



### 香根草技术应用于坡地农作中控制侵蚀和改善生产力

Efiom Essien Oku Emilolorun<sup>1)</sup>

Ambrose Aiyelari<sup>1)</sup>

Kwabena Owusu Asubonteng<sup>2)</sup>

(1, 尼日利亚伊巴丹大学; 2 联合国大学非洲自然资源学院)

#### 摘 要

在尼日利亚东南部很大一部分土地为中到陡的坡地, 在通常耕作过程中没有水土保持措施。这样的农业耕作活动对耕地周围环境会造成影响, 导致土壤、水、碳和植物养分流失, 明显减少作物产量。本研究评价了 45% 坡度上运用香根草缓冲带减缓退化的功效。按 5m、15m、25m 地表行间距种植的香根草缓冲带, 并相互比较, 用农民常规生产作为对照。设定了 12 个侵蚀小区, 每个小区 50m 长、3m 宽。每个小区按传统的玉米 (每公顷 10000 株) 与木薯 (每公顷 30000 株) 间作模式种植。试验前后, 在实验室测定了土壤容重、有机碳氮磷、交换性盐基等。也测量了地表径流、土壤侵蚀量、作物产量、降雨量等。对应农民常规生产、5m、15m、25m 香根草缓冲带, 2010 年降雨径流损失分别为 29%、7%、12%、13%, 2011 年分别为 21%、8%、10%、11%。香根草缓冲带小区作物产量明显高。第二年, 对于农民常规生产小区产量降低, 而香根草缓冲带小区产量增加。与农民常规生产小区相比, 2010 玉米产量在 5m、15m、25m 香根草缓冲带小区分别增加 55%、27%、32%, 2011 年分别增加 89%、69%、68%。2010 木薯产量在 5m、15m、25m 香根草缓冲带小区分别增加了 76%、47%、41%, 2011 年相应增加了 289%、206%、188%。2010 年, 在 5m、15m、25m 香根草缓冲带小区上, 侵蚀沉积物中碳损失比农民常规生产小区低 91%, 41%, 21%, 2011 年则低 300%、177%、84%。同样地, 2010 年氮的损失分别低 80%、28%、29%, 2011 年分别低 175%、120%、57%。5m 行间距的香根草缓冲带明显减少了径流和土壤流失, 增加了作物产量。此外, 与农民常规生产相比, 香根草显示了适应气候变化和减缓温室气体排放、碳氮固定、水利用效率提高的多重潜力。

#### 1 前言

##### 1.1 侵蚀损失清单

土壤侵蚀已经成为发展中国家面临的重要环境挑战。全球范围内, 每年大约损失 200 亿吨土壤, 相当于 700 万公顷的耕地。Pimental (2006) 更新了这一数字, 他报道 2005 年大约 1 千万公顷的作物损失掉了, 这表明每年有超过 1 千万公顷耕地无法耕种。据 Pimental 和 Skidmore (1995) 报道, 全球每年从土地上侵蚀掉的  $7.7 \times 10^9$  吨土壤中, 有三分之二来源于农田。同样来自上述研究者的报道, 每年全球土壤流失的量损失达 4 千亿美元。

非洲 30 亿公顷土地中, 有 18 亿公顷, 约 60% 的土地易于侵蚀。几份研究已报道了非洲大陆可观的土壤流失量。联合国粮农组织 (1986) 和土壤保持研究项目 (SCRIP, 1987) 估计在埃塞俄比亚每年的土壤流失量在 15-30 亿吨/年, 其中 50% 在陡坡地。这个数字一定已经增加了, 因为 Pimental (2006) 报道了他的发现。在南非, 每年 3-4 亿吨土壤流失掉了, 相当于 10 吨/年/人。在马里和布基纳法索, 每年的土壤流失量据报道也是高的, 并有相同趋势, 尽管没有给出具体数据。在津巴布韦, Hudson (1957) 和 Elwell (1985) 报道了 50-70 吨/公顷/年的土壤侵蚀量。整个国家通过侵蚀损失的养分据计算达到每年 4.06 亿美元 (按 1985 年的价格计算)。在尼日利亚, Famesco (1992) 报道, 超过 850,000 公顷农田受严重侵蚀影响。尼日利亚东南部部分地区的沟蚀清单表明大部分冲沟是由坡耕地耕作活动、未保护的陡坡和地表径流造成, 而另外的因素是未受控制的坡面漫流和错误的建设。

##### 1.2 影响土壤侵蚀的因素

农业活动、放牧、焚烧灌木、毁林以及其他形式的植被清除是坡地侵蚀的关键因素。植被缺失, 降雨打击土壤表面, 破坏土壤团聚体, 封闭大孔隙。其结果是减少了水的渗透性, 增加了水的表面移动。覆盖一定量植被的土壤能够截留雨滴, 保持水分, 减少降雨、径流和风的侵蚀。此外, 地表具有接受较高降雨的能力 (渗透性)。受侵蚀的土壤通常结构较差, 肥力低且不稳定。据报道坡度和坡长影响侵蚀的频度和强度。作为重要的侵蚀营力, 径流随着坡度的增加而增加, 较高的地势与较强的侵蚀相关。

##### 1.3 坡地农业及其后果的全球趋势

坡地的农业利用通常被认为不太合适, 但现在热带地区却越来越多。这一活动在缺乏平整农田和以坡地景观为主的国家很常见。由于人口的压力, 意味着对于平坦土地有更多的需求, 农民只有选择开垦坡地。据 Thurow 和 Smith (1998) 统计, 热带地区大约有 10 亿公顷坡地。同一报道显示, 洪都拉斯 80% 的土地是陡坡地, 这

个国家 70% 的粮食是在贫穷的农村由落后的农民生产的。在亚洲，这种农业活动正在扩大，正如 IBSRAM 所报道的，坡地占据了东南亚和中国土地面积相当大的比例。

例如，Maglinao (2000) 报道，中国南方 90% 的土地相当于 2.18 亿公顷以山地为主，泰国北部和西部 35% 为坡地。菲律宾有 940 万公顷土地是坡地，占这个国家国土面积的 31%。在马来西亚，相应数字是 470 万公顷和 36%，而越南是 2500 万，这个国家 75% 的土地是山地。没有采用水土保持措施的坡地耕作也增加了这些景观上面蚀和沟蚀的强度。尼日利亚东南部的森林区，在坡地上林地改为耕地的现象不仅普遍而且有快速扩大的趋势。这已经导致景观内广泛的侵蚀，伴随着导致作物产量降低的土壤退化，增加了土壤碳氮排放水平。这种长期坡地的农业生产导致土壤丧失生产力，进而提高了粮食价格，居民缺乏营养，失去生计。Pimentel 等 (1995) 已注意到发展中国家坡地快速由林地转变成农用，联合国粮农组织 (1982 和 1990) 也关注了这一趋势。

尽管如此关注，据报道洪都拉斯还是在坡地上生产了这个国家 75% 的谷物 (Juo and Thurow 1998)。Hellin (2003) 观察到热带地区坡耕地上由于缺乏土壤保护措施导致侵蚀的普遍性。清除自然植被被斜坡耕作加速了土壤侵蚀。这是违背自然生态系统条件的，因为在自然生态系统条件下，土壤、水、植物通过高度内循环的恒定作用来维持土壤肥力。这种作用不仅可防止淋溶，还可维持土壤系统内养分和能量 (碳) 流。Hellin (2003) 观察到，在农民传统的或通常的生产活动下，养分和能量在斜坡上容易随径流和侵蚀物冲走。养分损失量常常是不可替代的，因为添加的养分也会持续被冲出田块。运用合适的水土保持措施，养分和碳损失可明显减少，添加的有机和无机肥料也将保留在田块中，以补偿损失的养分。

一些国家已经设定了可接受的、用于耕作的坡度限值，作为减少退化的措施。中非部分国家，限值是 12%；菲律宾是 25%；以色列是 35%；埃塞俄比亚是 30%。然而，坡耕地的耕作者并不遵守这些限值，在土地短缺、人口压力大的地区，管理者也很难应用这些限值。出于生计考虑，将农民搬出这些地区也不是一个好的办法。因此，有必要开展既适合农民又环境友好的可持续水土保持技术研究。

人口增加意味着对食物和物资需求增大，否则难以满足和支撑额外增加的人口。资源匮乏的小户农民家庭需要满足家庭食物和营养需求，也需要满足诸如卫生保健和教育等社会责任。解决这种供需矛盾需要有关提高产量或扩大耕地面积的技术。大部分农民选择后者，因为这些技术成本低，容易达到目的。然而，耕地扩大在平坦土地受限时，农民只得耕种坡地，尽管坡地并不能提供良好的耕作条件 (图 1)。加上尼日利亚西南部强的降雨侵蚀力，土壤侵蚀导致作物产量降低成为普遍现象。侵蚀成为食物和人类安全的主要威胁，尤其对于农村的农民，也成为热带地区年轻人从农村向城市转移的部分原因。



图 1 尼日利亚东南部罗斯河州传统农业生产活动

尼日利亚东南部在坡地上利用丘作是一个传统的耕作方法，也是常见的生产方式。Armon (1984) 报道丘作更增加了土壤流失。在坡地上垒起土丘时，土丘之间的空间受重力影响成为地表径流的通道。尽管在研究区，尤其是陡坡耕地上，存在较高的侵蚀风险，农民仍然在坡地上采用丘作的方式进行农业生产 (图 1)。

农民们也意识到土壤正在不断流失，产量不断降低，耕作的坡地土壤石砾越来越多，越来越贫瘠。尽管增加了土地侵蚀的敏感性，但丘作方式的持续运用在农民的社会文化习惯上根深

蒂固，他们较少考虑到农学、地形或农业生态上的影响。农民没有好的土地可供选择，因为陡峭的地形是他们社区的主要景观。该地区传统的作物耕作制对水土保持方法的知识有限，所以绝大部分农民并不采取水土保持措施。一些农民也怀疑采用水土保持措施是否可以解决产量降低的问题。从研究者和农民的观点来看，任何水土保持方法的开发要面临下面两个问题：

- 多少土壤、水和植物营养随土壤侵蚀而流失？
- 在坡耕地上耕作，作物产量减少多少？

#### 1.4 减少土壤侵蚀的技术和方法

大部分关于农田侵蚀控制的研究聚焦在试验站和缓坡地上，导致这些控制措施难以在农民的田块上采用。在尼日利亚，大部分农田土壤保持或侵蚀控制措施只在刊物和文件中发现，或者在研究机构的田块上看到。秸秆覆盖的方法常被用来减少土壤流失。单一的秸秆覆盖仅仅适用于很缓的坡地上控制侵蚀，因此仅应用于小于 5% 的缓坡地上。沿田块等高线构筑石质田埂也是一种被推荐的方法，且在布基那法索得到应用。石质田埂或石墙是有效的，但是，它们的实用性依赖于坡度，因为石头在流水、径流或重力作用下容易滚落。使用等高水槽拦截流水、构筑梯田防止径流和侵蚀的方法在尼日利亚西部和东南部一些试验地可以看到。但是，石墙、水槽和梯田也常常被径流的冲刷而遭到破坏，需要农民定期维护。

这些常规的农田土壤侵蚀措施一般适合于缓坡地。随着农田不断向陡坡地扩大，需要对增加地表覆盖的其他土壤侵蚀控制措施作出评价，并推荐给农民。不同植被结构如草地的使用潜力曾经被强调。所研究的性质包括一些种类草地厚的根系与陡坡地上片蚀、沟蚀的相关性。Junge (2008) 报道了一些减少土壤流失的机械措施尽管有效，但安装、保养很昂贵，农民难以接受。Grimshaw 和 Larisa (1995) 曾报道昂贵的工程措施很少在

农田获得成功。同时也注意到即使一些方法农民能负担得起，但很费时，还占用农民的耕地。坡度越陡，工程措施要求越复杂。另一方面，实践证明，大部分工程技术难以接受，对贫穷而受教育程度较低的农民难以理解。

在水土工程系统/设计中，截流即意味着径流无法渗入土壤。而是将径流收集，通过渠道导流到坡下。如果降雨强度较大以及产生径流量很大，这有可能对下游河道造成损坏。香根草缓冲带，或称为香根草技术，是世界银行（1993）、Grimshaw（1993）、Grimshaw 和 Larisa（1995）等推荐的水土保持植被覆盖方法。这种技术便宜、简单、可重复、有效且绿色。关键是这种技术能保护农民在陡坡地上的耕种。

运用香根草缓冲带，与机械工程措施不同，好处不在于地表径流的分流，而是减少斜坡的长度，降低地表流水的速度，过滤颗粒物，以便减少斜坡和下游河流的损坏。香根草缓冲带形成垂直坡面的保护屏障，减少侵蚀，将颗粒物沉积在植被屏障（香根草篱）前。香根草缓冲带将径流中的土壤颗粒物过滤，截住和减缓径流不使其流走。停留在香根草篱的径流水分可渗入土壤中。径流沿土壤表面缓慢向下流动，一路被香根草篱截流分散。水分下渗到土壤和植物根系分布区，使得农民可从降雨获益，滋润他们的田块。农民易于掌握香根草缓冲带技术，不需要特殊的技能来设计和应用。即使在坡度很大的地区，香根草缓冲带的使用也不会受到任何限制。这就意味着在合理的侵蚀控制水平上，人们可以有效的进行作物生产。

采用香根草缓冲带技术保护了陡坡耕地，可以保证一定的生活来源，保障了人类的安全。香根草缓冲带显示了恢复退化土壤的潜力，消除了农民对于他们土壤越来越瘠薄的担心。香根草篱形成五年后，据观察改善了侵蚀退化田块的土壤物理性质。这可以与有机和无机肥混施的田块作比较。在某些情况下，香根草田块土壤物理性质的改观明显要好。香根草篱并不与地里的作物竞争，因为其根总是垂直向下伸展，而茎叶总是向上生长。

以往文献中报道的有关土壤侵蚀和控制研究，大部分在平地或坡度小于等于 15%的缓坡地上进行的。一些科学家曾经建议有关侵蚀研究应从缓坡地向陡坡地转变。坡地上合适行距的香根草缓冲带是有效的。关于香根草篱控制侵蚀的最佳行距随着地块作物和坡度不同而变化。在泰国北部，1997-1999 年的研究调查了不同坡度下澳大利亚坚果种植地上香根草篱控制土壤侵蚀的合适行距。三个草篱被种植在高坡地（>40%）和低坡地上。行距为 1 米、1.2 米、1.5 米。结果表明，1 米行间距效果最佳。在斯里兰卡，Inthapan 和 Boonhee（2000）在 20%坡度的坡地上按 1.2 米和 3 米的行间距种植了香根草篱。结果显示，对土壤侵蚀控制效果没有明显差异。研究者推荐在泰国北部和斯里兰卡在大部分坡地上 2-3 米的行间距是最合适的。

在尼日利亚西南部，Babalola 等（2007）在种植豇豆和玉米的缓坡地上（<5%）种植了 20 米间距的香根草篱，结果显示，与没有香根草篱的田块相比，产量明显高。在越南，Phiem 和 Tam（2003）报道，2 米行间距的香根草篱提高产量 15-30%，尽管作物和坡地没有提及。从逻辑上讲，土壤侵蚀将随着香根草篱间距的缩小而减少，然而，农民在采用香根草技术时，可以根据传统的种植间距来确定。将香根草缓冲带与传统农作物种植结合时，草篱间距的确定应该以农民可接受的最大限度来决定。

如果不考虑农业生产，而是考虑保护坡地防止滑坡、造林或者果树种植等，较小的行间距是好的。农民更乐于接受较大的行间距，对他们而言，合适的行间距可能是既可控制侵蚀，又能保证坡耕地作物产量的增加。

这是香根草缓冲带技术应用于坡耕地侵蚀控制和作物生产的先决条件。也将使农民能享受到香根草作为农业技术在适应气候和减缓温室气体排放两方面带来的双重利益。这样，有必要确定一个最佳的香根草缓冲带行间距，既能让农民接受，又能达到控制侵蚀的效果。这篇报告的目的就是在农民大宗作物生产的耕地上确定保持水土的最佳香根草篱行间距。

## 1.5 研究目的

本研究的目的是：

- i 评价香根草缓冲带在木薯和玉米混作的传统作物生产中的效果；
- ii 评价香根草缓冲带坡耕地上可以减少/控制土、水、作物营养损失的最佳行间距。

## 1.6 研究的可行性

土壤侵蚀是一个生态恶魔，它通过减少生态系统生产能力和支撑生计的服务能力而不断削弱其可持续性。在尼日利亚东南地区水蚀问题更严重，以山地景观中强烈的沟蚀为特征。已有观察表明，大部分遭受沟蚀的农田都位于没有任何侵蚀控制措施的坡地上。尼日利亚东南部的大片土地以中到陡坡为主，尽管这个高原的总面积并无文献报道。人口的压力，平坦耕地的紧缺，迫使资源紧张的农民不断开垦陡坡地用于作物生产。尽管已有科研报告报道，这些景观由于高侵蚀危险性，并不适合农业生产，但目前农业活动正迅速向这一高原地区扩张。大量土壤和养分被冲刷到坡底，沉积在河流中，引起河流淤塞以及富营养化。

淤塞即意味着未来对下游和海湾地区的社区有不同程度威胁，富营养化也威胁水生生态系统。富营养化还会引起水生环境缺氧，导致鱼类等生物体死亡。此外，土壤积蓄的能量和氮以二氧化碳和氧化亚氮的形式释放到大气中。导致温室气体排放的增加，而不是智能农业所希望的那样减缓温室气体排放。这表明，这种传统农业既不智能，也不可持续。

大部分土壤侵蚀和侵蚀控制的研究都是在平坦地区或在最大坡度小于等于 10%的丘陵地上进行的。Thurrow 和 Smith（1998）在洪都拉斯南部的工作和报告表明，侵蚀控制和陡坡地的研究实际被忽略，因为在农业社区缓坡地上的工作更方便。这方面研究的缺乏并不意味着这些土地未被利用和耕作。土壤学家曾号召要从缓坡地上的定量研究转向陡坡耕地的水土保持研究。由于可耕作的平坦土地越来越少，尼日利亚东南部的农民不断蚕



食陡坡地，并在上面耕种。这样，为了解决由于陡坡地强度耕作引起水蚀导致的土地退化，在这样的土地上有必要开发和应用一些技术，确保其可持续生产。这也将帮助维持乡村农民的生活来源、家庭食物和营养安全。

## 2.0 材料和方法

### 2.1 研究区简介

野外试验在尼日利亚东南部罗斯河州中部地区(5°45′-6°30′N; 8°00′-9°30′E)的陡坡地(45%)上进行(图2)。区内雨季在三月开始，旱季从每年十月开始。降雨模式为六月和九月两个峰的双峰模式。年降雨量在2000mm到2250mm之间。试验区的土壤类型为氧化不饱和始成土(始成土纲)。社区的大部分土地是中到陡的坡地(坡度>15%)。

试验坡地的坡度用定镜水准仪测定。原始植被是由热带雨林转变的次生林和草地。木薯、玉米和瓜子瓜曾在研究区按传统的垄作模式种植。试验前后土壤样品采用严格的网格取样。样品沿下坡按5m间隔取样。全样和混合样被采集供分析之用。以前的研究中, Oku等(2010)显示土壤物理化学性质无多大变异。

### 2.2 侵蚀小区设置

侵蚀小区用来度量径流和土壤的流失量,它们是设置在坡地上的小块地(Biswas和Mukherjee, 2005)。地块长50m,宽3m,面积150m<sup>2</sup>(Hudson, 1993)。每块地用土埂与周围隔离开来。埂高30cm,以防止径流由一块地流入并污染另一块地。每块地最下方用水泥板建成漏斗颈,连接一水槽,下接出口分水器(含3个出口),用PVC材料制成,直径11cm,将水流收入沉积桶中(见图3,4)。分水装置有奇数个开口(Biswas and Mukherjee, 2005),只有中间水管连至沉积收集桶(Miller, 1994)。径流

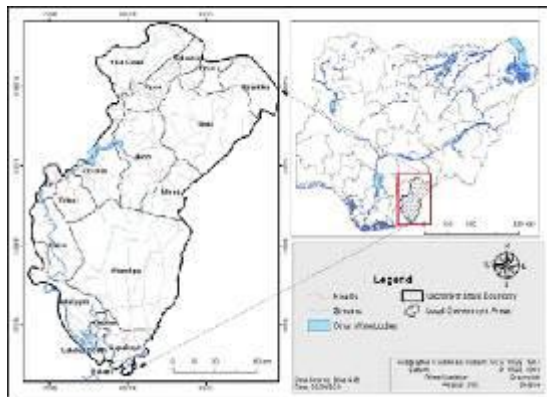


图2 尼日利亚东南部罗斯河州地图显示试验位置

和土壤首先收集在水槽中,通过水槽后只有1/3的水和土壤通过中间的PVC管子流入沉积桶中。其余两个管子则导入水槽中。侵蚀试验小区包括用于水土保持的香根草篱缓冲带(图4,5)。



图3 农民实践小区(左,无侵蚀控制措施)图4 小区最低处沟中安置的沉积收集桶(右图,香根草篱作为控制侵蚀措施)

第一个沉积收集桶有7个水槽收集初始径流。每个地块有2个沉积收集桶。由第一个桶漫流出来的径流进入槽内。当第一个桶装满后,流出的过量径流的1/7(即14.29%)通过管道进入第二个收集桶。其余的让其流失。这是针对暴雨时处理径流的有效方法(Miller, 1994)。在侵蚀小区最低处挖沟,安置沉积桶(图3,4)。

### 2.3 香根草篱缓冲带的建立及田间设计

香根草篱按不同间距种植(表1)。草种选自当地乡村野生种,由尼日利亚卡拉巴尔大学植物系鉴定。该品种(*Chrosopogon nigritana*)是南非和西非的乡土植物(Troung et al., 2008)。2009年所有小区均未种植庄稼,以便在种庄稼前香根草有足够的时间生长成篱。处理中香根草等高种植行距为3种,即5m, 15m, 25m,以及农民实践(无香根草的对照)。小区代号及行距见表1。实验设计按随机完全区集设计,设3个重复。

### 2.4 种植

#### 2.4.1 种植前与种植后的操作

本实验采用了主要的传统耕种方式(土丘)和简单的作物间作(木薯与玉米,图6,图7),图3显示了农民的操作(无香根即对照),传统的土丘耕种,土丘上种植木薯和玉米。土丘间距1m,每个小区有150个土丘(10000个/ha)。每个土丘上插木薯3根,即30000根/ha。种植后2-3周对未发芽的和死株进行补栽。在每丘基部种植玉米(杂交种 *Oba Super II*),每穴3粒。发芽后1周间植至2株/穴(10000株/ha)。于2010年和2011年在种后2周在距离玉米植株15cm处用环状法对玉米施用复合肥(NPK15:15:15),深度15cm(300kg/ha)。种植后第3,8,24周用锄头进行人工除草。

### 2.5 田间测定

#### 2.5.1 玉米谷粒和新鲜木薯块茎产量

玉米在田间成熟并干燥，每个重复收获中间 50 行。收获的玉米在实验室进一步干燥至水分占湿重 13%。称重并转换成每公顷的产量。对每个重复鲜木薯块茎称重，求得每个重复的平均重量并转换成每公顷的产量。

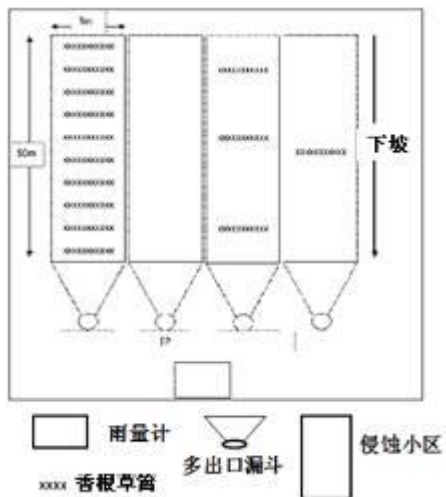


图 5 田间实验示意图 (不同间距香根草篱)



图 6 实验小区 (示玉米和木薯间作)



图 7 传统农作 (玉米与木薯间作, 无保护措施)

表 1 处理代号及描述

代号	描述
(FP)	无香根草 (农民实践)
VBS5	香根草篱种植行距 5m
VBS15	香根草篱种植行距 15m
VBS25	香根草篱种植行距 25m

总计 12 个小区, 占地面积 5400m<sup>2</sup> (0.54ha)

### 2.5.2 降雨量, 径流及土壤流失量

在实验地安置了非记录性雨量计计量当地日降雨量。将每次降雨获得的降雨容积除以 (漏斗) 接受面积得到降雨量。在前一天有效降雨之后的早晨收集径流和泥沙。所谓有效日降雨量是指能够产生径流和泥沙的降雨。根据每一沉积桶的水位高度乘以桶的横截面估算径流体积。将沉积桶收到的雨水体积除以产生径流的小区面积获得径流量 (mm) (Hudson, 1993; 和 Miller, 1994)。在彻底搅拌悬浮液后收集到沉积桶内径流量为 860cm<sup>3</sup> (取整数)。用悬浮液的总体积计算沉积桶内的总泥沙量 (Hudson, 1993)。收集在水槽中的土壤烘干称重。悬浮液烘干重量加上槽内土壤重量得到每个小区土壤总流失量 (Miller, 1994)。此项操作在每次有效降雨之后进行。

### 2.6 侵蚀小区土壤理化性质和养分流失的实验室测定

土壤 pH 采用玻璃 pH 计测定 (电位滴定) (IITA, 1979)。有机 C 的测定采用 Walkley 和 Black 湿氧化法。用微凯氏定氮法测定 N (Bremner 和 Mulvaney, 1982)。用 Bray 和 Kurtz (1945) 第一程序测定有效 P, 再用标准曲线读取 P 的浓度 (Riley 和 Murphy, 1962)。

交换性阳离子 (Ca, Mg, K, 和 Na) 的测定采用 Chapman (1965) 方法。有效阳离子交换量 (ECEC) 测定通过交换性盐基重量加上交换性酸得到 (IITA, 1979)。颗粒大小分布测定采用液体比重计法 (Gee 和 Bauder, 1986)。土壤容重的测定采用环刀法 (Burke, et al., 1986; Cresswell 和 Hamilton, 2002; Hillel, 2004)。土壤孔隙度指总容积中未被土壤固体占有的部分, 通过计算而得, 假定颗粒密度为 2.65gm<sup>-3</sup> (Danielson 和 Southerland, 1986)。用化学性质中描述的标准方法对流失的沉积物中 C, N, P, K, Mg, Ca 和 Na 进行分析。

### 2.7 数据收集

所收集的数据包括每日降雨量, 径流量, 土壤流失量, 玉米产量和木薯块茎鲜重。

### 2.8 资料分析

径流、土壤流失量, 作物产量和流失沉积物中的养分数据采用“统计分析系统软件”进行方差分析 (SAS Institute, 1989)。采用邓肯的多范围检验 (DMRT) 比较平均值。

## 3.0 结论

### 3.1 香根草缓冲带对土壤某些理化性质的影响

表 2 显示了坡地种植前后的 0-30cm 的土壤分析结果。采用 Holland 等人 (1989) 和 Udo 等人 (2009) 的

肥力等级度量所测定的性质,土壤为强酸性(pH4.08-4.8)。所涉土壤质地为壤质沙土,容重为1.45 - 1.51g cm<sup>-3</sup>。试验前后的有机C含量,除了香根草篱5m和25m处理属于中等级别外,种植前后均属于“低”一级,低于15g kg<sup>-1</sup>。

试验前的土壤N含量低,即< 10g kg<sup>-1</sup>。但在试验后则成为中等(10 -45 g kg<sup>-1</sup>)。试验2年后P含量等级从低(< 15 mg kg<sup>-1</sup>)到中(15 mg kg<sup>-1</sup>)。在所有小区试验前土壤的Ca含量均“很低”,而香根草篱5m, 15m, 25m处理试验后的小区均得到了改善,成为“低”。除了香根草篱5m的处理外,试验前土壤中Mg的含量均“很低”(0.03 cm kg<sup>-1</sup>),试验两年后成为中等(1 - 3 mg kg<sup>-1</sup>)。试验后K的含量定位“很高”( > 1.20 c mol kg<sup>-1</sup>),而在试验前则为“很低”。在所有处理中土壤交换性阳离子(ECEC)均定为“很低”(< 0.5 c mol kg<sup>-1</sup>)。试验后的土壤质地与试验前分析的相同,表明试验地土壤在颗粒组成上无明显差异。

### 3.2 香根草对水土流失的影响

2010年、2011年试验地区年降雨量分别是1200mm and 710mm。有香根草篱的小区(VBS)径流量与农民实践(FP,无水土保持措施)的小区在两年中差异十分显著(P<0.01),见表3。

表2 处理前后土壤的理化性质(0-30cm)

土壤性质	处理前土壤性质				2年实验后的土壤性质			
	FM	VBS5	VBS15	VBS25	FM	VBS5	VBS15	VBS25
沙粒(gkg <sup>-1</sup> )	757	782	828	825	904	894	892	876
粉粒(gkg <sup>-1</sup> )	174	119	74	84	24	21	28	38
粘粒(gkg <sup>-1</sup> )	69	94	98	91	74	85	80	86
质地	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS
容重(gcm <sup>-3</sup> )	1.45	1.46	1.47	1.45	1.51	1.47	1.48	1.47
孔隙度(%)	45	45	45	45	43	45	44	45
pH	4.22	4.08	4.31	4.29	4.80	4.66	4.75	4.84
有机C(gkg <sup>-1</sup> )	12.91	11.23	6.3	6.38	13.20	15.40	13.9	15.65
全N(gkg <sup>-1</sup> )	0.60	0.70	0.60	0.60	1.05	2.78	1.55	1.55
有效性P(mgkg <sup>-1</sup> )	14.08	9.7	10.47	13.24	16.59	16.47	16.22	16.63
Ca(cmolkg <sup>-1</sup> )	0.12	0.06	0.11	0.08	1.59	2.49	2.17	2.18
Mg(cmolkg <sup>-1</sup> )	0.18	0.17	1.93	0.15	1.00	1.10	1.03	1.00
Na(cmolkg <sup>-1</sup> )	0.03	0.04	0.05	0.05	2.63	2.85	3.51	3.18
K(cmolkg <sup>-1</sup> )	0.08	0.07	0.07	0.08	1.53	2.01	2.69	2.87
EA(cmolkg <sup>-1</sup> )	3.65	4.20	4.10	3.10	0.88	1.06	1.17	1.20
ECEC(cmolkg <sup>-1</sup> )	2.52	4.50	4.51	4.51	8.11	9.32	10.59	9.42

注: 坡度45%。LS=loamy sand(壤质沙土)

农民实践小区降雨量的流失明显高于香根草篱小区。在2年中,降雨的流失量从高到低是农民实践,香根草篱25m,香根草篱15m,和香根草篱5m。农民实践的降雨流失量最高,在2010年和2011年分别是347.16mm和149.5mm。而相比之下有香根草篱的小区流失量分别是88.8mm - 152.36mm(2010)和58.04mm--80.01mm(2011)。

有香根草篱的小区土壤流失量受到草篱的明显影响,即在2010年和2011年农民实践显著高于香根草篱小区(P<0.01)。在2011年,在所有土壤流失量中,70%的土壤流失量发生在农民实践小区,而

4%,14%和12%分别发生在香根草篱5m,15m,和25m小区。在2011年,78%土壤流失量发生在农民实践小区,3%、10%、9%分别发生在香根草篱5m,15m,和25m小区。

### 3.3 香根草篱对因水土流失而导致的养分流失的影响

表5显示了在陡坡地上耕种遭受侵蚀的土壤中C和其它养分流失的情况(kg ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>),这种流失在农民实践与香根草篱试验小区之间差异显著(P<0.01)。在所有处理中以农民实践小区养分流失最高。在流失的沉积物中全C的流失33%发生在农民实践小区(2010),而在香根草篱5m、15m、25m小区流失量分别是17%、23%、27%。在2011年,流失的土壤中的C,分别占47%(农民实践小区)、11%(香根草篱5m)、17%(香根草篱15m)、25%(香根草篱25m)。

在2010年,所有流失的全N中,流失量分别为32%(农民实践),18%(香根草篱5m),23%(香根草篱15m)和25%(香根草篱25m)。相应的在2011年则分别为34%,20%,22%和24%。在2010年陡坡上耕种土地P的流失分别是39%(农民实践),13%(香根草篱5m),23%(香根草篱15m),25%(香根草篱25m)。在2011年P的流失分别为34%,20%,22%和24%。

在2010年流失的沉积物中Ca含量分别为40%(农民实践),20%(香根草篱5m),20%(香根草篱15m),20%(香根草篱25m)。而在2011年则分别为33%,17%,23%,27%。

在2010年Mg的流失量分别为3:1:1:1(相对应的小区:农民实践、香根草篱5m、15m、和25m)。而在2011年则为2:1:1.3:1.6。Na的流失量分别为2:1:1:1.2(农民实践,香根草篱5m,香根草篱15m和香根草篱25m)(2010)和1.4:1:1.4:1.3(2011)。在2010年K的流失量分别为38%(农民实践);21%(香根



草篱 5m), 22% (香根草篱 15m), 和 23% (香根草篱 25m)。而在 2011 年则分别为 33% (农民实践); 24% (香根草篱 5m), 24% (香根草篱 15m) 和 19% (香根草篱 25m)。

表 3 农民实践与香根草篱小区不同年份径流量 (mm)

处理	径流量			
	2010 年	降雨流失%	2011 年	降雨流失%
FP	347.16a	29	149.5a	21
VBS5	88.84c	7	58.04c	8
VBS15	147.43b	12	76.3b	10
VBS25	152.36b	13	80.01b	11

注: 坡地坡度 45%。数字后有相同英文字母的差异不显著。

表 4 实验小区土壤流失量 (t/ha/yr)

处理	土壤流失量	
	2010 年	2011 年
FP	829.25c	137.81c
VBS5	40.92a	5.54a
VBS15	162.43b	17.35b
VBS25	150.5b	14.65b

注: 数字后有相同英文字母的差异不显著。

表 5 侵蚀的沉积物中植物养分的流失 (kg/ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>)

年份	处理	植物养分流失						
		C	N	P	Ca	Mg	Na	K
2010	FP	90a	9a	62a	6a	6a	32a	34a
	VBS5	47d	5c	21c	3b	2b	16b	22b
	VBS15	64c	7b	37b	3b	2b	16b	23b
	VBS25	74b	7b	41b	3b	2b	20b	24b
2011	FP	94a	11a	33a	35a	34a	14a	47a
	VBS5	23d	4c	19a	18d	10d	10b	35b
	VBS15	34c	5b	21c	24c	14c	14a	35b
	VBS25	51b	7b	24b	28b	22b	13a	27c

注: 数字后有相同英文字母的差异不显著 (P<0.01)。

### 3.4 不同处理下玉米产量和鲜木薯块茎产量

在 2 年的实验时间内香根草篱小区玉米和木薯块茎产量均明显高于农民实践小区 (P<0.01), 见表 6, 表 7。在第二年, 农民实践小区的两种作物产量下降 10% (玉米) 和 44% (木薯)。在 2010 年, 香根草篱 5m 小区产量比农民实践小区高 54%。而香根草篱 15m 和 25m 则分别高于农民实践小区 27%、32%。在 2011 年香根草篱 5m 处理比农民实践高 89%, 而香根草篱 15m 和 25m 则比农民实践高 69%和 68%(p<0.01)。

表 6 不同处理小区的玉米产量 (t/ha)

处理	玉米产量	
	2010	2011
FP	1.31c	1.18c
VBS5	2.02a	2.23a
VBS15	1.67b	1.99b
VBS25	1.73b	1.98b

注: 数字后有相同英文字母的差异不显著 (P<0.01)。

表 7 不同处理小区木薯块茎产量 (t/ha)

处理	鲜木薯块茎产量	
	2010	2011
FP	9.22c	5.12c
VBS5	16.21a	19.9a
VBS15	13.54b	15.65b
VBS25	13.01b	14.73b

注: 数字后有相同英文字母的差异不显著(P<0.01)。

在 2010 年, 香根草篱 5m, 15m 和 25m 小区木薯块茎产量分别比农民实践高 76%, 47% 和 41%。而在 2011 年, 则分别高 288%, 206% 和 188%。

## 4.0 讨论

### 4.1 香根草对土壤特性与作物产量的影响

在不同处理下, 土壤质地变化不大。虽然长期侵蚀也可能改变质地, 但土壤质地是土壤的持久性质。遭到侵蚀后研究的土壤比研究前含有较多沙粒。当坡地较高部位土壤细微颗粒冲刷掉后, 剩下的便是较沙的颗粒。从土壤孔隙度看, 根据 Kachinski (1970)对热带土壤孔隙度的分类, 土壤仍然适合于农作 (孔隙度在 40%-45%)。在某些情况下, C, N, ECEC 在农民实践以后可能会降低, 但是本试验情况却相反, 这可能是因为在所有小区中都施了 NPK 肥料。此外, 玉米和木薯的生物量在收获后都留在地里腐烂, 除草以后的生物量也是如此。这也是当地农民常用的农作方式。在试验两年后, 土壤中的 K 的含量很高, 这也是因为植物残渣分解而成。

作为水土保持措施的等高种植的香根草篱减少了农民地里因径流造成的水分和土壤的流失, 但是其效果取决于香根草篱的间距, 间距较小的香根草篱比间距大的更能减缓农田里的雨水向下坡的速度, 明显减缓了的水流的速度, 使得降水能更好的渗透到土壤中去。与农民实践的小区相比, 间距为 5m, 15m 和 25m 的香根草篱的小区, 明显减少了水分的流失。这种情况与 Casenave 和 Valetin (1992); Morgan (1995) 和 Inthapan 和

Boochee (2000) 研究情况完全吻合。采用香根草篱的农民，将从每次降雨中收益。在种植香根草篱以后，所观察到的水分流失的减少，这一结果也与 Truong (1993); Rao *et al.*, (1992); Phien 和 Tam (2000); 和 Babalola *et al.*, (2007)报道的结果一致。

水分渗透的改善显示了香根草有较强的持水能力，当在农场里进行水土保持时，就会改善土壤系统的水分储蓄。水分是作物生长的首要因素，香根草是一种能够很好的适应气候变化的技术，特别是对于旱地和降雨量少的地方更是如此。正与 Oku 和 Aiyelari (2011)所说，渗透的改善意味着改善了植物根系分布区域内的水分经济 (water economy)。这一区域水分经济的改善，将会转变成农田作物产量的改善，这一点也得到了 Oku (2011)的证实。

在该研究地区，2010 年土壤流失量高于 2011 年，与试验处理没有关系。2010 年，降雨量高达 1200 mm，导致了这一年的土壤流失远高于 2011 年。在农民实践的小区，2010 年土壤流失量比能够承受的土壤流失量  $12 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  (Roose,1996)高出 69 倍。农民实践小区的较高的土壤流失量以及建有香根草篱小区较低的土壤流失量，与前人在缓坡地上对香根草的研究相吻合 (Khosrowpanah, 1991; Rao *et al.*, 1992; Truong 1993; Hermavan, 1996; Nakalevu *et al.*, 2000; Babalola., 2007)。这些地区每年土壤资源的大量流失使得农民不断抱怨作物产量降低，土壤“疲劳”，“瘠薄”和“不毛之地”。这解释了为什么在河流下游每年都有大量的河砂资源，在旱季，人们用来制作砖块，在水量少、水位低的时候用来建房。

在香根草篱的小区，玉米和木薯块茎的产量，不管是 2010 年还是 2011 年均有所提高，这是因为水分的利用率得到了改善，土壤径流少了，意味着更多的降雨渗透到土壤中，从而提高了土壤植物根系区域的水分经济。与降雨量和坡度有关，当土壤中的有效水分减少 20—40%时，植物的干物质也减少高达 25% (Evans *et al.*, 1997; Pimentel, 2006)。可以得出的结论是，香根草提高了土壤水分利用率。因此，种植了香根草篱的农民，在作物生产季，可最大获得降雨量的 93%。众所周知，水分有效性的增加，就能增加养分的吸收，提高养分的利用率 (Mando,1998)，这也就是本试验中作物产量提高的主要原因。

大量的有机 C, N 以及其他有效养分 (如交换性盐基)，随着侵蚀掉的沉积物每年都在流失，但 Na 是例外，其原因本试验尚不太明了。尽管 2011 年的降雨量比 2010 年的少 41%，但在 2011 年的侵蚀沉积物中，C 和其他养分的流失量却较高，这可能是因为 2010 年收获以后，玉米和木薯的植物残渣都留在了地里的结果。此外，除草所得植物残渣也都留在地里分解，经过每次除草以后，也改善了土壤肥力。从农田里面的有机 C 散发释放到大气里面变成无机 C (温室气体)，这就证明了没有保护的耕种的陡坡土地增加了温室气体的排放。

Agriflora (2009)在他的报告中指出，香根草是 C 吸附的领军植物。N 的流失状况与 C 相似。在有香根草篱的农田中流失的较低的 C (CO<sub>2</sub>) 和 N (N<sub>2</sub>O))，不仅改善了作物产量，保持了水土，而且也关闭了温室气体排放的裂隙 (缓解)。在香根草篱的作用下，无机 C 和 N 流失量的减少，以及农作物的产量的增加，表明香根草增加了生产力，同时降低了温室气体的排放。因此香根草通过农业生产活动减轻了温室效应，同时也减轻了富营养化和侵蚀的影响。

#### 4.2 香根草篱的占用空间

5m 间隔的香根草篱，对于控制侵蚀以及传统的试验前后的种植活动都是适宜的。本试验中高等种植的香根草篱的厚度为 30cm，当间距 5m 时，在一公顷的土地上，占用农田 15%的地表空间，这个空间看上去较大，但权衡下来并不大，农民受益较大，玉米和木薯产量比传统农民实践 (没有香根草篱占用农田面积)的高 35% 和 76%。占据农民土地 15%的香根草修剪物或者是生物量也是农民生计独特的来源。可用于学习编织品，覆盖房舍，蘑菇培养基，覆盖地表和制作堆肥。每个月香根草产生的修剪物为  $12 - 25 \text{ ha}^{-1}$  (Van D 和 Truong, 2012)。香根草的生物量可以用作农民绿色的家用能源，给农民产生效益 (Maffei, 2005)。

### 5.0 结论和建议

#### 5.1 结论

在尼日利亚东南部，种植不同间距的香根草篱与传统的农民实践相比，显著的减少了水、土和养分的流失。然而，土壤和养分的流失的减少，只在香根草篱 5m 间距小区的情况下得到。与对照相比，有香根草篱的小区种植的玉米和木薯的产量显著提高。香根草篱 5m 间距的小区，获得的产量最高。这一间距，也适合于农民在该地区进行所有的传统农作。等高种植香根草篱 (5m 间距) 能有效的减少土壤和养分流失。从而持久地增加农业生产力。此外，也增加了 C (CO<sub>2</sub>) 和 N (N<sub>2</sub>O) 的吸附力，否则 C 和 N 将会释放到空气中当成温室气体排放。

#### 5.2 建议

在尼日利亚南部陡坡耕地上，建议等高种植香根草篱的间距为 5m，以便有效地保护和控制水土流失。建议对该技术进行进一步的示范和验证。通常农民的实践是不正确的也是不值得提倡的，较好的和更加适宜的技术 (如香根草篱技术) 应当得到采纳。针对农民的能力建设项目和推广机构能够帮助香根草篱技术的推广实施。

---

主办：中国科学院南京土壤研究所 中国香根草网络，南京市第 821 信箱，南京市北京东路 71 号  
邮编：210008，电话：(025) 86881269，传真：(025) 86881000  
E-mail: lyxu@issas.ac.cn Homepage: <http://www.vetiver.org.cn>