参数是已知的，而且也相当准确，不过，计算香根草应用成本时，还要考虑其它因素，如国别、设计形式和地点等。

3. 香根草系统历史与现状

香根草系统应用于水土保持，其始作俑者可能是印度南部卡哪塔克邦 Mysore 区的农民。当地将香根草系统应用于水土保持的历史有好几个世纪了。与此相似，100 多年前，尼日利亚北部城市 Kano 的农民就开始用香根草来做各农户土地之间的界栅，或者做风障。不过，此处的香根草种为 *Vetiveria nigrinata*。香根草系统的首次现代意义的在水土保持方面的应用，也许应推西印度群岛（圣卢西亚，圣樊尚），其次为斐济。在斐济，John Greenfield 引进香根草系统，用来保护陡峭坡地上的甘蔗地。现代意义的香根草系统，是由 John Greenfield 和我本人开发的。其时为二十世纪八十年代后半叶，我们两人正在印度工作，并首先着重将香根草系统应用于水土保持。

香根草自古以来就用于提炼芳香油，即从其根部提炼香根草油。1985 年以前，有关香根草的研究主要着眼于香根草油的提炼。印度研究站（G. Bharad）于 1987 年首开将香根草应用于水土保持的研究的先河。马来西亚橡胶研究所（P. K/Yoon）马上跟进，而在国王的坚持之下，泰国皇家项目发展理事会也同时开展研究。到目前，香根草的应用已经推进到若干新的领域，其中包括香根草应用于公路稳定、水质改善、防灾减灾、采矿迹地复垦和制作手工艺品等。在二十世纪九十年代早期，Paul Truong（澳大利亚）开展了香根草在防洪、对重金属（毒性）的抗性、改善水质和湿地建设等方面应用的研究。中国以夏汉平为首的研究人员跟进 Paul Truong 的研究，并广泛开展香根草在改善水质方面的研究。同时中国大规模地将香根草技术应用于稳定公路、铁路和垃圾填埋场方面。现时，越南正在开展一项大型香根草计划，以研究和信息收集为基础，广泛应用香根草，重点在于利用香根草防灾减灾。

目前，香根草研究和发展的中心为印度、马来西亚、泰国、澳大利亚、中国和越南。然而，世界其他国家和地区也开展了一些重要的工作。现在，全世界有 100 多热带和亚热带国家和地区在认真地应用香根草。此外，有些具特定生态环境的国家和地区，例如美国加州和地中海国家正在开发一种香根草技术来解决影响基础设施的问题。技术开发部分以本地的