

培地茅技术(VGT)在植生工程的应用

王裕文, 曾美仓
(台湾大学农艺学系, 台湾台北)

摘要: 利用快速生长、深根丛生型禾本科植物——培地茅所建立的草篱(hedgerow), 在联合国所属世界银行推动下, 近十余年来在全球热带及亚热带地区广泛应用于农地及工程设施的水土保持的经验累积之下, 所发展出来的培地茅技术(Vetiver Grass Technology, VGT) 具有施工容易, 价格低廉与成效快速显著的优点。介绍培地茅植物的特性, 并透过培地茅在全球应用的经验, 说明培地茅技术在边坡稳固工程上的利用, 包含水库边坡、集水区、灌排水设施及水路等设施以及洪泛区内构造体的保护等各类水土保持工程。并简介培地茅草篱施工的注意事项与要点。

关键词: 培地茅; 水土保持; 植生工程; 边坡稳固

中图分类号: S 157.433 文献标识码: B 文章编号: 1005-3409(2002) 03-0097-06

Application of Vetiver Grass Technology
in Bioengineering Stabilization

WANG Yu-wen, ZENG Mei-cang
(Department of Agronomy, Taiwan University, Taiwan, China)

Abstract: The Vetiver grass technology (VGT) using the hedgerow formed by vetiver—a fast growing, deep-rooted clump grass has been promoted by the World Bank to mitigate the worldwide soil erosion problem. The VGT was developed through the field experience accumulated from the applications in many tropical and subtropical countries. VGT is cheap, easy in implementation and yet with adequate effect. The applications of VGT in slope stabilization are introduced with the worldwide experience, which included the protection of the slope of dam, spillway, and flooded structure. The implementation of the VGT was also noted briefly.

Key words: vetiver grass; erosion control; bioengineering; slope stabilization

1 前言

在绿色环保蔚为风潮的社会需求下, 在工程建设中加入植物材料作为绿化几乎是标准设计之一。植物材料可提供绿美化的功能是有目共睹的, 但是要将植物材料作为工程设施的一部分, 提供结构性的功能, 对大部分的设计师而言是无法接受与采用的, 主要原因是植物材料的生物特性会与生育环境产生交互作用, 无法稳定地提供特定的特性需求, 来满足工程设计的规格。因此大部分应用于工程中的植物材料, 其功能多设定于景观与水土保持等项目上。

随着科际间的整合, 配合绿色工程的需求, 许多新的植物材料与工法不断的推陈出新, 尤其在边坡稳固(slope stabilization)的处理技术上发展出所谓的生物稳固工程技术(biotechnical stabilization)及土壤生物稳固工程技术(soil bioengineering stabilization)。生物稳固工程技术的特色是将

植物材料整合在工程构造上, 作为水土保持的手段, 并且同时提供柔化单调的工程结构体的景观功能; 土壤生物稳固工程技术则是包含在生物稳固工程技术内的一个项目, 其技术的原则是透过植物枝杆在土壤中特定的排列堆栈, 同时在坡面上配合水文特性进行植被的栽植, 以达到稳固土壤的功能, 土壤生物稳固工程技术特别强调利用植物的根系与地上部的茎杆作为边坡保护系统中的主要结构要素。

应用于植生工程的植物材料可以分成木本植物与草本植物两大类, 木本植物包含乔木与灌木类, 草本植物则包括直立丛生型与匍伏覆盖型两大类。木本植物的根系强健庞大, 深入土层, 配合大型的地上部植冠可有效减缓雨滴撞击土表的力量, 同时树木庞大的植物体可吸收大量水分, 涵养水源, 进而发挥水土保持的功能, 但是木本植物生长缓慢, 常需要数年乃至数十年的时间才能长成而发挥水土保持与涵养水源的功能, 因此草本植物便经常做为林木长成前的水土

¹ 收稿日期: 2002-05-01
作者简介: 王裕文, 台湾大学农艺学系助理教授; 曾美仓, 台湾大学农艺学系教授。

保持材料。草本植物相对于木本植物,其生长快速,透过地上部茎叶在地表所形成的覆盖,也可有效减缓雨滴撞击土表的力量,同时也可减少地表径流对土壤流失的效应,但是草本植物的根系深度一般在土表下 40 ~ 60 cm,对于稳固斜坡土壤的效果,力多未殆;另一个缺点是草本植物在旱季休眠时期,干枯的地上部植体,易引发火灾,灾后所形成裸露的土表,将面对严重的水土保持问题。

除了景观上的考量之外,由于植物对土壤土质及气候的适应性各有不同,成功的植生工程,首重在植物材料的选择,而栽植之后,植物的管理也密切关系到植生工程的有效性、持续性与维护费用。草本植物在植生工程的利用方式可分成草带与覆盖两大类,不同的植物各有其特定的利用方式,例如台湾常见的百慕达草与百喜草由于其植物茎节具有匍伏特性,因此以地表覆盖做为主要的利用方式,而恋风草以其直立丛生的特性,而成为以草带利用为主的草种。本文拟介绍一种近十余年来以草带为利用形式的新兴水土保持植物——培地茅。

2 新兴水土保持植物——培地茅

培地茅(英文俗名: Vetiver, 印度俗名: Khus- khus, 中国大陆俗名: 香根草, 南非俗名: 奇迹草(miracle grass), 学名: *Vetiveria zizanioides*), 为目前联合国在第三世界国家大力推行的水土保持植物。自 1986 年起推广应用后, 已引起广泛的注意。泰国在泰王的全力推广之下, 成效尤其受到注目。

由于过去数百年间, 培地茅是以精油作物的形式被利用, 因此透过移民与贸易等途径传播, 在全球热带与亚热带地区具有广泛的分布。根据植物志的记载, 台湾在日据时代已有野外采集的培地茅标本, 西部沿海瓜农一度曾经利用培地茅做为防风之用来保护瓜苗, 但随着农业生产行为的变迁, 目前已难发现有大规模的利用。

培地茅应用于水土保持的功用, 受到研究人员注意尹始于 John Greenfield 任职于斐济期间。1956 年 Greenfield 先生担任甘蔗栽培的工作, 公司的老板在农场的平坦土地都种完甘蔗后, “相信”农场内的坡地是可以加以开发利用, 以增加甘蔗的种植面积, 只是坡度太陡。同时, 因为斐济地处太平洋热带地区, 夏季暴雨所造成的土壤流失极可能危害到公司、人员甚至整个国家, 另一方面坡地土壤的含水量, 并不足以供应需水量极大的甘蔗生长, 因此所有具有农场操作经验的人都不同意, 但是在老板的要求下, Greenfield 先生开始设计、试验各种水土保持的方法, 期望能找到有效的方法, 其中包括广泛应用于商业规模生产的工程技术(利用推土机沿等高线建立厚土墙), 以及一种他听说在二次世界大战前在加勒比海地区已经被成功利用于水土保持的一种粗大的草本植物——培地茅。Greenfield 先生在农场外找到了培地茅, 将其分蘖(slip) 沿着等高线种植, 单薄的这一行培地茅, 看在大家的眼里, 大部分的人都不抱希望。但是, 生长快速的培地茅迅速的长成草篱(hedge row, 草带), 许多人发现在本地区常见的午后雷雨后天, 在培地茅草篱保护区内, 地表的径流量明显地减缓, 同时也沿着等高线向水平方向分散开来,

甚至被拦阻在培地茅草篱所形成的绿色堤防的后方。在培地茅充分长成之后, 其草篱的厚度可达 1 m, 想要徒手穿越草篱就变成是一件非常辛苦的差事, 由于所形成的草篱如此厚, 降下的雨水无法直接从坡面上直接灌入到河川, 在这段被培地茅草篱迟滞而停留在坡面上的期间, 雨水就有足够的时间渗入土中, 最重要的一点是: 土壤不会随着雨水被带离坡面, 更进一步, 随着雨水被培地茅草篱所形成的绿色堤防拦阻, 混杂在水中的土壤在这段迟滞的期间内, 大部分也沉淀在草篱的后方, 在反复的降雨与沉淀的过程, 经过长时间的作用, 原本陡峭的坡面, 在培地茅的草篱间逐渐形成梯田。

培地茅的功效在一次斐济史上最大的降雨纪录中显现出来了, 500 mm 的雨量在短短的 3 h 内夹杂着狂风降下, 利用堆土机建立的厚土墙在大量的雨水累积之下, 从较弱的点被突破之后, 迅速溃堤造成整个坡面坍塌, 相反地, 培地茅草篱所保护的坡面毫发无伤。在这场大雨后, 全公司上下每个人都服气了, 培地茅全面的被用在坡地的水土保持。经过 40 年后, 截至 1990 年斐济岛上的培地茅草篱仍然存在, 继续提供护坡的功能, 差别是地形改变了, 原本的坡面经过几十年, 每一次的降雨所带来的土壤累积在草篱后方, 已经将斜坡转变成梯田, 实际去测量累积的土层厚度已经达到 2 m 深。

2.1 会长高的绿色堤防

一般大众不熟悉植物生长习性, 或许会以为培地茅已经被深埋在土中, 功成身退了, 事实上培地茅依然屹立在土表上继续维持青绿。原因是这样的, 象培地茅这类的禾本科植物其生长点是埋在距离土表下约 1 ~ 2 cm 处, 当土表加厚, 生长点会随之向上抬伸以维持适当的距离, 同时培地茅的丛生特性, 大量的分蘖分支, 在部分的分支形成花序随着节间的延长而将生长点推出土表后, 新的分蘖芽会产生(事实上新的分蘖芽在生育期间会持续发生), 继续保持在土表下有大量的生长点。因此日常的降雨所伴随夹杂的土壤, 是无法将培地茅淹没而置其于死地, 相反地, 培地茅会向上抬伸以配合增高的土表。推升培地茅花序出土的茎节, 除了提供支持花梗的功用之外, 当大量的土石淹没大部分植株, 任何保留在土表上的茎节就成为再生的组织, 茎节部位的芽点会迅速分化, 向下长出新的根, 向上长出新芽, 继续提供水土保持的功能。这一种随着冲积土壤而长高的特性, 是一般人造工程堤防所无法比拟的, 到处可见挡土墙因为被冲积的土壤淹没导致失去功能而被弃置, 就可以证明培地茅草篱会长高的特性是如何的重要而特别。

2.2 会长深加强的地锚

地基是一切建筑的根, 在水土保持工程中, 地锚是用来稳固地上结构的重要构造, 一般人相信树木森林具有水土保持功能, 除了植冠减缓雨水冲击力量, 树干提供储水功能之外, 最主要的一点就是树木的根系粗大深入土层, 提供类似地锚的功用。培地茅在根系的生育上是最令人称奇的, 培地茅的根系生长快速, 在培地茅网络的资料显示, 3 个月可达 1 m 深, 1 年可达 3 m 深, 平均长成的根系可达 5 m, 笔者的试验资料显示, 在 35 日温 30 夜温的条件下, 在砂土介质内 20 d 可深入土中达 80 cm。培地茅根部组织的拉张强度

(Tensile strength) 介于 40~120 MPa, 平均 75 MPa, 超过杨柳, 白杨木的 5~38 MPa, 赤杨木及纵木的 4~74 MPa。长成的培地茅根系庞大, 组织绵密错结, 在土层中提供大量的纤维构造, 所具有的断面强度 (Shear strength) 为 6~10 kPa per kg of root per m³ of soil 远超过一般树木的平均值 (3.2~3.7)。由以上资料显示, 培地茅根系的强度相较于大多数的树种是毫不逊色的, 同时培地茅被成功地运用于农地的水土保持, 主要原因是所具有的大量的根系绝大部分是垂直向下生长, 侧生根系极少, 因此不会与农作物竞争肥料与水分。应用在裸露坡地上, 培地茅可作为生态系统中的先驱植物 (pioneer plant), 先行稳定坡面, 等坡面稳定后, 原生的物种就可以自然滋生或进行人工树种栽植。

3 培地茅外表植株型态特征

培地茅外型类似柠檬草、香茅草或五节芒, 一般环境下株高可达 1 m, 开花抽穗后株高约为 1.5~2 m, 在合适的环境条件下其株高可达 3 m。培地茅所具有的下列外表特征, 推测是其提供水土保持功能的主要原因:

(1) 直立的株型: 培地茅外表挺立, 叶片直挺向上少见下垂, 叶片间不易形成彼此遮荫的现象, 推测此一特征是使培地茅植株能够紧邻生长在一起, 形成草篱而不会互相遮荫致死的原因。

(2) 抗倒伏性: 培地茅基部庞大, 虽然穗秆可达 3 m, 鲜少发生倒伏的现象。

(3) 强硬的茎秆: 高度木质化的茎秆及紧密纠结的基部构造, 提供地上部茎秆支撑阻挡土石的基础。

(4) 全年长存的地上部构造: 在部分地区, 培地茅有冬季或干季休眠的现象, 在休眠期间培地茅的地上部茎秆依然挺立, 仍保持足够的强度, 持续发挥拦截水土的功能。同时茎秆依然牢固地包围保护着近地表的生长点, 维持植株再生的能力。

(5) 自动抬升的能力: 当淤积的泥沙逐渐在培地茅的基部累积, 埋藏于地表下近表面的生长点会配合泥沙堆积的高度, 自动向上抬升以保持与土表适当的距离, 因此产生草篱长高的现象。当大量的泥沙在短时间内淤积而掩盖基部时, 除了在地表下的生长点会向上抬升之外, 如果此时在土面上的植物体除了叶片之外, 还包含有已延长的茎秆, 这些茎秆在近土面的茎节会长出新根, 成为新的分蘖, 维持草篱的存在, 同时也使草篱升高。

(6) 根篱: 相邻的培地茅植株其地下根部会互相纠结, 大量的根系在地表下形成根篱, 所能提供稳固土壤的强度超过一般的森林树种。

(7) 株丛的完整性: 大多数的多年生草种, 在生育多年之后, 株丛中间的分蘖会死亡而形成中空的现象, 培地茅的株丛极少发生此现象, 因此所形成的草篱能够长年保持完整。

3.1 生长势

培地茅为热带型植物, 生育的适温在 25 以上, 目前在全球应用的经验中, 培地茅主要是被栽植利用于赤道附近的热带地区, 现有的资料显示在马来西亚地区, 新植分蘖苗的

根部可在栽植后三周内向下延伸达 60 cm 深。生长一年后, 平均根的深度可达 3 m。

3.2 肥料需求与利用

培地茅基本上不需要施肥, 但是在恶劣的条件下, 为了使其成功地存活建立, 适当的使用肥料可加速草篱的形成, 只为了求其存活与建立只需施用磷肥 Diam monium phosphate。

虽然建立培地茅草篱不需要额外施肥, 但是培地茅庞大的根系其吸收肥料的能力是不容忽视的, 根据大陆学者的研究发现, 培地茅可以大量吸收氮肥与磷肥, 而这两类的元素正是造成河川优氧化 (Eutrophication) 的主要原因, 因此大陆学者在太湖地区建立利用培地茅来吸收湖水中过量氮肥与磷肥的系统以解决优氧化的现象。培地茅苗圃栽培管理措施中, 施肥可以促进分蘖芽的形成, 至于施肥量与肥料种类则有待进一步的研究。

3.3 肥料与资源竞争

培地茅在地上部可以形成草篱, 在土层中可以形成根篱, 庞大的草篱势必拦截大量的日照量, 产生某种程度的遮荫; 而地下根系, 吸收肥料的能力更不可忽视。因此栽培培地茅草篱对相邻作物产量的影响是一个值得研究的课题。根据目前的经验显示, 培地茅并不会使相邻作物的产量降低, 根据培地茅的生长习性, 推测原因应是来自地上部直立的叶片及不易倒伏的茎秆产生的遮荫不严重, 而地下部的根系垂直向下的生长特征, 少见侧生的根系, 而且超过 1 m 以上的根系, 远深于大多数作物 30~60 cm 的根系分布范围, 因此与作物竞争肥料的问题并不明显。

4 培地茅的环境适应力

一般植物存活与否取决于日照、温度、土壤及水分等因子, 通常是各因子间的组合决定植物是否可以存活, 但在各因子的临界范围以外, 该因子就成为限制因子, 而具有完全的决定性。

培地茅的环境适应性非常广泛, 以下分就日照、土壤、温度及水分等四项因子叙述。

4.1 日照适应性: 全日照到全遮荫

成熟的培地茅植株可在全日照到近乎完全遮荫的环境下存活。培地茅为热带型植物, 在澳洲开阔的草原及沙漠边缘以及南非开阔的采矿区, 可接受到强烈的日照, 培地茅愉快地生长; 另一个极端则是在南洋太平洋盆地的橡胶树林下, 浓密的橡胶树冠, 造成树下林内在正午时候几乎是完全遮荫的环境, 成熟的培地茅植株可在林荫下存活数年以上。

值得注意的是, 据目前初步的观察发现, 培地茅分蘖芽或分株新移植到植株成熟之前至少要有半日照以上的环境, 以利其生长发育。

4.2 土壤适应性

培地茅适应的土壤质地广泛, 沙地, 壤土、黏土等各种质地的土壤皆可生长。

土壤的酸碱值的适应范围: pH 3~9.5, 相较于大多数植物 pH 4~8 之间的生长范围, 培地茅对土壤酸碱值的适应

力是非常惊人的。培地茅适应的土壤种类包含极端的红土到黑色泥岩土都可生长。

对于土壤中对植物能产生毒害的金属元素的耐性,培地茅的表现也高于大多数的植物。根据澳洲纽西兰土壤重金属污染标准(表 1),培地茅在污染地存活的机会较大数的植物高。

表 1 澳洲纽西兰土壤重金属污染标准及一般植物与培地茅的忍受范围

重金属种类	环境污染标准 /(mg·kg ⁻¹)	一般植物忍受范 围/(mg·kg ⁻¹)	培地茅忍受范围 /(mg·kg ⁻¹)
砷(As, Arsenic)	20	2	100~250
镉(Cd, Cadmium)	3	1.5	20~60
铜(Cu, Copper)	60	NA	50~100
铬(Cr, Chromium)	50	2	200~600
镍(Ni, Nickel)	60	7~10	100
汞(Hg, Mercury)	1	0.04	>6
铅(Pb, Lead)	300	10	>1500
锌(Zn, Zinc)	200	NA	>750

4.3 盐分地土壤之耐盐性

因为气候的变迁,降雨量减少后,土壤裂变的结果通常造成盐分的累积,最耐盐的农作物为大麦,其可忍受之最高土壤 EC 值为 8,当 EC 值达到 18 可使其减产一半,培地茅可忍受的 EC 值为 8,EC 值达到 20 会使其地上部草量减产一半。但培地茅可在 EC 值达到 47.5 的土壤中存活(注:海水的 EC 值为 45~50)。台湾本岛南部地区有部分土地属于盐分地,另外在本岛西部新兴的滨海工业区、澎湖、以及金门因紧邻海岸,海风带来大量盐分累积在土壤中,在此类地点的防风定砂工作,培地茅应具有相当的利用价值。

4.4 温度适应性

培地茅在有纪录的观察中,显示可在地表结霜温度达到摄氏-14 存活,当热浪温度达到摄氏 45 时仍然可存活。培地茅为热带型植物,解剖上具有 C4 型光合作用组织,一般而言 C4 型植物的最佳生育适温为 30℃,本研究室目前的初步观察结果显示,培地茅在 25 以上即可达到最高的生长速率。

4.5 水分需求性

培地茅属于旱生植物(Xenophyte)又属于水生植物(Hydrophyte),它可以存活在土壤浸水的状态,也可以存活在沙漠边缘地带,以年降雨量而言,最低降雨量达到 250 mm,最高降雨量达到 5 000 mm 的地区内,培地茅都可存活;以雨量年分布而言,在无有效降雨的环境中,培地茅可存活达 5 个月,在连续淹水的状态下,培地茅可存活达 8 个月。本省各地年降雨量在 922(东吉岛)到 4 929(鞍部)mm 之间,就降雨量而言,对培地茅生育应不致造成严重问题。

5 培地茅的效益与利用

5.1 静风定砂

培地茅株高在正常的环境下可达 2~3 m,但在风势强劲的环境下,株高约可达 1 m,由于培地茅可形成草篱,其效果类似竹篱笆,可降低风速,提供草篱后方静风的环境,具大

陆相关人员的经验显示,草篱后方约 10 m 内的风速可降低到栽培作物的需求。

5.2 水土保育

培地茅形成的地上部草篱与地下部根篱可有效拦截地表径流与泥沙、树枝、石块等物体,同时延迟降雨的水快速流入河川,使其能渗入土中,同时提高地下水位,保育水源。

5.3 净化水质

培地茅庞大的根系,可有效快速吸收氮、磷肥,将农业操作中,因过量施肥而流失到深层土壤的元素吸收,以免进入地下水层或排放到河川而污染水源。对于特定的除草剂,培地茅具有吸附净化的功能。

5.4 废耕地保育与复育

许多因人为污染或天然环境改变致使土地无法生长植物或利用,培地茅广泛的土壤适应性,与对大多数重金属等污染元素的耐性与吸收性,使得培地茅成为此类废耕地复育与保育计划最佳的材料。

6 培地茅技术利用于工程设施

培地茅技术在联合国所属世界银行的推动下,原本的目标是以农地的水土保持为主,但却在工程设施的应用上绽放异彩,主要的原因是培地茅的施工方便,价格便宜同时又能达成预期的效果,在大陆与菲律宾地区由于低廉的劳工费用,利用培地茅技术进行边坡稳固的费用相较于混凝土约可节省 85%~90% 的经费。

目前培地茅技术已被利用于下列的工程设施中,有效地发挥功能:

6.1 陡坡的稳固

在澳洲培地茅技术被应用于公路及铁路边的陡坡、隧道口坡顶坡面的稳固及排水涵管的土石淤塞防治,以及采石场与垃圾掩埋场的土石稳固等。培地茅草篱除了提供水土保持的功能之外,长成的草篱经过修剪也具有不错的景观效果。

在马来西亚、中国大陆、菲律宾、西班牙、葡萄牙、南非、马达加斯加、辛巴威等国家也有大规模类似的应用。

6.2 水库、蓄水池边坡及泄洪道的水土保持

水库及蓄水池的边坡除了坡面的特性与上述的陡坡类似,更因为水位随着进水量的变化,使得在高低水位间的边坡利用植物进行护坡的工作不易进行,培地茅耐旱又耐浸水的特性使得培地茅成为此类地形的最佳候选材料。在澳洲、辛巴威、葡萄牙都有类似的应用。

培地茅紧密纠结的根系可以有效的固着土壤,因此在泄洪道内泄洪时大量湍急的水流冲击下,土壤仍可有效的受到保护。辛巴威有成功的经验。

6.3 洪泛区内的结构体保护

洪泛区内的道路系统,常在洪水后地基被掏空而损毁,种植在紧邻结构体上游面的培地茅草篱可有效减缓水流的速度,地下部的根篱则可稳固土壤减少地基的流失而保护这些结构体。在澳洲有许多成功的案例。

6.4 河川、溪流及排水灌溉渠道等水路的护岸工程

水路等设施通常地势较低以利地表排水的流入,因此泥

沙淤积的问题也就伴随着普遍发生, 利用培地茅草篱沿着排水流向拦截泥沙, 保护水路的通畅在澳洲、菲律宾、中国大陆、马来西亚、辛巴威、南非, 有明显的成效。

河流两岸水流的速度不同而形成的冲积与冲蚀岸, 日久将改变水道的路径, 对于桥梁等设施将会造成影响, 透过培地茅草篱的设置可有效控制河岸的冲蚀而稳定水路, 在澳洲、菲律宾、中国大陆、马来西亚、辛巴威、南非, 也都有明显的成效。此外, 在菲律宾, 培地茅草篱也被应用于 坦池塘的护岸。

6.5 混凝土与石块构造体的保护

排水沟的进水与出水口等的混凝土结构体, 以及蛇笼等石块构筑体或其它固定构造体由于经常受到水流的流动而受到冲蚀, 因此这些结构体周围的土壤极易被冲刷形成淤积而降低这些设施的功能, 培地茅草篱透过其深长坚固的根系及地上部密实的草篱可以降低水流冲蚀的力量, 栽植在结构体上游面的草篱更可拦截泥沙减少淤积的速率, 需要清除淤泥时, 只需处理草篱上游面的部分, 相对于深入设施结构体内进行清除, 操作上是方便许多。

表 2 培地茅草篱坡面离与坡度							
坡 度		陡度	坡面距离 / m				
度数	百分率			度数	百分率	陡度	坡面距离 / m
1	1. 7	lin57. 3	57. 3	23	42. 5	lin2. 4	2. 6
2	3. 5	lin28. 6	28. 7	24	44. 5	lin2. 3	2. 5
3	5. 3	lin19. 1	19. 1	25	46. 6	lin2. 1	2. 4
4	7. 0	lin14. 3	14. 3	26	48. 8	lin2. 0	2. 3
5	8. 8	lin11. 4	11. 4	27	51. 0	lin2. 0	2. 2
6	10. 5	lin9. 5	9. 6	28	53. 2	lin1. 9	2. 1
7	12. 3	lin8. 1	8. 2	29	55. 4	lin1. 8	2. 1
8	14. 0	lin7. 1	7. 2	30	57. 7	lin1. 7	2. 0
9	16. 0	lin6. 3	6. 4	31	60. 1	lin1. 7	2. 0
10	17. 6	lin5. 7	5. 8	32	62. 5	lin1. 6	1. 9
11	19. 4	lin5. 1	5. 2	33	65. 0	lin1. 5	1. 8
12	21. 3	lin4. 7	4. 8	34	67. 5	lin1. 5	1. 8
13	23. 1	lin4. 3	4. 5	35	70. 0	lin1. 4	1. 7
14	25. 0	lin4. 0	4. 1	36	72. 7	lin1. 4	1. 7
15	27. 0	lin3. 7	4. 0	37	75. 4	lin1. 3	1. 7
16	28. 7	lin3. 5	3. 6	38	78. 1	lin1. 3	1. 6
17	30. 6	lin3. 3	3. 4	39	80. 1	lin1. 2	1. 6
18	32. 5	lin3. 1	3. 2	40	84. 0	lin1. 2	1. 6
19	34. 4	lin3. 0	3. 1	41	87. 0	lin1. 2	1. 5
20	36. 4	lin2. 8	3. 0	42	90. 0	lin1. 1	1. 5
21	38. 4	lin2. 6	2. 8	43	93. 0	lin1. 1	1. 5
22	40. 4	lin2. 5	2. 7	44	42. 5	lin2. 4	1. 5
				45	100. 0	lin1. 0	1. 4

7 种植培地茅

培地茅用于水土保持用途的品种是无法产生有效种子, 因此必须使用无性的营养繁殖, 此一特点使得培地茅无法自

然扩散, 转变成杂草而造成生态的问题, 正是培地茅被世界各地广泛接受采用的原因之一。台湾经由本研究室过去三年的采集与引种、并完成检疫以及环境适应性评估, 目前密切地与各界接洽, 积极建立培地茅草苗繁殖体系。虽然邻近的大陆与菲律宾都有培地茅草苗的供货商, 但牵涉到植物检疫手续, 避免引进草苗的同时夹带有害的地下线虫而损及台湾农业生产, 培地茅草苗并不允许进口。

供作水土保持用的培地茅草苗, 建议使用下列三种类型的草苗:

7.1 分株苗

自繁殖田区采收成熟植株, 将地上部茎叶修剪为 20 cm 株高, 然后以圆锹类工具连根将培地茅成株掘起, 将土块自根部清除, 以手将株丛以 3 支分蘖为单位分为数小丛, 将每小丛根部修剪为 10~ 15 cm 长, 如此就成为分株苗, 尽快将分株苗栽植到现场, 如果无法及时种植, 可将分株苗浇水湿润后, 置入黑色塑料袋, 袋口保持小缝隙通风, 避免袋内温度升高, 如此约可维持 3 d, 务必在 3 d 内完成种植。种植后 1~ 2 周应检视各移植苗, 如有枯萎者应立即更换, 以保持未来草篱的完整性。此类草苗适合用于易于进入与操作的现场使用。

7.2 袋 苗

将上述的分株苗移入 4 英寸乘 6 英寸的育苗袋中种植育苗, 在 5~ 6 周后将袋苗移植到现场, 育苗的工作可在施工现场工地附近进行以利搬运操作, 袋苗的成活率高于上述的分株苗, 适用于操作较困难的现场, 同时必须有一次种植就成功的状况条件下。

7.3 条 苗

将分株苗种植于长条型苗床, 苗床作沟分株苗植于沟内, 沟深约 15 cm, 宽约 10 cm, 长约 1 m, 育苗 2 个月, 分株苗根部纠结形成条状, 施工可整条种植, 速度较快, 成活率高。成功的培地茅草篱首在于取得与使用健壮的草苗。

8 培地茅草篱施工要点

培地茅的应用可配合特定用途加以调整, 如用于水土保持使用时, 下列两个要点必须确实遵守以使草篱能发挥预期的功能:

- (1) 沿等高线种植培地茅草篱。
- (2) 种植草苗的株距控制在 10~ 15 cm 之间, 不可大于 15 cm。

如欲应用培地茅草篱于坡面护坡工程时, 为有效发挥护坡的功能, 在较长的坡面需种植数行草篱, 所需的行数需配合坡度与土壤质地调整, 如果在易于流失的土质如砂植土, 可加多行数并缩短行距: 培地茅的行距需配合坡度加以调整, 根据培地茅网络技术资料建议, 如表 2。

本表所列的坡面距离是根据草篱间垂直落差距离(VI, Vertical Interval) 1 m 计算。利用本表计算草篱坡面距离可将设计的草篱垂直距离乘以表中的坡面距离即得。如: 在 70% 的坡面上, 设计的草篱垂直距离为 2 m, 则施工时在坡面上草篱的间距为 2 × 1. 7= 3. 4 m。

参考文献:

- [1] 王裕文. 绿色环保新尖兵——培地茅[J]. 杂草学会 1999 年年会及会员大会特刊, 1999.
- [2] CIRIA. Use of vegetation in civil engineering[M]. N J Coppin & I G Richards, Editors. London: CIRIA/ Butterworths, 1990.
- [3] Dafforn, M. Know your hedge vetiver: environmental concern about *Vetiveria zizanioides* [A]. Proc. First Int. Conf. on Vetiver, Chiang Rai, Thailand[C]. 1998, 293– 303.
- [4] Dalton, P A, R J Smith, P N V Truong. Vetiver grass hedges for erosion control on a cropped flood plain: hedge hydraulics[J]. Agricultural Water Management, 1996, 31: 91– 104.
- [5] Hengchaovanich, D, Nilaweera, N S. An assessment of strength properties of vetiver grass roots in relation to slope stabilization[A]. Proc. First Int. Conf. on Vetiver, Chiang Rai, Thailand[C]. 1998, 153– 158.
- [6] IBRD. Vetiver grass for soil and water conservation, land rehabilitation, and embankment stabilization[M]. R G Grimshaw and L Helfer, Editors. Washington, D C: IBRD/World Bank, 1995.
- [7] National Science Council. Vetiver grass: a thin green line against erosion[M]. Washington, D C: National Academic Press, 1993.
- [8] Rodriguez P O S. Hedgerows and mulch as soil conservation measures evaluated under field simulated rainfall[J]. Soil Technology. 1997, 11: 79– 93.
- [9] Truong, P, and D Baker. Vetiver grass system for environmental protection[Z]. Pacific Rim Vetiver network, Technical Bulletin No. 1998/ 1, 1998.
- [10] Wu, T H. Slope stabilisation[A]. Morgan, P C and Rickson, R J, Editors. In: Slope stabilisation and erosion control: a bioengineering approach, [M]. London: F N Spon/ Chapman and Hall. 1995.
- [11] 培地茅网络网站 <http://www.vetiver.org/>.
- [12] 台大农艺系草地研究室培地茅网页 <http://grassland.agron.ntu.edu.tw/vetiver.htm>.

(上接第 96 页)

- [15] Aston, A R. Evaporation from eucalypts growing in a weighting lysimeter: a test of the combination equation[J]. Agriculture and Forest Meteorology, 1984, 31: 241– 249.
- [16] Brutsaert, W. Evaporation into the atmosphere— theory, history, and applications[M]. [s. l.]: D. Reidel Publishing Company, 1984.
- [17] Fynn, F P, A Al-shooshan, T H Short, et al. Evapotranspiration measurement and modeling for a potted Chrysanthemum crop[J]. Transactions of the ASAE, 1993, 36: 1907– 1913.
- [18] Gates, D M. Energy exchange in the biosphere[M]. New York: Harper & Row, 1962.
- [19] Hall, D G M, Reeve, M J, Thomas-son, A J, et al. Water retention, porosity and density of field soils[J]. Soil Surv. Tech. Monogr. 1997. 9.
- [20] Kramer, P J. Water relation of plants[M]. New York: Academic Press, 1983. 57– 83, 146– 186, 331– 336.
- [21] Lin, Shin-Hwei, Chun-Pi Chang. Environment problems and revegetation methods on the mudstone area in southwestern Taiwan[A]. Seminar on Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilization. Apr. 19 – 21., 1999. Manilla, Philippine, 1999.
- [22] Penman, H L. The dependence of transpiration on weather and soil conditions [J]. J. Soil Sci., 1949, 1: 74– 89.
- [23] Rosenberg, N J, B L Blad, S B Verna. Micro-climate; The biological environment[M]. 2nd ed. [S. l.]: John Wiley & Sons, Inc 1983.
- [24] Thomasson, A J. Assessment of Soil Droughtiness[J]. Soil Surv. Tech. Monogr. 1979, 13: 43– 50.
- [25] Van Meurs, W Th M, C Stanghellini. Use of an off-the-shelf electronic balance for monitoring crop transpiration in greenhouses[J]. ACTA Hort. 1992, 304: 219– 226.