



WINROCK
INTERNATIONAL

陆地碳测量方法指南

温洛克国际

Methods Manual for Measuring Terrestrial Carbon

2005 年版

By

Sandra Brown, Tim Pearson, Sarah M. Walker, and Ken MacDicken

桑卓.布朗, 逊莫西.佩尔森, 萨拉.沃尔克, 肯.马克狄克恩

 Winrock International

1621 N. Kent St., Suite 1200
Arlington, VA 22209, USA
Telephone: 1-703-525-9430
www.winrock.org
CarbonServices@winrock.org

目 录

致谢

1. 本指南适用范围
2. 如何选择测量对象和时间
3. 如何设计样本框架
 - 3.1 为什么要抽样?
 - 3.2 为什么采用统计方法?
 - 3.3 确定项目边界
 - 3.4 项目区分层
 - 3.5 永久样地和临时样地
 - 3.6 样地形状和大小
 - 3.6.1 树木
 - 3.6.2 非树木
 - 3.7 样地数量
 - 3.8 样地布局
 - 3.9 测量频率
4. 如何进行碳估算测量
 - 4.1 对测量样地的描述
 - 4.2 测量活的有机物质
 - 4.2.1 测量各种树木
 - 4.2.2 测量各种棕榈类
 - 4.2.3 测量各种藤类
 - 4.2.4 测量竹子
 - 4.2.5 测量各种灌木
 - 4.2.6 测量草本植被
 - 4.2.7 测量根系
 - 4.3 测量死的有机物质
 - 4.3.1 测量枯立木

- 4.3.2 测量倒死木
 - 4.3.3 测量枯落物
 - 4.4 测量土壤
 - 4.4.1 测量矿质土
 - 4.4.2 对泥炭土的特殊考虑
 - 5. 如何对被估算的碳储量和碳储量变化进行计算
 - 5.1 碳和相应的生物量
 - 5.2 尺度因子
 - 5.3 样地面积修正
 - 5.4 活树生物量
 - 5.5 树木地下生物量
 - 5.6 非树木植被
 - 5.7 枯立木
 - 5.8 倒死木
 - 5.9 枯落物层
 - 5.10 土壤
 - 6. 如何估计系统的净变化
 - 6.1 不确定性
 - 6.2 对单一数据集的两种测量方法的比较
 - 7. 碳储量估算的可信度
 - 8. 非二氧化碳气体
 - 8.1 交通和机械
 - 8.2 施肥
 - 8.3 火
 - 9. 参考文献
- 附件 A 词语表
- 附件 B 样本计算
- B.1 计算样地数量
 - B.2 应用生物量回归方程计算生物量
 - B.3 应用异速生长回归方程计算树木地上部分碳储量变化

B.4 计算倒死木量

B.5 用误差扩散估算碳储量净变化和不确定性

附件 C 公开发表的生物量方程

附件 D 野外碳测量和监测实际操作的综合程序标准

附件 E 数据表格样式

致谢

本手册是多人合作和多方支持的最终结果。特别是温洛克决定编制碳项目指南工作，使我们能够集中和拓展我们的想法。在此，我们要感谢美国林务局、美国环境保护局和联合国开发计划署给我们提供的支持，使我们能够有机会来从事本指南的编制工作。

1. 本指南应用范围

本指南旨在向那些对陆地碳储量和碳储量变化的测量和监测感兴趣的人，提供一个便于使用者掌握和使用的指南，这里陆地碳储量和碳储量变化涉及一系列土地利用方式和土地覆盖类别，主要包括各种农地、牧地、林地和森林。本指南主要是指导土地所有者、碳项目开发者、从事测量的技术人员和碳项目核证人员需要，测量什么，如何测量和如何对测量结果进行解释和说明。

本指南主要关注的是陆地生态系统的碳储量，因为陆地生态系统的变化既能够增加大气中温室气体，起到二氧化碳源的作用，又会从大气中清除二氧化碳，起到汇的作用。

测量和监测陆地碳的方法发展的已经很成熟了，但是对于非二氧化碳温室气体的测量和监测目前还不够成熟。非二氧化碳气体可以通过这样一些行为，排放到大气中，这些行为包括：为加快树木生长而进行的施肥（可能增加氧化亚氮排放）、泥炭地恢复（可能会增加甲烷排放），使用固氮植物（可能增加氧化亚氮排放）和在整地过程中采用火烧来清除地表植被（可能使氧化亚氮和甲烷排放发生改变）。

下面是本指南每个部分讲述的内容：

第二部分：如何根据土地经营管理情况确定应该测量的碳库

第三部分：如何设计抽样框架，用以评估碳储量及其变化。

第四部分：如何测量以进行碳估算，包括对实地测量分步骤的指导

第五部分：如何估算碳储量及其变化，包括对外业结果进行分析的方法。

第六部分：如何将所有结果综合起来，来估算碳储量的净变化，包括对各种采伐后的木材转化为木制品或者由于人为或自然的干扰导致的不曾预料的碳损失（非法采伐、火灾、发生病虫害等类似情况下引起的碳储量的减少）

第七部分：如何评估碳估算结果，包括指导如何最大限度地减少误差和如何计算不可避免的误差值。

第八部分：根据 2003 年 IPCC 的两好做法指南，为土地利用变化活动提供非二氧化碳温室气体估算和监测的最新方法。

2. 如何选择测量对象和时间

陆地碳贮存在下列碳库中：

活生物量：树木地上部分；地上部分的非树木植被，如草本植物、灌木、竹子和棕榈类植物以及地下根系。

死的有机物质：包括叶子、果实、嫩枝和小的枯死木在内的枯落物和包括枯死立木和枯死倒木在内的大的枯死木。

土壤有机物质：

木制品：指的是在用采伐林木制成的使用寿命较长的木制品中储存的碳。木制品虽然不是野外测量必要的组成部分，但却是计算林业项目产生的净吸收和净排放的重要部分。大多数土地经营管理活动都会对陆地碳储量产生影响，但是哪个碳库受到实施的土地经营管理类型影响最大。根据土地经营管理活动的类型，大多数碳库的碳储量会增加（吸收）但有些也会减少（排放）。当我们在估算碳储量净变化时，碳储量增加和减少都需要记录和计量。表 2.1 列出了表中所列不同项目活动类型的各种碳库的预期碳储量的变化数量和变化趋势。这个表格可用来确定在特定的项目类型中，哪些碳库需要测量，并可根据土地覆盖和土地利用类型来评估碳储量。

表 2.1 抉择矩阵—说明碳项目中可能被测量和监测碳库的选择标准（表中字母的解释见表下）

项目类型	被测量和监测的碳库						
	活生物量			死有机质		土壤	木制品
	地上部分： 树木	地上部分： 非树木	地下	枯落物	粗大枯死木		
造林	Y(主要的)	M	Y	M	M	M	M
森林经营管理	Y(主要的)	M	Y	M	Y	N	Y
森林保护	Y(主要的)	M	Y	M	M(减少或增加)	M	M(减少或增加)
草地或牧地	-	M	M	-	-	Y(主要的)	-
轮作和减少耕作	-	M	M	-	-	Y(主要的)	-
高碳作物	Y(主要)	M	Y	M	N	Y	-

	的)						
--	----	--	--	--	--	--	--

上表中的各个字母指的是需要测量和监测的碳库:

Y = 是—该碳库可能变化大。

(主要的) =指该碳库可能代表了主要变化。

(减少) = 指该碳库变化很可能是减少，必须测量。

M = 可能—指该碳库变化可能是重要的，也可能是不重要的，是否测量取决于各种因素，这些因素和以前的土地利用方式（造林、森林经营管理或森林保护），替代性的土地利用方式（森林保护）或者可获得的资金相关。

N = 否—该碳库变化可能不重要。

- = 不适应。

各种森林

造林:

包括所有种植树木或者人工促进天然更新和树木生长过程。在几乎所有的项目活动中，树木将在生物量中占主导份额。但根据植被类型特点，随着时间变化，碳在非树木植被、枯落物和死亡树木中的积累量也很重要。

测量土壤中的碳既耗时又费钱。在通常情况下，尤其是在土壤碳储量因长期耕作、侵蚀或别的原因而导致减少的情况下，造林就会增加土壤中的碳积累。如果实施造林的目的是生产木制品或者生物燃料，土壤中的碳就可能会额外地发生净增加，需要将其包括进来，以对其进行跟踪测量和计算。（参看第六部分）

森林经营管理

不论是通过减少采伐对残留林木生物量的影响，还是通过延长轮伐期，或者是提高森林生物量转化为长寿命木制品的效率，森林经营管理都会导致碳储量的增加。例如，低强度的采伐（如择伐），长的轮伐期和/或采伐周期以及减少采伐影响的措施都能够将森林碳的减少降低到最低程度。通过提高采伐和木材转化利用效率，小径材和不规则材（如树枝）的新的市场需求和木材转化利用的技术进步，都能够相应地增加木制品中的碳积累。

各种树木在碳储量中占据主要部分，但是对枯死木和木制品也需要测量和计算。这是因为强度采伐和长寿命的木制品在碳储存中占据重要位置。一般来讲，在森林经营管理项目中，不建议对土壤中的碳进行测量，当然，这一点需要建立在对项目进行评估的基础

上。因森林经营管理而带来的土壤碳变化是很难被察觉到或者持续时间不会很长。但对于一些有机质含量高的土壤，如泥炭，就属于一些例外的情况，不应遵循上述建议，这是因为对有机质含量高的土壤，哪怕是实施低强度的经营管理，也会造成实质性的碳排放。

森林保护

当被讨论的森林在提供其它生态系统服务功能（如生物多样性和水）方面具有很高的潜在价值，并面临着被毁和采伐的危险时，实施森林保护项目是有意义的。防止森林遭受这些危险，就会预防和减少碳排放。但是不管在那种情况下，各种树木在储碳方面都处于主导地位。如果是成熟林，还将会有大量的碳储存在在枯死木、非树木植被和枯落物中。估算因森林保护带来的碳储量的净变化，比别的以森林为基础的项目更为复杂，主要是基线难以确定。从本质上讲，如果毁林是主要威胁，那么，就建议在项目一开始的时候，就对土壤碳进行测量，因为一旦转变为无林地，大约 40% 的土壤碳就会丢失。对于哪些为避免采伐而进行的保护项目，土壤碳就不那么受人关注。但是，木制品和枯死木碳库还是很重要的，因为在避免采伐而受到保护的森林中，枯死木比采伐的森林中的枯死木要少，在采伐的森林中，活生物量中减少的碳并不都会进入到大气中，而是有相当大的数量进入了木制品中，在木制品中的碳会储存长达几十年。

草地和放牧地:

草地项目可能涉及对原生种的恢复，减轻放牧压力或者是为了发展而实施的保护项目。碳虽然将会储存于各种草中，但是碳主要还是储存在地下细根和矿质土中。即便是地上部分草本植物中的碳可能会增加，但是这种增加的趋势不很明显，而且也是非常容易发生变化的。

农地:

作物轮作或减少耕作:

在减少耕作措施中，农作物生长对土壤耕作降低到了最低程度，因此，减少耕作会增加土壤中的碳储存。改变作物轮作形式也会同样地增加土壤中的碳。但是，如果施肥，则会导致氧化亚氮这种温室气体的排放，需要将其从增加的碳储量中将其扣除掉。

高碳作物:

将草本或矮秆作物转换为树木或以灌丛形式生长的木本作物（如果树、坚果、葡萄）都会增加地上和地下部分生物量。同样，对施肥情况也需要跟踪，因为也会造成氧化亚氮这种温室气体的排放，需要从增加的碳储量中将其扣除掉。

3. 如何设计抽样框架

3.1 为什么必须抽样

碳是所有活的或死的生物量的重要组成部分。当我们看到一片森林、一片草地和任何陆地生态系统时，我们所看到的是碳。由于组成各种生物量库的碳的比例是均匀的，因此，通过确定有机物质的数量，就可以准确地估算碳量，这样做也确实比直接测量碳要容易一些。但是，我们所遇到的典型的陆地生态系统中，有机物质呈现多种形态和密度，更不用说其数量，只对其进行粗率的评估和计量，如此大的数量就确实很吓人。经过近百年的林业实践和野外验证，人们逐步建立了用抽样来计算的方法。

测量生态系统中的全部生物量非常重要的，在这方面存在的障碍是可以克服的。虽然一些早期森林清查是通过完全列举法，也就是对森林中每棵树木进行测量。但是，在这样大范围内进行测量，其费用常常是难以接受的。假如抽样被证明能够有效地进行正确而精确的估算，那么完全列举的方法就是一种低效的方法。抽样是一个对子集进行研究，以对总体进行概括的过程。抽样遵循的原则是对易于管理、能代表总体的子集中的样本单元进行直接测量。为了保证样本单元具有代表性，样本单元的位置必须随机布设，或者用方格进行系统抽样，系统抽样的起点是随机的。这样总体中的每个单元获得测量的机会则是均等的。对样本单元测量的目的是要得出样本平均值，根据样本平均值，就可以在确定的置信区间内，估算出总体的真实值，然后，估算真实值的方法则可应用于总体，并用以估算总量。在抽样中，并非总体中所有的样本单元都要测量，因为每个样本单元都可能会得到同等的测量机会，样本平均数就代表了所有单元即总体。因此，应用抽样方法，就可以对不可能进行全部测量的大样本进行可靠的估算。

3.2 为什么采用统计学方法

通过测量样本获得的数值只是对整个区域或总体的等值估计。我们需要想办法使得估计结果接近真实情况，这就需要通过统计学方法来加以解决。

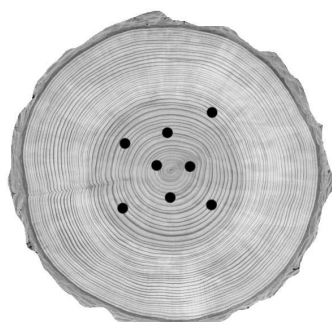
首先要理解两个重要的概念：精确度和正确性。

正确性是指你所测量的结果和实际值的接近程度。比如说，如果样本显示每公顷的碳密度是 156 吨，但是实际值是每公顷 142 吨，那么你的不正确度就是每公顷 14 吨或者差不多是 10%。

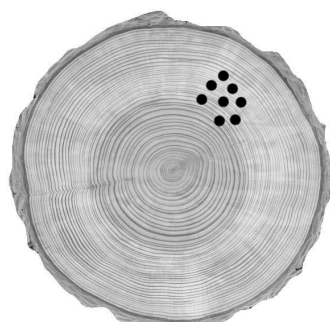
精确度是指数值被定义的适当程度。在抽样中，精确度代表从各个样点或样地获得的结果在平均值周围聚集的紧密程度。比如，虽然 142.4, 141.3, 144.0, 140.9 和 142.0, 121.4, 162.6, 142.0, 127.8 和 156.2 这两组抽样结果的平均值是一样的，但是前者比后者更为精确。

通常用一个靶子上的靶心(牛眼)来做类比。在这个类比中，那些箭聚集的紧密程度就是精确度，箭头靠近靶心的紧密程度就是正确性。下面用一个树木的横截面代替牛眼来加以说明。在 A)中，所有的点靠近中心，因此是正确的，但是很分散，因此是不精确的。在 B)中，所有的点紧密聚集，因此是精确的，但是远离中心点，因此是不正确的。

A) 正确但不精确



B) 精确但不正确



当我们在抽样测量碳时，我们希望测量结果既是正确的，即总体和真实值接近，同时又是精确的，即聚集紧密，是我们能够相信的结果。

测量碳的抽样必然包括对很多样地的测量。样地数量或者说是抽样密度，是为了保证达到正确性和精确度要求事先确定好的。当把所有样地综合在一起时，平均值就代表着一个较广的总体，通过察看 95%的置信区间，我们就能够知道其代表性如何。95%的置信区间则说明了 100 次之中，真实的碳密度值有 95 次落在这个区间内。如果置信区间小，那么结果就是精确。（通常使用 95%的置信区间，很少用 90%或 85%的置信区间，因为在

生物学中常用 0.05 或 5% 作为临界值，统计学表明这能够保证 100 个结果中有 95 个是正确的)

3.3 确定项目边界

在针对碳库碳储量及其变化进行抽样之前，必须确定项目边界。碳项目的规模常常是不同的，小到几十公顷大到数百公顷，可以在一个或多个地理区域内。项目区可以是只有一个土地所有者的相邻的整块土地，也可以是许多小块土地，这些小块土地分布于一个广泛区域，并涉及许多小的土地所有者或者少数大的土地所有者。土地的空间边界可以是永久性标志（如围栏）、划定清晰的地貌类型（如河流、小溪、山脊）形式出现，也可以是在空间上通过 GPS 或其它办法能清晰确定的边界。识别和描述土地边界有很多不同的方法和工具，这些方法包括遥感（如来自光学雷达和感应系统以及航空照片）、GPS、地形图和土地档案。跨越景观区域的较大面积，可以通过使用 GPS 并和地形图或其它适当的办法配合起来，对其边界进行描述。从一开始就需要对边界作适当记载，并且在整个估算期内不应该发生变化。假如边界发生了变化，就需要报告并采用上文描述的方法，对包括进来的和/或排除在外的实际面积进行测量。（这就意味着要调整由于项目活动产生的温室气体净排放清除估算结果）

3.4 分层面积

为了便于野外工作，增加碳测量和估算的正确性和精确度，有必要把项目区划分成若干亚总体或层，形成相对同质的样本单元。一般来讲，分层也可以减少监测成本，分层可以在保持同等置信水平的同时，可预期减少需要的抽样工作量，这是因为和整个项目区相比，在每一层中的碳储量的变化是很小的。确定分层的有用工具包括各种经过地面验证的卫星影像、航空照片、植被、土壤和地形图。土地面积的大小和空间分布并不影响项目地点的分层。一个相邻的大块土地或者许多小块土地都被看作是有利害关系的总体，其分层方法是相同的。分层应该依据一定的标准进行，这些标准和需要测量和监测的变量如树木碳库直接相关。在分层数量和抽样强度之间也存在一个平衡。分层的目的是分割系统中的自然变异，从而减少监测成本，如果分层并没有使成本发生变化或成本只发生了很小变化，就不应该进行分层。

对于一些项目类型，可能是高度异质的，对其项目区进行分层可能是不可行的。对于另外一些项目区，因为从所有的常规特征来看都是同质的，在这种情况下，提前分层也是不可能的。但是，在对其进行首次监测之后，其碳储量变化很大，进一步分析测量其结果

时，就可以聚合成若干等级，换句话说，在这种情况下，是可以进行后分层。一个项目通常可以划分成 1-6 个不同的层。

可能的分层选择包括以下几种：

土地利用：如天然林、人工林、混农林业、草地、农地、灌溉农地

植被种类（如果有几种）

坡度：如陡坡，平地

排水情况：如洪泛区、干旱区

植被年龄：如种植树木的群

与定居点接近程度。

3.5 永久及与之对应的临时样地

为了估算各种树木中的碳变化，在整个项目期间，可以用永久或者临时样地进行抽样。所有非树木的测量应该在临时样地中进行。树木测量也建议用永久样地，因为在后续的时间里要对其重复测量。在估算森林碳库变化时，统计上把永久样地视为比临时样地更为有效，因为临时样地在后续的抽样观测中，存在有很大的协方差(Avery and Burkhardt 1994)。而且，如果需要的话，对永久样地实施有效核查，能够确保其成本相对较低。从数量角度来讲，核查机构也能够随机找到和测量多个永久样地，来核实碳监测计划的设计和实施情况。但是，永久样地的不足之处是其位置能够知道，因而，可能会被采取和其它项目区不同的方式加以特殊对待。如果采用永久样地，就要需测量的树木进行标记和绘图，每隔一定时间，对单个树木的生长情况进行测量，这一点是很重要的，这样，便于跟踪存活树木的生长和死亡以及新树木进界生长的情况，可以对每株树木的碳储量变化进行估算并以样地为单位进行汇总，还可以以样地为单元对净的碳积累进行统计分析，包括新树木的进界生长和由于树木死亡造成的碳损失。对那些仅仅是对一个点进行测量的情况下，比如保护项目，对样地和树木进行就没有价值了，这时就可以使用临时样地。

3.6 样地形状和大小

3.6.1 各种树木

样地形状和大小是测量正确性、精精确度、时间和费用之间的一种平衡。有两种基本的样地形式，即固定大小的单个样地和一系列大小渐增的嵌套样地。经验表明：包含各种形状、大小的较小样本单元（嵌套样地）的样地是比较经济的。

单个样地

单个样地对于测量诸如用材林基地或者多用途树种的造林项目是很有用的。这些林分可能是由一些大小随着时间变化、相互之间差别不大的各种树木组成的。但是，如果要采用单个样地，遇到的问题是，这样的样地应该多大。根据下列关系式，虽然增加样地面积大小会增加精度，但是增加样地面积也就减少了样本之间的可变性。（(Avery and Burkhardt 1983)

$$CV_2^2 = CV_1^2 * \sqrt{\left(\frac{P_1}{P_2}\right)}$$

这里：“ CV_1 ”是基于样地 1 的变动系数，“ CV_2 ”是基于样地 2 的变动系数，因此，增加样地面积，样地之间的变动就会减少，这样，在期望达到相同精确度时，可以使得样本规模小一些。经验表明，最适合采用的单个样地面积，可以根据人工林的造林密度和计划的间伐安排来确定。很可能在项目早期、尚未进行间伐之前，单个样地中的树木数量可能比较多，而且，在幼林阶段，能够很快对树木进行测量。同时，样地大小应该能够使得在项目后期，当树木长得比较大的时候，每个样地中宜包括 8-12 棵树。

嵌套样地

嵌套样地就是包含各种形状和大小的较小亚单元的样地，这对于树木直径变化范围大或者林分中树木直径和立木度变化大的森林（如天然森林经营管理和森林保护）是经济的。嵌套样地是由几个（典型情况是 2-4 个，根据森林结构而定）完整的样地组成，每个嵌套样地都应该被看成是独立的，这些样地可以是圆形嵌套的形式，也可以是以矩形嵌套的形式。如果你有测距器（DME），圆形嵌套样地比较好，因为在这种情况下，样地周围的实际边界不需要标记。如果没有测距器，使用矩形样地可能更为有效一些，可用卷尺和树桩将其划定出来。当树木达到了其中一个嵌套样地测量的最低值时，就应把这些树木包括进嵌套样地并进行测量。当树木超过了嵌套样地测量的最大值时，就不要在现在的嵌套样地中对其进行测量，而把这些超过最大值的树木放在下一个较大的嵌套中进行测量。如何跟踪、分析嵌套样地数据，在附录 B.3 中已举例加以了说明。

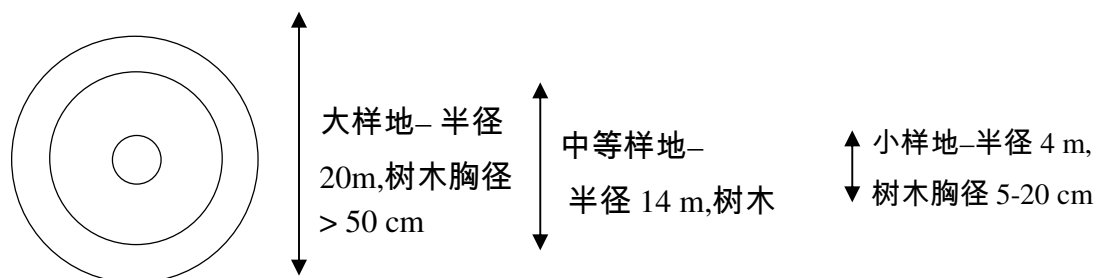
针对每个项目，计算适宜的样地大小是完全可能的。但是，这样做就额外地增加了工作的复杂性和工作量。为了简化起见，这里提出了样地确定的规则，这些规则适用于任何项目，经验表明，样地大小体现了精确度和实际工作量之间的一种合理平衡。

树干直径 (胸径)	圆形样地直径	方形样地尺寸
< 5 cm dbh*	1 m	2 m x 2 m

5 – 20 cm dbh	4 m	7 m x 7 m
20 – 50 cm dbh	14 m	25 m x 25 m
> 50 cm dbh	20 m	35 m x 35 m

* 树干胸径 < 5 cm 将仅在幼林中测量。dbh 为胸径

下面是三个嵌套的样地的示意图



3.6.2 非树木

非树木碳库出现在森林和无林地两种土地利用方式中。与树木不同的是，按照自然情况，在两个时期，及时地对同一非树木样本进行测量是不可行的，因为对非树木植被、枯落物和土壤进行收集、称重、烘干，这种对样本进行测量的过程实际就在破坏样本。对于倒下的枯死木来讲，虽然不需要毁坏样本，但是，在两个时段中，跟踪调查几段枯死木实际也是很有挑战性的。因此，对这些碳库的抽样要采用多种方法（参看第四部分）。为了保持统计独立性（这是一个抽象概念，但对于确保结果具有代表性是很重要的），在每次调查时，都需要改变取样地点。对于哪些具有破坏性的取样部分，次级样地应该足够大，以便获得足够大的样本，同时，保持高水平的抽样效率。对于草本植被和枯落物来讲，使用的具有代表性的次级样方面积通常是介于 0.25—0.5 平方米之间。对于灌木，通常采用 1 平方米的较大样方（参看第 4.2.5 部分的替代测量方法）。对于土壤来讲，需要使用标准的土壤钻孔工具，具有代表性的情况是，在一个单独的样方中，分别打 4 个 30cm 深的孔，以测量碳密度，另外打一个孔来测量容积密度。（参看第 4.4 部分）

3.7 样地数量

按照统计学严密性进行抽样是很重要的，根据这种严密性的要求，首先是要确定所需的样地数量，以达到对测量结果的精度要求。

第一步：确定期望的精确度水平

如上所述，对于碳调查精确度水平的要求，会直接影响到调查费用。在 95%的置信区间和 10%的平均数真实值范围内，以一个合理的费用来正确地估算碳储量净变化是可以做到的 (Brown 2002)。为此，精确度水平应该在一开始就要确定下来，虽然平均数的 $\pm 20\%$ 的较低精确度也会采用，但是经常采用的精确度为平均值的 $\pm 20\%$ 。确定精确度水平是没有严格规定的，但是精确度越低，就越难以有信心地说，在两个时期之间，碳储量确实已经发生了变化。

当精度确定后，项目区每层中的样方大小就能够确定了，每个碳库都有一个不同的方差（即与平均数差异的总和）。经验表明，只要注意了主要碳库（如林业活动的树木）的方差就抓住了大部分方差，即使别的碳库可能也有较高的变化，如果主要碳库的精度达到了，那么即使其它碳库的精度不足，也不会影响总体结果。

第二步：确定收集初始数据的面积。

例如，如果项目活动是在农地上造林，并且项目活动会持续 20 年，那么，针对现有 15-20 年年龄的林子，大约对 6-10 个样地中的碳储量进行估算就足够了。

评估方差必须要有初始数据，这一点也是为达到期望精度而对样地数量提出要求的原因。通常 6-10 个样地就足以评价方差。如果项目是由多层组成的，初始数据就应该从每一层中获取。

第三步：根据初始数据估算碳储量、标准差、方差。

第四步：计算要求的样地数量

参看附录 B.1 样地数量计算的公式和例子。

3.8 样地分布

为了在野外测量中保持严密性，布设样本单元不能带有偏好。抽样应该在项目区整个范围内进行。如果样地只是沿着道路或林间小路，那么，项目区所有地点被抽样的机会就不是均等的，因此，就会发生系统偏差。为了确保样地在整个项目区的分布不带有偏好，样地布设应该采用随机或系统抽样的方法。随机或系统抽样方法可以在项目区的一个层或多个层中采用，在需要测量多个碳库的地方，以第一次调查的原样地为基础确定测量二级碳库的样地是合理的，但是，这些二级碳库的样地应该在原样地之外，所有后续的重新测量和调查都应该在新的位置上进行。

到底采用那种布设样地方法呢？如果对需要抽样的总体不了解，一般而言，随机选择样本单元比用系统抽样更为保险一些，但这也要看项目区的面积和项目类型，如果碳库呈

不规则分布，这两种方法精度都差不多。如果特定层中某些部分的碳含量比其它部分要高，系统抽样方法常常比随机抽样方法得出的精度要更高一些。当样地布置可能和总体有一致的变化时，就不应该采用系统抽样方法。

一旦样本类型设计确定了，就可以用随机数表或者 GIS 程序中的随机功能或者也可以使用秒表中的毫秒计数器来作为替代方法，在地图上通过随机定向和确定距离来布设样地。如果要用系统抽样方法在每层范围内确定样地，就要把一个网格放在项目区的地图上，按照一种有规律的方式，在整层进行布样。在开始野外工作之前，应该在地图上，将样地位置确定下来。一旦外业开始，外业工作队就应该使用适当的工具（如 GPS，测量方法）在地面找到预先确定的样地。下列公式(Pita Carpenter, 1973)可以用来得出抽样网格。

$$L = \sqrt{\frac{A}{n}}$$

这里：
L 以米为单位，表示两个网格点之间的长度；
A 表示点查面积；
n 表示样本大小。

3.9 测量频率

随着时间的变化，对树木生物量的监测，就是通过在一个固定的时间间隔内，对许多单个树木进行重复测量，记录其生长和死亡情况。指定的监测时间间隔需要综合考虑呈交报告的需求和减少费用两方面因素，在两者之间求得平衡。采用的方法就是限制测量事件的数量和每次测量所要求的样本大小。伴随着短的间隔期而不断增加的小变化就要通过增加抽样强度来解决。在理想情况下，监测的时间间隔应反映植物生长预期的变化动态。根据系统的特征、资金和报告要求，在典型的情况下，每间隔 5-10 年，对植被进行一次测量。而对于土壤动态过程，应为变化比较慢，测量频率可降低到每 10-20 年进行一次。

4. 如何测量以进行碳估算

要使野外对碳库进行测量做到高效并节约费用，就需要有周密的计划（前面部分已经详述），另外要校正所需的外业设备。标准操作程序中列出了测量每个碳库所需的设备。一般来讲，用于外业的设备必须准确、结实耐用并能经受住不利条件下的使用。最后需要准备的方面，也是常常忽视的，就是按照要求的过程，详细地制定好工作计划，以保证野外工作的安全。参看 SOP1 中的指导

4.1 测量样地的描述

在外业工作开始前，就应将测量样地的位置确定下来。应借助全球定位系统（GPS）找到需要测量的样地。关于 GPS 的使用方法见 SOP2。到达了要测量的样地后，对于圆形样地应该在样地中心做个标记，对于正方形或矩形样地则应在四边做上标记。这时，如果用于测量的样地要被永久性地标记下来，就要对那些首次被测量的树木做上特征性的标记。如果样地在大于 10% 的斜坡上，就需要进行斜坡校正，最好先记录坡度，等回来后再计算实际水平面积，因为经验表明，在项目周期中，如果在野外做这样的调整，往往容易发生错误，在野外对样地进行校正，样地尺寸大小的变化会增加布设样地的难度和费用。如果永久样地的 50% 以上都落在大于 10% 的斜坡上，就应移动样地中心，以使得整个样地都落在斜坡上；如果永久样地的 50% 以上是落在小于或等于 10% 的斜坡上，就要移动样点中心，使得整个样地落在平面上。关于样点布设方法指南参看 SOP3。

4.2 活有机物质的测量

4.2.1 树木测量

树木生物量和碳储量的估算可以通过使用适用于树木测量的适宜公式来进行。

为了实用起见，树木生物量通常是通过生物量和胸径相互关系的公式来估算的。虽然把树高和胸径结合起来比单独用胸径更好一些，但是测量树高是费时的，也会增加项目监测费用。此外，全球树木数据库显示，仅仅通过使用胸径，就可以建立非常重要的生物量回归方程，这些生物量回归方程计算的结果也相当准确。在林业上，胸径定义的高度是地面以上 1.3 米。参看 SOP4 的指南和 5.4 以及 5.5 部分的计算该碳库碳储量的方法。如果没有合适的计算公式，或者为了验证一般公式的正确性，则需要采伐一些树木。参看 SOP5 的指南。

4.2.2 测量棕榈类植物

对于棕榈类植物来讲，生物量与树高的关系比胸径更为紧密。如果棕榈类植物的主干高度恰好超过了 1.37 米，就应该对其高度进行测量，对棕榈类的测量只在其中的一个嵌套样地中进行，被测量的样地通常应是最大的那个。参看 SOP6 的指南和 5.4 以及 5.5 部分计算该碳库碳储量的方法。

4.2.3 测量藤蔓类植物

藤蔓类植物测量起来比较困难，因为它们通常都比较长，并在几个地方都会超出样地范围。应测量其胸径。但需要注意的是，不要对相同的藤蔓类植物重复测量。参看 SOP7 的指南和 5.4 以及 5.5 部分计算该碳库碳储量的方法。

4.2.4 测量竹子

竹子生长呈浓密的灌丛状，其生物量甚至可在一个生态系统中占据主导地位。在针对竹子碳储量计算有现成公式的情况下，应该进行必要的测量，通常是计量竹干数量、高度和直径。在没有现成公式的地方，就需要砍伐一定量的竹干，以便建立一个计算公式。参看 SOP8 的指南和 5.4 以及 5.5 部分计算该碳库碳储量的方。

4.2.5 测量灌木

灌木能够在生物量组成中占据重要部分。最好的办法就是建立一个基于冠幅面积、高度或植株基部直径这些变量并适合当地情况的异速生长方程。然后在样地中，对独立变量进行测量。对于高度低于 30cm 的小灌木，可以采取类似草本植物的方法，通过剪割来测量。参看 SOP9 的指南和 5.4、5.5、5.6 部分提供的计算该部分碳库碳储量的方法。

4.2.4 测量草本植物

测量草本植物生物量是采用剪割的方法。在小面积样地范围内，将所有植物全部剪割掉再称其鲜重，然后再干燥称重。这个方法可用于林下层草本植物和草地植被的测量。参看 SOP10 的指南和 5.6 部分提供的该部分碳库碳储量计算方法。

4.2.4 测量根系

根系测量既困难也耗时间，在大多数生态系统中都是采用估算办法。对于树木来讲，有许多将每公顷地上部分生物量碳密度转化为地下部分生物量碳密度的高精度的因子 (Cairns et al 1997)。但是，也可能通过直接测量，通常对湿地中的树种 (如红树林或者柏类树木) 是需要这样做的，转换因子不适用于湿地的情况。对于非树木植物，如果预计其地下生物量会有大的变化时，则需要直接测量。参看 SOP11 的指南和 5.7 部分提供的计算该碳库碳储量的方法。

4.3 测量死的有机质

4.3.1 测量枯死立木

在以活的树木为主的样地内，枯死立木也应测量。应该将枯死立木划分为两类。

第一类是有许多枝条和嫩枝看上去像活的树木 (除了叶子不像以外)；

第二类是从包含各种大大小小的枝条当只有一个树干。

通过将枯死木简单分成两类，就可以对其生物量进行保守估算。对于属于第一类的枯死立木，应该采用与活的树木相同的方法进行测量。对于属于第二类情况的枯死立木，需要测量胸径，同时，需要对被估算树干顶部的高度和直径进行测量。对于树干的高度，可以使用测角仪来测量，对于其直径则可以使用林分速测镜，或者采用透明测尺，应用眼睛到树木和树木的外观宽度之间的比例来估算。为了计算在第二类枯死立木中的碳储量，还需要估计枯死立木的密度（参看 SOP 枯死密度测量）参看 SOP12 和 SOP13 指南以及 5.7 部分提供的计算碳库碳储量的方法。

4.3.2 测量枯死倒木

采用横截线法能够有效地测量倒下的枯死木 (Brown 1974, Harmon and Sexton 1996)。这种方法仅用来测量大的枯死木（木材直径大于 10cm）。对于直径比较小的枯死木则放在枯落物碳库中进行测量。将两根分别为 50 米长的直线放在地上，对所有与直线交叉的枯死木进行测量，同时，估计枯死木的密度是属于良好、中等、腐烂三种情况中的哪一种，然后，根据直径和所估计的密度，得出倒下的枯死木的体积，再计算其碳储量。对枯死木平均密度的估计，需要在野外抽样工作开始时就要做好（参看 SOP 关于枯死木密度测量）。参看 SOP12 和 SOP14 的指南和 5.8 部分关于该碳库碳储量的计算方法。

4.3.3 测量枯落物

枯落层是指所有的在矿质土上面的直径小于 10cm 枯死有机物质。有些这样的枯落物仍然能够识别（各种死叶子、嫩枝、枯死的草、小枝条和木炭），而有些是不能够辨别的有机物质分解碎片，需要主要的是只是那些直径小于 10cm 的枯死木才被包括在枯落物层中。每次调查，对枯落物的抽样应该在一年中同一时间，以排除季节影响。枯落物是在回形样方里取样，回形样方是一个取样框，通常是用 PVC 管子或铝做成的，随机放置在地上。在每个被抽取的树木样地随机放置 4 个回形样方。在收集枯落物之前，应该去除回形样方里的所有植物，将回形样方里所有枯落物收集、称重。再将一个称完重、有代表性的子样品从野外带回去测定其干重。参看 SOP15 的指南和 5.9 部分给出的该碳库碳储量的计算方法。

4.4 测量土壤

4.4.1 测量矿质土

为了准确地调查获得在矿质土和有机土中有机碳储量的数据，必须对三种变量进行测量，即深度、容积密度（通过计算已知抽样物质体积和烘干的土壤重量）和有机碳在样品

中的集中度。为了方便并节约费用，建议在一个恒定的深度进行取样，以使样本体积保持恒定，而不用考虑样本的质量（重量）。在大多数情况下，建议土壤取样深度为 30cm。收集土样应使用土钻。为减少变化，应将取自每个取样点的四个位置的土样混合在一起，用布袋子收集起来用于分析。另外，在每个取样点取两个样品用于估算容积密度。需要将这些土样送到专业实验室中，分析其碳含量和容积密度。如果一些取样位置的土壤深度比选择的标准深度浅，那么就需要对取样的土壤深度进行测量，在计算土壤碳储量时，应将实际测量的深度考虑进去。如同本节所描述的，对于在一个固定的深度进行取样（体积相等）可能会导致低估造林后增加的碳，因为，如同预期的一样，随着时间变化，土壤容积密度会减少，同样的取样量所包含原来的物质就比较少。因此，用这样的方法得出的自然增长率应该被视为对土壤碳增长的一种保守估算。

在那些因为改变土地经营管理方式而预计土壤表层碳含量会有大的增加的地方，土壤表层碳库的增长可能会被深层土壤中较低的碳集中度所掩盖。因此，在对土壤碳库比较了解的情况下，可以在较浅和较深的土层进行取样，比如 0-10cm 和 10-30cm，同时也需要在这两种深度分别测量容积密度。对于含有许多石头的土壤，则不能土壤打孔器，因为它将高估细质土壤的比例，取而代之的方法是，应将土壤挖出来，并估算土壤中的石头量。参看 SOP16 的指南和 5.10 部分提供的该碳库碳储量的计算方法。

4.4.2 对泥炭土的特别考虑。

一些项目具有产生碳信用的潜力，这些设计的项目旨在防止因人为活动加快泥炭土氧化过程而进一步导致碳损失。通常的情况是，对泥炭地进行排水，以便将其作为农地使用或者为了增加木材产量在泥炭地上造林。为了计算因进一步避免泥炭损失而产生的碳信用，要求对确定为正常情形下的碳排放进行估算，因此，对泥炭损失的测量则需要建立在排放比例的基础上。对泥炭土的测量不同于矿质土，因为其含水量特别高，很可能还有大块的浸透了水的木质残留物，其容积密度是特别低，其体积会因为排水而发生急剧变化。体积变化源自沉淀和泥炭分解，而分解则是由于除去了空隙中的水和抽干泥炭土上层温度增加的结果。为计量碳而进行测量，则需要重点考虑和分解相关的各种变化，而不是沉淀，这是测量泥炭土和矿质土之间的根本区别。下面是为估算泥炭土的碳损失而需要测量的方面。

沉淀。因为随着排水，泥炭土就会下沉，其体积和密度也会发生变化。对沉淀的监测要靠一些经过校正并插在矿质土中的杆子来进行，并且要定期地测量容积密度。

在有效地下水位上的泥炭深度（也就是地下水位以上的饱和区，相当于矿质土的毛细管边缘）。这项测量是为了确定泥炭层厚度，这个厚度很可能会因为排水而发生变化。通过挖一些井就容易测量，这些井最好和监测沉淀的位置相同。

粗大的木质残留物。这一点是必须的，因为许多泥炭土，特别是在热带地区沼泽泥炭中，包含了大量的没有分解、浸透水的木头。这方面最适用的评估方法就是小心地挖一些小坑，把其中的木质和细质泥炭部分分开、称重，然后转化为单位体积下的烘干质量（重量）。参看 SOP17 的指南和 5.10 部分提供的计算该碳库碳储量的方法。

5. 如何对被估算的碳储量和碳储量变化进行计算

5.1 碳和生物量

大多数计算所确定的是特定碳库的生物量（除了土壤以外，通常直接测量碳）。通常通过除以 2，即可将生物量转化为碳

$$\text{碳} = \frac{\text{生物量}}{2}$$

但是，如果能从当地得到碳含量值，就可以用这些值来代替上面的计算方法。将碳假定为生物量的 50% 是有大量科技文献作为依据的。对枯落物和草本物质的研究也表明，在枯落物中，其碳含量是介于 46%—50% 之间，而草本物质的碳含量是介于 50%—53% 之间 (Giese 2001)。最近，对枯死阔叶树种的研究表明，其碳含量是介于 48%—50% 之间 (Hovemeyer and Schauermann 2003)。

5.2 尺度因子

为了从每个样地的数值推算出每公顷的数值，则需要扩展因子。各种扩展因子表示每个样地所代表的面积，需要对其进行标准化，这样结果就容易进行解释，同时可与其它研究结果作比较。

$$\text{尺度因子} = \frac{10000m^2}{\text{样地 (样框或土孔) 面积}(m^2)}$$

5.3 样地面积校正

因为所有碳测量的结果是以水平投影为基础来报告的，在坡地上设立的样地就必须用校正因子来进行校正。校正因子考虑的实际情况是，当将沿着坡面测量的距离，投影到水平面上的时候，距离就会变短。为了使得问题更简化，当出现样地被平地和坡地分割的情况时，就应该移动样地，以便将整个样地置于平地或者坡地上。如果整个样地落在大于

10%的坡面上，就应该测量坡度以便在分析时对样地面积进行校正。真正的水平半径可以通过下列公式计算：

$$L = L_s * \cos S$$

这里 L 表示的是样地的真正水平半径， L_s 代表的是在野外沿着坡面测量的标准半径，S 代表的是坡度，COS 表示的是角度的余弦

从野外回来后，对坡度校正得出的样地面积是：

圆形样地： 面积 = $\pi \times$ 标准半径 (L_s) \times 坡面样地半径 (L)

矩形样地： 面积 = 样地宽度 \times 计算的真正的样地长度 (L)

一个位于 25 度坡面上的样地，样地半径为 20 米，则 $L_s = 20 \times 0.91$ 即 18.2 米 ($\cos 25 = 0.91$)，因此，样地面积应该是 $3.142 \times 20 \times 18.1 = 0.11$ 公顷。一个位于 15 度的坡面上的样地，正方形样地边长为 25 米，则 $L_s = 25 \times 0.97$ 即 24.1 米 ($\cos 15^\circ = 0.97$)，因此样地面积应该是 $25 \times 24.1 = 0.06$ 公顷。

5.4 活树生物量

生物量方程是将树木胸径和生物量联系起来。这些方程针对的可能是单一树种或者是一批树种，有关于这方面的文献是不一致和不完整的。在应用特定的方程前，应该考虑这些方程原来是出自于哪个地方，这是因为，相似群组的树木在不同地理区域生长时，可能会有很大差别。

第一步：查找并选择合适的生物量方程。使用我们这里所给的方程（参见附录 C）、从文献资料中查找生物量方程、咨询当地专家（如当地大学或者政府林业管理部门）或者通过破坏性抽样来重新建立新的方程（参见 SOP 5）。

当计算生物量时，应该仔细观察适用于方程的最大直径。如果用生物量方程计算那些直径超过了其最大值的树木生物量时，就可能导致实质性的错误（参见布朗 1997 关于怎样处理超过了数据库限定大小的树木的一些想法）。生物量方程应该在项目区进行验证。其做法很简单，先估算树干体积（参见 7.4.1 和 8.4 部分），再乘以 1.2 的标准因子，以便将树枝体积也包括进来，然后再乘以木材密度，就可以获得生物量。一般来讲，大多数最有商业价值的树种的木材密度都是能够得到的（参见布朗 1997）或者通过简单地测量一下就可以得到。这样，通过和一系列不同大小树木生物量的估算结果进行比较，就能够验证生物量方程。

通过参看下面的例子，我们就能够知道，选择一个合适的生物量方程的重要性。在附录 C 中，列出了两个方程，这两个方程是用于计算生长在美国的松树。一个方程是用于计算生长在美国东部的松树，另一个用于生长在美国西部的松树。对于一棵胸径为 50cm 的松树，用适用于西部的方程估算得出的生物量为 1.1 吨，而用适合于美国东部的生物量方程估算生物量，其结果是 1.6 吨。甚至是将树木的胸径仅仅增长 1cm，即从 50cm 增长到 51cm，用适合于美国西部的生物量方程估算的生物量增量为 54kg，而用适合于美国东部的生物量方程估算生物量增量为 77kg。如果按照 SOP5 的指导，进行破坏性取样，以便重新建立一个简单的生物量方程（异速生长方程），可以在 Excel 软件中的绘图特征中，将一个回归线和一些数据进行拟合。大多数统计学或者森林测量学教科书中，都给出了利用胸径、高度和树木体积数据，来建立线性或者非线性生物量方程的各种方法。关于建立生物量方程的进一步讨论和如何应用这些方程，请参见 1997 年布朗和 1999 年佩尔松的研究成果。

第二步：用选定的生物量方程计算每棵树木生物量（参见附录 B.2）

第三步 a：对于那些只进行一次测量或者为设立所需数量的样地和基线碳储量进行多次测量的项目，需要将每个嵌套样地内的每棵树木生物量加起来再乘以扩展因子，就能得出每个嵌套样地中每公顷生物量。最后，再把各个嵌套样地的生物量相加起来，就能得出每公顷样地总的生物量。

第三步 b：对于那些需要跟踪树木中的碳积累的项目，用相同树木第二次计量的生物量减去第一次的生物量，就可以得出该树木累计的生物量增量。（参见附录 B.3）

为了做到准确地计算碳储量变化，必须将向内生长的树木（指在那些前一次测量中因为太小而没有测量的树木）的生物量增长量恰当地包括进来。为了保守起见，要确定在前一次调查中，样地中可能的最大胸径，以确定向内生长的树木。比如，最小起测直径是 10cm，一棵树木首次测量直径为 12.5cm，那么这棵树木从胸径 10cm 到 12.5cm，则仅仅长大了一点。两个调查间隔期死掉的树木被假定为没有增长，这些树木已经不属于活树碳库而属于枯死木碳库。

在嵌套样地内，将各项增长加起来再乘以扩展因子。最后，将各个嵌套样地数值加起来，就得出了每公顷样地总的增长量估算结果（参看下面例子）。

5.5 树木地下生物量

地上生物量测量相对确定而且简单，地下生物量的测量方法则是很费时的。因此，应该用回归模型，根据已经知道的地上生物量来确定地下生物量则是更为经济有效的。下面是几个普遍应用的回归模型(Cairns *et al* 1997)：

北方森林:

$$BBD (t/ha) = \exp(-1.0587 + 0.8836 \times \ln ABD + 0.1874)$$

温带森林:

$$BBD = \exp(-1.0587 + 0.8836 \times \ln ABD + 0.2840)$$

热带森林:

$$BBD = \exp(-1.0587 + 0.8836 \times \ln ABD)$$

这里 $BBD =$ 用吨计量的每公顷地下生物量密度 (t/ha)， $ABD =$ 地上生物量密度 (t/ha)

应用这些方程就能对地下生物量做出正确估算，这也是确定根部生物量的一种最为经济和实用的方法。

对于一次性的根部生物量测量，则将地上生物量简单地插入适合的方程中。

要计算在两次调查之间根部生物量的增量，准确使用这些方程是很重要的。对于永久样地中打上了标签的树木，不能就应用这些方程，简单地计算一下第一次和第二次的总的地上生物量，然后再除以年数，这样做就没有考虑向内生长的树木和死亡的树木。取而代之的，应该是使用下列方法来计算地下生物量增量。

第一步：使用异速生长方程（生物量方程—译者注）和适宜的扩展因子来计算第一次测量时的地上部分生物量。

第二步：计算第一次和第二次之间的生物量累积增量（参见 8.1 部分），把第一次的生物量加起来，以估算第二次地上生物量密度。

第三步：应用合适的地下生物量方程来估算在每个时间间隔的地下生物量。

第四步：（用第二次的地下生物量减去第一次的地下生物量）除以年数就等于每年地下生物量的增量。

5.6 非树木植被

第一步：计算样本的干物质。这里要选择子样品来确定含水量。

$$\text{干物质} = \left(\frac{\text{子样品的干物质}}{\text{子样品的鲜重}} \right) \times \text{整个样品鲜物质重量}$$

第二步：用干物质重量乘以一个扩展系数得出生物量密度（每公顷生物量吨数），这里，扩展系数是根据样本框或样地大小计算出来的。

$$\text{扩展系数} = \frac{10000m^2}{\text{样地面积}(m^2)}$$

5.7 枯死立木

第一步：对于分解情况属于第一类的，就像计算活的树木一样，采用胸径和适当的生物量方程来估算生物量。

第二步 a：对于第一类，应减去叶子的生物量（对于硬木或阔叶树，叶子大约占地上生物量的 2-3%，对于软木或针叶树，叶子约占地上生物量的 5-6%）(Jenkins et al 2003)。

第三步 b：对于第二类，因为不知道原来的生物量损失比例有多大，保守方法就是仅仅估算树木主干的生物量。

体积可以用测量胸径、树高和顶端直径的估计值来计算。将树木作为一个切除顶端的锥体来计算其体积。

$$\text{体积}(m^3) = \frac{1}{3}\pi h(r_1^2 + r_2^2 + r_1 * r_2)$$

这里 h 是用米为单位的树高， r_1 是树木基部的半径， r_2 是树木顶部的半径。采用适当的木材密度就可以将体积转化为干生物量。

$$\text{生物量} = \text{体积} * \text{木材密度}$$

因为枯死立木必须坚实，以支撑站立的树木。计算时，可以用测量枯死倒木得出的木材密度来作为枯死立木的木材密度。（这样是保守的——译者注）

5.8 枯死倒木

第一步：用收集的枯死木木段，计算每个密度等级（坚实、中等、腐烂）的木材密度。密度计算可以用下列公式：

$$\text{密度} \cdot (g/cm^3) = \frac{\text{质量} \cdot (g)}{\text{体积} (cm^3)}$$

这里：质量 = 烘干样品的质量，体积 = $\pi \times (\text{平均直径} \div 2)^2 \times \text{鲜样品的平均宽度}$

将各种密度进行平均后则可获得适合于每个等级的单一密度值。

第二步：因为每个密度等级是分开的，按照下列方法计算体积：

$$\text{体积} \cdot (m^3) = \pi^2 * \left[\frac{(d_1^2 + d_2^2 \dots d_n^2)}{8L} \right]$$

这里 d1, d2 等 = 枯死木各个横截面的直径， L = 木块长度

第三步： 枯死倒木的生物量 (t/ha) = 体积 × 密度

5.9 枯落物

第一步： 计算样品干物质重量。这里选取子样品来计算含水量。

$$\text{干物质重量} = \left(\frac{\text{子样品干物质重量}}{\text{子样品鲜物质重量}} \right) \cdot \text{整个样品中的鲜物质重量}$$

第二步： 通过干物质重量乘以扩展系数，得出生物量密度 (每公顷生物量吨数)，扩展系数是根据样本框或样地大小计算出来的。

$$\text{扩展系数} = \frac{10000m^2}{\text{样地面积}(m^2)}$$

5.10 土壤

第一步： 计算矿质土核的容积密度：

$$\text{容积密度}(g/cm^3) = \frac{\text{烘干质量}(g/cm^3)}{\text{土核体积}(cm^3) - \left(\frac{\text{粗质碎片质量}(g)}{\text{岩石碎片密度}(g/cm^3)} \right)}$$

这里：容积密度是对小于 2mm 的部分，粗质碎片是指 > 2 mm，岩石碎片密度通常是 2.65 g/cm³。

第二步： 用实验室得出的碳集中度数据，则单位面积的碳含量可以通过下式得出：

$$\text{碳}(t/ha) = [(\text{土壤容积密度}(g/cm^3) \times \text{土壤深度}(cm) \times \text{碳集中度})] \times 100$$

在这个公式里，碳集中度必须用小数来表示，比如碳集中度为 2.2%，应该在公式里表示成 0.022。

6. 如何估计生态系统的净变化

第一步： 如果开始计算的结果是每公顷多少吨生物量，就用 2 来除，得出每公顷多少吨碳。

第二步：对于活的树木、枯死立木、地上和地下生物量，可对单个样地，随着时间进行跟踪计算。也可以在样地层次上对碳储量变化进行直接计算。在样地范围内，应将不同组成部分的碳储量变化相加起来，则得出了每个样地碳储量变化，以 t C/ha 为单位。对样地层次各个计算结果进行平均，则得出了各层的平均数。

第三步：这里要将土壤、枯死倒木、林下地被物、非树木植被和木制品包括在内，并且分别计算。碳储量净变化要从第二次碳储量的平均值中减去第一次碳储量的平均值，再用碳储量变化除以两次测量间隔的年数，就得出了碳储量的年均增长量。

第四步：将各种碳库的计算结果加起来，就得出了总变化的估算值。

第五步：从碳净变化值中减去基线，计算出碳效益值。

第六步：如果项目区分成多层，那么，就像第一至第四步所详细阐述的那样，对每层分别计算，然后将结果加起来。

第七步：最后，用项目区面积或整个面积乘以单位面积的碳储量变化的平均值，得出对总的碳储量变化的估算值。

第八步：再将总的碳储量变化估算值乘以 3.67，就转换成了二氧化碳当量。

6.1 不确定性

这里有两种方法可用来计算项目活动总的不确定性。第一种方法采用简单的误差扩散，即通过将各部分的误差的平方加起来，再求其根数；第二种方法是用蒙特卡洛斯模拟来扩散误差。第一种方法使用起来很简单，不需要额外的计算软件，但第二种方法理想的使用情况应该是：

两组数据间存在相关性，比如，在时间序列里的两个点或者两个碳库之间；
不确定性很大（大于 100%）

方法一：简单误差扩散

第一步：将永久样地上的活的树木、枯死立木、地上和地下生物量平均，得出在 95% 置信区间内特定层的平均数，从而获得样地层次的生物量增量结果。

第二步：针对树木、土壤碳库、枯死倒木、林下地被物和非树木植被的临时样地，分别计算不确定性，置信区间计算如下：

$$Total \cdot 95\% \cdot CI = \sqrt{95\%CI_{Time1}^2 + 95\%CI_{Time2}^2}$$

(这里 $[95\%CI_{time1}]$ = 第一次的 95% 的置信区间， $[95\%CI_{time2}]$ = 第二次的 95% 置信区间)。

第三步：总的置信区间计算如下：

$$Total \cdot 95\% \cdot CI = \sqrt{95\%CI_{veg}^2 + 95\%CI_{soil}^2 + 95\%CI_{DDW}^2 + 95\%CI_{FF}^2 + 95\%CI_{NTV}^2}$$

(这里 $95\%CI_{veg}$ = 95% 的植被置信区间， $95\%CI_{soil}$ = 95% 的土壤等置信区间。

DDW = 枯死倒木， FF = 林下植被层， NTV = 非树木植被)。

第四步：理想情况下，基线也要有一个 95% 的置信区间，这样，在减去平均值后，95% 的置信区间可以从下式得出：

$$Total \cdot 95\% \cdot CI = \sqrt{95\%CI_{Carbon\text{-}Stocks}^2 + 95\%CI_{Baseline}^2}$$

第五步：如果项目被划分成多层，那么，对于各层加起来的新的置信区间可以按下式估计：

$$Total \cdot 95\% \cdot CI = \sqrt{95\%CI_{s1}^2 + 95\%CI_{s2}^2 \dots 95\%CI_{sn}^2}$$

(这里 $95\%CI_{s1}$ = 第一层、第二层..... 等项目所有测量的层的 95% 置信区间)。

第六步：最后，用单位面积碳储量的总的不确定性，乘以项目的整个面积，就得出对碳储量变化的总的估算。

第七步：用这个总的估算值，再乘以 3.67，则转化为吨二氧化碳当量。

附录 B.5 给出了简单的计算例子。

方法 2：蒙特卡洛斯模拟

蒙特卡洛斯分析原理是每次由计算机从最初由使用者输入的不确定性分布范围内，随机选择不确定的碳储量和增量，将多次产生的不确定性加起来。这些分析可使用蒙特卡洛斯软件，如 Simetar, @risk 或者 Crystal ball (www.simetar.com, www.palisade.com/html/risk.asp, www.crystalball.com)

6.2 单一数据集的两种方法比较。

理论上讲，几乎所有的土地利用、土地利用变化和森林 (LULUCF) 活动的计算，都应该用方法 2，理由是各种不确定性值之间的独立性并不存在，比如说，第一次测量和第二次之间总是相关的，枯死木总是和活的树木生物量之间相关联的，下面的例子是基于单一数据集，用两种方法分别计算的，这些计算将包含在随后的版本中。

7. 碳储量估算的可信度

为实施质量保证和质量控制要求进行可核查和核证的碳储量变化测量。质量保证和质量控制计划为所有的利益相关者提供了信心，即报告的碳信用是可信的，并满足最低限度的测量标准，质量保证和质量控制计划应该成为项目文件的一部分，并且涵盖各项程序，以达到：（1）收集可靠的野外测量数据；（2）验证实验室程序；（3）验证数据录入和分析技术；（4）数据维护和存档。参见 SOP18

8. 非二氧化碳气体

其它气体也和二氧化碳一样直接地影响着气候变化。甲烷和氧化亚氮是两种和土地利用变化相关的气体。虽然和二氧化碳相比，这些气体产生的数量比较小，但是它们对气候变化影响较大。通过计算全球增温潜力则可说明这一点。在过去的 100 年间，甲烷增温潜力预计是二氧化碳的 21 倍，氧化亚氮增温潜力相当于二氧化碳的 296 倍(Houghton *et al* 2001)。因此，在过去 100 年间，这些气体产生的数量只需要分别相当于排放的二氧化碳量的 4%和 0.3%，就会对气候变化产生同等的影响。

甲烷和氧化亚氮主要是人类活动产生的，比如，使用机械、火灾、给湿地排水、给土地施肥 (Houghton *et al* 2001)可能会产生。

估算这些非二氧化碳气体的方法，源自 IPCC 良好做法指南 (IPCC 1996)，这里给出了 Tier 1 方法 (最简单)。如果发现任何一个重要的排放源 (如超过总量的 1%)，那么使用者就应该回到原来的排放源，使用 Tier2 或者 Tier3 的方法学进行计算。

8.1 交通和机械

虽然计算排放有各种方法，甚至在 Tier 1 里也提供了，但是，这些都要求输入复杂、多样的数据。如果作为项目活动的一部分，汽油和柴油消耗量很大，那么，使用者就应该参考 IPCC 国家温室气体清单指南中的方法学 (IPCC 1996)。

8.2 施肥

如果为促进树木生长而进行施肥，那么，就应该考虑 N₂O (氧化亚氮) 的排放。源自施肥导致的 N₂O 直接排放 = (F_{SN} × EF₁) × CO₂EF_N

F_{SN} = 每年施于土壤的符合氮肥总量

EF₁ = 在第 N 个由施肥引起的 N₂O 排放的排放因子 — 缺损值 = 1.25%

CO₂EF_N = CO₂ 对等因子 (296)

8.3 火灾

生物量燃烧是产生非二氧化碳气体的最大的自然 (或半自然) 原因(Nabuurs *et al* 2003)。排放的数量可以使用根据释放的 C 的数量而确定的排放因子来估算 , (Nabuurs *et al* 2003)。如果在造林整地涉及到上述燃烧 , 就得考虑烧火引起的排放。

$$\text{CH}_4 \text{ 排放量} = \text{释放的碳} \times 0.016 \times \text{CO}_2\text{EF}_M$$

$$\text{CO}_2\text{EF}_M = \text{CO}_2 \text{ 对等因子 (21)}$$

$$\text{N}_2\text{O 排放量} = \text{释放的碳} \times 0.00011 \times \text{CO}_2\text{EF}_N$$

$$\text{CO}_2\text{EF}_N = \text{CO}_2 \text{ 对等因子 (296)}$$

9.参考文献 (略)

附录 A 术语表

正确度：测量值和它的真实值接近程度

生物量：有机物质 (包括地上和地下，活的和死的)

北温带的：年平均温度低于 0℃

碳库：含碳有机质

碳储量：在一个特定碳库中的碳量或者单位面积的碳库

置信区间：是对数据分布的测度。它给出一系列值，在这些值中，存在真实平均值出现的可能性 (通常是 95%)，通过标准差乘以适当 T 值来计算，下表中给出了计算 95% 的置信区间所需的 T 值

观测号码	T 值	观测号码	T 值
5	2.776	60	2.001
10	2.262	65	1.998
15	2.145	70	1.995
20	2.093	75	1.993
25	2.064	80	1.990
30	2.045	90	1.987
35	2.032	100	1.984
40	2.023	110	1.982
45	2.015	120	1.980
50	2.010	150	1.976
55	2.005	200	1.972

农地：定义为任何生长非木材农作物的土地。包括草本农作物和葡萄园、果园等含碳量高的农作系统。

胸径：指在高于地面 1.3 米并平行于地面的树木直径。通常用胸径卷尺测量，胸径卷尺是经过校正的，当测量人员将尺子绕着树木测量时，就可以直接读出直径。

森林：包括所有的树冠覆盖大于 30% 的土地，包括天然林、人工林和造林的湿地和红树林。

放牧地：这是一个非常宽泛的分类，包括经营的牧场、大草原、无树草原和稀树草原。放牧地通常都有树木生长，只是树冠覆盖度低于 30%。洪泛草地和盐沼等水生系统也属于该分类系统。

温室气体：大气中的天然或人为引起的各种吸收和散射辐射的气体，这些气体的特征是能引起温室效应，在地球的大气中，这些气体主要包括水蒸气、二氧化碳、氧化亚氮、甲烷和臭氧。

硬木 (阔叶树)：植物学上的树木群体，有阔叶并生产水果或栗子。

泄漏：因为项目活动引起的在项目边界以外的碳损失。

平均数：用测量数据总和除以测量次数。在 Excel 中采用 AVERAGE(...测量数据列表....)

精度：测量的可重复性或者真实值可能出现在其中的一系列数值。

吸收 (汇)：增加生态系统碳储量的过程。

软木 (针叶树)：有针叶的树种。

标准差：数据的分布测度。在 Excel 中计算为 STDEV(...观测数据列表....)

标准误：数据的分布测度。用标准差除以观测次数的平方根来计算。

温带的：年平均温度介于 0°C - 20°C

热带的：年均温度大于 20°C

方差：数据的分布测度。在 Excel 中用 VAR(...观测数据列表....)来计算。

附录 B 样本计算

B.1 计算样地数量

对于这有单层的项目，样地数量通过下式计算：

$$n = \frac{(N * s)^2}{\frac{N^2 * E^2}{t^2} + N * V}$$

这里：

E 是期望的置信区间的一半，用平均碳储量乘以期望的精度（也就是平均碳储量 $\times 0.1$ （10%的精度）或 $\times 0.2$ （20%精度））

t 是为达到95%的置信水平根据 t 型分布确定的样本统计量， t 通常设为 2，因为在这个阶段样本大小还不知道。

N 表示在总体中样本单元的数量（等于公顷计量的项目区面积或层数和用公顷计量的样地面积之比）

S 代表标准差。

V 代表方差。

2 层情况下，样本数量 (n)

$$n = \frac{(N_1 * s_1)^2 + (N_2 * s_2)^2}{\frac{N^2 * E^2}{t^2} + N_1 * V_1 + N_2 * V_2}$$

n 层情况下，样本数量 (n)

$$n = \frac{(N_1 * s_1)^2 + \dots + (N_n * s_n)^2}{\frac{N^2 * E^2}{t^2} + N_1 * V_1 + \dots + N_n * V_n}$$

1 层、2 层直到第 n 层

举例：

一个只有单一层次的项目

面积 = 5,000 ha
 样方大小 = 0.08 ha
 平均碳储量 = 101.6 t C/ha
 标准差 = 27.1 t C/ha
 方差 = 737 t C/ha
 N = 5,000 / 0.08 = 62,500
 期望精度 = 10 %
 E = 101.6 * 0.1 = 10.16

$$n = \frac{(62500 * 27.1)^2}{\frac{(62500)^2 * (10.16)^2}{2^2} + (62500 * 737)}$$

= 29 个样地

对于有三层的项目

	第一层	第二层	第三层	总计
面积 (ha)	3,400	900	700	5,000
样地大小 (ha)	0.08	0.08	0.08	0.08
平均碳密度 (t C/ha)	126.6	76.0	102.2	101.6
标准差	26.2	14.0	8.2	27.1
方差	685.4	196.9	66.5	737.0
N	3,400 / 0.08 = 42,500	900 / 0.08 = 11,250	700 / 0.08 = 8,750	5,000 / 0.08 = 62,500
期望精度 (%)				10
E				101.6 * 0.1 = 10.16

$$n = \frac{[(42500 * 26.2) + (11250 * 14) + (8750 * 8.2)]^2}{\frac{62500^2 * 10.16^2}{2^2} + [(42500 * 685.4) + (11250 * 196.9) + (8750 * 66.5)]}$$

= 18 个样地

这个例子阐明了分层的优点。项目区面积相同时，如果不分层，达到高精度要求需要 29 个监测样地，但是如果分层仅仅需要 18 个样地。

为达到精度要求，碳储量变异越大，需要的样地数量就越多。如果一个分层的项目区所需要的样地数量比没有分层的情况所需样地还多，就应去掉一个或更多的层。分层的目的是为了使得抽样更为有效。如果项目区已经分层，下列公式可以用来在各层分配计算所得的样地数量。

$$n_h = \left[\frac{N_h s_h}{\sum N_h s_h} \right] n$$

这里：

n 是总样地数量， n_h 是 h 层的样地数量

N 总体中的样本单元数量， N_h 表示 h 层的样本单元数量

s 代表标准差， s_h 代表 h 层的标准差。

举例：

使用上面计算的数据

第一层

$$n_h = \left[\frac{(42500 * 26.2)}{(42500 * 26.2) + (11250 * 14) + (8750 * 8.2)} \right] * 18$$

= 15 个样地

第二层

$$n_h = \left[\frac{(11250 * 14)}{(42500 * 26.2) + (11250 * 14) + (8750 * 8.2)} \right] * 18$$

= 2 plots

第三层

$$n_h = \left[\frac{(8750 * 8.2)}{(42500 * 26.2) + (11250 * 14) + (8750 * 8.2)} \right] * 18$$

= 1 个样地

B.2 用生物量回归方程计算生物量

例如：

在玻利维亚的热带湿雨林，测量一棵胸径是 55cm 的树木：

选择适用于热带湿雨林的一般方程（采用布朗 1997）。

$$\text{生物量}(kg) = \exp(-2.289 + 2.649 * \ln dbh - 0.021 * \ln dbh^2)$$

55 cm 完全在该方程的最大胸径（148cm）范围之内。

1. $2.649 * \ln(55) = 10.615$
2. $0.021 * \ln(55)^2 = 0.337$
3. $-2.289 + 10.615 - 0.337 = 7.989$
4. $\exp(7.989) = 2.948.3 \text{ kg} = 2.95 \text{ tons of biomass or } 1.47 \text{ tons of carbon}$

B.3 根据异速生长回归方程计算树木地上部分碳储量变化

下面是一个例子，如何使用嵌套样地设计和异速生长回归方程来计算树木地上生物量及其变化

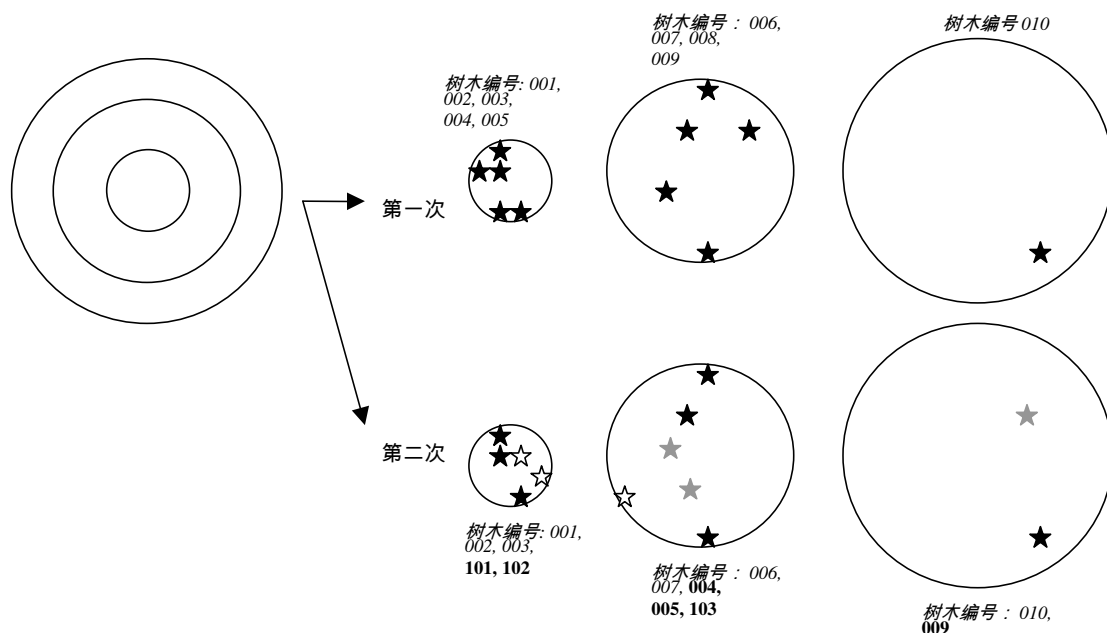
作为一个假设的例子，调查一个单个样地，这个样地由三个嵌套的子样地组成。

半径为 4 m 的用于测量胸径为 5—小于 20 cm 的树木。

半径为 14 m 用于测量胸径为 大于等于 20cm 到小于 50 cm 的树木。

半径为 20 m 用于测量胸径大于等于 50 cm 的树木。

下列图和表表示在两个时间对树木的测量。注意在第二次测量是那些向内生长、因太小而没有在第一次测量的树木（在小嵌套中的 101 号、102 号树木和在中等嵌套中的 103 号）和当最大、最小阈值被设定时，从一个样地里长出来的树木（树木编号为 004, 005，小的到中等的，树木编号为 009 的为中等的到大的）



这三个嵌套的样地分别用星号表示第一次和第二次测量树木的位置。在第二次，黑色星号表示那些大小等级仍和第一次相同的树木。灰色星号表示那些已生长进入下一个大小等级的树木，白色星号是那些在第一次测量时，超出最低测量限度的树木。

第一次				第二次			
标签	嵌套	胸径(cm)	生物量(kg)	标签	嵌套	胸径(cm)	生物量(kg)
001	小的	5.6	9.1	001	小的	6.1	11.4
002	小的	8.3	25.1	002	小的	8.9	30.0
003	小的	12.1	65.7	003	小的	13.2	82.0
004	小的	16.2	137.8	004	中等的	20	234.7
005	小的	18.1	182.4	005	中等的	22.1	301.9
006	中等的	20.2	240.6	006	中等的	20.9	262.2
007	中等的	22.3	308.8	007	中等的	23.3	344.8
008	中等的	38.6	1221.9	008	死的	死的	1221.9
009	中等的	48.2	2124.8	009	大的	51	2444.9
010	大的	57	3222.0	010	大的	58	3364.0
				101	小的	5.5	8.7
				102	小的	5.9	10.5
				103	中等的	20.3	243.7

{ Σ = 总和}

每个子样地的生物量增量=

(Σ 仍在子样地树木径级内的树木的增量) +

(Σ 向外生长树木的增量 [= Σ 树木径级最大生物量 - 第一次生物量]) +

(Σ 向内生长树木的增量 [= Σ 第二次生物量 - 树木径级的最小生物量[†]])

[†] 每个树木径级的最小生物量可以通过将那个树木径级的最小胸径输入回归方程、(小样地的树木径级是 5cm, 中等样地是 20cm, 大样地是 70cm)

$$\begin{aligned} \text{小的子样地 } t &= [(11.4-9.1) + (30.0-25.1) + (82.0-65.7)] + [(234.7-137.8) + (234.7-182.4)] + [(8.7-6.8) + (10.5-1-6.8)] \\ &= 178.3 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{中等的子样地} &= [(262.2-240.6) + (344.8-308.8)] + [(2327.5-2124.8)] + [(234.7-234.7) + (301.9-234.7) + (243.7-234.7)] \\ &= 336.5 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{大的样地} &= ((3364.0-3222.0)) + ((-)) + ((2444.9-2327.5)) \\ &= 453.9 \text{ kg} \end{aligned}$$

生物量 = 每个子样地生物量总和 \times 那个子样地的扩展因子

$$\text{小的} - 178.3 \times 198.9 = 35,463.9 \text{ kg/ha}$$

$$\text{中等的} - 336.5 \times 16.2 = 5,451.3 \text{ kg/ha}$$

大的 - $453.9 \times 8.0 = 3,631.2 \text{ kg/ha}$

总计 = $44,546.4 \text{ kg/ha} = 44.5 \text{ t/ha}$, 针对那个特定的时间间隔。

B.4 计算枯死倒木的重量

下面的例子，沿着 100m 的样线 (截线法) 对枯死木抽样，以确定生物量密度。记录各种直径和密度级，同时收集子样本，来确定在三个密度级 (坚实的、中等和腐烂) 中每个密度，下列数字表示假定的结果：

13.8 cm	坚实的
10.7 cm	坚实的
18.2 cm	坚实的
10.2 cm	中等的
11.9 cm	中等的
56.0 cm	腐烂的

子样本的密度：	坚实的：	0.43 t/m^3
	中等的：	0.34 t/m^3
	腐烂的：	0.19 t/m^3

坚实的木材体积： $\pi^2 \times [d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2 / 8L]$
 $\pi^2 \times [13.8^2 + 10.7^2 + 18.2^2 / 800]$
 $7.85 \text{ m}^3/\text{ha}$

中等的木材体积： $\pi^2 \times [10.2^2 + 11.9^2 / 800]$
 $3.03 \text{ m}^3/\text{ha}$

腐烂的木材体积： $\pi^2 \times [56.0^2 / 800]$
 $38.7 \text{ m}^3/\text{ha}$

生物量密度 = $(7.85 \times 0.43) + (3.03 + 0.34) + (38.7 \times 0.19) = 11.8 \text{ t/ha}$

B.5 用误差扩散估算碳储量的净变化和不确定性

在这种情况下，假定在整个估算时间内，项目区的植被和土壤碳储量保持不变，减去一次基线的碳储量，则在后续间隔期的报告中，碳储量总的增加就是净增加。

计算系统的碳储量净变化

假定一个例子，即一个在退化的农地上营造 500 公顷的林子。基线的情况是，在没有这个造林项目的情况下，土地将延续农作物种植，碳密度为 0.9 吨碳/年，下表报告的是在 1-10 年间的碳增量。

样地号码	不同碳库的增量 (t C/ha)			总和 t C/ha
	活生物量		死有机物质	
	树木地上部分	地下部分	枯死立木	
样地 1	12.1	2.4	0.0	14.5
样地 2	11.5	2.3	0.0	13.8
....
....
样地 31	12.6	2.5	0.0	15.1
样地 32	10.9	2.2	0.0	13.1

平均数	13.8
95% 置信区间	2.4
± 非树木植被	1.8
非树木植被的 95% 置信区间	0.1
± 枯死立木	0.1
枯死立木的 95% 的置信区间	0.1
± 林下植被层	0.2
林下层的 95% 置信区间	0.1
+ Soil	0.5
Soil 95% CI	0.1
± 木制品	0
木制品的 95% 置信区间	0
- 基线	0.9
基线的 95% 置信区间	0.1
碳储量的净变化	15.5
95% 置信区间	2.4

项目去碳储量的净变化： $15.5 \text{ t C/ha} \times 3.67 \text{ t CO}_2\text{eq/ha} / \text{t C/ha} \times 500 \text{ ha}$

± 95% 置信区间： $2.4 \text{ t C/ha} \times 3.67 \text{ t CO}_2\text{eq/ha} / \text{t C/ha} \times 500 \text{ ha}$

附录 C 公开发表的生物量方程

下面给出了一些生物量方程，更多的生物量方程可以从土地利用、土地利用变化和森林的两好做法指南中找到，网址：

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.htm>

温洛克生态系统服务网址：

http://www.winrock.org/what/ecosystem_pubs.cfm

适于温带地区的生物量方程：

一般分类	树种群	方程	资料来源	原始数据来源	最大胸径
阔叶树	一般情况	生物量 = $0.5 + ((25000 \times dbh^{2.5}) / (dbh^{2.5} + 246872))$	Schroeder et al. (1997)	美国东部	85.1 cm
针叶树	松树	生物量 = $0.887 + ((10486 \times dbh^{2.84}) / (dbh^{2.84} + 376907))$	Brown and Schroeder (1999)	美国东部	56.1 cm
针叶树	云冷杉	生物量 = $0.357 + ((34185 \times dbh^{2.47}) / (dbh^{2.47} + 425676))$	Brown and Schroeder (1999)	美国东部	71.6 cm
阔叶树	一般情况	生物量 = $\text{Exp}(-2.9132 + 0.9232 \times \ln(dbh^2 \times \text{高度} t))$	Winrock	美国东部	85.1 cm
阔叶树	白杨、桤木、三叶杨、柳树	生物量 = $\text{Exp}(-2.2094 + 2.3867 \times \ln dbh)$	Jenkins et al. (2003)	美国	70 cm
阔叶树	软质枫树、桦木	生物量 = $\text{Exp}(-1.9123 + 2.3651 \times \ln dbh)$	Jenkins et al. (2003)	美国	66 cm
阔叶树	混交阔叶树木	生物量 = $\text{Exp}(-2.4800 + 2.4835 \times \ln dbh)$	Jenkins et al. (2003)	美国	56 cm
阔叶树	硬质枫树、橡树、山胡桃树、山毛榉	生物量 = $\text{Exp}(-2.0127 + 2.4342 \times \ln dbh)$	Jenkins et al. (2003)	美国	73 cm
针叶树	雪松、落叶松	生物量 = $\text{Exp}(-2.0336 + 2.2592 \times \ln dbh)$	Jenkins et al. (2003)	美国	250 cm
针叶树	花旗松	生物量 = $\text{Exp}(-2.2304 + 2.4435 \times \ln dbh)$	Jenkins et al. (2003)	美国	210 cm
针叶树	冷杉、铁杉	生物量 = $\text{Exp}(-2.5384 + 2.4814 \times \ln dbh)$	Jenkins et al. (2003)	美国	230 cm
针叶树	松	生物量 = $\text{Exp}(-2.5356 + 2.4349 \times \ln dbh)$	Jenkins et al. (2003)	美国西部	180 cm
针叶树	云杉	生物量 = $\text{Exp}(-2.0773 + 2.3323 \times \ln dbh)$	Jenkins et al. (2003)	美国西部	250 cm
林地	柏树、橡树和豆科灌木	生物量 = $\text{Exp}(-0.7152 + 1.7029 \times \ln dbh)$	Jenkins et al. (2003)	美国	78 cm

阔叶树 山毛榉	Biomass = $\text{Exp}(-3.0366 + 2.5395 \times \ln dbh)$	Joosten et al. (2004)	德国	~ 70 cm
针叶树 欧洲赤松	生物量 = $0.152 \times dbh^{2.234}$	Xiao and Ceulemans (2004)	荷兰	9.87 cm

适于热带地区的方程：

一般分类	树种群	方程	资料来源	原始数据 据来源	最大 胸径
干旱区 (降雨量 900 – 1500 mm)	一般情况	生物量 = $0.2035 \times dbh^{2.3196}$	Brown (未发表)		63 cm
干旱区 (降雨量 < 900 mm)	一般情况	生物量 = $10^{(-0.535 + \log_{10} \text{ basal area})}$	Brown 1997	墨西哥	30 cm
半湿润区 (降雨量 1500 – 4000 mm)	一般情况	生物量 = $\exp(-2.289 + 2.649 \times \ln dbh - 0.021 \times \ln dbh^2)$	Brown 1997 (最新的)		148 cm
湿润区 (降雨量 > 4000 mm)	一般情况	生物量 = $21.297 - 6.953 \times dbh + 0.740 \times dbh^2$	Brown 1997		112 cm
Cecropia	Cecropia species	生物量 = $12.764 + 0.2588 \times dbh^{2.0515}$	Winrock	玻利维亚	40 cm
棕榈类	棕榈	生物量 = $6.666 + 12.826 \times \text{height}^{0.5} \times \ln(\text{高度})$	Winrock	玻利维亚	33 m 高度
棕榈类	Palms (motacu)	生物量 = $23.487 + 41.851 \times (\ln(\text{高度}))^2$	Winrock	玻利维亚	11 m 高度
棕榈类	Chrysophylla	生物量 = $0.182 + 0.498 \times \text{高度} + 0.049 \times (\text{高度})^2$	Winrock	伯利兹	10 m 高度
棕榈类	巴西棕	生物量 = $10.856 + 176.76 \times (\text{高度}) - 6.898 \times (\text{高度})^2$	Winrock	伯利兹	16 m 高度
棕榈类	菲律宾香蕉	生物量 = $24.559 + 4.921 \times \text{高度} + 1.017 \times (\text{高度})^2$	Winrock	伯利兹	15 m 高度
藤蔓类植物	藤蔓植物	生物量 = $0.12 + 0.91 \times (\text{Log}((3.14156 \times dbh^2) / 4))$	Winrock	伯利兹	11 cm
藤蔓类植物	藤蔓植物	生物量 = $\exp(0.12 + 0.91 \times \log(\text{BA at dbh}))$	Putz 1983	委内瑞拉	12 cm



温洛克国际农协会
测定陆地碳库方法手册
第二部分
标准操作规程 (SOP)
Methods Manual
for Measuring Terrestrial Carbon
Part 2: Standard Operating Procedures
2005 版

Sandra Brown, Tim Pearson, Sarah M. Walker, and Ken MacDicken

作者: 桑淖.布朗, 逖莫西.佩尔森, 萨拉.沃尔克, 肯. 马克狄克恩

 Winrock International

Ecosystem Services Unit

1621 N. Kent St, Suite 1200

Arlington, VA 22209

www.winrock.org

CarbonServices@winrock.org

附件 D. 实地测定和监测碳的标准操作规程

SOP 1 野外作业安全.....	39
SOP 2 全球定位系统 (GPS)	41
SOP 3 设置样地.....	42
SOP 4 测树.....	46
SOP 5 解析木采样	53
SOP 6 测量棕榈树	56
SOP 7 测量藤蔓植物.....	58
SOP 8 测量竹类.....	59
SOP 9 测量灌木丛	61
SOP 10 测量草本植被.....	64
SOP 11 测量树根.....	66
SOP 12 测量枯立木密度	67
SOP 13 测量枯立木	70
SOP 14 测量枯倒木	73
SOP 15 测量枯枝落叶层	78
SOP 16 土壤碳采样	80
SOP 17 泥炭土取样	84
SOP 18 质量保障/控制.....	85

SOP 1 野外作业安全

无论作业活动涉及什么内容和在什么地方，“安全第一”。且一定要事先就考虑到所有的预防措施，并严格遵守。已经计划的野外活动必须保证有灵活性，并根据野外危险和安全状况的评估做出相应的调整。同样，野外作业人员必须保持警惕，随时避免不必要的风险。

野外作业人员特别要做好相应的准备。所有参加野外作业活动的人员必须持有效的心肺复苏（CPR）和一般急救培训的证书（如红十字会的证书等）。

以下指南适用于所有基于野外工作的活动：

- 强制性各负责另一人之安全的两人同行制：野外作业队伍应包括至少两名工作人员，他们必须在整个野外工作期间随时做伴。
- 野外每天的具体地点和计划信息必须预先存放给一名联络人员。在预期的野外工作期间，这名联系人必须保证随时可以取得联系。在野外工作时，全体人员应与他们所指定的联络人每天联络一次。
- 出行计划应包括确定最近的医疗设施，以及具体的、如何到达这些设施的说明。在有毒蛇出没的地方，应事先联络确认可以得到适用的抗蛇毒血清。在开展野外工作前，还应向渔业和野生动物管理部门了解狩猎季节的时间。
- 所有人员应随时携带个人和单位的保险卡；同时，还应携带身份证（如驾驶执照）和单位的业务名片。
- 每一位独立工作的人员应携带由单位提供的对讲机，卫星电话或手机。全体人员在进入野外前，每次都应该检查电池状况。
- 野外工作人员应随时携带一套急救包。其中应储备有 Epinephrin/Adrenalin or 抗组胺剂防止（如蜜蜂和黄蜂叮咬等）过敏。在野外时，还应带上防晒霜和驱虫剂。

- 在有毒蛇出没的地方，建议使用防蛇的皮护腿套裤。在被蛇咬伤时，应把受伤者即刻送到有医疗条件的地方。传统的“蛇咬伤处理方法”（如拔火罐、剃刀等）已被证明无效，甚至有害，应此建议不使用。
- 基本的野外服装包括：带较好脚踝支撑的、稳健的高帮鞋，长袖上衣和长裤，以及雨具。如果野外工作时间恰好是狩猎季节，则推荐使用亮橙色的背心和帽子。为避免与植物油、虱子和恙螨等接触，每天工作结束后应换衣服，且野外的衣服应洗涤后在穿戴。
- 在偏僻的、路况不可靠和没有指定的道路行车规定，以及不按行车规定驾驶的路段操作机动车辆时，应特别注意。全地形车辆应低速驾驶（车速在每小时 15 英里以下）。

SOP 2 全球定位系统 (GPS)

全球定位系统 (GPS)在碳项目和其它大多数野外的测量活动中使用越来越普遍。GPS 大大地增强了定位、记录和跟踪样点的能力。所有已经建立的固定样地应有 GPS 坐标位置，以确保在今后的调查中可以在定位这些样地。使用 GPS 的效率对于高效的测量和监测而言是非常基本的。

GPS 适时定位的另一改良是“广域增强系统 (WAAS)”。根据美国联邦航空管理局 (FAA) 的定义，广域增强系统 (WAAS) 是“一个增强 GPS 导航信号的地面基准站网络”。有关 WAAS 更多的资料，请查阅 <http://gps.faa.gov/FAQ/index.htm>。随着 WAAS 系统的发展，所有“带 WAAS 功能的”新型号 GPS 可以获取实时位置数据，精度达到 3 米以内。目前正在讨论建设覆盖全球的基准站网络。

高端的 GPS 定位仪能提供增强的功能，如与地理信息系统 (GIS) 数据库连接使用的能力，更大、更强的数据处理和存储能力，以及在获取信号的速度和精度等方面的改进等。

以下是有关使用 GPS 一些具体方法：

- 所有野外工作应使用统一的坐标系统 (经纬度或墨卡托投影坐标系统 (UTM))
- 我们通常使用的、缺省的平面坐标系统是 NAD-27，但也可以使用针对某个地区开发的坐标系统。
- 所使用的坐标系统和大地基准面系统应在野外工作的笔记中准确记录。
- 数据应使用公制计量单位采集记录，不再使用英制计量。

SOP 3 设置样地

所需设备：

所有样地

全球定位仪 (GPS)

标记彩带

倾斜仪

直角板 (用于正方形、长方形的样地)

固定样地

铝制标签

30cm 测量 Rebar

PVC 管 (1 m) 和封口帽

钉锤

荧光漆

布基胶带

不退色标记笔

使用 GPS 定位仪对样地进行导航定位。有时候，样地会偶尔落到有不同类型坡地的地区，样地的部分在平地上，而另外的部分坐落在山坡上。由于样地的空间大小是坡地的某个系数，所以样地的中心不能确定在山坡上，也不能设在平地上很重要。如果样地的部分在山坡上而另一部分在平地上，则潜在的误差会很高。因此，在设定样地之前，队长应确定样地的某一部分是否处在大于 10 度的山坡上。如果样地 50% 以上的面积位于大于 10 度的坡面上，移动样地的中心把整个样地定在坡上。如果样地 50% 以上的面积位于平地上，而其余的部分在坡上（坡度在 10 度以上），则要移动样地中心把整个样地定在平地上。

如果样地已经有移动，记下样地中心的 GPS 坐标。

如果坡度大于 10 度，记录准确的坡度以便以后校正样地的面积。

临时样地

如果样地实质上是临时的，标记的内容只要能够保证一次性测量的需要即可。

圆形样地：使用测距仪（Distance Measuring Equipment, DME）确定对象木是处于样地边界之内或之外。唯一的要求就是把测距仪的支架放置在中心。

方形或长方形样地：先用一根测杆标记一个角，然后测量到第二个角，做好标记。在第二、三个角上，用直角板确定下一个角的方向。在样地各个角的定位桩之间用标记带醒目地标记出样地的边界。

固定样地

所有样地按以下的格式化分配一个唯一的样地编号：

立地号/层字母/层号/三位数字：

- 第一个数字代表立地编号 - 可以由实施多个项目下的机构或由多个立地范围的农场主使用；
- 层字母是描述植被层的一个字母。建议在开始野外工作之前，给所有的植被层指定唯一的编码，且此编码应能对该植被层作最佳描述，如用 Y 代表次生幼林，V 代表初生幼林，M 代表中生幼林，P 代表草场，R 代表更新林，T 代表长绿高层木等。
- 后面的一位唯一编号与植被层相对应，如 1，2，3，4 等；
- 最后三位数字标识整个项目区的植被层和项目区内指定的样地。

所有样地必须在该植被层编码后面作为唯一的标识，如：如果 1 植被层的所有样地的编号从 1001 至 1020，则 2 植被层所有的样地从 2021 后开始编号；如果 2 植被层的所有样地编到 2104 号，则 3 植被层所有的样地从 3105 开始编号，等等。之所以要这样编号的原因是：如果在野外作业结束后，发现某个样地被放在错误的植被层，则字母和层号可以改变，而根据最后的三位数字，此样地仍然只有一个唯一的编号。

以下是样地编号的例子：7Y1001（立地号 7, 次生幼林，层号 1，样地号 001），以及 7D4125（立地号 7, 退化成熟林，层号 4，样地号 125）。

圆形样地

- 1) 在样地中心，标记带标识树枝，以增加可见度；
- 2) 在样地中心，将钢筋标记棒 30cm 的部分钉入地下。钢筋棒应完全钉入地下。如果土壤中有石块或其它障碍物，则把钢筋棒和 PVC 管移到（原位置两米的范围内）的地方。
- 3) 将 PVC 管 1 米的部分套钉在钢筋棒上。重要的是要把 PVC 管垂直钉入地下，不应该倾斜。在把 PVC 管钉入地下时，用一块强度较大的木板覆盖在管子顶部，防治 PVC 管被撕裂。PVC 管应至少有 50cm 的长度钉入地下。
- 4) 用亮橙色或亮蓝色喷漆给 PVC 管刷漆（黑色、黄色和红色在森林中不容易看到）；
- 5) 样地一旦确定，应永久适用于今后的监测工作非常重要。最好的方法是把标记有样地号的标签用一段铁丝系上，放在 PVC 管内的上部分，然后在管口盖上盖子，固定好标签。此外，用布基胶带把管子顶端缠绕起来，并在布基胶带缠绕的部分用不退色黑色标记笔写上样地号。

方形、长方形样地

对于方形、长方形样地，用临时样地部分所描述的方法确定样地的四个角。按（与圆形样地相同的方法）用钢筋棒和 PVC 管标记样地的四个角。

隐形样地

如果我们很担心所划定的样地会带来对这些样地中树木的优越性选择（如土壤的肥力条件等），则应考虑标记隐形样地。所使用的方法是：用一段铁棒（如一段 Rebar）在方形或长方形样地的

中心或四角定位，然后钉入表土以下。但在随后的每次调查中，则需要根据 GPS 导航的数据，使用金属探测器来查找样地的准确位置。

SOP 4 测树

野外设备：

胸径尺

标记带

永久标记木：

铝质钉子和标签

钉锤

更新树林样地：

裁剪样方 (用于更新树木) 50 cm x 50 cm

修枝剪刀，用于修剪植被

吊秤

耐磨塑料薄膜

耐磨塑料油布

纸带

实验室设备：

干燥烤箱

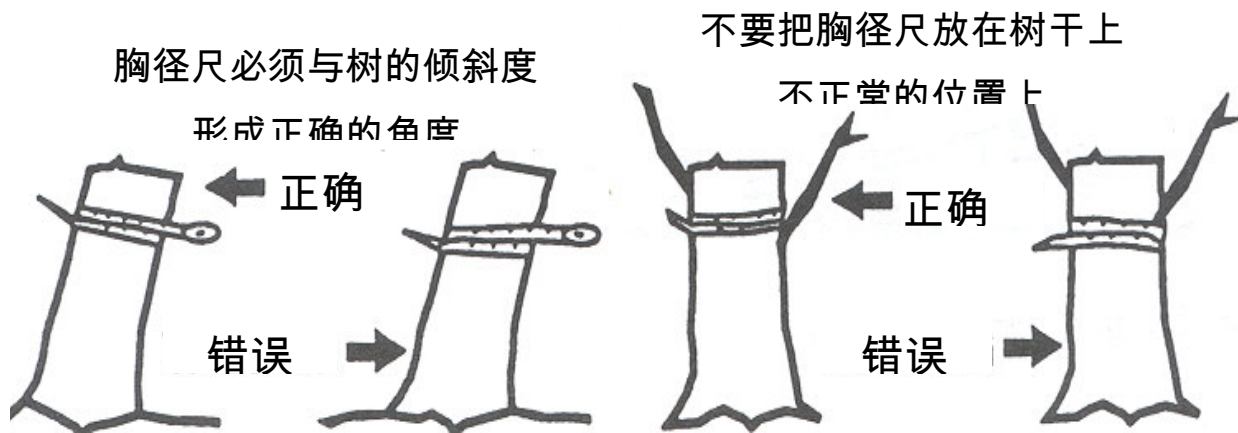
实验室秤

如果要包括胸径在 5cm 以下对象木，一般只在小半径的样地中才计算 (如 1 米半径的样地)。如要计算在内，这颗树必须有 1.37 米以上的高度 (胸高)。较大的树则需要实际测量。为避免漏数或重复计数，测树应朝北方向开始，并在第一株树上用标记旗标记。所有的树木都需要测量胸径。长久测树样地内的所有对象木应该用铝制的编号标签和钉子作标记。为避免由于在钉钉子的部位长时间后会发育树瘤所造成的胸径测量的误差，我们建议固定钉子和标签的位置应该在胸径以下 10 厘米的地

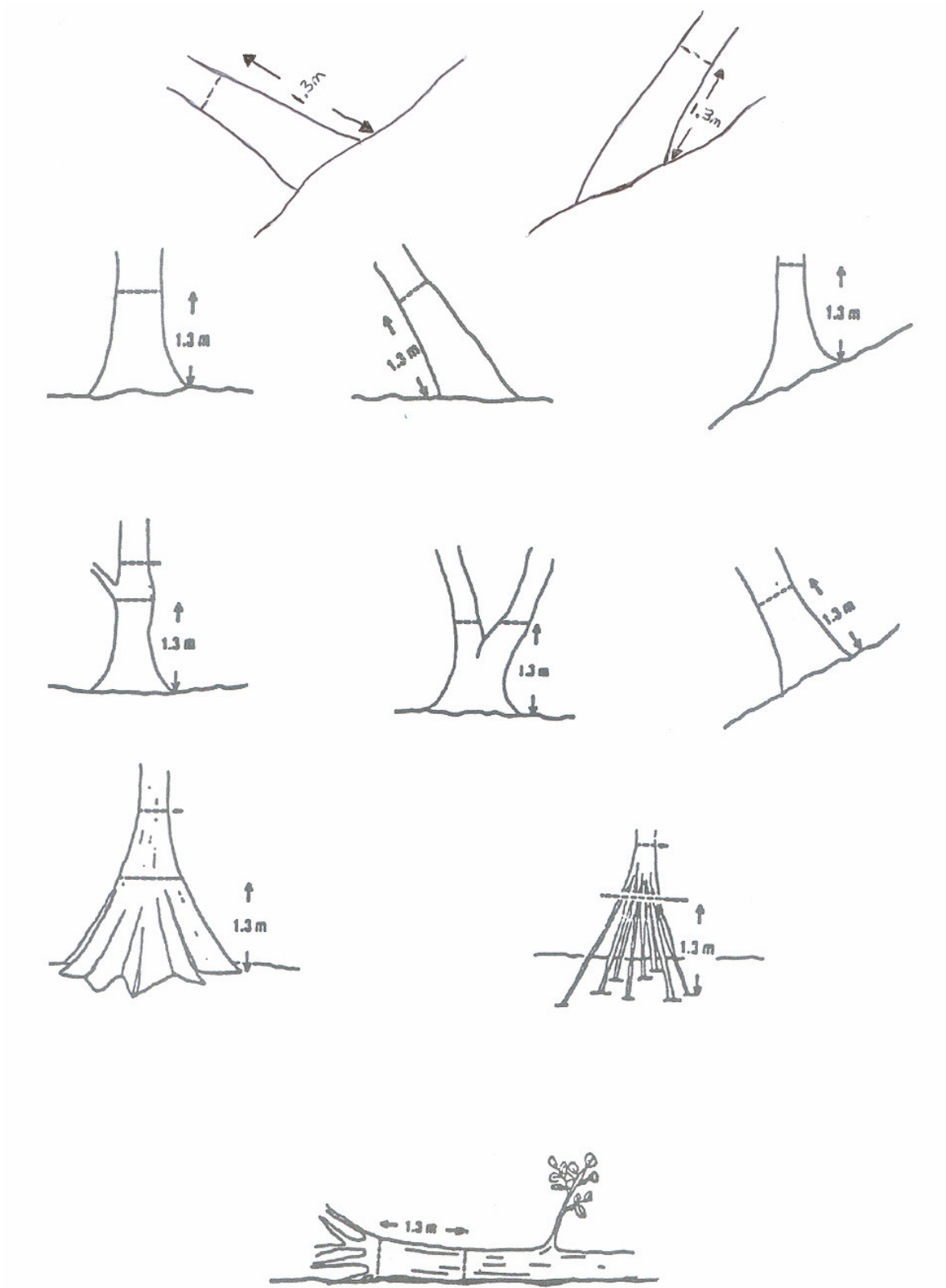
方。在今后的调查中，就从钉钉子的位置以上 10cm 的地方测量胸径。如果项目区的树木今后要进行某种采伐，最好的方法就是把钉子和标签钉在树的基部，避免在采伐时造成链锯或其它的设备事故。每个样地应包含所使用方法的描述，便于今后可以高效、准确地完成测量工作。

- 在样地的每株树都已经测量完毕后，应重复检查，确保所有的对象木都已经测量，并作了标记；
- 为保证内生木的准确计算，每次调查都要记录新内生木相对于母树的位置。
- 正确使用胸径尺对于保证测量数据的连续性非常重要；
- 所有活立木都要用铝钉（只能用铝质）钉上编号的标签。不要把钉子全部钉入树内，保证树木还有生长的空间。钉子钉入的深度只要能够保证可以固定标签即可。
- 带上一名高 1.37 米的工作人员或杆子，这样可以保证能准确地确定对象木的胸径位置。如果没有以上的工具，则可以使用（至少有 2cm 直径的）结实的棍棒。
- 野外测量的工作人员应首先把测杆靠树放置，以指示出胸径的位置。测杆的放置方法取决于地面的坡度和树的形状；
- 如果对象木在胸高位置分叉，则需要测量两个分叉，并在数据表中把他们作为两株树作记录；

- 如果对象木已经倒伏，但仍然存活，则将测杆放在树的根部测量胸高，其方法和树直立生长时相同。如果树上仍然有绿叶，则认为是活树，即便是树上仅有1或2片树叶，也把它当成活树看待。
- 胸径尺在一端有勾。把有勾的一段压入树皮中，然后把测绳向右拉开。胸径尺一般从左边开始向右边拉出，环绕树干。即便测树人员为左撇子也是如此。
- 在胸径尺绕树一周，回到有勾的一端时，胸径尺应放在勾的上方，见以下示意图。胸径尺不能反面向外，有数字的一面必须朝外。
- 如果对象木时倾斜的，则必须按照对象木的自然倾斜角度环绕胸径尺，而不是按与地面平行的角度环绕。



胸径尺的正确使用方法



不规则形状和正常形状树木的胸径测量位置

如果在嵌套的固定样地中需要测量的一株树上生长有蔓藤植物或藤子，不要为了清理一个地点来测量对象木而把蔓藤植物砍掉。如果可能的话，把藤蔓植物从树干推开，在藤子下面环绕胸径尺。如果藤蔓植物太大而不能从树干上推开，则用胸径尺的背面在树正面拉过去，以此来目测估算对象木的胸径。砍掉树上的藤蔓植物来测树只能是万不得已才使用的方法，因为随着时间的推移，用这种方法进行不断的重复测量会干扰样地内的自然动态演替，造成样地与周围森林之间的差异。对于其它在对象木上发现的、任何类别的自然生物（包括菌类、附生植物、真菌生长体和白蚁的巢穴等），也应按照这一标准来操作。

进界木

对象木偶尔会靠近样地的边界。样地相对而言比较小，应适当扩大按公顷为单位来测算生物碳。因此，谨慎地判断一株树是否是处于样地之内，还是之外是很重要的。测量样地中心到此对象木的距离，如果进界木 50% 的树干处于样地边界内，则应计算进行测量。如果进界木 50% 的树干处于样地边界外，则不计算为样地的对象木，不再测量。如果对象木恰好长在样地的边界上，抛硬币看正反面确定该株树属于样地内或样地外。

更新样地

如果有相当数量的幼树（还没有长到胸高的幼树），则这部分幼树用剪切样方来采集。这些样地可以是圆形或长方形的，由不容材料所组成。裁剪样方不应该是一块连续的材料。一个方形的用 50cm x 50cm 做成的裁剪样方一般来说用于抽样就足够了。更新林木的抽样应在样地外的四个地点进行。

用罗盘上的随机角度，从样地中心开始走到样地边界后，再走 5 步；

- a. 用表的分针选择一个随机数字；
- b. 将这一读数乘 6；

- c. 用乘积作为罗盘的读数，朝着这个度数的方向从样地中心走到样地边缘；
 - d. 走到样地边缘后，按同一方向在样地外面走出 5 步；
2. 在这个位置安置剪切样方；
3. 剪下地面上剪切样方内所有的幼树；
4. 秤出所剪下植被的质量；
5. 选取一个有代表性的次样本，再秤重；
6. 在剩余的三个地点重复以上的抽样方法；
7. 随后以 70 度温度干燥次样本，直到达到衡重。

SOP 5 解析木采样

野外设备：

专业伐木短夹克衫

油锯

胸径尺

取心钻杆

50 kg 秤

1 kg 秤

耐磨塑料布

耐磨塑料防水布

纸带

防护带

实验室设备：

烤炉

试验秤

我们常常用回归方程来估算树的生物量，其中一般以胸径作为可以测量到的变量。不同的回归方程所得出的不同树种的生物量估算也不尽相同，这是因为每个回归方程是针对某一特定的森林和气候类型而设计的。不管是开发新的回归方程，还是检验已有回归方程的适用性，我们都需要用解析木进行抽样调查。

为了校验一个回归方程的适用性，我们至少要采伐两株大树（胸径在 50cm 以上）。如果是开发新的回归方程（建议对于林象或密度独特的林木使用），则需要采伐至少 20 株包括全部径级的树木。采伐足够数量的林木来开发新的回归方程耗时较长，因此，我们需要确信文献中现有的回归方程不能满足需要。

在砍倒树木前，先量胸径。特别建议由采伐的专业人员执行砍倒树木的任务。伐木是极其危险的工作，所有参加此项工作的人员都应该遵守最高的安全标准。为了把风险降低到最小程度，建议在砍倒树木前先对树心进行取样。树心样本可以给砍树人提供有关树干状况的信息。举个例子：如果一株树木的树心已经腐烂，用油锯砍到树心部分时会造成整棵树突然倒下。在砍树前对树心进行采样有助于确定对象木是否已经有虫害或腐烂。让伐木工最好把树倒向靠近秤的位置，（如果可能）且在比较容易取得测量数据位置是最理想的。但最重要的是要考虑让树倒在一个安全的位置。从前在解析木采样的过程中就发生过不幸——树倒向错误的方向落在了设备上，所以没有参与砍树的人应远离被砍的树木，以防树落下时会倒向没有预料到的方向。

在对象木被砍倒后，需要测量以下数据：

- 测量树（从树根到树冠顶端的）的总长度；
- 测量树干（从树根到第一个主要分叉的）总长度；
- 测量树根的直径、树干的胸径，树干中部的直径以及紧靠第一个主要分叉位置的树干直径；
- 把 50kg 秤固定到三角架或比较结实的树枝上。

整个过程的下一个步骤时给树称重。树的主干部分一般很大，即便是树干的几段也常常太大而不能很安全地处理，并放到秤上。树干是树的主干，即从树根到第一个主分叉位置的部分。要估算树干的生物量，需要测量以上的数据，且应用一个密度值计算。使用以上步骤中所取得的测量数据可以给我们提供必要的有关树干体积的测量数据。Disk 样本需要从整个树干的长度上在不同的位置采集。在采集此类样本前，应先采集对象木其它部分的样本。

1. 需要测量的第一部分是树叶的生物量和直径<5cm 的小树枝。在秤旁铺上一块 3m x 3m 的塑料薄膜，收集所有的树叶和小树枝，堆放在秤旁的塑料薄膜上。在收集了所有的树叶和小树

枝后，把它们放到秤上称重。在记录好鲜重后，取 5 份次样本测定水分含量。从每份样本中取 100g 放入做好标记的纸袋。杜邦特卫强 Tyvek 合成纸袋是最好的，如果你细心一些不要撕裂纸袋，则也可以用牛皮纸袋。此处不能使用塑料袋，因为它们会把水分封在袋子中，带来霉变和其它的问题。在数据表上记录各个次样本的鲜重。

2. 需要测量的树的第二部分是 5 - 20cm 直径的树枝。用油锯或手锯锯下树枝，堆在秤边。一旦采集结束，并收集成堆后，应放到秤上称重。在数据表上记录重量。和树叶和小树枝一样，从树枝中取出 5 份次样本测定水分含量（不用锯圆盘，仅仅收集不同大小的树枝即可）。
3. 对象木剩余部分是直径 20cm 以上的树枝。最好是尽可能地直接秤出树的所有部分，但是 20cm 直径的树枝大概是一般人可以安全地切割和搬运的最大体积。如果负责测量的人员有足够的人手帮忙，他们就可以给直径 20cm 以上的树枝称重。但在大多数情况下，这类比较大的树枝最好是测量其体积。
4. 在所有大树枝的体积已经记录或直接称重后，锯下 5 个圆盘用于测定密度。圆盘可以用油锯或手锯且下。仔细记录圆盘大小（见粗糙枯木操作规程）。将圆盘存放在袋子中，做好标签。圆盘的鲜重不需要测定。圆盘应从 5 根不同的、有代表性的树枝上采样。在所有的圆盘样本中，如果中心有空洞，确认已经记录了树洞空心的大小。
5. 树干的密度也根据圆盘来确定。从树干基部、中部和顶端（在第一个主分叉下面）取样 3 - 4 个圆盘，记下圆盘的大小。如果一些圆盘太大而不能放到任何一个次样本袋子内，可以在测量好圆盘的大小后，把它切割成数块，在放在一个样本袋子中。在切割圆盘时，尽量减少锯末的损失。如果可能的话，尽可能避免切碎圆盘。

最后一个步骤时测量树桩。如果树有板根，则要分别称重和抽样，因为此部分木材纤维的密度常常与树主干纤维的密度不同。在对象木的树干和其它部分都测量结束后，在尽可能靠近地面的位置砍下树桩。如果树的板根和树桩太大不能称重，则测量其大小，计算体积并作记录。在任一情况下，都需要树桩和板根的次样本。可以取三个完整的圆盘，测量圆盘的大小，并放入同一个袋子中（使用与大树枝或从主干上切下的圆盘相同的方法处理）。

SOP 6 测量棕榈树

野外设备：

胸径尺

测量绳

防护带

永久标记对象木：

铝质钉子和标签

钉锤

采伐木：

专业采伐工人（带油锯）；

胸径尺

取心钻杆

50 kg 秤

1 kg 秤

耐磨塑料布

耐磨塑料防水布

纸带

防护带

实验室设备：

采伐木：

烤炉

试验秤

如果调查样地上有棕榈树，则需要记录树的高度。在使用嵌套的样地时，仅仅在嵌套的样地中，测量其中一块样地上的棕榈树 - 一般选择最大的棕榈树测量。

在决定是否测量一株棕榈树时，需要遵循的一条标准是：“一株棕榈树在胸径的高度位置有没有可以看得见的树干？”如果棕榈树在树干基部很粗，但是全部被叶子等植物覆盖，且在胸高位置没有树干，则必须要测量。树高可以用倾斜仪测量，如果棕榈树有几米高度，则可以直接测量。棕榈树的测量高度仅仅计算树干部分，即从树基到树干的结束位置。

应在树的胸高位置钉上带编号的铝制标签。

解析木采样

如果棕榈树是用解析木采样来测量的，则测量的方法与树的测量方法相同（见 SOP5）。但是，由于棕榈树的主干（一般）比树干要轻得多，大多数棕榈树可以用最小的测量体积来称重。重要的是要牢记：棕榈树的高度才是生物量大小的关键指标，但两个数据都仍然需要测量。在砍伐棕榈树前，测量其胸径，然后砍倒棕榈树，测量树干的高度和总高度。与测量整个树干的体积不同的是，要把棕榈树切成数段再称重。把棕榈叶和根部的植物体分开称重。从棕榈叶、根部植物和细枝中采集 3 - 5 份样本。从主干上切出 3 个圆盘。如果棕榈树树干太过于松软，不能切取圆盘样本，则收集 3 份次样本，存放于不同的样本袋子中。记录下鲜重，然后干燥样本，再记录干重。

SOP 7 测量藤蔓植物

野外设备：

胸径尺

测量绳

防护带

永久性标记的藤蔓植物：

铝制钉子和标签

钉锤

藤蔓植物因为一般比较长，且常常在多个位置交叉到样地之外，所以比较难以测量。除非藤蔓植物已经形成了生态系统中一个重要的组成成分，否则就不要再测量——因为藤蔓植物很难测量，且要找到生物量的回归方程用来计算藤蔓植物的生物量也很困难。

1. 判断藤蔓植物是否是生态系统中重要的生物量构成成分；
2. 如果必要的话，测量胸径。注意每株藤蔓植物不要测量一次以上。如果用嵌套样地，藤蔓植物一般不会长大到直径 10cm 以上，所以只要测量最小的嵌套巢状样地即可。

如果使用的是固定样地，则在胸高（1.37m）以下用铝钉和标签标记藤蔓植物。

SOP 8 测量竹类

野外设备：

胸径尺

倾斜仪

测量绳

修剪植被的大剪刀

吊秤

耐磨塑料布

耐用塑料防水布

纸带

实验室设备：

烤炉

试验秤

就已有的生长量计算模型而言，他们常常把基径与高和生物量形成变量的关系。

对于某一特定林相的一片竹林而言，用（测角仪）测量5株竹子的高度和用（胸径尺）胸径测量基径；同时数出这一片竹林中的总株数。

如果没有现成的生长模型，则：

1. 从不同的竹林片区中选择30株竹子；
2. 从地面位置砍下竹子；
3. 测量每株竹子的基径和高度；
4. 把每株竹子的竹杆、枝条和竹叶分开，并单独称重。
5. 从每根竹子（的杆、枝条和叶子中）分别取出一份次样方，并称重；
6. 在烤炉中用70度温度干燥，直到达到衡重；
7. 再次称重；

8. 用一个图表或统计软件建立一个基径与高和生物量关系的计算公式。

SOP 9 测量灌木丛

野外设备：

裁剪样方

测量绳

用于修剪植被的大剪刀

吊秤

耐磨塑料布

耐磨塑料防水布

纸带

实验室设备：

烤炉

试验秤

如果灌木丛比较小 (高度在 30cm 以下) ：

如果灌木丛比较细小，就按照草本植被的方法用裁剪样方来测定生物量。这些样方可以是圆形或方形的，可以用不同的材料制作。这种裁剪样方不能用一块连续的材料。一般来说，用 50cm x 50 cm 的 PVC 管子做成的方形裁剪样方用来采样就足够了。

在林下采样

灌木丛的采样应该在乔本样地之外的四个位置进行：

用罗盘上的随机角度，从样地中心开始走到样地边界后，再走 5 步；

- a. 用手表的分针选择一个随机读数；
- b. 将这一读数乘 6；
- c. 用乘积作为罗盘的度数，朝着这个度数的方向从样地中心走到样地边缘；走到样地边缘后，按同一方向在样地外面走出 5 步；

1. 在这个位置安置裁剪样方；
2. 剪下地面上裁剪样方内所有的灌木；
3. 秤出所剪下灌木的质量；
4. 选取一个有代表性的次样本，再称重；
5. 在剩余的三个地点重复以上的抽样方法；
6. 随后以 70 度温度干燥次样本，直到达到衡重。

在森林外面采样：

1. 在前往野外之前，选定样方的位置地点；
2. 在预先确定的位置安放裁剪样方；
3. 从地表位置剪下所有灌木；
4. 秤出剪下植被的重量；
5. 取出一份有代表性的亚样本，并称重；
6. 在剩余的三个地点重复以上的采样步骤。
7. 随后以 70 度温度干燥次样本，直到达到衡重。

大型灌木的采样 (高度在 30cm 以上)

对于那些较大的、没有已经建立的相对生长模型大型灌木，则有必要进行采伐，建立生长关系模型。

1. 选择 30 株代表一系列大小的灌木；
2. 测量出每株灌木的最大高度和树冠 (从东 - 西和从南 - 北) 的大小；
3. 从地面位置砍下灌木并称重；
4. 从每株灌木中选取一份次样本，并秤出重量；
5. 在烤炉中用 70°C 温度把标本干燥到衡重，然后再次称重；
6. 用一个图表或统计软件建立一个灌木冠幅、高度与生物量关系的生长模型。

$$\text{冠幅} = \left(\frac{\text{南北向树北向树}}{2} \right) * \left(\frac{\text{东西向树冠直径}}{2} \right) * \pi$$

SOP 10 测量草本植被

野外设备：

剪切样方框

测量绳

用于修剪植被的大剪刀

吊秤

耐磨塑料布

耐磨塑料防水布

纸带

实验室设备：

烤炉

试验秤

在森林中采样

草本植物的采样应该在乔木样地之外的四个位置进行：

1. 用罗盘上的随机角度，从样地中心开始走到样地边界后，再走 5 步；
 - a. 用手表的分针选择一个随机读数；
 - b. 将这一读数乘 6；
 - c. 用乘积作为罗盘的度数，朝着这个度数的方向从样地中心走到样地边缘；走到样地边缘后，按同一方向在样地外面走出 5 步；
2. 在这个位置安置裁剪样方；
3. 剪下地面上裁剪样方的内的所有植被；
4. 秤出剪下植被的质量；
5. 选取一个有代表性的次样本，秤重；

6. 在剩余的三个地点重复以上的抽样方法；
7. 随后以 70 度温度干燥次样本，直到达到衡重。

在草地上采样

1. 在前往野外之前选定样地的位置；
2. 在预先选定的位置放置剪切样方；
3. 剪下地面上裁剪样方内的所有植被；
4. 秤出剪下植被的重量；
5. 选取一个有代表性的次样本，秤重；
6. 在剩余的三个地点重复以上的抽样方法；
7. 随后以 70 度温度干燥次样本，直到达到衡重。

SOP 11 测量树根

今后在完成

树根

非树根：

SOP 12 测量枯立木密度

野外设备：

测量绳
油锯或手锯
纸带
永久标记笔

实验室设备：

烤炉
试验秤

在野外采样开始时操作一次。

在野外开始采样时，如果要对枯立木和枯倒木进行采样，则需要对枯木的密度进行估算。如果预计到不同植被层木材的分解情况不同，则本标准操作规程需要针对每一不同的植被层实施。如果仅仅测量枯立木的总量，则只要估算“健康树木”的密度即可。在确定这些不同的密度后，就没有必要重复本标准操作规程，但如果要测量新的植被层则例外。

1. 随机选择一个能充分代表植被层/区域的地区；
2. 所有枯木将分为三个密度级：良、中、腐烂。
 - a. 良：砍刀不会陷入木材中（被弹开）；
 - b. 中：砍刀部分会陷入木材中，且已经有部分木材损失；
 - c. 腐烂：砍刀陷入木材中，有更大范围的木材损失，且木材非常易碎。
3. 采集各个密度级的木材标本以测定密度（单位绿容积的干重）；木材样本的数量取决于该林区内不同树种之间的差异变化。但各个密度级内的每个物种种组至少要采集 10 个样本。比如，对于硬木和软木混交林，每个树种组都需要按每个密度级采集 10 份枯木标本，即硬木树种共采集 30 份标本，软木树种也同样采集 30 份。

- a. 用油锯或手锯从选中的一段枯木上且下完整的圆盘；
- b. 测量圆盘的直径 (L1 , L2) 和厚度 (T1 , T2)来测算体积。样本的大小应记录在数据表中。但可以不记录圆盘的鲜重。

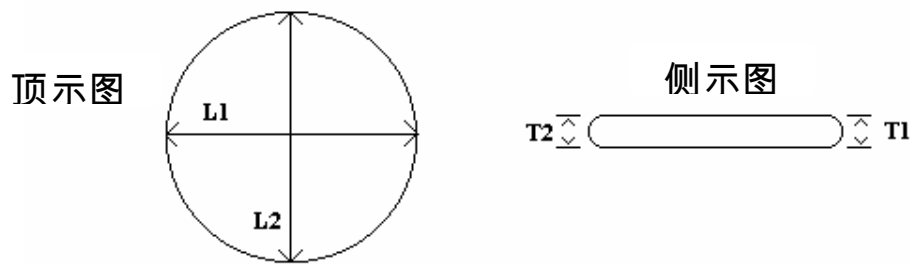


图 12-1 测量从粗糙的枯木样本上切下圆盘样本的方法

4. 将样本放入纸带，带离野外；
5. 用烤炉以 70 度温度干燥圆盘，直到达到衡重。
6. 用实验秤称出圆盘的重量；
7. 用以下公式计算密度：

$$\text{密度} = \text{重量 (g)} / \text{体积 (cm}^3\text{)}$$

其中：

重量 = 在烤炉中干燥后的样本质量

体积 = $\pi * (\text{平均直径}/2)^2 * \text{样本的平均宽度}$

8. 求出各个密度级的平均数，得到良、中和腐烂样本的平均密度。

野外采集的数据

Dead Wood ID	Wood Density Class: S, I, R	L1 (cm)	L2 (cm) 直径 2	T1 (cm) 厚度 1	T2 (cm) 厚度 2
--------------	-----------------------------	---------	-----------------	-----------------	-----------------

枯木序号	木材密度级 : S, I, R.	直径 1
S=良, I=中, R=腐烂		

实验室收集数据

Dead Wood ID	Dry weight (g)
枯木序号	干重

SOP 13 测量枯立木

野外设备

胸径尺

倾斜仪

激光测距仪

透明尺子或角规

测量绳

实验室设备

无

其它：

“健康枯木”密度测算（见 SOP 12 测量枯木的密度）

在为活立木划定的样地中，枯立木也应该测量。枯立木应该分为两级：

第一级：带有树枝和枝条、（除没有叶子之外）与活树相似的树；

第二级：包括带有大小枝条的枯木，乃至仅仅剩下树干的枯木。

通过把枯木划分为这两种简化的级别，我们就可以对生物量进行保守的估算。

第一级枯木：

1. 用与测量活立木相同的方法测量胸径；如果使用的是巢状样地，在每个巢状样地中，仅仅测量有合适胸径的枯木；

第二级枯木：

1. 用与测量活立木相同的方法测量胸径；如果使用的是巢状样地，在每个巢状样地中，仅仅测量有合适胸径的枯木；
2. 用倾斜仪测量树干的高度；

3. 用以下两种工具估算树干顶部的直径 (图 13-1) :

a. 角规

b. 透明尺子

- i. 在距离眼睛大约 10 - 20cm 的位置握住尺子 ;
- ii. 记录尺子到你的眼睛的距离 ;
- iii. 记录树干顶端大致的直径 ;
- iv. 用激光测距仪测量你的眼睛到树的距离 ;
- v. 真实的直径就等于 :

$$\text{实际距离 (m)} = \frac{\text{眼睛到树顶端 (m)}}{\text{眼睛到尺子的距离 (m)}} * \text{Ruler Measurement (m)}$$

4. 用就算得到的“优良木”平均密度计算碳存储量。

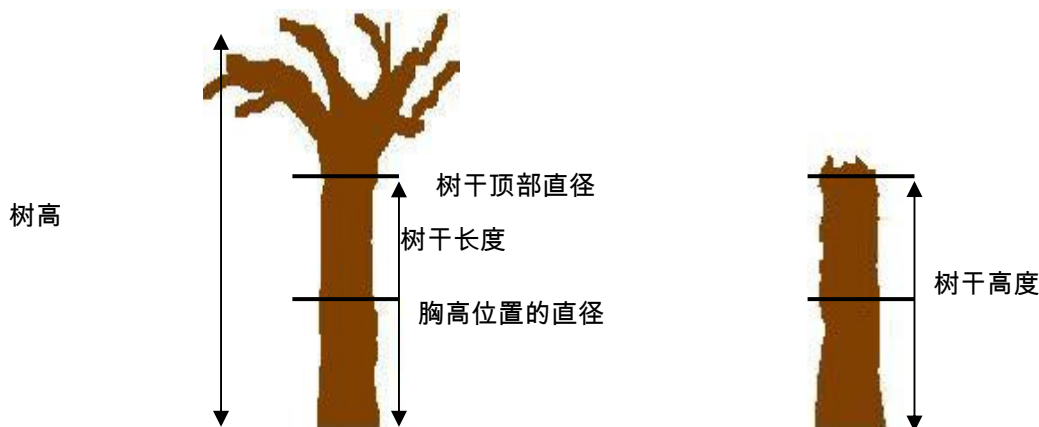


图 13-1. 树干已断裂情况下枯立木测量的位置 (a & b)。位置 (b)应该用胸径尺测量 ; 位置(a) 则需要估测。总高 (c)则用倾斜仪计算高度。

野外采集的数据

样地号# + Nest	St. dead tree class, 枯木等级 CI1 CI2	DBH 胸径 (cm)	Height 高度 (m)	Clinometer angle 测角仪度数	眼睛到树 的距离	眼睛 的高度	顶端 直径 (m)	眼睛到树 的距离	眼睛到尺 子的距离 (m)	尺子顶端 的树干直 径(m)
----------------	--	-------------------	---------------------	------------------------------	-------------	-----------	--------------	-------------	---------------------	----------------------

		(1 级- 树高)		
		(1 级- 树高)	<i>用于计算高度</i>	<i>用于计算树干顶端直径</i>

SOP 14 测量枯倒木

野外设备：

测径器（最好）或胸径尺
测量绳
砍刀

实验室设备：

无

其它：

枯木密度的测算（见 SOP 枯木密度的测量）

枯倒木的测量方法用 Harmon and Sexton (1996)介绍的样线测量方法。直径较小的树干作为枯枝落叶层的组成部分来测量。枯倒木粗枝 (Lying coarse dead wood) 的定义是所有地表面直径大于或等于 10cm 的木质材料。如果使用的是固定样地，最好收集在固定样地之外的枯倒木粗枝。这样可以避免在测量过程中在样地范围内的破坏会影响到枯倒木的测算。

1. 用罗盘上的随机角度，从样地中心走到样地边缘；
 - a. 用手表的分针选择一个随机读数；
 - b. 将这一读数乘 6；
 - c. 用乘积作为罗盘的度数，朝着这个度数的方向从样地中心走到样地边缘；

2. 在样地边界上布局两条 50m 长的样线（见图 14 - 1）。用与上面相同的、使用罗盘随机角的方法确定第一条样线的方向，第二条样线的方向在与第一条样线垂直的方向。

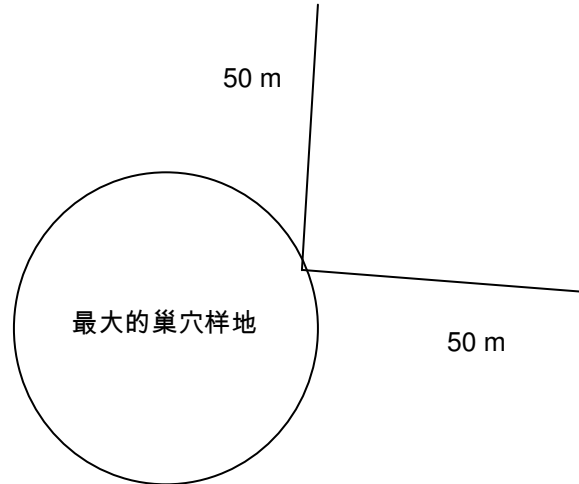


图 14-1 样线的设置

1. 将图 14-1 转绘在数据表上，并绘出一张任一枯倒木粗枝与样线交叉的位置图；
2. 在整个样线的长度范围内，量出每一枝与样线相交叉的枯倒木粗枝（直径 $>10\text{cm}$ 的树枝）。测径仪则是测量树枝直径最好的工具。在给枯木测径时，不可能随时都可以把直径尺环绕在树枝上。这样做有时候会非常危险，因为粗枝条是蛇、蜘蛛等等的家园。如果你要用测径尺测量一根枯木树枝的直径，一定要保证在把手放到树枝下面之前，测径尺所穿过的位置已经清理干净。
3. 只有在以下的情况下才测量一根枯死木：（a）枯倒木 50% 以上的部分在地面上；（b）样线穿过对象木直径 50% 以上的位置；见（图 14-2）。如果对象木在交叉点是空心的，则需要测量空心部分的直径；在计算对象木的体积时，需要扣除空心的部分。

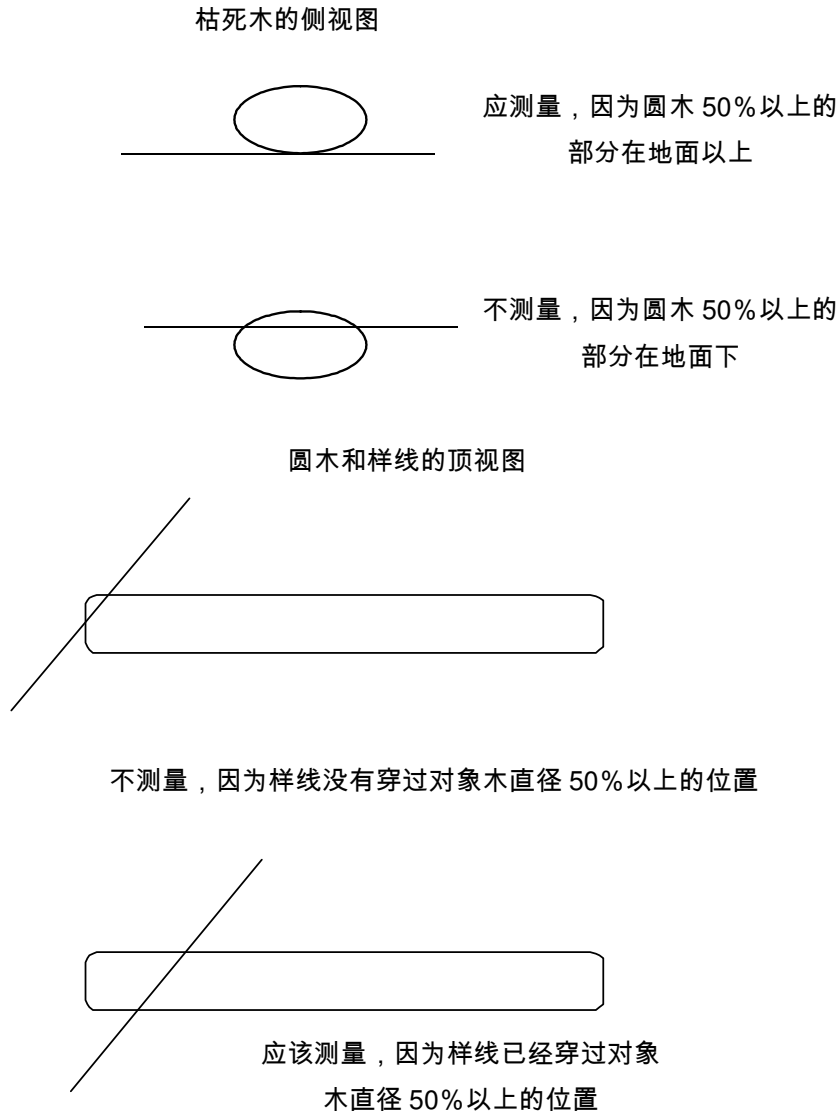


图 14-2. 在抽样中判断枯倒木粗枝是否应进行测量的标准

4. 把每根粗枝条归类到三种密度等级中的一种：良好、中等和腐烂。判断一段枯木粗枝条所属的密度级的方法是：用大砍刀敲打每根树枝。如果砍刀不会陷入树枝中（被弹开），则归类为“良”；如果砍刀部分陷入树枝中，且已经损失了部分木材，则归类为“中等”；如果砍刀卡在树枝中，且木材损失的范围更大，枝条已经比较易碎，则归类为“腐烂”；将以上数据记入数据表中。

5. 枯倒木的体积以及碳存储量将用每根大树枝的直径和样线的长度来测算。

野外数据采集

样线长度 (m): _____

直径 (cm)	密度级 (S, I, R) S=坚实, I=中等, R=腐烂	空心直径 (cm)

SOP 15 测量枯枝落叶层

野外设备：

裁剪样方

大砍刀或刀子

修剪植被的修剪刀

吊秤

耐磨塑料布

耐磨塑料防水布

纸带

永久标记笔

实验室设备：

烤炉

试验秤

枯枝落叶层的定义是所有矿质土上面的死亡的有机地表物质。其中的一些物质仍然可以辨识（死亡的叶子、小枝条、草和树枝等），而一些则会是无法辨认的，已经分解的有机质片断。需要注意的是直径在 10cm 以下的枯木也包括在枯枝落叶层中。

在每次调查中，枯枝落叶层应在一年中相近的时间内采样以排除季节性的影响。裁剪样方（见图 15 - 1）一般用来采集枯枝落叶层的样本。这些样方可以是圆形或长方形的，用不同的材料做成。裁剪样方不能用一块连续的材料来制作。裁剪样方要能够打开环绕在样地的植被周围。一般来说，用 PVC 管做成的 50cm x 50cm 的正方形裁剪样方就足够用于采样了。枯枝落叶层的采样应在紧靠树木样方外面的四个地点进行。

1. 用罗盘上的随机角度，从样地中心走到样地边缘；再从样地边缘走出 5 步。
 - a. 用手表的分针选择一个随机读数；
 - b. 将这一读数乘 6；

- c. 用乘积作为罗盘的角度，朝着这个角度的方向从样地中心走到样地边缘；
 - d. 在样地边缘的位置，朝同样的方向走出样地 5 步。
2. 在此位置放置裁剪样方；
 3. 剪下样方内所有的植被；
 4. 采集裁剪样方框内所有的枯枝落叶材料。可以用刀子且下落在采样框边界上的枯枝等；
 5. 用塑料布或纸带，和吊秤称出所有样本的重量；
 6. 将样本放在防水塑料布上，完全混合；
 7. 取出一份在枯枝落叶层的物质中有代表性的次样方（大约 80-100g）重量；
 8. 秤出样方的重量，并作记录；
 9. 将次样方放入纸带中带回；
 10. 用烤炉将次样方干燥（80°C）到衡重；
 11. 用试验秤称出此次样方的重量；
 12. 根据这一次样方的鲜重和干重，计算出干鲜重的比例。用这一比例计算各个裁剪样方中所有枯枝落叶层的干重。
13. 在其余 3 个采样样地中完成以上的采样，最后每三个树木样地中应得到 4 份次样本。



图 15-1. 裁剪样方的两个实例。注意两个裁剪样方都可以断开后再环绕在较大的植被周围。金属的裁剪样方有连接的链扣，而 PVC 材料做的裁剪样方则可以在转角处直接拆下。

野外采集的数据：

样方号 #	枯枝落叶号 Litter ID #	总湿重 Total wet wt (g)	次样本湿重 Subsample wet wt (g)

实验室采集数据：

枯枝落叶号 Litter ID #	干重 Dry weight (g)

1 SOP 16 土壤碳采样

野外设备：

土壤取芯器
 布料袋子
 耐磨塑料防水布
 不易折断的小棍棒（用来把土壤从取芯器中取出）
 永久标记笔

实验室设备：

烤箱
 试验秤
 具备分析土壤碳的能力，有干燥燃烧碳分析仪更好。

土壤碳通过采集一定深度的土壤，经过分析后得出含碳量的方法来计算。然后再将这一信息结合所采集的密度值来测算在一定深度土壤的含碳量。如果在部分的抽样点上抽样土壤的深度比所选定的标准抽样深度要浅，则要量出取样土壤的深度，并将这一数据用于计算土壤存储量。

1. 选定取样地点

a. 在已经测量林木样地的区域

用罗盘上的随机角度，从样地中心走到样地边缘；再从样地边缘走出 5 步。

- i. 用手表的分针选择一个随机读数；
- ii. 将这一读数乘 6；
- iii. 用乘积作为罗盘的角度，朝着这个角度的方向从样地中心走到样地边缘；
- iv. 在样地边缘的位置，朝同样的方向再走出样地 5 步。

b. 在没有测量林木样地的区域

应该在开展野外工作之前就确定土壤取样点的位置。

2. 清除取样点地表所有的植被和枯枝落叶层。因为有机质的碳浓度比矿质土的碳浓度要高出很多，即便是不小心带入很少量的地表物质都会导致土壤碳存储非常严重的超量计算。

3. 将土壤取芯器/探头稳定地插入标准的深度（如 30cm）；

如果土壤已经板结，使用橡皮锤将取芯器完全插入。如果取芯器不能完全插入，不要过于强迫，因为有可能石头阻碍了取芯器，强行插入会损坏取芯器。如果取芯器被阻挡，拔出土壤取芯器，清除所有采集的土壤，另选一个位置在采样。

4. 如果取样地点的土壤深度比标准采样深度小，则要记录取样土壤的深度。

5. 小心抽出取芯器，将土壤放入布袋中；给每个布袋指定唯一的编号；

6. 为了减少可变性的差异，在每个采样位置的 5 个点上重复 1 - 4 个步骤。

7. 收集所有 5 份样本，放入布袋中。

8. 在每个采样点上，采集两份额外的土壤样芯用于测定密度。在采集用于测定密度的土壤样芯时，因特别注意样芯的土壤不应该有任何丢失。

9. 尽快将土壤样本送到专业的实验室进行分析。

用标准的技术分析植物和土壤样本是世界各地商业性实验室的日常工作。我们建议对所挑选的实验室进行了解，确保这些实验室按照广为接受的标准程序进行实验分析，包括样本准备

(如混合和过滤)，干燥温度以及碳储量的分析方法等。在测定密度时，确保实验室用 105°C 的恒温至少干燥样本 48 个小时。如果土壤中含有粗糙的岩石块，必须保留下来称重。在测定土壤碳时，这些材料要用 2mm 的筛子过滤，然后再混合均匀。已混合均匀的样本在用于碳分析时，不能用烤炉干燥，而是风干。但是，碳浓度确实需要以 105°C 烤炉干燥的方式来表达。我们建议用带温控的烤箱（如 LECO CHN-2000 或同样功能的烤箱）进行干燥燃烧的方法来测定土壤的总碳（Nelson and Sommers 1996），另外，Walkley-Black 方法也是比较常用的一种。

野外采集数据表

样地号 #	土壤碳样本编号 ID#	样本深度 (cm)

样地号	密度样本编号 ID #	样本体积 (cm ³):

实验室采集数据表

土壤碳样本编号 ID#	碳百分比 (%)

密度样本编号 ID #	重量 (g)

参考文献：

Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In: D.L. Sparks et al. (eds.) Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA, Madison, WI.

SOP 17 泥炭土取样

今后再完成。

SOP 18 质量保障/控制

野外测量的质量保障和控制

收集可靠的野外测量数据是保障质量计划的一个重要步骤。负责碳测量工作的人员应当接受野外数据采集、数据分析等所有相关方面完整的培训，且要严格地执行标准操作规程以确保准确的测量和复测。我们建议应撰写一份检验报告，附录在项目文件中以表明质量保障/控制步骤已经照章执行。

野外工作人员应接受广泛的培训，并完全了解所有的操作程序，认识尽可能准确地采集数据的重要性。另外，还应该制定野外测量和抽样的核查计划，目的在于核查数据和提供无偏见的、测量数据容差的估计数。

典型的核查计划由两种类型的检查组成：在热检查（临场检查）中，主要调查人员在野外样地的数据收集过程中负责观察调查队成员的工作，检查测量的过程。临场检查可以从技术上纠正测量的误差。

第二种野外核查也应该用于量化测量的误差。实施这种核查方法的过程是：在野外工作结束时，由另外一队调查人员，而不是原有的调查人员对一定数量的样地进行完全复测（盲查）。复测人员应该有丰富的森林测量的经验，且对细节高度关注。核查人员到野外再次检测 10%–20% 样地内的所有林木。在复测完毕后，将复测的结果数据与初始的测量数据进行比较，并验证偏差。这一阶段所收集的数据可以和初始的调查数据比较。任何发现的错误都要及时更正，并做好记录。所发现的任何错误都应表达为所有复查样地的一个百分比，以提供一个测量误差的估计数。

在所有核查的样地中：

$$\text{测量误差率 (\%)} = \frac{(\text{修正前生物量} - \text{修正后生物量})}{\text{修正后生物量}} \times 100$$

实验室测量数据的质量保障和控制

在分析的各个部分中，应该建立，并严格执行标准操作规程 (SOPs)。所有测量总碳和碳形态的燃烧器具都要用商业化认证的碳标准进行校准。例如，可以分析空白，或分析试验中可以包括已知碳浓度的检验样品。在样本中应包括每批/每次试验的标准，可以寄给外地的实验室对设备器材的质量和实验程序进行核查。同样地，所有的天平应定期用已知重量的砝码校准。对于高精度的天平，生产商是没有作最精确的天平校准的。如果可能的话，10 - 20%的标本应该再次分析/称重得到误差的估计数。

输入录入的质量保障/控制

要得到可靠的碳测量数据，把数据正确地输入到数据分析的电子表中是必须的。重要的是要采取各种步骤确保误差被降低到最小的程度。在检查数据分析的结果时，应利用常识确保数据符合真实的情况。在完成监测数据的最终分析之前，所有参与测量和分析数据的人员应积极沟通，解决任何显而易见的异常数据的问题。如果有与监测样地的数据相关的问题（还不能解决），那么这一样地的数据就不应该用于分析。如果所输入的数据能用专家的知识进行核查，且在必要时，通过与其它独立的数据比较，误差就可以大大减少。

数据存档的质量保障和控制

由于林业活动期限相对较长这一特殊性质，数据建档（维护与存储）就成为工作中很重要的一项内容。数据建档应该采用集中形式，且所有的数据备份应提供给每个参加项目的人员。

- 野外测量（包括数据表或电子文本）以及实验室数据的原始资料应由项目测量的实施人员分别存放在档案夹中和电子媒介上，并存放在安全的地方。
- 所有数据分析、模型和所吸收碳总量的最终测算数据的拷贝，GIS产品和一份测量和监测报告应存放在一个专用的安全地点，且这一地点最好不是数据来源的地点。

我们建议，考虑本项目实施的时间框架以及软件产品和存储数据新硬件的升级速度，数据和报告
的电子拷贝备份应定期更新，或转换到一种今后应用软件可以读取的格式。

参考文献：

Harmon, M. E. and J. Sexton. 1996. Guidelines for Measurements of Woody Detritus in Forest Ecosystems. US LTER Publication No. 20. US LTER Network Office, University of Washington, Seattle, WA, USA.

MacDicken, K. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International, 1611 N. Kent St., Suite 600, Arlington, VA 22209, USA.

Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In: D.L. Sparks et al. (eds.) Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA, Madison, WI.

附件 E 样本数据表

以下是过去使用过的一些数据表的样本。数据表包括：

解析木采样野外数据表 (数据表 A)	89
解析木采样野外数据表 (数据表 B) 圆盘样本测量数据	90
表 A. 野外设备	91
表 B 野外工作人员培训和数据采集文件.....	92
校验野外调查数据的程序	93
表 C 野外样地检查文件.....	94
数据录入与分析流程	95
表 D 内业数据录入与分析文件.....	97
土壤采样的流程.....	98
表 E 土壤实验分析文件	99
数据维护与存储流程	100
表 G 数据维护与存储文件	101
野外生物量测量和抽样数据表.....	102

解析木采样野外数据表 (数据表 A)

对象: _____ 位置: _____ 物种: _____

日期: _____ 记录人: _____

树干长度 (m)						
树桩直径 (cm)						
树干胸径 (cm)						
树干空芯直径 (cm)						
第一分叉以下的直径 (cm)						
材料类型*	重量 (磅, lbs)	材料类型	重量 (磅, lbs)	树枝直径		
				d1	d2	长度 (m)
次样方鲜重 (g)			树桩或板根大小 :			
叶子 :			基部直径 (cm) : 顶端直径 (cm) : 高度 (m) : 重量 (lbs) : GPS 坐标点 :			
1						
2						
3.						
4.						
5.						
小枝 5-20 cm :						
6.						
7.						
8.						

* 材料的种类 : 叶子、枝条 < 5 cm, 枝条 5-20 cm, 或枝条直径大于 >20 cm。

表 A. 野外设备

单位名称：	
项目名称：	
项目经理：	
队长：	
日期：	
地点：	

野外设备是否满足温洛克国际农协会对精度和耐用性的要求？

如果有例外情况，请逐一列出，并加以说明：

队长 (打印姓名)

签字

日期

表 B 野外工作人员培训和数据采集文件

以下表格由负责检查野外工作人员样地调查数据的人员（调查队队长）填写。调查队队长还负责保证所有的调查队队员充分了解野外工作的流程，且保证所收集的数据是准确、高质量的。

单位名称：	
项目名称：	
项目经理：	
队长：	
日期：	
地点：	
所采集数据的类别：土壤 (S)，对象木 (T)，枯死木 (DW)，枯枝落叶 (L)，草本 (H)，其它（具体说明）	
调查队队员是否阅读了《标准操作规程》？	
有没有设置测试样地？	

此外，调查队队长以下的签字证明所有的野外调查队队员已经阅读《标准操作规程》，且已经遵循所有培训和测试的所有步骤操作。调查队队长将尽其所能保证所采集的数据具有最高的质量。

调查队队长（打印姓名）

签字

日期

校验野外调查数据的程序

在野外工作期间，每个小组要经常地定期复测至少一块另外一个小组测量的样地。固定样地的复测目的是为了验证测量程序是按正确的标准操作的。同时，应使用新的复测数据表，并与原始的测量结果进行比较。

在野外工作结束时，项目负责人和另外一名野外调查人员应回访在调查过程中没有检查过的 10 - 20% 的样地（取决于已有的资源和时间）。使用新的野外数据表收集数据，并将其与原始调查数据比较。修正所有发现的误差并作相应的记录。所发现的任何错误都应表达为所有复查样地的一个百分比，以提供一个测量误差的估计数。

样地核查中需要复测的内容取决于所要测量的碳库。如果设置的是森林样地，则复测仅仅针对活立木。在此情况下，需要核查的项目是胸径的位置和每株对象木的直径测量数据。这一巡回核查的结果将作相互比较。任何核查中发现的问题都应与所有小组的成员讨论。在修正错误后，修正的野外数据表应包括在原始调查的数据表中，并作相应的备注说明。对于被复查的样地，双重的数据表则作为已经执行调查程序的记录证明。这些数据表的一份副本存放在“测量和监测计划”的文件中。

如果设置了土壤测量样地（而不是林木测量样地），也同样要执行以上的步骤。与复测胸径不同的是采集的是土壤样本。用样地编号标记土壤样本，并再增加一个“核查”的注释后缀。

表 C 野外样地检查文件

以下表格由负责检查野外工作人员样地调查数据的人员（调查队队长）填写。调查队队长还应该报告野外核查的结果，并说明核查过程中遇到的各种问题。

单位名称：	
项目名称：	
项目经理：	
调查队队长：	
日期：	
地点：	
检查的样地的类型：	
检查的样地的数量：	

描述在样地检查过程中遇到的任何问题：

改正以上问题所采取的各个步骤：

调查队队长（打印姓名）

签字

日期

数据录入与分析流程

计算可靠的碳补偿的一项关键步骤就是把数据准确地输入数据分析的电子表中。在这一过程中，有两类主要的数据类型：野外和实验室数据。重要的一点是项目负责人要直接对这一步骤负责，确保把误差降低到最低程度。在审阅数据分析结果的时候，应当用常识判断确保这些结果处于真实性的范围内。如果可能的话，所得到的结果应当与其它相似类型的项目结果作比较。在测量碳的过程中，样地的测量结果之间会有很大差异。林木和土壤中的含碳量取决于很多变量（种类、以往利用的历史，地点等等）。以下是一些在检查样地结果的时候应该记住的常规数据。

测量内容	典型范围	备注
土壤密度	0.8 – 1.3	土壤密度是土壤比重的一种单位，一般表示为（克/立方厘米（ g/cm^3 ），千克/立方米（ kg/m^3 ），等等。
土壤碳百分比（%）	0.5 – 3	退化的土壤含碳量在 0.5% C 或更少。富含有机质的土壤可以达到 3%，甚至更高。任何在 5% 以上的测量数据则需要复查。
土壤碳储量 (吨/公顷，t C/ha)	5 – 300	变化非常大。取决于土壤的类型，但此处给出的是大部分土壤类型的正常变化值。任何在超出这一范围的测量值则需要复查相关的错误。
次生林的林木生物量 (吨/公顷，t C/ha)	30-100	这些值为近似值，但是是次生林的一般含碳量的典型范围。
原始林树木的生物量 (吨/公顷，t C/ha)	185 和以上	（200 年或以上林龄的）原始林含碳量的近似值。任何 500 t C/ha 及其以上的测量值需要再次核查。

并非所有的项目都会按照上表中所给出的值（单位每吨碳/公顷，t C/ha）来报告项目的测量结果。为便于参考，下表列出了 Winrock 的计算方法中最常用的单位换算方法。

值	等于	乘以	乘数	结果
1 公吨 metric ton	= 2,205 磅 lbs	短吨 short t	0.9072	公吨 metric t
1 短吨 short ton	= 2,000 磅 lbs	公吨 metric t	1.1023	短吨 short t
1 公吨 metric ton	= 1.1023 短吨 short tons	英亩 acres	0.405	公顷 ha
1 短吨 short ton	= 0.9072 公吨 metric tons	公顷 Ha	2.47	英亩 acres
1 公顷 hectare(ha)	= 2.47 英亩 acres	C 碳	3.667	二氧化碳 CO ₂

1 英亩 acre	=	0.405 公顷 ha	吨碳/公顷 t C/ha	0.405	吨碳/英亩 t C/acre
1 吨碳 ton of C	=	3.667 吨二氧化碳 t of CO ₂	吨碳/英亩 t C/acre	2.47	吨碳/公顷 t C/ha

为检查数据输入的错误，我们建议另一名独立的人员应输入大约 15% 的野外数据表到数据分析软件中。这两组数据然后可以相互比较，以检查错误。

表 D 内业数据录入与分析文件

单位名称：	
项目名称：	
项目经理：	
调查队队长：	
日期：	
地点：	
数据录入员的姓名和联系信息：	
样地的结果是否与其它的数据进行过比较？	
再次检验数据录入员的姓名和联系信息：	
整套数据包括的总样地数量：	
经过二次检验的样地数量（应为总样地数量的15%）：	

描述在数据录入中所遇到的任何问题：

改正以上问题所采取的各个步骤：

队长（打印姓名）

签字

日期

土壤采样的流程

如果土壤样本是在野外工作期间采集的，土壤样本的碳分析应包括在实验室中所分析的各个批次的标准和副本。我们建议在送到实验室的各批次的土壤样本中，每 20 份样本中包括一份副本样本。签约的实验室必须按要求在每批次的样本中分析一份标准土壤碳样本，并要求将标准样本的分析结果包括在实验室的分析结果中。

在给实验室寄送土壤标本做分析时，所寄出的样本中应包括一份书面清单。Winrock 一般把清单的副本放在寄出样本的盒子中，这样能保证在所寄的货品抵达实验室时，有明确的说明和联络信息。清单中通常包括联系人姓名，联络信息以及在货品中所包含的每份样本的名录。本清单应该完整、准确地列清所有的样本。

表 E 土壤实验分析文件

单位名称：	
项目名称：	
项目经理：	
调查队队员：	
日期：	
地点：	
土壤实验室的名称和联络信息：	
土壤的标准有没有包括在发货中？	
土壤样本的副本有没有包括在发货中？	

描述工作过程中所遇到的所有问题：

解决为题所采取的步骤：

负责人 (打印姓名)

签字

日期

数据维护与存储流程

由于这些项目相对来说项目期较长，数据存档（维护和存储）就成为整个工作中很重要的一项内容。数据存档应该采用多种形式，且所有数据副本应该提供给各个参加项目的小组。

野外测量数据表、实验室数据表和数据分析的原始材料应放在文件夹中，由碳测量实施人员和项目经理存放在安全的地方。

数据表、数据分析、计算模型（Excel 电子表格）的纸质副本；所吸收或存留碳总量的最终估算，任何 GIS 产品以及项目实施人员和管理人员的测量和监测报告的副本应存放在专用的、安全的位置。

所有电子数据和报告也应同样拷贝在耐久的媒介上，如光盘。我们建议，考虑到本项目实施的时间框架以及软件产品以及存储数据新硬件的升级速度，数据和报告的备份电子拷贝应定期更新。

表 G 数据维护与存储文件

参加项目机构的名称和联系信息：

a) 碳测量的实施机构：

b) 项目经理：

c) 资助机构：

d) 其它：

野外测量的数据表、实验室数据表、有关项目实施人员数据分析档案的纸质文件和副本有没有送交给项目经理？

数据表、数据分析、计算模型（Excel 电子表格）等有没有纸质副本；所吸收或存留的碳总量的最终估算是多少；有没有一些 GIS 产品？项目实施人员和管理人员测量和监测报告的副本？

所有的主要文件和报告是否已经拷贝在电子媒介上（光盘）？副本有没有送交给项目经理？

投寄人员姓名（包括联络信息）：

由那一方负责定期对数据进行更新（包括联络信息）？：

负责人（打印姓名）

签字

日期

