

ICS 65.020
B 65

LY

中华人民共和国林业行业标准

LY/T 1952-2011

森林生态系统长期定位观测方法

Observation methodology for long-term forest ecosystem research

2011-06-10 发布

2011-07-01 实施

国家林业局 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义.....	2
4 森林生态系统野外系统观测方法	4
4.1 森林生态系统蒸散量观测	4
4.2 森林生态系统水量空间分配格局观测	13
4.3 森林配对集水区与嵌套流域观测	18
4.4 森林水质观测	27
4.5 森林生态系统土壤理化性质观测	31
4.6 森林生态系统土壤有机碳储量观测	37
4.7 森林生态系统土壤呼吸观测	39
4.8 森林生态系统土壤动物、酶活性及微生物观测.....	42
4.9 森林生态系统根际微生态区观测	47
4.10 森林冻土观测	50
4.11 森林常规气象观测	54
4.12 森林小气候观测	57
4.13 森林生态系统微气象法碳通量观测	61
4.14 森林生态系统温室气体观测	64
4.15 森林生态系统大气干湿沉降观测	67
4.16 森林生态系统负离子、痕量气体及气溶胶观测.....	70
4.17 森林生态系统长期固定样地观测	73
4.18 森林生态系统物候观测	79
4.19 森林生态系统植被层碳储量观测	86
4.20 森林生态系统凋落物与粗木质残体观测	90
4.21 森林生态系统年轮分析方法	94
4.22 森林动物资源观测	99
4.23 森林生态系统氮循环观测	104
4.24 森林生态系统重金属观测	108
4.25 森林生态系统稳定同位素观测	110
4.26 森林生态系统健康评估方法	116
4.27 森林生态系统服务分布式观测布局与测算方法.....	121
附录 A（规范性附录）竹林生态系统长期固定样地观测	124
附录 B（资料性附录）t 分布表	128

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由国家林业局提出并归口。

本标准负责起草单位：中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所。

本标准参加起草单位：北京林业大学、北京澳作生态仪器有限公司、北京市农林科学院、清华大学、重庆市林业科学研究院、内蒙古农业大学、江西农业大学、贵州省林业科学研究院、云南省林业科学院、西北农林科技大学、广东省林业科学研究院。

本标准主要起草人：王兵、鲁绍伟、李红娟、茆伟、于长青、薛沛沛、王丹、宋庆丰、戴伟、魏江生、俞社保、丁访军、罗大庆、任晓旭、姜艳、牛香、张秋良、周梅、郎南军、孟广涛、尤文忠、刘建军、周平、张卫强、乔磊、周薇、杨晓菲、耿绍波、高东、赵鹏武、张慧东、潘勇军。

引 言

近年来，国家林业局中国森林生态系统定位研究网络（CFERN）所属森林生态站数量急剧增加，新的观测技术和方法不断涌现，仪器设备大量更新。为了适应森林生态系统长期定位观测新增观测指标和观测仪器的需要，急需更系统、更精确的野外观测方法指导森林生态站的日常科研与观测工作。

本项标准制定具有以下特点：

- 本标准采用系统观测方法的编写思路，不同于以往按照单项观测要素或单一生态因子确定观测方法的传统模式；
- 本标准从森林生态系统长期定位研究的 28 个关键科学问题入手，以科学问题统领野外观测方法的系统性和集成性；
- 本标准承前启后，与中华人民共和国林业行业标准《森林生态系统定位观测指标体系》（LY/T 1606--2003）前后衔接，涵盖了全部 94 个观测指标；
- 本标准是一个专门针对森林生态系统长期连续定位研究的野外系统观测方法体系，基本不涉及实验室内的理化分析内容；
- 本标准既充分参考借鉴了森林生态系统野外观测方法的国内外最新进展，同时又从 CFERN 所属森林生态站野外观测能力的实际情况出发，将野外观测方法的实用性与先进性有机结合。

森林生态系统长期定位观测方法

1 范围

本标准规范了森林生态系统野外长期连续定位观测方法和技术要求。

本标准适用于森林生态系统野外长期连续定位观测，也适用于其他相关森林生态监测工作。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 3095 环境空气质量标准
- GB 3838 地表水环境质量标准
- GB 7467 水质 六价铬的测定二苯碳酰二肼分光光度法
- GB 7468 水质 总汞的测定 冷原子吸收分光光度法
- GB 7475 水质 铜、锌、铅、镉的测定 原子吸收分光光度法
- GB 7479 水质 铵的测定 纳氏试剂比色法
- GB 7480 水质 硝酸盐氮的测定 酚二磺酸分光光度法
- GB 7485 水质 总砷的测定 二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法
- GB 11893 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法
- GB 11894 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法
- GB 11899 水质 硫酸盐的测定 重量法
- GB 11902 水质 硒的测定 2,3-二氨基萘荧光法
- GB 13580.2 大气降水样品的采集与保存
- GB 13580.4 大气降水pH值的测定电极法
- GB 13580.12 大气降水中钠、钾的测定-原子吸收分光光度法
- GB 13580.13 大气降水中钙、镁的测定-原子吸收分光光度法
- GB/T 15432 环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法
- GB/T 15505 水质 硒的测定 石墨炉原子吸收分光光度法
- GB/T 16489 水质 硫化物的测定 亚甲基蓝分光光度法
- HJ/T 84 水质 无机阴离子的测定 离子色谱法
- HJ/T 165 酸沉降监测技术规范
- HJ/T 166 土壤环境监测技术规范
- HJ/T 194 环境空气质量手工监测技术规范
- HJ 485 水质 铜的测定 二乙基二硫代氨基甲酸钠分光光度法
- HJ 486 水质 铜的测定 2,9-二甲基-1,10-菲啰啉分光光度法
- LY/T 1210~1275 森林土壤分析方法
- LY/T 1606 森林生态系统定位观测指标体系
- LY/T 1626 森林生态系统定位研究站建设技术要求
- LY/T 1721 森林生态系统服务功能评估规范

MT/T 593.1 人工冻土物理力学性能试验
 QX 4 气象台(站)防雷技术规范
 QX 30 自动气象站场室防雷技术规范
 QX/T 45 地面气象观测规范
 QX/T 48 地面气象观测规范
 QX/T 52 地面气象观测规范
 QX/T 61 地面气象观测规范
 QX/T 90 树木年轮气候研究树轮采样标准
 SL 20 水工建筑物测流规范
 SL 24 堰槽测流规范
 SL 237-034 冻土含水率试验
 SL 237-035 冻土密度试验
 SL 237-036 冻结温度试验
 SL 237-037 冻土导热系数试验
 SL 237-039 冻胀量试验
 SL 277 水土保持监测技术规程
 TJ 7 工业与民用建筑地基基础设计规范

3 术语和定义

以下术语和定义适用于本标准。

3.1

野外系统观测方法 field integrated observation methods

以生态系统生态学理论为基础(指导),针对野外观测研究的关键科学问题,明确与之相关的野外观测内容,制定出科学、具体、完善、系统的长期观测、样品采集、数据处理等行之有效的方法。

3.2

森林生态系统长期固定样地 long-term forest ecosystem observation plot

在典型森林地段上,通过选定具有代表群落基本特征(如种类组成、群落结构、层片、外貌以及数量特征等)的地段作为森林生态系统长期定位观测样地,获取森林生态系统结构参数的样地观测数据,并对森林生态系统内的水文、土壤、生物多样性、健康状况等方面进行长期定位观测研究而设置的固定样地。

3.3

森林动态观测大样地 forest dynamics plot

在典型森林地段建立的面积为 6hm^2 以上、用于观测生物多样性动态变化的永久性固定样地。运用全站仪将整个样地划分为 n 个 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 的样方,调查、定位样地内胸径 $\geq 1\text{cm}$ 的所有木本植物(乔木、灌木、木质藤本),同时对灌木、草本及层间植物(藤本或附(寄)生植物)进行调查。在不同的空间尺度上研究森林生态系统的物种组成、空间分布格局及其对生境的响应,观测森林生态系统种子雨散布、幼苗更新和成株的动态变化过程,探索森林生态系统生物多样性形成和维持机制。

3.4

立竹度 bamboo stocking density

单位面积立竹的株数,用“株/ hm^2 ”表示。

3.5

立竹均匀度 bamboo evenness

竹林中立竹分布均匀程度，用单位面积立竹平均株数与其标准差的比值表示。

3.6

立竹整齐度 bamboo uniformity

竹林中立竹个体大小差异程度，用竹林平均胸径与其标准差的比值表示。

3.7

H₂O 通量 H₂O flux

地面或水面的蒸发通量、植被冠层截留的降水蒸发通量和植物的蒸腾通量的总和。

3.8

CO₂ 通量 CO₂ flux

一定时间通过一定面积的二氧化碳的量。森林生态系统的 CO₂ 通量则是森林生态系统与大气界面之间 CO₂ 的交换量。

3.9

涡度相关法 eddy covariance

基于湍流交换的空气动力学原理，通过测定和计算一定高度上湍流运动所产生物理量（如温度、CO₂ 和 H₂O 等）的脉动和垂直风速脉动的协方差求算湍流输送量（湍流通量）的方法。

3.10

土壤呼吸 soil respiration

土壤与外界大气之间进行气体交换过程中，土壤中的二氧化碳排入大气，这个过程称为土壤呼吸。土壤呼吸作用包括三个生物学过程（即土壤微生物呼吸、根系呼吸、土壤动物呼吸）和一个非生物学过程（即含碳矿物质的化学氧化作用）。

3.11

根际微生态区 rhizosphere micro-ecosystem

由植物根（主要是细根）-土壤-微生物和酶组成的特殊微生态系统。一般为距根表不足 1mm 到数毫米，其范围与植物种类、土壤类型、土壤含水量、根系的特定分布及分泌物等因子有关，是各种养分及其它物质进入根系参与生物链物质循环的门户。

3.12

坡地水量平衡场 plot of water balance on hillslope

建立在坡地上具有典型植被（森林类型）、地形、土壤、地质、坡向、坡度有代表性的封闭小区，与周围没有水平的水分交换。水量平衡场一般建筑在土壤层下面具有粘土或重壤土构成的不透水层的地方，场的四周用混凝土筑有隔水墙。地表水和地下水的集水槽是分开装置的，常设有水井观测地下水位的变化。

3.13

配对集水区 paired catchments

选择两个在面积、形态、地质、气候与植被都近似的集水区，然后对它们同时观测一段时间，这段时间称为校正时段（一般 3a~5a，最好能够包括丰水年和枯水年）。在校正时段之后，可选择其中之一作为处理，保留另外一个不动或作为“参照”集水区。

3.14

嵌套式流域 nested watersheds

自然界地形地貌层次结构的体现，就是大流域包含小流域，小流域内包含更小的集水区。嵌套式流域是研究水文过程尺度转换的天然实验场。

3.15

森林生态系统健康 forest ecosystem health

森林生态系统在保障正常的生态服务功能、满足合理的人类需求的同时，维持自身持续向前发展的能力和状态，它主要包括森林生态系统的整合性、稳定性和可持续性。即森林生态系统有能力进行资源更新，具有忍耐和抵抗能力，受破坏后在生物和非生物因素（如病虫害、环境污染、营林活动、林产品收获等）的胁迫作用下可自主恢复并能够保持其生态恢复力，而且能够满足现在和将来人类对森林资源、产品和生态服务等不同层次的需要。

3.16

分布式测算方法 distributed estimation method

将森林生态系统复杂的生态服务功能测算过程分割成不同层次、若干个相对独立运算的均质单元，然后将这些均质单元的森林生态系统服务进行分别测算，最后把这些计算结果逐步累加，得出最终结果的一种科学测算方法。

4 森林生态系统野外系统观测方法

4.1 森林生态系统蒸散量观测

4.1.1 观测目的

通过长期连续定位观测单木树干液流量，了解不同树种的蒸腾耗水规律及其主导影响因子，基于单个和多个林分蒸散量的观测数据，掌握典型森林植被类型的水文动态变化规律及森林生态系统水文时空分布格局，为研究森林生态系统的水分耗散及水分利用效率提供基础数据。

4.1.2 观测内容

单木树干液流量、单个林分蒸散量、多个林分蒸散量。

4.1.3 观测与采样方法

4.1.3.1 观测场设置

单木树干液流量观测场应设在研究区域的典型林分内，地势平坦，植被分布均匀。

单个林分蒸散量观测场土壤、地形、地质、生物、水分和树种等条件具有广泛的代表性，要避开道路、小河、防火道、林缘，形状应为正方形或长方形，林木在 200 株以上。

多个林分蒸散量观测场的测量路径长度要包含或覆盖单木树干液流和单个林分蒸散量观测点所在的典型林分，且路径中心位置尽量位于森林小气候观测塔附近。

4.1.3.2 观测仪器

采用液流量计测量单木树干液流；蒸渗系统测量林分蒸散量；大孔径闪烁仪测量单个或多个林分的蒸散量。

4.1.3.3 单木树干液流观测

4.1.3.3.1 液流系统的结构和原理

直径 $\geq 12\text{cm}$ 的样本采用组织热平衡系统 THB (Tissue Heat Balance)，俗称插针式液流量计；直径 $< 12\text{cm}$ 的样本采用茎干热平衡系统 SHB (Stem Heat Balance)，俗称包裹式液流量计。

4.1.3.3.1.1 THB 组织热平衡系统

a) 结构

由控制模块、温度传感器组、不锈钢电极组、数据采集器、电源和辐射保护膜组成。

b) 工作原理

THB 系统中三块厚 1mm 的平行不锈钢电极将交流电流引入树干木质部，电极周围的木质部被加热，电极的绝热部分可阻止热量传导到韧皮部。上部加热区有三块电极，下部非加热区有一块电极，见图 1。一部分热量传导到环境中，其余的因树液流动被带走。通过测量树干上的加热区和非加热区的温差，根据热平衡原理，为确保加热区和非加热区温差恒定而调节的输入功率与液流量相关，从而求算液流量。

三种长度的电极60mm、70mm和80mm可覆盖25mm、35mm和45mm的边材，确保覆盖大部分树种的液流主剖面。

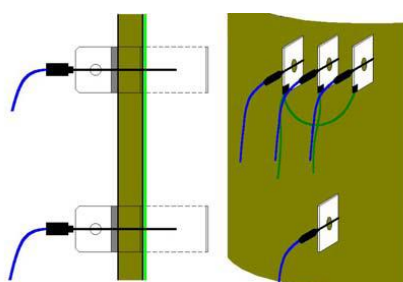


图 1 THB 系统-EMS51 电极的布设示意图

4.1.3.3.1.2 SHB 茎干热平衡系统

a) 结构

由控制模块、液流传感器、防辐射膜、数据采集器和电源组成。

b) 工作原理

工作原理同THB，传感器不是电极片，而是包裹在树干上的两个圆柱形电极，一个内装有线性加热元件，另一个没有加热元件，并且确保测量过程对树干没有损伤。

4.1.3.3.2 液流系统的布设和安装

4.1.3.3.2.1 观测样木的确定

根据标准木法确定观测样木。

4.1.3.3.2.2 液流系统安装

a) THB 系统安装步骤

首先选择样木上测点的位置，原则是距地面同样高度的植物组织质地均一。测点至少距地面 1m 或更高，但低于绿冠（第一个轮生体）。树干组织和预留出的覆盖辐射膜的地方要足够均匀，没有非正常结节，无机械或生物损伤或其它会影响木质部正常液流通道的障碍。对于大树干或坡地上树干周边土壤条件不同的情况可在树干相对的位置设置两个测点，两个测点的平均值作为该整株样木的液流。

然后测量树皮和韧皮部的厚度。若厚度不均一，打磨树干。注意不要损伤树皮底下的软木。确定树干上相对的两个测点后，对于大树干，两个测点距地面的垂直距离可以一样；对细的树干，距离地面的高度要相差30cm以上，便于包裹防辐射膜。

接着可插入电极，在电极间放置温度传感器，将电极连接到控制模块的加热端，连接控制模块到数据采集器和电源，包裹防辐射膜。

b) SHB系统安装步骤

样木上测点的选择同THB。树干表面的处理方法同THB。

处理完树干表面后，固定热电偶附件在树干上，先打孔，将针插入茎干。然后安装上部传感器，检查绝缘泡沫是否紧贴温度传感器支架，传感器锡纸膜是否保持圆柱形，且均匀围绕茎干。同样方式安装下部不带加热部分的传感器，检查方法同上部传感器。

传感器周边需要20cm长的空间。若树干有结节，可放在传感器两个圆柱体之间。

最后安装上部辐射膜，用PVC胶带勒紧。同样用PVC胶带勒紧下部防辐射膜，不要太紧，在树干和缆线间有缝隙，让凝结水流出。

连接传感器电缆到控制模块，将控制模块连接到数据采集器和电源。

4.1.3.3.3 液流数据采集

在计算机上打开系统软件，设置通道和测量间隔，建立设置文件。然后设置通信端口。通过USB或RS232口将电脑连接到数据采集器。设定数据采集器时间，然后发送设置文件到数据采集器，开始测量。

4.1.3.4 林分蒸散量观测

4.1.3.4.1 蒸渗系统的结构和原理

4.1.3.4.1.1 结构

由柱体、底部水势控制器、传感器、土壤溶液采样器、数据采集器、称重单元、通信接口、电源、维护井（地下室）组成。按安装位置可分为地上部分和地下部分。

4.1.3.4.1.2 工作原理

通过高精度称重传感器每分钟称重原状土柱或回填土柱，柱体重量的变化和柱体的输入、输出量代入如下水量平衡公式和物质平衡公式，可求算蒸散量和大气沉降量。

水量平衡公式：

$$\Delta S = (P + Ir) - (I + ET + Sw)$$

式中： ΔS ——蒸渗仪柱体重量变化，换算成 mm；

Ir ——灌溉量，mm；

P ——降水，mm；

I ——截流，mm；

ET ——蒸散量，mm；

Sw ——渗漏水，mm。

物质平衡公式：

$$\Delta M = Dep + F - V - L$$

式中： ΔM ——蒸渗仪柱体重量变化，g；

Dep ——大气沉降量，g；

F ——施肥量，g；

L ——渗滤液，g；

V ——植被损耗, g 。

蒸渗仪系统中的气象传感器同时测量能量平衡、水量平衡中的各参数, 可求算 ET_0 值。

4.1.3.4.2 蒸渗系统的布设和安装

4.1.3.4.2.1 蒸渗系统安装点的选择

观测点应地势相对平坦, 土壤中没有产流, 植被分布均匀; 观测点应至少能安装一个最小规格为 $2m \times 2m$ (直径 $\times$ 高) 的圆柱状蒸渗系统; 土柱采样点要具有代表性, 要能代表集水区或一个区域; 避开土壤剖面有隔层、粘土防渗层、土表层极粗糙的位置。

4.1.3.4.2.2 蒸渗仪柱体与维护井的布设

由多个蒸渗仪柱体组成的蒸渗系统, 蒸渗仪柱体和维护井的位置有如下几种布局。

- 维护井与柱体是直角或柱体在维护井的两边成一条直线, 见图 2 (a)。这种布局用于在一种土壤类型上比较不同的处理 (如施肥、灌溉或 CO_2 处理)
- 维护井安装在四个等距柱体的交叉中心, 成正四边形结构, 见图 2 (b)。通过用户定制的管长连接柱体与维护井。在这种布局中, 四个柱体分别是四种类型的样地。
- 维护井安装在两列各三个柱体的对称中心, 成矩形排列, 见图 2 (c)。这种布局用于比较不同植被类型或植被不同处理, 方便机器或机械设备操作, 如施加示踪剂 (或同位素), 放置不同气体处理罩等。

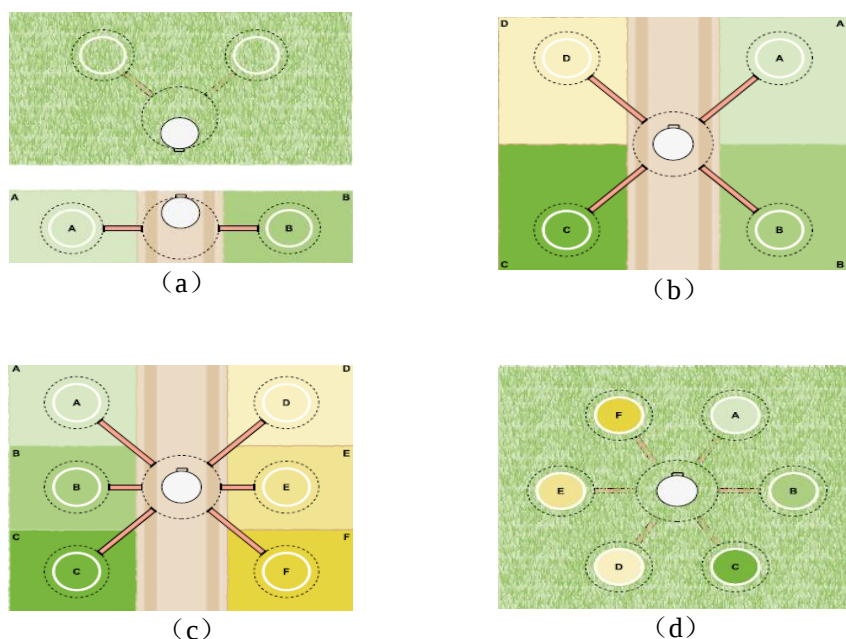


图 2 蒸渗仪柱体与维护井位置图

d) 维护井安装在六个等距柱体的交叉中心, 成正六边形排列, 见图 2 (d)。六个柱体的原状土柱来自不同试验观测点, 用于比较不同植被类型或立地条件的土壤。正六边形布设使蒸渗仪柱体处于同样的条件下, 便于比较研究。

4.1.3.4.2.3 蒸渗系统各部件的安装位置

蒸渗系统各部件的安装位置见表 1。

表 1 蒸渗仪部件及安装位置

传感器及部件	安装位置	备注
空气湿度	高度 2m	
空气温度	高度 2m	
总辐射	高度 2m	
风速	高度 2m	
雨量筒	高度 70cm	
降水收集器	高度 70cm	
土壤温度	地下 20cm	
罐体	与地面齐平，高度 1.5m 或 2m	高度可定制
土壤溶液采样器	柱体内	
土壤传感器	柱体内和野外	
维护井或地下室	井口或楼梯与地面齐平	比罐体截面积大 4~6 倍
数据采集器	维护井或地下室内	
底部水势控制器	柱体底部	
称重单元	柱体底部	
土壤溶液收集器	维护井或地下室内	
土壤溶液采样控制器	维护井或地下室内	
电源	通入维护井或地下室内	

4.1.3.4.2.4 蒸渗系统安装步骤

a) 维护井或地下室建造

按 TJ 7 执行。地下室的防雷地线要连接到观测场的总防雷地线。

b) 取原状土柱

采用 4 汽缸同步水压驱动器取原状土柱。在钻孔过程中，采用人工或机器检查采样点是否有石头、根、洞穴或其它干扰物，手工剔除切边周围的石头、根，防止在土柱中造成孔穴或凹槽。

采用抛光的切板切割土柱底部。土柱切割后，通过两个中心螺栓吊运和翻转罐体，使上部朝下。安装底部水势控制管，确保罐体内的水分情况与大田或野外完全一致。

c) 安装传感器

在维护井或地下室安装称重系统。在柱体内安装土壤水分、土壤水势传感器和土壤溶液采样器。并将原状土柱体吊装、安置在称重传感器上。在维护井或地下室内安装底部水势控制部件和溶液采样器的泵及控制器。

在距离蒸渗仪柱体 10m 内的地面上安装气象传感器。

4.1.3.4.3 蒸渗系统数据采集

在系统软件中按表 2 设置各部件的测量频率。

表 2 蒸渗系统各部件测量频率及性能指标

部件	测量频率	性能指标
空气湿度	1 次/10min	测量范围: 0~100%RH, 精度: $\pm 2\%$ RH 响应时间: 小于 20s (0 m/s)
空气温度	1 次/10min	温度范围: $-30^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$, 精度: $\pm 0.2\text{K}$
总辐射	1 次/10min	测量范围: $0\sim 1500\text{W m}^{-2}$; 分辨率: $<1\text{W m}^{-2}$
风速	1 次/10min	启动风速: 0.2m s^{-1} ; 最大风速: 可大于 75m s^{-1}
雨量筒	累计	测量范围: 0.2mm; 高度: 357mm; 入口面积: 400cm^2
降水收集器	用户自定	直径: 200mm; 收集面积: 314cm^2 ; 采样体积: 5L
土壤水分	1 次/10min	测量原理: TDR 时域反射原理 测量范围: 0~100%体积含水量; 含水量 0~40%时, 精度 $\pm 1\%$; 含水量 40%~70%
土壤温度	1 次/10min	温度测量范围: $-15^{\circ}\text{C}\sim +50^{\circ}\text{C}$, 精度: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$
土壤水势	1 次/10min	水势测量范围: 100KPa~85KPa, 精度: $\pm 0.5\text{KPa}$ 温度测量范围: $-30^{\circ}\text{C}\sim +70^{\circ}\text{C}$; 温度精度: $\pm 0.2\text{K}$
称重单元	1 次/min	范围: 0~60t; 称重分辨率: 0.01mm (水量) 结构: Y 型构架安装系统, X-Y-Z 三方向调节蒸渗仪柱体
底部水势控制器		水势测量范围: 100KPa~85KPa, 采样杯表面积: 3600cm^2 采样杯材料: 硅碳; 进气值: 0.1bar; 直径: 40mm
渗漏液称重单元	1 次/min	范围: 0~60kg; 称重分辨率: 100g
土壤溶液收集器	根据室内分析频率	采样管: PMMA (丙烯酸), 直径 20mm; 陶土杯: 直径 20mm; 高 60mm; 材料: 硅砂
土壤溶液采样控制器	维持设定值	负压范围: 0~850hPa, 精度: $\pm 0.5\text{hPa}$ 输出: 2 个 0~2000mV; 内存: 4500 读数 供电: 10.5~15VDC
柱体		表面积: 1m^2 , 柱高: 1m 或 2m 或用户定制, 材料: 4mm 不锈钢

重量测量间隔是 1min, 土壤水分、水势、温度、气象参数测量间隔是 10min。

系统软件直接输出土柱重量、渗漏液重量、土壤剖面水势、水分、温度、土壤溶液采样负压、柱体底部水势及同深度野外大田水势。

4.1.3.5 单个或多个林分蒸散量观测

4.1.3.5.1 大孔径闪烁仪的结构和原理

4.1.3.5.1.1 结构

由发射器、接收器、信号处理器SPU和SRun软件、电源单元、气象单元（可选）组成。发射器和接收器一般安装在铁塔上。发射器有两个由450只发光二极管排列组成的圆盘，接收器距离发射器250m~60km。

4.1.3.5.1.2 工作原理

大孔径闪烁仪以发光二极管（LED）作为光源，工作时，发射器发出两束平行光束，接收器被放置在距离发射器 250m 至 60km 的位置。根据弱散射原理，通过计算光强的起伏变化来测量折射率波动的结构常数 C_n^2 ，横向风的风速由两次波束信号间的时滞协方差得出。由 C_n^2 得出温度脉动结构常数 C_T^2 ，并通过自然对流尺度分析，结合气象传感器测量的温度、气压等结果，软件计算出传播路径上的显热通量、潜热通量、蒸散量等。

4.1.3.5.2 大孔径闪烁仪的布设和安装

4.1.3.5.2.1 观测塔的布设

考察观测点边缘相距最远的两个点林分冠层的均匀度情况，选择中间林分冠层比较均匀的两点架设观测塔。观测塔的结构和设计参见本标准 4.12。

发射器和接收器观测塔的距离和高度与传播路径上湍流情况相关，由结构常数、温度脉动常数、热通量变化范围决定。

4.1.3.5.2.2 发射器、接收器和信号处理单元的安装

发射器和接收器底部有安装支架，可将支架固定在观测塔上。固定后，用接收器上的望远镜调整，使发射器在望远镜瞄准镜的十字准线上。接收器通过电缆和信号处理单元 SPU 连接，SPU 可安装在观测塔上或观测塔下的观测室内。

4.1.3.5.2.3 电源单元

电源单元面板上有主电源接入口和 DC 输出口，用于连接主电源，转换成 12VDC 后供给发射器或 SPU，SPU 可供电给接收器。电源单元可安装在观测塔下的观测防水箱内或观测室内。

4.1.3.5.2.4 信号校正

通过调节发射器和接收器的定位器，使屏幕上的信号最大。反复调节接收器的水平和垂直高度使信号最好。

4.1.3.5.2.5 气象传感器的安装

连接温度传感器、气压传感器、风速传感器到 SPU 面板上的温度和气压或气象站接口。传感器距离 SPU 的标准电缆长度是 10m。传感器由 SPU 供电。上层温度传感器的安装高度距离地面 3m 以上。下层温度传感器安装在距离地面 0.3m~0.7m 范围内。

风速传感器一般安装在光路的中心位置。风速传感器的安装高度是空气粗糙长度的 20~100 倍。风向测量结果用于系统自动选取粗糙长度。风向值可来源于小气候系统中的风向传感器值。

4.1.3.5.2.6 系统维护

系统维护简单，只需经常清洁发射器和接收器窗口，并检查指示灯的状态是否正常工作。再校正周期取决于支架安装的稳定性。若是水泥浇筑的观测塔，几乎不必再校正。

4.1.3.5.3 大孔径闪烁仪的数据采集

大孔径闪烁仪通过网线将 SPU 连接到 PC。在计算机上安装 SRun 软件后，进行系统设置和数据采集参数设置。先设置 SPU 中的时间和日期。然后设置 SPU 中的采样间隔为 29s；采样时间为 1s；采样速率为 500Hz；再设置气象传感器接口的采样频率为 1 次/30s 等其它参数，上传设置文件到 SPU 后开始测量。

4.1.4 数据处理

4.1.4.1 单木液流观测系统数据处理

通过 USB 或 RS232 口将数据采集器连接到电脑，运行软件，直接下载内存中的所有数据。

4.1.4.1.1 THB 法整株树的液流值

$$Q_{tree} = Q \cdot (A - 6.28B)$$

式中： Q_{tree} ——液流值， kg h^{-1} ；

Q ——调节功率（输出值）， kg h^{-1} ；

A ——树干周长（带树皮）， cm ；

B ——树皮+韧皮部厚度， cm 。

该结果包含应该去除的热量损失。

4.1.4.1.2 SHB 法整株树的液流值

$$Q = -0.0215 + 0.000125 U - Q_{idle}$$

式中： Q ——液流值， kg h^{-1} ；

U ——直接来自下载的数据， mv ；

Q_{idle} ——调节功率（输出值）， kg h^{-1} 。

该结果包含应该去除的热量损失。

4.1.4.1.3 “净”液流量

系统软件 Mini32 识别到从液流系统中下载的数据文件后，自动激活去除基线功能，选择该功能后，可得到去除了热量损失的“净”液流量。

4.1.4.2 林分蒸散量观测系统的数据处理

通过电缆或网线连接蒸渗系统的数据采集器和 PC 后可下载数据。蒸渗系统各参数计算如下：

a) 大气沉降量

$$\Delta M = W_2 - W_1$$

式中： ΔM ——大气沉降量， g ；

W_2 ——结束时间的柱体重量， g ；

W_1 ——开始时间的柱体重量， g 。

b) 土壤持水量

将土壤剖面土壤含水量，输入 MLog 软件，可得到任意土体的持水量。

c) 蒸散量

$$\Delta S = W_4 - W_3$$

式中： ΔS ——蒸散量，换算成 mm ；

W_4 ——终点时间的柱体重量， g ；

W_3 ——开始时间的柱体重量， g 。

d) 植物系数修正

蒸渗系统的软件通过内置的彭曼 FAO P-M 方程，可计算出参照蒸散量 ET_0 值。

通过如下公式可修正植物系数。

$$ET_c = K_c \times ET_0$$

式中： ET_0 ——参照蒸散量， mm d^{-1} ；

ET_c ——蒸渗系统输出的植物需水量，也称潜在蒸散量 mm d^{-1} ；

K_c ——植物系数。

利用蒸渗仪的实时蒸散量 ET ，还可修正卫星遥感蒸散量，进而得到单个或多个林分蒸散量。

e) 水量平衡法蒸散量计算

根据蒸渗仪系统中的气象传感器获得的数据，可用于水量平衡法蒸散量计算。

$$ET = P + Ir - I - \Delta S - Sw$$

式中： ET ——蒸散量， mm d^{-1} ；

P ——降雨量， mm ；

Ir ——灌溉量， mm ；

I ——截流， mm ；

ΔS ——蒸渗仪柱体重量变化，换算成 mm ；

Sw ——渗漏水， mm 。

f) 能量平衡法蒸散量计算

$$\lambda ET = R_n - H - S - P - L$$

式中： λET ——潜热通量， W m^{-2} ；

H ——显热通量， W m^{-2} ；

R_n ——净辐射量， W m^{-2} ；

S ——研究区域的储热变化通量（包括空气、植被和土壤）， W m^{-2} ；

P ——光合作用热通量， W m^{-2} ；

L ——土壤热通量， W m^{-2} ；

λ ——水的汽化潜热， J kg^{-1} 。

g) 土壤离子分析

渗漏液采样后，放入 EasyChem 自动离子分析仪，可测得亚硝酸盐、硝酸盐、硝酸盐+亚硝酸盐、正磷酸盐、氨、碱度、氯化物、铬（六价）、氰化物、可溶性铁、硅酸盐、硫酸盐、总磷、总氮等成分。

4.1.4.3 单个或多个林分蒸散量观测系统的数据处理

大孔径闪烁仪按图 3 流程处理、存储数据。

每次完成原始数据包采样后即实施原始数据处理，同时形成诊断数据文件列表。在每个主要数据采集间隔（由用户自定义），处理诊断数据。从合并的诊断数据中计算物理量和气象结果，并保存作为主要数据。

单个或多个林分蒸散量观测系统输出数据包括时间、蒸散量、潜热通量、折射率脉动结构常数 C_n^2 、温度脉动结构常数 C_T^2 、自然对流情况下的显热通量、需要外接气象传感器时计算的显热通量等。

可对数据采用背景校正、消光和外尺度校正及湍流饱和校正。

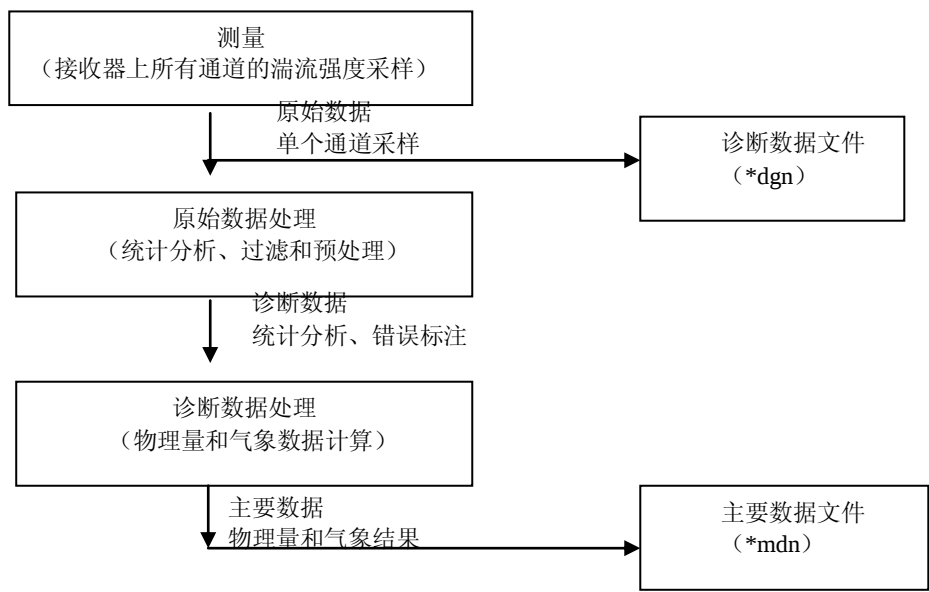


图 3 大孔径闪烁仪数据处理流程图

4.2 森林生态系统水量空间分配格局观测

4.2.1 观测目的

通过定量研究林冠截留率、凋落物蓄水能力、土壤的渗透和蓄水能力，对森林生态系统不同层次水量空间分配格局及水量平衡分析，揭示森林生态系统水文要素的时空规律，为研究森林植被变化对水分的分配和径流的调节提供基础数据。

4.2.2 观测内容

大气降水量、穿透降水量、树干径流量、枯枝落叶层持水量、地表径流量、土壤含水量、壤中流量。

4.2.3 观测与采样方法

4.2.3.1 观测场设置

在小流域，以典型森林植被为基本观测对象，围绕典型森林植被林冠层、枯枝落叶层和土壤层，设置降水量观测点、地表径流场、坡面水量平衡场、树干径流和穿透降水观测样地、土壤水分观测样地。

4.2.3.2 仪器设备

仪器设备见表 3。

表 3 森林水文观测仪器设备

观测指标	仪器设备
大气降水量	自记雨量计和激光雨滴谱仪
穿透降水量	集水槽和自记雨量计
树干径流量	自记雨量计和树干径流收集槽

表 3 (续)

枯枝落叶层含水量	精密电子天平
地表径流量	自记翻斗流量计、地表径流量测量系统
土壤水分含量	铝盒、电子天平(精度 0.01g), 取土铲、烘箱、干燥器、时域反射仪(TDR)
壤中流量	壤中流收集槽和自记雨量计。

4.2.3.3 降水量观测

4.2.3.3.1 布点方法及数量

4.2.3.3.1.1 雨量观测点数应按集水区面积的配置, 具体见表 4。雨量观测点要均匀铺设, 对于要进行水质分析的雨量观测点, 应离林缘、公路或居民点有一定距离。

4.2.3.3.1.2 采用自记雨量计(日记、月记等)和标准雨量筒测定森林降雨。仪器放置在径流场或标准地附近的空旷地上, 或者用特殊设施(如森林蒸散观测铁塔)架设在林冠上方, 或者选一株直径较大且干形较好的最高树木, 去其顶梢。将雨量承接器水平固定在树顶上(高于周围林冠层), 然后用胶管将雨水引致林地进行测定。

4.2.3.3.1.3 在林中空地和林外约 50m~100m 处空旷地分别设置激光雨滴谱仪 1 台, 自动观测降水量、降水强度、降水等级、降水速度、降水粒径大小及其分布谱图。

表 4 雨量观测点按集水面积区的配置

集水区面积/km ²	< 0.2	0.2~0.5	0.5~2	2~5	5~10	10~20	20~50	50~100
雨量观测点数	1	1~3	2~4	3~5	4~6	5~7	6~8	7~8

4.2.3.3.2 观测设备安装

4.2.3.3.2.1 自动记录雨量计安装: 安装要点按照 QX/T 52 和 QX 4 执行。

4.2.3.3.2.2 激光雨滴谱仪

- 选择地势平坦的地方安装支架, 必要时做水泥基座固定。
- 将激光雨滴谱仪固定在支架上, 应水平安装。
- 按照接线图连接激光雨滴谱仪的缆线, 若选择了气象传感器, 将气象传感器按指示图接入数据采集器。
- 将激光雨滴谱仪通过电缆线与供电单元连接, 提供交流供电。
- 通过数据线将激光雨滴谱仪与 PC 机相连。
- 电缆线不应架空, 应走电缆管(沟)。

4.2.3.3.3 雨量计算

较大流域平均雨量计算采用泰森多边形法, 小流域采用加权平均法(控制圈法)。

4.2.3.4 穿透降水量观测

4.2.3.4.1 布点方法及数量

网格机械布点法。在标准地内, 根据样地形状及面积, 按一定距离画出方格线, 在方格网的交点均匀布设雨量收集器。收集器口高出林地 70cm。布设雨量仪器个数按照以下公式计算。

$$n \geq \frac{N}{1 + N \frac{\alpha^2}{c^2}}$$

式中：n——需要的观测计（器）数；

N——抽采样本所代表的区域大小， $N=A/a$ 。其中，A 为调查区面积， m^2 ；a 为观测计（器）受雨口面积， m^2 ；

α ——精度；

c ——变异系数（样本标准差/样本平均差）。

4.2.3.4.2 穿透水量观测

a) 观测仪器采用自记雨量计和沟槽式收集器。

b) 在一次性降雨量较大的地区（1000mm），穿透水的水量收集器会出现溢流，在实验中同时设置水量仪分流装置解决暴雨期间穿透水测定仪满溢问题。

4.2.3.5 树干径流量观测

4.2.3.5.1 观测树木的选取及数量

采用径阶标准木法，调查观测样地内所有树木的胸径，按胸径对树木进行分级（一般 2 cm~4cm 为一个径级），从各级树木中选取 2~3 株标准木进行树干径流观测。

4.2.3.5.2 观测设备安装

将直径为 2.0cm~3.0cm 的聚乙烯橡胶环开口向上，呈螺旋形缠绕于标准木树干下部，缠绕时与水平面成 30°角，缠绕树干 2~3 圈，固定后，用密封胶将接缝处封严。

将导管伸入量水器的进水口，并用密封胶带将导管固定于进水口，旋紧进水口的螺纹盖。收集导入量水器的树干径流，并进行人工或自动观测。

4.2.3.5.3 树干径流量计算

$$C = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n \frac{C_n}{K_n} M_n$$

式中：C——树干径流量，mm；

M——单位面积上的树木株数，株/ m^2 ；

C_n ——每一径级的树干径流量，mm；

K_n ——每一径阶的树冠平均投影面积， m^2 ；

N——各径阶数，阶；

M_n ——每一径阶树木的株数，株。

4.2.3.6 枯枝落叶层持水量观测

4.2.3.6.1 样方的选取及数量

参见本标准 4.20.3.2。

4.2.3.6.2 枯枝落叶的收集

参见本标准 4.20.3.2。

4.2.3.6.3 枯枝落叶层含水量

将样品用精密电子天平称重并记录，然后用烘箱在 70℃～80℃ 下将样品烘干至恒重，冷却后称重，得样品干重。

a) 枯枝落叶层含水量

$$W_L = \frac{m_a - m}{m}$$

式中： W_L ——枯枝落叶层质量含水量， g g^{-1} ；

m_a ——样品总质量，g；

m ——烘干后样品质量，g。

以 mm 单位表示的含水量多少，计算公式如下：

$$W_L = \frac{m_a - m}{\rho \cdot A_L} \times 10$$

式中： W_L ——枯枝落叶层含水量，mm；

m_a ——样品总质量，g；

m ——烘干后样品质量，g；

ρ ——水的密度， g cm^{-3} ；

A_L ——样方面积， cm^2 。

b) 枯枝落叶层持水量(枯落物持水量)

将风干的枯落物样品称重，原状装入细网尼龙袋，进行浸水实验，浸泡 24h 后，静置至枯落物有极少的水滴滴出为止。称枯落物的湿重并进行记录，按照浸泡前后的质量计算枯落物持水量。

枯枝落叶层持水量计算公式如下：

$$W_0 = \frac{m_a - m}{\rho \cdot A_L} \times 10$$

式中： W_0 ——枯枝落叶层持水量，mm；

m_1 ——样品总质量，g；

m_2 ——风干后样品质量，g；

ρ ——水的密度， g cm^{-3} ；

A_L ——样方面积， cm^2 。

4.2.3.7 地表径流量观测

4.2.3.7.1 径流场的选择

a) 径流场应选择在地形、坡向、土壤、土质、植被、地下水和土地利用情况具有当地代表性的典型地段上。

b) 坡面应处于自然状态，不应有土坑、道路、坟墓、土堆及其影响径流的障碍物。

c) 坡地的整个地段上应有一致性、无急剧转折的坡度、植被覆盖和土壤特征一致。

d) 林地的枯枝落叶层不应破坏。

4.2.3.7.2 径流场及其附属设备布设

在观测场地中建立标准径流场，位置应尽量设置在坡面平整的坡地上。目前普遍采用的径流场宽 5m，与等高线平行，水平投影长 20m，水平投影面积 100m²。但根据研究目的、气象、土壤、坡长等条件，也

可采用如下尺寸：10m×20m、10m×40m、10m×80m、20m×40m、20m×80m、20m×150m。径流场上部及两侧设置围埂，围埂外侧设置保护带，宽 2m，处理和径流场相同，下部设置集水槽，在径流场集水槽出水口，安装地表径流测量系统的平缓导流槽进行引流，确保对接严密无缝隙，承接全部径流小区出水。实验区在平整的坡面可以 2 个或更多的径流场并排在一起，合用围埂、保护带、集水槽和观测室。

导流槽下垫面应平坦无凸起。长期使用装置，边缘最好用水泥固定；短期使用装置，应确保下垫面平坦，仪器放置平稳牢固。

导流槽接入分流箱，分流箱出水口与自记雨量计装置的进水口相连。确保分流箱旁路出水口通畅，当发生较大的地表径流时，多余的径流会由此流出。

4.2.3.7.3 坡面径流量观测

坡面径流量观测可采用：

- a) 自记翻斗流量计测定。
- b) 水蚀采样器测定。

4.2.3.8 土壤含水量观测

土壤含水量的观测方法很多。实验室一般采用烘干法，野外则采用时域反射仪（TDR）。

4.2.3.8.1 烘干法

4.2.3.8.1.1 土壤含水量观测点的选取

土壤水分观测样地设置应根据典型森林植被所在地形和土壤物理性质空间差异来确定。对于典型森林植被来说，应在林地坡顶、坡中和坡底分别设置一个观测样地，每个观测样地大小为 10m×10m，在每个观测样地内设置 3 个观测点，观测点位置宜沿观测样地对角线均匀分布。

4.2.3.8.1.2 土壤样品的采集

按 0~10cm、10cm~20cm、20cm~40cm、40cm~60cm、60cm~80cm、80cm~100cm（根据土壤最大土层厚度划分）取土壤样品，土样混合均匀放入铝盒中，带回室内测定含水量。

4.2.3.8.1.3 土壤样品的测定

取干燥铝盒称重后，加土约 5g 于铝盒中称重。将铝盒放入烘箱，在 105℃±5℃烘干至恒重后取出，放入干燥器内，冷却 20min 可称重。

4.2.3.8.1.4 数据处理

$$Q = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1}$$

式中：Q——土壤含水量，%；

W_1 ——干燥铝盒重，g；

W_2 ——加入土样后铝盒重，g；

W_3 ——烘干冷却后的已加入土样铝盒重，g。

4.2.3.8.2 时域反射仪法（TDR）

4.2.3.8.2.1 土壤含水量观测点的选取：观测点的选取参照上述烘干法土壤含水量观测点的选取。

4.2.3.8.2.2 土壤含水量观测

- a) 观测深度根据土壤层最大土层深度确定，一般为 1.0m 左右。
- b) 安装 TDR 土壤水分观测管。
- c) 把时域反射仪的探头放入观测管内，分别测量 0~10cm、10cm~20cm、20cm~40cm、40cm~60cm、60cm~80cm、80cm~100cm 土壤含水量。

4.2.3.9 壤中流量观测

有坡面水量平衡场壤中流观测设备的，从地表径流集水槽下端混凝土浇筑的挡墙留有的水孔，用导管将地下径流引入量水器，进行观测。

4.3 森林配对集水区与嵌套流域观测

4.3.1 观测目的

通过对森林配对集水区和嵌套流域降水量、径流量、产沙量、地下水等野外系统观测，分析研究森林植被分布格局、造林和采伐、土地利用、水土保持措施等因素对径流过程的影响，确定地下水动态变化因素，为揭示流域尺度内森林生态系统对集水区和径流的调蓄作用及理解森林流域的水文过程机理和累积效应提供科学依据。

4.3.2 观测内容

降雨量、水位、流量、径流总量、径流模数、径流深度、径流系数、泥沙量、水量、水温。

4.3.3 观测方法

4.3.3.1 观测区域设置

4.3.3.1.1 集水区的设置

集水区的设置条件及要求：

- a) 设置的集水区植被、土壤、气候、立地因素及环境等自然条件应具有代表性。
- b) 集水区的地形外貌和基岩要能完整地闭合，分水线明显，地表分水线和地下分水线一致。集水区的出水口收容性要尽量狭窄。
- c) 集水区域的基地不透水，不宜选取地质断层带上、岩层破碎或有溶洞的地方。
- d) 集水区面积大小视其集水区内各项因子的可控性，面积不宜太小或太大，不失去其代表性，一般为数公顷至数平方公里。

4.3.3.1.2 配对集水区的设置

设置配对集水区时，要求选择的两个集水区地理位置相邻，面积、形态、地质地貌、气候、土壤和植被等自然条件相似，并且两个集水区的面积大小要基本接近。然后严格按照标准配对集水区试验方法，同时进行观测 3a~5a（作为校正时期），在校正时段之后，可选择其中一个作为“处理”，另一个作为“对照”保持不变，并继续观测若干年。

4.3.3.1.3 嵌套流域的设置

设置嵌套式流域时，要充分根据自然界地形地貌的不同层次结构，也就是选择大流域包含小流域，小流域内包含更小的集水区。从而满足研究水文过程尺度转换的需要。

4.3.3.1.4 地下水观测点的设置

以能够控制该集水区或流域地下水动态特征为原则，尽量利用已有的井、泉和勘探钻孔为观测点。

- a) 用井做观测点时，应在地形平坦地段选择人为因素影响较小的井，井深要达到历年最低水位以下 3m~5m，以保证枯水期照常观测。井壁和井口必须坚固，最好用石砌，采用水泥加固。井底无严重淤塞，井口要能够设置水位观测固定点基点，以进行高程观测。

以自流井为观测点时，如压力水头不高，可以接高井管，直接观测静水管的高度；如果压力水头很高，不便接管观测时，可以安装水压表，测定水头高度。

- b) 有实测井深资料，井底沉积物少，水位反应灵敏。
- c) 井孔结构要清楚，滤水管位置能控制主要观测段的含水层。

注意事项：

——在北方高寒地区和青藏高原冻融区，可考虑用水压计及水位与流量曲线方法。通过使用流速仪在不同时期的实测，建立水位与流量的关系曲线。

4.3.3.2 森林配对集水区和嵌套流域降雨量观测

在集水区与嵌套流域的空旷处布设带有数据采集器的雨量计，自动记录降雨量和降雨强度。雨量计的布设与安装参见本标准4.2.3.3。

4.3.3.3 森林配对集水区与嵌套流域水位观测

4.3.3.3.1 水位计的结构和原理

- a) 结构

由传感器、内置数据采集器和延长缆线组成。

- b) 工作原理

主要通过压力式或者超声波水位计。压力式水位计是通过测定测点上的水压力推算水位；超声波水位计是根据超声波脉冲的传递时间测定脉冲所经历的距离，并由此测算出水位。

4.3.3.3.2 水位计的安装和布设

将水位计放置在与水连通的 PVC 管或测井中。利用水位计观测水位时应在水位计安装处设置水尺，以建立水位参照点及检验水位计是否准确，同时还可以对水位计观测到的水位进行标定。考虑泥沙在此处可能淤积，还要定期清理槽中或堰内的泥沙或其他外来物。

4.3.3.3.3 数据采集

通过内置数据采集器设置水位计记录数据的时间间隔为 30min。定期下载并清空数据。

4.3.3.3.4 数据处理

通过 PC 机与数据采集器相连，下载数据，输出保存为 Excel 表格。数据内容应包括记录序号、日期、时间、具体数值和数值单位。

平均水位的计算：不同时段水位的均值；如果一日内水位变化不大，或虽有变化但观测时距相等时，可以用算术平均法求得当日早上 08:00 至次日早上 08:00 的水位平均值，记为日平均水位。

4.3.3.4 森林配对集水区与嵌套流域流量观测

4.3.3.4.1 观测设施的选择

测流建筑物常见的有溢流堰和测流槽。一般根据当地的降雨量情况、流域面积大小、历年最大和最小

流量等资料选择量水建筑物。较小流域一般采用溢流堰，较大流域采用测流槽，同时配置自记水位计测定水位，由水位变化测算出径流量的变化。各测流方法的测定范围见表 5。

表 5 测流方法的测定范围表

测 流 方 法		测流量的范围 (L/s)		备注
		最小	最大	
断面测流		15~30		最大无限制
测流槽	小巴歇尔槽	6	500	
	大巴歇尔槽	60	7000	专门设计可达 90000
	三角槽	10	30000	专门设计可再提高
溢流堰	矩形和梯形(大)	100	10000	
	矩形和梯形(小)	5	200	
	三角形 120°	1	2000	
	三角形 90°	0.8	1400	
	三角形 45°	0.4	500	
	抛物线形	0.2	144	
	放射形	0.06	20	

4.3.3.4.2 观测设施的布设

- 径流观测断面应选择在流域出口，以控制全流域的径流和泥沙。
- 径流观测断面应选择在河道顺直、沟床稳定、没有支流汇水影响的地方。
- 径流观测断面应选择在交通方便、便于修建量水设施的地方。
- 溢流堰和测流槽布设的其它注意事项和细节，按照 SL 24 和 SL 20 执行。

4.3.3.4.3 数据采集

利用测速和水位测量的数据采集器设置数据采集时间间隔为 30min。

4.3.3.4.4 数据处理

通过 PC 机与数据采集器相连，下载数据，输出保存为 Excel 表格。数据内容应包括记录序号、日期、时间、具体数值和数值单位。

流量主要是在流速和水位测定的基础上根据特定关系式计算得出。

各测流建筑物流量计算公式为：

a) 巴歇尔测流槽

当水流为自由流时 ($H_b/H_a \leq 0.677$)，即

$$Q = 0.372W \left(\frac{H_a}{0.305} \right)^{1.569} w^{0.026}$$

式中：Q——流量， $m^3 s^{-1}$ ；

H_b ——下游水位, m;

H_a ——上游水位, m;

W ——喉道宽, m。

当 $W=0.5\text{m}\sim 1.5\text{m}$ 时, 可用下列简化公式计算:

$$Q=2.4 W H_a^{1.569}$$

当 $H_b/H_a>0.95$ 时, 量水槽已失去测流作用, 此时就要用其他方法进行测流。为此, 在决定量水槽高度时, 应尽量使用测流范围内处于自由流的状态。

b) 薄壁溢流堰

1) 矩形薄壁溢流堰

$$Q=m_0 \cdot b \sqrt{2g} H^{1.5}$$

式中: Q ——流量, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

b ——堰顶宽度, m;

g ——重力加速度, 9.81m s^{-2} ;

H ——堰上水头, 即水深, m;

m_0 ——流量系数, 由公式算出或试验得出。

当无侧向收缩时, 即矩形堰顶宽与引水渠宽相同, 且安装平整, 则

$$m_0 = \left(0.405 + \frac{0.0027}{H} \right) \cdot \left[1 + 0.55 \left(\frac{H}{H+P} \right)^2 \right]$$

式中: P ——上游堰高, 即矩形堰底比上游床底高出多少, m;

当有侧向收缩时, 则

$$m_0 = \left(0.405 + \frac{0.0027}{H} - 0.03 \frac{B-b}{B} \right) \cdot \left[1 + 0.55 \left(\frac{H}{H+P} \right)^2 \left(\frac{b}{B} \right)^2 \right]$$

式中: B ——进水渠(两侧墙间)的宽度, m。

在应用时常根据堰顶宽 b 及侧收缩系数 b/B , 分别按上述两公式制成不同水头与过堰流量关系表, 以备查用。

淹没出流, 即下游水位超过了堰顶并出现淹没水跃, 流量计算复杂, 应尽量避免。

2) 三角形薄壁溢流堰

$$Q = \frac{4}{5} m_0 \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2g} H^{2.5}$$

式中: θ ——三角形堰顶角; 其它符号同前。

若 $\theta=90^\circ$, 流量公式简化为:

$$Q=1.4H^{2.5}$$

c) 三角形剖面溢流堰

$$Q = \left(\frac{2}{3} \right)^{1.5} C_D C_V \sqrt{g} b h^{1.5} = 1.705 C_D C_V \cdot b h^{1.5}$$

式中: C_D ——流量系数;

C_V ——考虑行近流速 $\left(\frac{H}{h} \right)^{1.5}$ 影响的系数;

H ——总水头, m;
 b ——堰宽, m;
 g ——重力加速度, 9.81m s^{-2} ;
 h ——实测水头, m。

系数 C_v 由图 4 三角形剖面溢流堰行近流速曲线图查得, 图中 A 的代表堰上游过水断面面积。系数 C_D 一般不随 h 而变, 当 $h \geq 0.15\text{m}$ 时, $C_D = 1.150$; 当 $h < 0.15\text{m}$ 时, C_D 由下式计算:

$$C_D = 1.150 \left(1 - \frac{0.003}{h} \right)^{1.5}$$

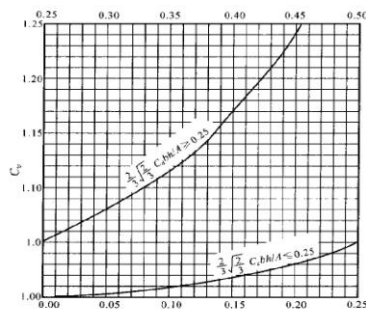


图 4 三角形剖面堰行近流速曲线图

4.3.3.5 森林配对集水区与嵌套流域泥沙观测

4.3.3.5.1 悬移质观测与计算

4.3.3.5.1.1 采样设备

采样设备有多种, 当前使用的采样设备以横式采样器为主。它由一圆形采样筒 (容积 $0.5\text{dm}^3 \sim 5.0\text{dm}^3$) 装在吊杆上, 筒两端有弹簧盖板, 控制开放与关闭; 此外下部有一铅鱼控制方向。见图 5。

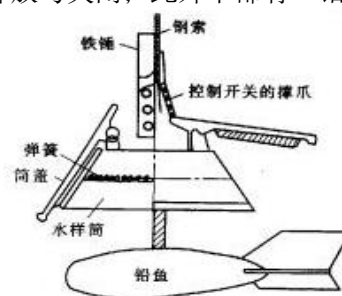


图 5 悬移质泥沙采样设备

4.3.3.5.1.2 采样方法

用采样器在预先设定好的采样垂线和测点上取泥水样, 采样时应同时观测水位及采样处的水深。每个样点取 3 次重复。取水样可与测流同时进行。采样时由边岸取水垂线开始向河心取水垂线。

泥水样采样垂线的数目在河宽大于 50m 时不少于 5 条, 小于 50m 时不少于 3 条。在采样垂线上取泥水样的方法有积点法、定比混合法、积深法。

积点法是在采样垂线上的不同部位采样, 采样点的分布见表 6。

表 6 积点法采样点的分布

方法	采样部位 (h 为水深)
5 点法	水面、0.2h、0.6h、0.8h、河底
3 点法	0.2h、0.6h、0.8h
2 点法	0.2h、0.8h
1 点法	0.5h 或 0.6h

定比混合法是在每根采样垂线上取三个泥水样 (0.2h、0.6h、0.8h)，然后以 2:1:1 的比例混合；黄土区多按两点取泥水样 (0.2h、0.8h)，然后按照 1:1 的比例混合。

积深法有两种，一种是把采样器由水面匀速放至河底，称为单程采样法；另一种是把采样器由水面匀速放至河底，再由河底提至水面，称为双程采样法。

4.3.3.5.1.3 采样频率

悬移质观测平水期每月观测 1~2 次，清水不测；洪水时期应增加观测次数，与推移质、水位、流量观测同步。

4.3.3.5.1.4 样品处理

取得水样后倒入量筒，并立即测量体积，然后静置足够时间，吸去上部清水，放入烘箱烘干，取出称重得到水样中干泥沙量。

4.3.3.5.1.5 数据处理

泥水样经处理后计算各采样点的单位体积含泥沙量、采样垂线平均含沙量、断面平均含沙量以及断面输沙率。

a) 单位体积含沙量

将采样点 3 次重复泥水样的浑水体积和烘干后的泥沙干重分别求算术平均值，则单位体积泥沙量为：

$$\rho = W_s / V$$

式中： ρ ——单位体积含沙量， g m^{-3} ；

W_s ——平均水样泥沙干重，g；

V ——平均浑水水样体积， m^3 。

b) 采样垂线平均含沙量

对于定比混合法和积深法采集的泥水混合样，经过样品处理后按公式 $\rho = W_s / V$ 计算得到的结果就是垂线平均含沙量。而对于积点法必须用流速加权进行计算：

$$\text{五点法} \quad \rho = (\rho_0 v_{0.0} + 3\rho_{0.2} v_{0.2} + 3\rho_{0.6} v_{0.6} + 2\rho_{0.8} v_{0.8} + \rho_{1.0} v_{1.0}) / 10v$$

$$\text{三点法} \quad \rho = (\rho_{0.2} v_{0.2} + \rho_{0.6} v_{0.6} + \rho_{0.8} v_{0.8}) / (v_{0.2} + v_{0.6} + v_{0.8})$$

$$\text{二点法} \quad \rho = (\rho_{0.2} v_{0.2} + \rho_{0.8} v_{0.8}) / (v_{0.2} + v_{0.8})$$

$$\text{一点法} \quad \rho = k_1 \rho_{0.5} \text{ 或 } \rho_m = k_2 \rho_{0.6}$$

式中：

ρ ——采样垂线平均含沙量， g m^{-3} ；

ρ_n ——相对水深处的含沙量, g m^{-3} ;

v_n ——相对水深处的流速, m s^{-1} ;

v ——垂线平均流速, m s^{-1} ;

k_1 、 k_2 ——由试验测得的系数。

c) 断面输沙率

求得垂线平均含沙量后, 可由下式计算断面输沙率:

$$\rho_s = [\rho_{m1}Q_0 + (\rho_{m1} + \rho_{m2})Q_1/2 + (\rho_{m2} + \rho_{m3})Q_2/2 + \dots + (\rho_{mn-1} + \rho_{mn})Q_{n-1}/2 + \rho_{mn}Q_n]/1000$$

式中: ρ_s ——断面输沙率, kg s^{-1} ;

$\rho_{m1} \dots \rho_{mn}$ ——各垂线平均含沙量, g m^{-3} ;

$Q_0 \dots Q_n$ ——各垂线间的部分流量, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ 。若两采样垂线间有数条测速垂线, Q 应为该两采样垂线各部分流量之和。

4.3.3.5.2 推移质观测与计算

4.3.3.5.2.1 采样设备

沙质推移质采样器多用匣式。采样器的器身是一个向后扩散的方匣, 水流进入器内流速减小, 泥沙落于匣中, 当提升时进口和出口封闭防止样品滑落。

卵石推移质采样器, 主要用于测粒径 $1.0\text{cm} \sim 30.0\text{cm}$ 推移质, 为一网式采样器, 材质为一金属丝网袋, 口门和网底由硬性材料制成为硬底网, 若用金属链编成柔度大的网底称软底网, 采样器放入河水中贴近床底, 可采集小砾卵石。

利用采样器测定推移质输沙率, 需要率定采样器的效率系数。效率系数的率定, 常用标准集沙坑测出实际输沙率。它是在断面上埋设测坑, 可用混凝土作成方形坑或长方形槽, 其上沿与床面(堰底)高度齐平。宽度约为最大粒径的 $100 \sim 200$ 倍, 容积能容纳一次观测期(洪水期)的全部推移质。上面加盖板, 留有一定器口, 使推移质能进入又不能影响河底水流。一次洪水过后, 挖掘取出沙样, 烘干称重。

4.3.3.5.2.2 采样方法

推移质采样的垂直线布设应与悬移质采样垂线重合。将采样器放入, 使其入口紧贴床底, 并开始计时。采样数不少于 $50\text{g} \sim 100\text{g}$, 采样历时不超过 10min , 以装满集沙匣为宜。每个采样垂线上重复 3 次, 取其平均值。若三次重复数据相差 $2 \sim 3$ 倍以上, 应重测。

测时可从边岸垂线起, 若 10min 后未取出沙样, 即该处无推移质, 再向河心移动, 直到测完。记下推移质出现的边界, 其间的断面称推移质有效河宽。

4.3.3.5.2.3 采样频率

推移质观测同悬移质观测一样, 平水期每日测 $1 \sim 2$ 次, 清水不测; 洪水时期应增加观测次数, 与悬移质、水位、流量观测同步。

4.3.3.5.2.4 数据处理

采样器采集沙样后, 经烘干得泥沙干重, 就可用图解法或分析法计算推移质输沙率。无论何法均需先计算各垂线上单位宽度推移质基本输沙率。

$$Q_b = 100W_b / (t \times B_k)$$

式中:

Q_b ——垂线基本输沙率, $\text{g s}^{-1} \text{m}^{-1}$;

W_b ——采样器取得的干沙重, g;

t ——采样历时, s;

B_k ——采样器进口宽度, cm。

用图解法计算推移质输沙率时, 先以水道宽(或堰宽)为横坐标, 以基本输沙率为纵坐标, 绘制基本输沙率断面分布曲线, 其边界二点输沙率为零。若未测出, 可按分布曲线趋势绘出。为分析方便, 可将底部流速及河床断面绘于下方。用求积仪或数方格法量出基本输沙率分布曲线和水面线所包之面积, 经比例尺换算, 即得未经修正的推移质输沙率。实际推移质输沙率为:

$$Q_b = K \times Q_b'$$

式中: Q_b ——推移质输沙率, kg s^{-1} ;

Q_b' ——修正前的推移质输沙率, kg s^{-1} ;

K ——修正系数, 为采样器采样效率倒数。通过率定求得。若 K 未知, 可暂不修正, 需在资料整理中说明。

用分析法计算推移质输沙率和图解法原理相同, 先按下式计算修正前的推移质输沙率:

$$Q_b' = 0.001 \left(\frac{q_{b1}}{2} b_0 + \frac{q_{b1} + q_{b2}}{2} b_1 + \dots + \frac{q_{bn-1} + q_{bn}}{2} b_{n-1} + \frac{q_{bn}}{2} b_n \right)$$

式中: Q_b' ——修正前推移质输沙率, kg s^{-1} ;

q_{b1} 、 q_{b2} ... q_{bn} ——各垂线基本输沙率, $\text{g s}^{-1} \text{m}^{-1}$;

b_1 、 b_2 ... b_{n-1} ——各垂线间的距离, m;

b_0 、 b_n ——两端采样垂线至推移质边界的距离, m。

然后再按 $Q_b = K \times Q_b'$ 求出实际推移质输沙率。

注意事项:

——对于河底不平的小河、沟或推移质为较大的卵石, 采用上述两种方法较为困难, 可采用以下两种方法进行观测。

——在量水槽(堰)上游或下游河谷内选择一段, 埋入铁管或铁棒, 每次洪水过后, 观测其淤积面与管项标高之差, 计算推移质淤积量, 必要时可在地面上作低栅栏以促推移质的淤积, 铁管埋设位置, 纵向以达到推移质的延伸长度为度, 横向为沟谷的宽度。一定时期清洗一次。

——石洪及泥团随水滚动, 能量较大, 亦可用上法进行观测, 但在以沟口为宜, 使断面逐渐放宽, 呈扇形淤积。必要时亦进行适当清除, 使不致妨碍下一次的观测。

4.3.3.6 地下水位观测

4.3.3.6.1 水位观测

水位观测要求:

- 水位观测要从孔(井)口的固定基点量起, 每次观测需要重复进行, 其允许误差不超过 2cm, 取其平均值作为观测结果。
- 将自记水位计放入测井, 直至没入地下水面, 设置数据记录时间间隔, 定期采集数据。应经常校核仪器, 及时消除误差。

4.3.3.6.2 数据处理

4.3.3.6.2.1 日常整理工作

日常整理工作，主要是及时认真地检查、校对地下水水位观测记录，为保证观测资料的质量，应由观测记录绘制地下水文动态变化及主要影响因素项目的综合曲线，随时进行对照分析。

4.3.3.6.2.2 年度资料整理

a) 编制观测点位置说明图。说明观测点位置、高程；建立观测目的、任务和时间；井孔的结构、深度、规格等，并绘制大比例尺位置图。

b) 计算各动态项目的月平均值、最大值、最小值及其变化幅度。

c) 绘制地下水动态曲线。

4.3.4 数据分析

4.3.4.1 径流总量

$$W=Q \times T_t$$

式中：W——径流总量， m^3 ；

Q——时段内的平均流量， $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

T——时段长，s。

4.3.4.2 径流模数

$$M=10^3 Q/F$$

式中：M——径流模数， $\text{L s}^{-1} \text{km}^{-2}$ ；

Q——时段内的平均流量， $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

F——流域面积， km^2 。

4.3.4.3 径流深度

$$R= W/10^3 F \quad \text{或} \quad R=M \times T/10^6$$

式中：R——径流深度，mm；

F——流域面积， km^2 ；

W——径流总量， m^3 ；

M——径流模数， $\text{L s}^{-1} \text{km}^{-2}$ ；

T——时段长，s。

4.3.4.4 径流系数

$$\alpha=R/P$$

式中：α——径流系数；

R——同时段内的径流深度，mm；

P——同时段内的降水深度，mm。

4.3.4.5 可将上述各径流特征值相互换算，其关系式见表7。可以在一定已知条件下，利用这些公式计算径流的特征值。

表 7 各径流特征值的换算关系式

	$Q/(\text{m}^3 \text{ s}^{-1})$	W/m^3	R/mm	$M/(\text{L s}^{-1} \text{ km}^{-2})$
W	$Q T$		$10^3 R F$	$10^3 M T F$
M	$10^3 Q / F$	$10^3 W / T F$	$10^6 R / T$	
R	$Q T / 10^3 F$	$W / 10^3 F$		$M T / 10^6$
Q		W / T	$10^3 R F / T$	$M T / 10^3$

4.4 森林水质观测

4.4.1 观测目的

通过对森林生态系统水质参数的野外长期连续观测，了解森林生态系统中养分随降水和径流的输入输出规律以及污染物的迁移分布规律，分析研究森林生态系统对化学物质成分的吸附、贮存、过滤及调节的过程，为阐明森林生态系统在改善和净化水质过程中的重要作用提供科学依据。

4.4.2 观测内容

pH 值、钙离子、镁离子、钾离子、钠离子、氨离子、碳酸根、碳酸氢根、氯化物、氟化物、硫酸根、硝酸根、总磷、总氮、电导率（TDS、总盐、密度）、溶氧、氧化还原电位、浊度（TSS）、叶绿素、蓝绿藻。

微量元素（B、Mn、Mo、Zn、Fe、Cu），重金属元素（Cd、Pb、Ni、Cr、Se、As、Ti）。

4.4.3 观测与采样方法

4.4.3.1 观测场设置

大气降水、穿透水、树干径流、枯落物层水、土壤渗漏水样品采集样地的设置参见本标准 4.2.3.1。

地表径流样品采集的径流场设置参见本标准 4.2.3.7。

地下水水质观测井参见本标准 4.3.3.1。

4.4.3.2 观测方法

森林大气降水、穿透水、树干径流、枯落物层水、地表径流、土壤渗漏水和地下水的水质观测，采用以下两种方法进行：

- 野外定期采集水样，带回实验室，用离子分析仪测定；
- 应用便携式水质分析仪，在野外定期定点现场速测。

4.4.3.3 仪器设备

4.4.3.3.1 采样容器

a) 水质采样容器应选用带盖的、化学性质稳定、不吸附待测组分、易清洗可反复使用并且大小和形状适宜的塑料容器（聚四氟乙烯、聚乙烯）或玻璃容器（石英、硼硅）。

b) 容器不应引起新的污染。

c) 容器壁不应吸收或吸附某些待测组分。

d) 容器不应与某些待测组分发生反应。

- e) 测定对光敏感的组分，其水样应贮存于深色容器中。
- f) 容器采用直径 20cm、容积 2L~5L 为宜。

4.4.3.3.2 观测井的井口设备

- a) 在观测井口牢固的地方设置观测点，并用水准仪测高程，作为水文观测的高程控制标志。
- b) 观测台周围用粘土填实，一般要高出地面 0.5m，以防止地面水流入井内。
- c) 自流井压力水头不高时，可加套管观测。若水头过高，可装水压表测算水位。
- d) 泉水观测点装置。在泉水出口处，修建引水渠道并设置水尺和量水建筑物。引水系统应不影响水量、水位与水质的观测精度。引水渠应有防渗与隔地面水的措施。
- e) 凡井孔被抽水设备封闭的，应在适当位置凿孔焊接钢管作为观测孔，使观测不影响抽水工作。

4.4.3.3.3 便携式水质分析仪

a) 结构

由带有数据存储单元的便携式读表、多参数组合探头、离子选择电极和相应指标传感器共同组成。

b) 工作原理

应用对某种特定离子具有选择性的指示电极作为水质参数的测量电极，然后将这些离子选择电极组合到一个探头上，采集其测量时产生的膜电势，换算成所测参数的浓度值，并存储于数据采集器中。

4.4.3.4 林外大气降水采样

4.4.3.4.1 采样容器的数量和布设

林外大气降水采样设备数量与布设参见本标准 4.2.3.3。

4.4.3.4.2 林外大气降水采样

林外大气降水水样，由安装在集水区高于林冠层的观测铁塔上采样容器采集，或者把采样容器设于林外距林缘 1.5~2 倍树高的空旷地上，采样容器距地面 $\geq 70\text{cm}$ ，待降水时接收水样。

4.4.3.5 穿透水采样

4.4.3.5.1 仪器的数量和布设

为考虑整个林分内穿透降水的空间变化，应布设 10~15 个采样容器。

穿透水采样容器的布设位置应该对整个林分的沉降有代表性的观测值。收集器可以围绕着一一些树木摆放（围树采样），或在样地内系统摆放（样地采样）。

4.4.3.5.2 穿透水采样

待降水时接收水样，并以 1mm 滤网封口滤掉果、枝、花瓣等杂物。

4.4.3.6 树干径流采样

4.4.3.6.1 采样器的数量和布设

树干径流的变化比较大，为排除这种变化的影响，布设 5~10 个树干径流采集容器。

采样数量确定后，采用系统原则布设采样设备。如果树体差异很大，要在不同直径和树冠大小等级上进行树干径流采样，每个类型选择 2~3 株标准树安装采样设备。

4.4.3.6.2 树干径流采样

树干径流采集容器应固定在样地内的样树上。树干径流采集容器应围绕树干放置，并离地面 0.5m～1.5m。应不能干扰样地上的其他监测活动，而且不伤害树木。

4.4.3.7 枯落物层水采样

4.4.3.7.1 采样器的数量和布设

在样地坡面上、中、下三处布设采集容器，每处放置 5 个采集容器。

4.4.3.7.2 枯落物层水采样

在采集容器上方铺一层不锈钢滤网，贴近枯落物层将收集器放置于下方。雨后，将各采集容器所采集的枯落物层水混合，然后取部分作为实验室检测化验水样。

4.4.3.8 地表径流采样

水样在测流建筑物上游（回水以外）控制断面上采取。

4.4.3.9 土壤渗漏水采样

4.4.3.9.1 仪器的数量和布设

在地表下 5cm、20cm、40cm、80cm、100cm、150cm、200cm 直至地下水位上 50cm 处埋设土壤渗漏水采集器。在距地下水位上 50cm 处安装土壤渗漏水采集板；其它位置安装压力/负压土壤渗漏水采集管。

4.4.3.9.2 土壤渗漏水采样

按如下程序进行：

- a) 采样前，测定各层的土壤水势，根据该水势值设定采样负压。
- b) 将各位置的土壤渗漏水采样管分别接入采样瓶，施加采样负压后，待采样瓶中土壤渗漏水达到需要的量后停止采样。

4.4.3.10 地下水水质观测

4.4.3.10.1 地下水采样

在停滞的观测孔及水井中采样，应先抽去停滞水，待新的地下水流入后再行采样。采样后，样品应在现场封闭好，贴好标签，并在 48h 内送至实验室。

4.4.3.10.2 地下水水质测量

将便携式水质分析仪的多参数组合探头通过缆线与便携式读表连接，然后将探头放入观测井中直至没入水面，开启电源，进行地下水水质参数测量。测量的数据会即时保存在便携式读表的存储单元中。测量结束后，下载数据，进行数据处理和分析。

4.4.3.11 水样采集时间与频率

每次降水都应采集。对每次降水的各项水文要素（降水、穿透水、树干径流水、枯落物层水、土壤渗漏水、地表径流水、地下水）都应采样，每一种水样都要均匀混合后提取其平均值。

4.4.3.12 水样采集数量

分析用水的体积取决于分析项目、要求的精确度及水矿化度等。通常应超过各项测定所需水样体积总和的 20%~30%，一般简单分析需水样 500mL~1000mL，全分析需要 3000mL。

4.4.3.13 样品登记与管理

水样采集后，应根据测定项目要求分装。为防止在采样过程及运输管理中出现样品丢失、混淆等状况，在采样过程中要将每个样点的调查与采样情况进行填表记录，填写水样采集记录表。每一份样品都对应一张水样标签。水样标签的格式见表 8。

表 8 水样采集记录表

样地编号：

样品编号		海拔	
经纬度		距林缘位置	
坡度、坡向		叶面积指数	
树种		测试项目	
水样 类型		采样地点 (样地中位置)	
样品预处理		采样时间	
备 注			

观测单位：

观测员：

4.4.3.14 样品处理

采样期间和采样后将瓶子放在阴凉条件下。在样品分析之前，样瓶应在低温避光条件下贮存。还可采取一些专门的保存措施，如作一般理化分析的水样，可加 3~5 滴甲醛或氯仿做防腐剂。下列时间及条件作为水样存放参考（表 9、表 10）。

表 9 各种水样允许存放时间

水的种类	允许存放时间/h
洁净的水	72
稍受污染的水	48
受污染的水	12

表 10 水样保存条件

测定项目	容器	水样数量/ml	最长保存时间和条件
残渣	塑料瓶、硼硅玻璃瓶	100	7d，应立即过滤分离
pH	塑料瓶、硼硅玻璃瓶	100	立即分析
酸度	塑料瓶、硼硅玻璃瓶	100	24h，冷藏（4℃）
碱度	塑料瓶、硼硅玻璃瓶	200	24h，冷藏（4℃）

表 10 (续)

有机酸	棕色玻璃瓶	100	7d, 尽可能快分析, 冷藏 (4℃)
有机质	塑料瓶、玻璃瓶	500	7d, 尽可能快分析, 冷藏 (4℃)
氨态氮	塑料瓶、玻璃瓶	500	7d, 尽可能快分析, 冷藏 (4℃)
PO_4^{3-}	玻璃瓶	100	7d, 立即过滤分解的 PO_4^{3-} , 冰冻在 $\leq -10^\circ\text{C}$ 或每升加 40mgHgCL ₂
硅	塑料瓶	240	6 个月, 用蜡封存
钙	塑料瓶、玻璃瓶	240	7d, 冷藏
金属	塑料瓶	500	6 个月, 立即过滤分解溶解的金属, 每升加 5ml 浓 HNO_3
SO_4^{2-}	塑料瓶、玻璃瓶	240	7d, 冷藏
Cl^-	塑料瓶、玻璃瓶	240	7d, 冷藏
溶解氧	玻璃瓶	300	立即分析

4.4.4 数据处理

4.4.4.1 绘制时间变化和空间变化图

在实验室测量大气降水、穿透水、树干径流、枯落物层水、土壤渗漏水、地表径流和地下水样品中的各水质参数含量。绘制每个采样点各水质参数的时间变化曲线, 绘制各水质参数在森林空间的分布图。

4.4.4.2 相关性分析

研究森林水质参数的时空变化曲线和森林健康性状、生物多样性、大气环境等参数的相关性, 为森林培育、森林经营管理积累科学数据。

4.5 森林生态系统土壤理化性质观测

4.5.1 观测目的

通过对森林生态系统土壤理化性质指标长期连续观测, 了解森林生态系统土壤发育状况及其理化性质的空间异质性, 分析森林生态系统土壤与植被和环境因子之间的相互影响过程, 为深入研究森林生态系统各生态学过程与森林土壤之间的相互作用, 充分认识土壤在森林生态系统中的功能提供科学依据。

4.5.2 观测内容

土壤物理性质: 土壤层次、厚度、颜色、湿度、结构、机械组成、质地、密度、含水量、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度等。

土壤化学性质: 土壤 pH 值、阳离子交换量、交换性钙和镁 (盐碱土)、交换性钾和钠、交换性酸量 (酸性土)、交换性盐基总量、碳酸盐量 (盐碱土)、有机质、水溶性盐分总量、全氮、碱解氮、亚硝态氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾、缓效钾、全镁、有效态镁、全钙、有效钙、全硫、有效硫等。

4.5.3 观测与采样方法

4.5.3.1 样地设置

4.5.3.1.1 样地选择

选择样地前，了解试验地区的基本概况，包括地形、水文、森林类型、林业生产情况等，并制定采样区位信息表（见表 11）。同时，样地应符合以下几个条件：

- a) 具有完善的保护制度，可以保障长期研究，而不被人为干扰或破坏。
- b) 具有典型优势种组成的区域。
- c) 具有代表性的森林生态系统，并应包涵森林变异性。
- d) 宽阔的地带，不宜跨越道路、沟谷和山脊等。

表 11 采样区信息

采样区 编码	坡度/°	坡向	海拔/m	水系	年降雨量 /mm	年平均温度 /℃	土壤 类型	植被	地形地貌	公路交通

观测单位：

观测员：

4.5.3.1.2 样地布设

在确定采样区之后，根据森林面积的大小、地形、土壤水分、肥力等特征，在林内坡面上部、中部、下部与等高线平行各设置一条样线，在样线上选择具有代表性的地段，设置 0.1hm²~1hm² 样地。同时分别设置 3~5 个 10m×10m 乔木调查样方、2m×2m 灌木调查样方和 1m×1m 草本调查小样方。

4.5.3.2 采样点设置

4.5.3.2.1 采样点数量的确定

因不同区域森林土壤的空间变异性较大，采样点数量按如下公式确定：

$$n = \frac{t^2 S^2}{d^2}$$

式中：n——采样点数；

t——在设定的自由度和概率时的值（查 t 分布表获得，见附录 B）；

S——方差，它可以由全距（R）按式 $S^2 = (R/4)^2$ 求得；

d——允许误差。

4.5.3.2.2 采样点的布设

采样点布设有以下三种方式（见图 6）

1) 对角线采样法：样地平整，肥力较均匀的样地宜用此法，采样点不少于 5 个。

2) 棋盘式采样法：样地平整，而肥力不均匀的样地宜用此法，采样点不少于 40 个。

3) 蛇形采样法：地势不太平坦，肥力不均匀的样地按此法采样，在样地间曲折前进来分布样点，采样点数根据面积大小确定。

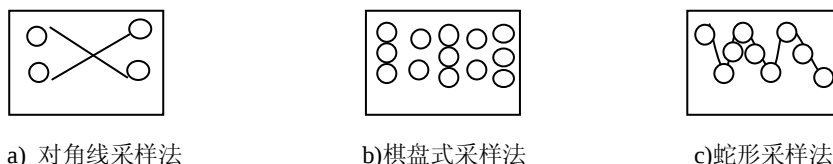


图6 采样点布设图

4.5.3.3 采样工具

小土铲、土钻、铁锹、十字镐、剖面刀、钢卷尺、GPS、地质罗盘仪、数码相机、便携式土壤紧实度分析仪、样品袋、环刀、铝盒、土壤筛、塑料布、记号笔、枝剪、样品标签、采样记录表、瓷盘、1:3 HCl、混合指示剂、背包等。

4.5.3.4 样品采集方法

4.5.3.4.1 在设置好的采样点，先挖一个 $0.8\text{m} \times 1.0\text{m}$ 的长方形土壤剖面。坡地上应顺坡挖掘，坡上面为观测面；平整地将长方形较窄的向阳面作为观测面，观测面植被不应破坏，挖出的土壤应按层次放在剖面两侧，以便按原来层次回填。剖面的深度根据具体情况确定，一般要求达到母质层，土层较厚的挖掘到 $1.0\text{m} \sim 1.5\text{m}$ 处即可。剖面一端垂直削平，另一端挖成梯形，以便于观察记载。

4.5.3.4.2 先观察土壤剖面的层次、厚度、颜色、湿度、结构、质地、紧实度、湿度、植物根系分布等，然后自上而下划分土层，并进行剖面特征的观察记载，作为土壤基本性质的资料及分析结果审查时的参考。

a) 土壤层次

以土壤发生层次由上而下划分为： A_0 、 A_1 、 A_2 、B、C 等。

A_0 ——枯枝落叶层，主要是未分解或半分解的有机物质。

A_1 ——腐殖质层，腐殖质与矿物质结合，颜色深暗，团粒结构，疏松多孔。

A_2 ——灰化层，由于淋溶作用生成的灰白色层次。粉砂质无结构。

B——淀积层，聚积上面淋溶下来的物质。

C——母质层。

根据实际情况还可以划分为不同的亚层。

b) 土层厚度

枯枝落叶层，单独测量其厚度。该层以下采取连续记载法，如腐殖质层为 30cm ，记为 $0 \sim 30\text{cm}$ ，下部的灰化层为 10cm ，记为 $30\text{cm} \sim 40\text{cm}$ ，直到底层。

c) 土壤颜色

土壤颜色的判断应用潮湿的土壤，在光线一致的情况下进行，采用门赛尔比色卡比色，也可按土壤颜色三角表进行描述。颜色描述以次要颜色在前，主要颜色在后的方式，如“棕黑色”是以黑色为主，棕为次色。颜色深浅还可以冠以暗、淡等形容词，如浅棕、暗灰等，具体见图7。

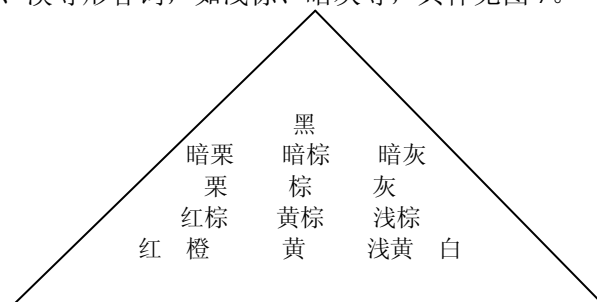


图7 土壤颜色三色表

d) 土壤湿度

土壤湿度野外划分标准见表 12。

表 12 土壤湿度观测标准

土壤	干	稍润	润	潮	湿
砂性土	无湿的感觉 土壤松散	稍有潮的感觉 土块一触即散	有湿的感觉 可捏成团 放手不散	握后掌纹有湿痕，可以 成团 但不能任意变形	捏时出水
壤性土	无湿的感觉 多成块成团 可以捏碎	微有湿的感觉 土块捏时易碎	有明显湿的感觉 用手滚压可成型 但落地就碎	能成团成条 落地不碎	粘手可成型 但易变形
粘性土	无湿的感觉 土块较大 坚硬难碎	微有湿的感觉 土块压时易碎	有明显湿的感觉 用手滚压可成型 但开裂	能搓成粗条 但有裂痕 搓成细条即断	粘而韧能成团呈 条不开裂 表面滑润

e) 土壤结构

应根据土壤结构形态逐层描述。观测时，用土铲将土块挖出，用手轻捏使其散碎，观测碎块的大小和形状。具体分类见表 13。

表 13 土壤结构分类

结构类型	结构形状	直径（厚度）mm	结构名称
立方体状	形状不规则，表面不平整	>100	大块状
		50<直径（厚度）≤100	块状
		5<直径（厚度）≤50	碎块状
	形状较规则，表面较平整	>5	核状
	棱角尖锐	≤5	粒状
	形状近圆形，表面光滑，大小均匀	1~10	团状
柱体	纵轴明显大于横轴		
板状	呈水平层状	>5	板状
		≤5	片状
单粒状	土粒不胶结，呈分散单粒状		

f) 土壤紧实度

土壤紧实度采用便携式土壤紧实度仪测定。

便携式土壤紧实度仪既可直接测量土壤紧实度（kg 和 kPa），又可以随时将测量时每次采样的数据存储到主机上，接口可与计算机连接将数据导出，软件具有存储功能，内置 GPS 定位系统，可实时显示测量点的位置信息（经纬度），并可利用此定位数据在计算机中绘制土壤紧实度分布图。

便携式土壤紧实度仪的结构和原理：

——结构

由主机、不锈钢测量杆、GPS接收机、电池、软件、数据线组成。

——工作原理

当对系统施加压力后，探头尖端与土壤接触，并感受到压力，系统将这一压力信号采集，并通过内置的标定曲线，将压力转化成土壤紧实度，也就是压强值。同时系统内置的采集器可以将数据存储起来，通过标准接口可以将数据下载到计算机上。

g) 土壤机械组成

采集的土样平铺在遮阴处风干，然后放入土壤筛中按粒径大小分级，并记录每级土样的重量，将粒径 $\leq 0.25\text{mm}$ 的土样利用比重法、吸管法或激光粒径粒形分析仪继续按粒径大小分级。土壤机械组成分类标准见表 14。

表 14 土壤机械组成

命名组	名称	颗粒组成			
		砂粒（1mm~0.05mm）含量（%）	粗粉粒（0.05mm~0.01mm）含量（%）	粘粒（<0.01mm）含量（%）	
砂土	粗砂土	>70	—	≤30	
	细砂土	60<含量≤70			
	面砂土	50<含量≤60			
壤土	砂粉土	>20	>40		≤30
	粉土	≤20			
	粉壤土	>20	≤40		
	粘壤土	≤20			
	砂粘土	>50	—	>30	
粘土	粉粘土	—		30<含量≤35	
	壤粘土			35<含量≤40	
	粘土			>40	

h) 土壤质地

土壤质地野外确定方法见表 15。

表 15 土壤质地的野外确定方法

土壤机械组成	在放大镜观察下各种成分的分量	用手搓时的特征	湿润状态时的特征	在湿润状态时可以捻成的形状	在湿润状态按压
粘土		用手捻时有滑腻感，干时很硬，用小刀在上面可划出细而光滑的条纹。		湿时可揉成细泥条，弯成小环	压挤时，无裂痕
重壤土	完全看不到砂粒	感觉不到有沙粒存在，土块很难压碎	有粘性与可塑性，发粘，能涂抹	可以揉成长条并可将弯成环状	搓成球状后，压之可成饼，但边缘部分有小裂痕

中壤土	除粉砂外有少量的砂粒（10%~15%）		粘性与可塑性均属于中等	可以揉成长条但不能弯曲成环	搓成球后可以压成饼状，但边缘部分有裂痕
轻壤土	小砂粒很多（20%~30%）	明显感觉到有砂粒存在，土块比较容易压碎	粘性与可塑性很小	不能搓成长条	搓成的球，可以压成饼，但裂痕很多
砂壤土	砂粒占 50%	明显感觉到有砂粒存在，土块不难压碎	没有粘性与粘度	搓不成条	搓成的球，按之即碎散
砂土	砂粒是其主要成分			湿时不能揉成土团，干时呈分散状况	不能搓成球形

i) 石砾含量

根据石砾面积所占剖面面积的百分比，分级如下：

少量： $\leq 20\%$ 。

中量： $20\% < \text{含量} \leq 50\%$ 。

多量： $50\% < \text{含量} \leq 70\%$ 。

粗骨层：含量 $> 70\%$ 。

j) 根量

根据根系在剖面上的密集程度分为五级。

盘结：根量 $> 50\%$ 。

多量： $25\% < \text{根量} \leq 50\%$ 。

中量： $10\% < \text{根量} \leq 25\%$ 。

少量：根量 $\leq 10\%$ 。

无根系：土体中无根系出现。

k) 土壤侵入体

砖块、瓦块、塑料、煤渣等土壤中掺杂的其它物质。

l) 新生体

在土壤形成过程中，由于水分的上下运动和其它自然作用，使某些矿物盐类或细小颗粒在土壤内某些部分聚集，形成的土壤新生体，一般包括盐结皮、盐霜、锈斑、锈斑铁盘、铁锰结核、假菌丝、石灰结核、眼状石灰斑等。

应明确记载新生体的类型、颜色、大小、数量和分布情况等。

m) 碳酸钙

在野外用 1:3 盐酸滴入土壤，根据有无泡沫或产生的泡沫强弱予以记录。

n) pH 值

在野外用混合指示剂在瓷盘上进行速测。

4.5.3.4.3 按发生层分层采集土样。应按先后后上的原则采取土样，以免混杂土壤。为克服层次间的过渡现

象，采样时应应在各层的中部采集，采集的土样供土壤化学性质测定。

4.5.3.4.4 将同一层次多样点采集的质量大致相当的土样置于塑料布上，剔除石砾、植被残根等杂物，混匀后利用四分法将多余的土壤样品弃除，一般保留 1kg 左右土样为宜。

4.5.3.4.5 将采集土样装入袋内。土袋内外附上标签，标签上记载样方号、采样地点、采集深度、采集日期和采集人等。

4.5.3.4.6 同时用环刀在各层取原状土样，测定密度、孔隙度等土壤物理性质。

4.5.3.4.7 观察和采样结束后，按原来层次回填土壤，以免人为干扰。

4.5.3.5 采样时间和频率

采样时间和频率决定于研究目的和分析项目，如土壤全量养分（全氮、有机质、全磷、全钾、全钙等），一般一年分析一次；有效养分（有效磷、钾、氮等），试验初期每季一次，以后每年采样一次；质地较轻的砂性土应增加采样频率。

4.5.4 数据处理

将采集的土壤样品带回实验室进行分析，获得森林土壤理化性质数据。具体的实验分析方法和数据处理方法按照 LY/T 1210～1275 执行。

4.6 森林生态系统土壤有机碳储量观测

4.6.1 观测目的

通过对森林生态系统土壤有机碳储量观测，建立土壤碳库清单，评估其历史亏缺或盈余，测算土壤碳固定潜力，为进一步深入研究森林生态系统碳循环，为合理评价土壤质量和土壤健康、正确认识森林土壤固碳能力提供基础依据。

4.6.2 观测内容

土壤有机碳储量、有机碳密度、有机碳含量、密度、土层厚度等。

4.6.3 观测与采样方法

4.6.3.1 样地设置

参见本标准 4.5.3.1。

4.6.3.2 采样点设置

参见本标准 4.5.3.2。

4.6.3.3 采样工具

小土铲、土钻、铁锹、十字镐、剖面刀、取芯器、量土芯尺寸的量尺、钢卷尺、GPS、罗盘仪、数码相机、样品袋、环刀、塑料布、铝盒、记号笔、枝剪、样品标签、比色卡、采样记录表、背包等。

4.6.3.4 采样方法

4.6.3.4.1 剖面法

- a) 在每个采样点挖一个 0.8m×1.0m 的长方形土壤剖面。坡地上应顺坡挖掘，坡上面为观测面；平整地将长方形较窄的向阳面作为观测面，观测面植被不能破坏，挖出的土壤应按层次放在剖面两侧，

便于按原来层次回填。剖面的深度根据具体情况确定，一般要求达到母质层，土层较厚的挖掘到 1.0m~1.5m 处即可。

- b) 先观察土壤剖面的颜色、结构、质地、紧实度、湿度、植物根系分布等，然后自上而下划分土层，并进行剖面特征的观察记载，作为土壤基本性质的资料及分析结果审查时的参考。
- c) 分层采集土样。自地表每隔 10cm 或 20cm 采集一个样品。取土原则应按先下后上的原则，以免混杂土壤。
- d) 将同一层次多样点采集的质量大致相当的土样置于塑料布上，剔除石砾、植被残根等杂物，混匀后利用四分法将多余的土壤样品弃除，一般保留 1kg 左右土样为宜。
- e) 将采集土样装入袋内，土袋内外附上标签，标签上记载样方号、采样地点、采集深度、采集日期和采集人等。
- f) 用环刀分层采取原状土样，以测定土壤密度、土壤水分系数等。
- g) 观察和采样结束后，按原来层次回填土壤，以免人为干扰。

4.6.3.4.2 土钻法

a) 应用管芯法测量原状土壤密度

- 1) 测量和记录土壤取芯器的尺寸（直径和高度）。称量核心锡盒的重量。
- 2) 把核心抽样器垂直压入地面，深度直到土壤能填满核心抽样器锡盒为止。
- 3) 抽出样本核心，不干扰样本核心内土壤；移出黏在样本盒上多余的土壤和凸出的根。
- 4) 一起称量锡盒与土壤。
- 5) 装有土壤的锡盒在 105℃ 下烘干至恒重，计算出土壤的干重，进而求得土壤密度。

b) 野外提取土壤样本

- 1) 刮掉土壤表面，移出枯落物和石头。
- 2) 应用一个土钻，收集 0~15cm 深的土壤样本。
从每一个样方选择 3 个抽样点；把土钻推进 15cm 深，收集这一深度内所有抽样点的样本；把 3 个抽样点的样本放在一起，通过重复四分法筛选出一个样本；每个类型的同一深度至少收集 4~6 份样本。
- 3) 在 15cm~30cm 深度的土壤内重复以上步骤，以此类推。
- 4) 土壤样本带回实验室（24h 内）或及时风干样本。
- 5) 测量土壤有机碳含量。

4.6.3.5 采样时间和频率

在试验初期（2a~4a）采样频率为 1 次/年；以后的采样频率为 3a~5a 一次；特殊情况时可增加采样频率。

4.6.4 数据处理

4.6.4.1 土壤密度

$$D = \frac{M}{V}$$

式中：D——土壤密度，g cm⁻³；

M——环刀土壤烘干重，g；

V——环刀体积，cm³。

4.6.4.2 土壤有机碳含量

$$SOC = \frac{\frac{c \times 5}{V_0} \times (V_0 - V) \times 10^{-3} \times 3.0 \times 1.1}{m \times k} \times 1000$$

式中：SOC——土壤有机碳含量， g kg^{-1} ；

c —— 0.8000mol L^{-1} ($1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 标准溶液的浓度；

5——重铬酸钾标准溶液加入的体积，mL；

V_0 ——空白滴定消耗的 FeSO_4 体积，mL；

V ——样品滴定消耗的 FeSO_4 体积，mL；

3.0—— $1/4$ 碳原子的摩尔质量， g mol^{-1} ；

10^{-3} ——将 mL 换算成 L；

1.1——氧化校正系数；

m ——风干土样质量，g；

k ——烘干土换算系数。

4.6.4.3 土壤有机碳密度

$$SOC D_k = C_k \times D_k \times E_k \times (1 - G_k) / 100$$

式中： $SOC D_k$ ——第 k 层土壤有机碳密度， kg m^{-2} ；

K ——土壤层次；

C_k ——第 k 层土壤有机碳含量， g kg^{-2} ；

D_k ——第 k 层土壤密度， g cm^{-3} ；

E_k ——第 k 层土层厚度，cm；

G_k ——第 k 层土层中直径大于 2mm 石砾所占体积百分比，%。

4.6.4.4 土壤有机碳储量

$$TSOC = \sum_{i=1}^k SOC D_i \times S_i$$

式中：TSOC——土壤有机碳储量，kg；

$SOC D_i$ ——第 i 样方土壤有机碳密度， kg m^{-2} ；

i ——土壤碳储量计算样方。

4.7 森林生态系统土壤呼吸观测

4.7.1 观测目的

通过对森林生态系统土壤呼吸的根系呼吸、微生物呼吸和动物呼吸等三个生物学过程进行精确区分和量化，了解各生物学过程在土壤总呼吸中的比例及其时空变化特征，分析不同组分 CO_2 释放速率的控制因子，旨在为了解土壤碳释放规律，测算生态系统土壤碳的年际通量以及预测气候变化条件下土壤动物、根系、微生物对土壤碳释放格局的影响提供科学依据。

4.7.2 观测内容

土壤总呼吸速率、土壤动物呼吸速率、微生物呼吸速率、植物根系呼吸速率、土壤呼吸速率日变化、土壤呼吸速率季节变化和土壤呼吸速率年变化。

4.7.3 观测与采样方法

4.7.3.1 仪器设备结构和原理

4.7.3.1.1 结构

高精度微型 CO₂ 红外分析仪、有较大显示屏的控制单元、土壤呼吸室、土壤呼吸罩、呼吸臂、内置气泵、外接土壤温度传感器、外接土壤湿度传感器、光合有效辐射传感器、存储单元、供电单元等。见图 8。

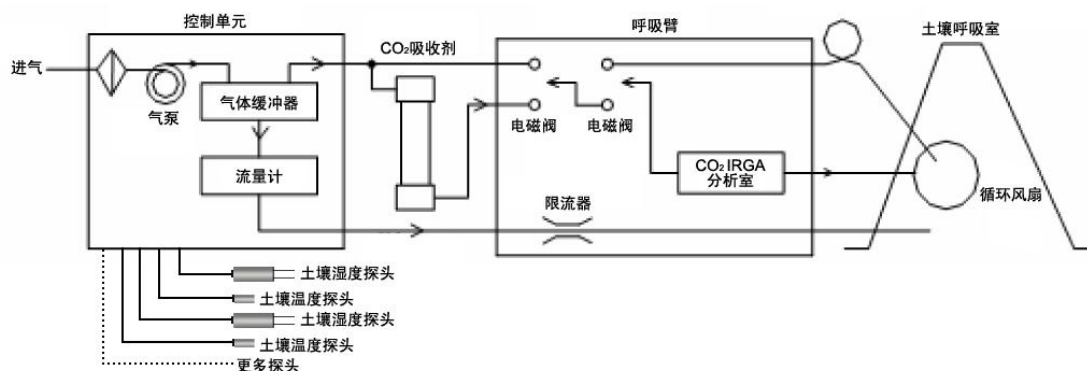


图 8 土壤呼吸自动观测系统结构

4.7.3.1.2 工作原理

红外线气体分析仪是基于不同气体对红外线辐射能量吸收不同的原理对气体进行分析。红外线经过 CO₂ 气体分子时与其振动频率相等能够形成共振的红外光，被气体分子吸收，使透过的红外线能量减少，被吸收的红外光能量的多少与该气体的吸收系数，气体浓度和气层的厚度有关，并服从朗伯-比尔定律。只要测得透过的红外光能量的大小，即可间接得出 CO₂ 和 H₂O 气体浓度。红外线通过两个气室，一个是气体的测量室，另一个是气体参比室。工作时，当测量室内被测气体浓度发生变化时，吸收的红外线光量发生相应的变化，而基准光束（参比室光束）的光量不发生变化。从二室出来的光量差通过检测器，使检测器产生压力差，并变成电容检测器的电信号，此信号经信号调节电路放大处理后，送往显示器显示。

4.7.3.2 仪器布设与安装

4.7.3.2.1 观测点数量的确定

- 通过便携式土壤呼吸测量仪在待测区域随机测量多个样点土壤呼吸速率，计算其离散系数（Cv）。
- 估算所测结果的平均差，用 error 表示。
- 一个区域所需观测点，也即观测系统数量为 $N \geq (2 \times Cv / \text{error})^2$ 。

4.7.3.2.2 观测点的布设

- 土壤总呼吸（R）观测点
 - 样地设置参见本标准 4.5.3。
 - 按蛇形采样法，随机布设土壤总呼吸观测点。
- 无根土壤呼吸（R₁）测定

在距离每个土壤总呼吸测定点 1m 左右设置 5m×5m 的样方，布设植物根系呼吸（ R_{root} ）的观测点。

- 1) 在样方四周挖壕沟深至植物根系分布层以下约 0.5m~1m。
- 2) 将所有根切断，然后在壕沟内用双层塑料布或者石棉网隔离。
- 3) 除去样方内所有活的植物体，然后将壕沟重新填平。
- 4) 6~12 个月后，待样方内活的根系彻底分解死亡成为无根样方，且土壤理化条件相对稳定后在样方内安置土壤呼吸环进行无根土壤呼吸的测定。

c) 无动物土壤呼吸（ R_2 ）测定点

在距离每个土壤总呼吸测定点 1m 左右选择 1m×1m 的小样方，作为土壤动物呼吸的观测点。

- 1) 观测前 10d~15d 左右，在土壤 0~15cm 深度处随机埋置卫生球，并在土壤表面撒一层卫生球粉末用来驱逐螨虫、跳虫等。
- 2) 土壤呼吸测定前 15min~30min，在已经布设卫生球的小样方内设置 3 排 9 根电棒，电棒标准为 500mm×9mm，每两根电棒之间间隔 12.5cm，电棒之间用 220V 电压电线连接，在电击样方时，将电棒插入土壤中 15cm 左右，利用电击的办法驱逐土壤中的蚯蚓、蚂蚁等。
- 3) 在上述卫生球+电棒形成无动物样方内安置土壤呼吸环，进行无动物土壤呼吸的测定。

4.7.3.2.3 土壤呼吸速率自动观测仪器安装及使用

- a) 选择地势平坦的测量点，将土壤呼吸钢环提前 24h~48h 埋入土壤，在地面上留有 0.5cm~1.0cm 即可，并将呼吸钢环内植物进行修剪。
- b) 将土壤呼吸室扣在土壤呼吸钢环上正上方，确保密封，并保持系统整体水平无倾斜。
- c) 将土壤温度和土壤湿度探头连接到控制单元上，插入待测土层。
- d) 连接供电单元，按电源键开启主机，等待系统预热。
- e) 系统预热完成后，进入“系统设置”菜单，设置内置气泵的泵速（ $\mu\text{mol s}^{-1}$ ）、选择土壤呼吸室的类型（开放或闭合）、设置呼吸室体积（L）和直径（mm）、设置土壤呼吸钢环上沿距地面高度（mm）、设置测量结束终止条件 LIM.T（min）和 ΔC （ mmol m^{-3} ）。在自动测量记录模式下，设置自动测量时间间隔（min）。
- f) 根据需要选择手动测量一次模式或者自动测量记录模式，按相应的键启动测量。
- g) 每一次完整测量结束后，系统自动计算结果并保存。
- h) 重复上述步骤，获取更多测量数据。
- i) 下载数据，进行分析处理。

数据内容见表 16。

表 16 下载数据记录表

数据序号	记录数据时间	测量点 CO_2 参比值/ppm	测量前后 CO_2 差值/ppm	测量点净土壤呼吸速率/ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	测点的光合有效辐射/ W m^{-2}	内置泵的泵速/ $\mu\text{mol s}^{-1}$	土壤温度传感器读数/ $^{\circ}\text{C}$	土壤湿度传感器读数/%

注：ppm 单位表示了二氧化碳与呼吸室的体积之比，1ppm 为百万分之一。

4.7.3.3 数据采集

- a) 打开仪器进行土壤呼吸的测定。

- b) 每次测定工作在 1d 内完成, 每个观测点测 3~5 个循环 (每次循环大约需要 90s), 每个样点大约需要 5min (夏季), 秋季要长一些, 具体测定时间、重复次数视实验而定。
- c) 测定结束后将主机与计算机相连, 获取所测数据。

4.7.3.4 观测时间和频率

- a) 日变化, 具体观测时间为 6:00、9:00、11:00、13:00、15:00、17:00、19:00、22:00 和 2:00。
- b) 季节变化, 一般为 2 次/月。
- c) 年变化, 按每年的固定时间测定。

4.7.4 数据处理

4.7.4.1 土壤总呼吸

土壤总呼吸样方测定出的土壤呼吸 (R) 即为土壤总呼吸速率。

4.7.4.2 植物根系呼吸

壕沟法测得无根样方内土壤呼吸为 R_1 , 植物根系呼吸 R_{root} 和根系呼吸贡献率 RC_{root} 由分别计算如下:

$$R_{root} = R - R_1$$

$$RC_{root} = \frac{R_{root}}{R} \times 100\%$$

4.7.4.3 土壤动物呼吸

卫生球+电棒法测得无动物小样方土壤呼吸为 R_2 , 土壤动物呼吸 R_{fauna} 和根系呼吸贡献率 RC_{root} 分别计算如下:

$$R_{fauna} = R - R_2$$

$$RC_{fauna} = \frac{R_{fauna}}{R} \times 100\%$$

4.7.4.4 土壤微生物呼吸

由差值法得出植物根系呼吸 R_{root} 和土壤动物呼吸 R_{fauna} 后, 土壤总呼吸 R 与 R_{root} 及 R_{fauna} 的差值即为土壤微生物呼吸 $R_{microbial}$, 土壤动物呼吸贡献率 RC_{ro} 分别计算如下:

$$R_{microbial} = R - R_{root} - R_{fauna}$$

$$RC_{microbial} = \frac{R_{microbial}}{R} \times 100\%$$

4.8 森林生态系统土壤动物、酶活性及微生物观测

4.8.1 观测目的

通过对森林生态系统土壤动物、酶活性、微生物的变化特征长期、连续的观测, 探讨土壤动物、酶活性和微生物对凋落物分解、养分释放、能量动态调控的过程与机制。有助于认识森林生态系统中地上部分与地下部分之间相互联系, 以及土壤动物、酶活性和微生物在物质循环与能量流动过程中的地位和作用, 也可土壤生物多样性保护提供理论与数据支撑。

4.8.2 观测内容

土壤动物数量、动物群落物种多样性、脲酶活性、磷酸酶活性、多酚氧化酶活性、过氧化氢酶活性、

蔗糖酶活性、微生物数量、微生物生物量碳、微生物生物量氮等。

4.8.3 观测与采样方法

4.8.3.1 样地设置

参见本标准 4.5.3.1。

4.8.3.2 采样点设置

参见本标准 4.5.3.2。

4.8.3.3 采样工具

小土铲、土钻、铁锹、剖面刀、尺子、GPS、罗盘仪、数码相机、样品袋、环刀、塑料布、铝盒、记号笔、剪刀、样品标签、采样记录表、背包等。

采集样品时所用的工具、塑料袋或其它装土样的器皿必须事先灭菌（干热灭菌、紫外线灭菌、70%的酒精消毒灯灭菌）或就地取土擦拭用具。

4.8.3.4 样品采集方法

4.8.3.4.1 土壤动物样品的采集方法

土壤动物样品的采集方法有以下几种：

- a) 大型土壤动物的调查方法。采用大型土壤动物采样框（50cm×50cm）分凋落物层和不同土壤层次取样。采用手拣法就地用镊子选取大型土壤动物，保存在装有 5%福尔马林溶液的收集瓶中。
- b) 中、小型土壤动物的调查方法。分别采用干漏斗法和湿漏斗法。干漏斗法和湿漏斗法分别用 100mL 和 25mL 的土壤环刀采集器在样方垂直剖面上各土层取样，然后将土样装入布袋或塑料袋中。
- c) 专门研究某一类土壤动物时，则采用专门的采集方法，如吸虫瓶采集法、陷阱采集法、引诱法、羽化捕捉法和手摇网筛法等。

4.8.3.4.2 土壤微生物、酶活性样品的采集方法

土壤微生物、酶活性样品按如下方法采集：

a) 在每个采样点挖一个 0.8m×1.0m 的长方形土壤剖面。坡地上应顺坡挖掘，坡上面为观测面；平整地将长方形较窄的向阳面作为观测面，观测面植被不应破坏，挖出的土壤应按层次放在剖面两侧，以便按原来层次回填。剖面的深度根据具体情况确定，一般挖掘到 40cm～60cm 处即可。

b) 先观察土壤剖面的颜色、结构、质地、紧实度、湿度、植物根系分布等，然后自上而下划分土层，并进行剖面特征的观察记录，作为土壤基本性质的资料及分析结果的参考。

c) 取样前，应先去除凋落物层（未分解、半分解和腐殖质层），以避免地面微生物与土样混杂。

d) 应划定固定层次（0～10cm、10cm～20cm、20cm～40cm、40cm～60cm）采集土壤样品。一般应按照先下后上的原则采取土样，以免混杂土壤。为克服层次间的过渡现象，采样时应在各层的中部采集。

e) 将同一层次多样点采集的质量大致相当的土样置于塑料布上，剔除石砾、植被残根等杂物，混匀后利用四分法将多余的土壤样品弃去，一般保留 1kg 左右土样为宜。

f) 取部分土样放在庇荫处风干，然后放入 105℃烘箱内烘干 6h～8h 至恒重，用于换算水分系数。

- g) 将采集土样装入袋内。土袋内外附上标签, 标签上记载样方号、采样地点、采集深度、采集日期和采集人等。
- h) 样品如不能及时带回实验室, 需携带便携式冰箱, 4℃保存。
- i) 采集好的样品应及时进行分析测定。

4.8.3.5 采样频率

一般为每月一次或每季度一次。

4.8.4 数据处理

4.8.4.1 土壤动物

- a) 密度-类群指数

$$DG = (g / G) \times \sum_{i=1}^g (D_i C_i / D_{i \max} C)$$

式中: DG ——密度-类群指数;

g ——所测定的某群落的实有类群数, 个;

G ——总类群, 个;

D_i ——第 i 群落的实有类群数, 个;

$D_{i \max}$ ——第 i 群落的最多个体数, 个;

C_i/C ——第 i 群落在 C 个群落中出现的比率。

- b) Shannon-Wiener 指数

$$H' = - \sum_{i=1}^S n_i / N \times \ln(n_i / N)$$

式中: H' ——Shannon-Wiener 指数;

n_i ——第 i 个类群的个体数, 个;

S ——类群数, 个;

N ——类群中所有类群的个体数, 个。

- c) Pielou 均匀度指数

$$J_s = H' / \ln S$$

式中: J_s ——Pielou 均匀度指数;

H' ——Shannon-Wiener 指数;

S ——类群数, 个。

- d) Simpson 优势度指数

$$D = \sum_{i=1}^S (N_i / N)^2$$

式中: D ——Simpson 优势度指数;

N_i ——第 i 个类群的个体数, 个;

N ——类群中所有类群的个体数, 个。

- e) Margalef 丰富度指数

$$R = (S - 1) / \ln N$$

式中： R ——Margalef 丰富度指数；
 S ——类群数，个；
 N ——类群中所有类群的个体数，个。

f) Jaccard 群落共有度指数

$$CP = [c / (a + b - c)] \times 100\%$$

式中： CP ——Jaccard 群落共有度指数；
 a ——群落 A 的类群数，个；
 b ——群落 B 的类群数，个；
 c ——A、B 共有类群数，个。

g) 群落复杂性指数

$$C_j = H'_{j\max} \times e_j \times \left[(1/S_j) \sum_{i=1}^S N_{ij} / N_i \right] / \bar{A}$$

式中： C_j ——群落复杂性指数；
 $H'_{j\max}$ ——群落 j 的 Shannon-Wiener 最大多样性指数；
 e_j ——群落 j 的均匀度，个；
 S_j ——群落 j 的类群数；
 S ——各群落的总类群数，个；
 N_{ij} ——群落 j 中类群 i 的个体数，个；
 N_i ——所有群落中类群 i 的总个体数，个；
 $\bar{A}$ ——各群落的平均个体丰盛度，个。

4.8.4.2 土壤酶活性

a) 土壤脲酶活性 (NH_4^+ 释放量法)

$$w(N) = \frac{c \times V \times ts \times 14}{m \times k \times 2} \times 1000$$

式中： $w(N)$ ——土壤脲酶活性，以单位时间内铵态氮的释放量表示， $\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ；
 c —— $1/2\text{H}_2\text{SO}_4$ 标准溶液的浓度， mol L^{-1} ；
 V —— H_2SO_4 标准溶液的体积， mL ；
 ts ——分取系数，2.5；
14——氮的摩尔质量， mg mmol^{-1} ；
2——培养时间，2h；
 m ——样品质量，g；
 k ——烘干土换算系数。

b) 土壤磷酸酶（比色法）

$$w(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_3) = \frac{m_1}{m_2 \times k} \times 1000$$

式中： $w(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_3)$ ——土壤磷酸酶、芳基硫酸酶活性，以单位时间内对硝基苯酚质量表示，mg；
 m_1 ——测试溶液中对硝基苯酚的质量，mg；

m_2 ——样品质量, g;
 k ——烘干土换算系数。

c) 土壤多酚氧化酶活性 (比色法)

$$X = \frac{(a-6)T \times 7}{5}$$

式中: X ——多酚氧化酶活性, 以 1g 土壤滤液的 0.01mol L^{-1} 碘液的体积表示, mL;

a ——用于试验滴定的 0.01mol L^{-1} 碘液的体积, mL;

6——用于对照滴定的 0.01mol L^{-1} 碘液的体积, mL;

T —— 0.01mol L^{-1} 碘的滴定度的校正值;

7——反应混合物的总体积, mL;

5——风干土重, g。

d) 土壤过氧化氢酶活性 (比色法)

$$X = (V_1 \times V_2) / 5$$

式中: X ——过氧化氢酶活性, 以单位土重的 0.1mol L^{-1} 高锰酸钾的体积表示, mL;

V_1 ——用于试验滴定的 0.1mol L^{-1} 高锰酸钾的体积, mL;

V_2 ——用于对照滴定的 0.1mol L^{-1} 高锰酸钾的体积, mL;

5——风干土重, g。

e) 土壤蔗糖酶活性 (比色法)

$$X = a \times 4$$

式中: X ——蔗糖酶活性, 以 24h 后 1g 土壤产生葡萄糖量来表示, mg;

a ——从标准曲线查得的葡萄糖的质量, mg;

4——换算成 1g 土的系数。

4.8.4.3 土壤微生物

a) 土壤微生物数量

$$M = a \times u$$

$$N = M \times k$$

式中: M ——每克湿土样的菌数, 个;

a ——培养皿中的平均菌数, 个;

u ——稀释倍数;

N ——每克烘干土样的菌数, 个;

k ——烘干土换算系数。

b) 土壤微生物生物量

1) $\text{CO}_2\text{-C}$ 的释放量

$$w(C) = \frac{(V_1 - V_2) \times c \times M \times 1000 \times ts}{m}$$

式中: $w(C)$ —— $\text{CO}_2\text{-C}$ 的释放量的质量分数, mg kg^{-1} ;

V_1 ——土样处理滴定时所消耗的盐酸体积, mL;

V_2 ——无土空白对照滴定时所消耗的盐酸体积, mL;

c ——盐酸标准溶液的浓度, mol L^{-1} ;

M ——碳的毫摩尔质量, 12mg mmol^{-1} ;

1000 ——g 转换为 kg 的系数;

ts ——分取倍数;

m ——土壤样品的烘干质量, g。

2) 微生物生物量碳

$$w(c) = Fc / Kc$$

式中: $w(c)$ ——微生物生物量碳的质量分数, mg kg^{-1} ;

Fc ——0~10d 培养期间熏蒸土壤释放的 $\text{CO}_2\text{-C}$ 量与未熏蒸土样培养期间释放的 $\text{CO}_2\text{-C}$ 量的差值, mg kg^{-1} ;

Kc ——培养期间被杀死的微生物矿化成 $\text{CO}_2\text{-C}$ 的比例, 常取 0.45。

3) 微生物生物量氮

$$w(N) = F_N / K_N$$

式中: $w(N)$ ——微生物生物量氮的质量分数, mg kg^{-1} ;

F_N ——[(熏蒸土样中 $\text{NO}_3^- \text{-N} + \text{NH}_4^+ \text{-N}$) - (未熏蒸土样中 $\text{NO}_3^- \text{-N} + \text{NH}_4^+ \text{-N}$)], mg kg^{-1} ;

K_N ——培养期间被杀死的微生物量中的氮转化为 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的比例, 一般为 0.57。

4.9 森林生态系统根际微生态区观测

4.9.1 观测目的

通过对根际微生态区土壤理化指标、生物学指标和根系形态因子的观测, 了解根际土壤理化特性及微生物类群活性, 探索林木细根生长动态及其周转规律, 进一步研究植物根系拓扑结构, 揭示植物根系与环境因子间的关系, 为实现根际微生态区的调控和优化提供基础。

4.9.2 观测内容

根际土壤理化指标: pH 值、氧化还原电位、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效氮、速效磷、速效钾。

根际土壤生物学指标: 微生物类群及其数量、酶活性、线虫数量和种类、细菌数量和种类。

根系形态因子: 根的长度、根长密度、根尖数量、直径分布格局、死亡根及存活根数量、平均直径、投影面积、表面积、根体积、分类数量、每个直径类的根尖数量、细根生长量、细根死亡量和细根周转。

4.9.3 观测与采样方法

4.9.3.1 样地设置

选择群落结构明显、优势树种典型、地势平坦、土壤层应足够深厚的林分。

4.9.3.2 根际土壤理化和生物学指标观测

4.9.3.2.1 标准木的选定

参见本标准 4.19.3.2。

4.9.3.2.2 根际土壤采样方法

采样时每株树木宜按不同的方向多点采集。先用铁铲除去枯枝落叶层，然后用刀从树干基部开始逐层地小心挖去上层覆土，追踪根系的伸展方向，然后沿侧根找到细根部分，每株标准木剪下 10 组直径 $<2\text{mm}$ 的细根群。小心将带土细根取出后，用手轻轻抖动根系，从根系上脱落的土壤颗粒为非根际土，取 500g 装入无菌纸袋中；紧紧粘附在根系表面，距根面约 $1\text{mm}\sim 4\text{mm}$ 的土壤为根际土，连根取 500g 装入无菌纸袋中，带回后立即剥落分离，粘附紧的根际土可轻轻敲打或用刀片小心剥落。

所取土壤尽快带回实验室，低温保存在 4°C 冰箱中待处理和分析。

4.9.3.2.3 根际土壤理化及生物学指标分析

土壤理化指标及生物学指标分析按照 LY/T 1210~1275 执行。

4.9.3.3 根系形态因子观测方法

4.9.3.3.1 微根管系统结构和原理

a) 结构

由 15 倍或 100 倍放大功能的 NTSC 制式高精度 CCD 摄像头、I-CAP 图像抓取系统、白光照明或 UV 紫外光源、定位手柄系统、观测管及其安装工具、便携式蓄电池电源、笔记本电脑和专业活体根系分析软件等组成。微根管系统结构见图 9。

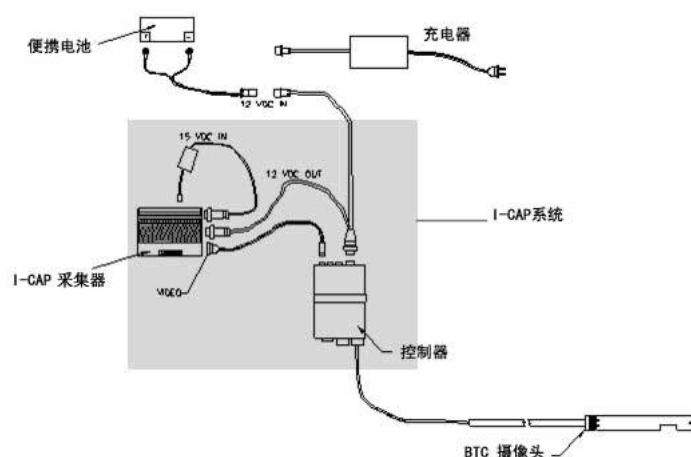


图 9 微根管系统结构示意图

b) 工作原理

在土壤放入透明的塑料管，通过管壁与土壤间的界面在根系生长原位置进行非破坏性观察。观察工具采用摄像头深入埋设在根系周围的透明管内，通过图像抓取系统对根系照相，然后借助专业根系分析软件系统对混合图像进行分析，从而跟踪了解其生长、消亡和再生长过程。

4.9.3.3.2 微根管的安装

微根管的安装方法：

- 在标准木根部安装微根管。
- 按照 45° 角安装微根管，预埋设的深度通过管洞的长度与安装角度进行三角函数计算得出。
- 使用微根管专用打孔工具挖一个与微根管直径接近的管洞，大于微根管直径 $1\text{mm}\sim 2\text{mm}$ ，并达到

确定深度，然后将微根管插入洞中。钻取管洞和放入微根管时，尽量减少对管壁周围土壤的干扰，并确保土壤与管壁的接触达到最紧密。

d) 微根管埋入根际后，露出地面部分先封一层黑色胶带，然后加封一层黄色胶带，用塑料盖封口。

4.9.3.3.3 数据采集

数据采集方法：

- a) 微根管安装好 7 个月后将开始采集图像，为保证微根管在同一位置进行多次观察、重复采样，应在管壁上做记号。
- b) 根据环境条件、植物生长周期，按 1~6 周的时间间隔对每根观测管固定位置采集根系图像，一般生长季节 2 周取 1 次图像，冬天可以降低采样频率或取消。
- c) 每根观测管可由下到上或由上到下依次拍照。每管每次取图像数量不少于 30 个。
- d) 抓取图像时，通过远程遥控开关调节摄像头的焦距、白光照明光源的亮度和是否开启紫外光源，然后通过图像抓取软件实现图像抓取，抓取的图像保存在笔记本电脑中。
- e) 抓取图像时，尽量快速，缩短 I-CAP 图像抓取系统在观测管中停留的时间。
- f) 将图像导入专业根系分析软件，进行逐一分析，获取根的长度、面积、根尖数量、直径分布格局、死亡根及存活根数量、平均直径、投影面积、表面积、根体积、分类数量、每个直径的根尖数量等形态学参数。

4.9.3.3.4 系统维护

微根管系统的维护应符合下列要求：

- a) 定期检查观测管的盖子是否完好，避免外界雨水、灰尘等杂物进入观测管。
- b) 摄像头进出观测管时，动作要轻，避免损坏摄像头单元和在观测管壁上产生划痕。
- c) 摄像头与图像抓取系统的连接缆线避免强力硬拽，导致内线损坏。
- d) 定期检查摄像头单元，小心保护和存放，避免损坏。
- e) 定期检查系统供电单元，确保工作时供电正常。

4.9.4 数据处理

4.9.4.1 根际土壤理化指标和生物学指标数据处理

根际土壤理化数据及生物学数据处理按照 LY/T 1210~1275 执行。

4.9.4.2 根系根长密度和根系面积密度

在微根管图像中测量根的长度，通过总根长除以观察的整个管面积获得根系根长密度 RLD (mm cm^{-2} 或 cm cm^{-2})。根系表面积的计算可用观察到的根长乘以根直径。同样，以单位面积图片中观察到的根系表面积可得到根面积密度 ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-2}$ 或 $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$)。

4.9.4.3 细根生长与死亡

RLD_P 和 RLD_M 分别表示细根生长量和细根死亡量。假设根系在两次相邻采样间隔期内的生长与死亡速率一致的前提下，以单位管面积上根系根长的增加与减少来表示相邻两次采样间隔期内根系的生长与死亡，然后除以间隔时间，得到细根生长 RLD_P 和死亡 RLD_M 。

$$RLD_{P(M)} = \frac{RLD_{n+1} - RLD_n}{T}$$

式中： RLD_P ——间隔期内根系生长量， $\text{mm cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ ；

RLD_M ——间隔期内根系死亡量， $\text{mm cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ ；

RLD_n ——第 n 次观测到的根系根长密度值， mm cm^{-2} ；

RLD_{n+1} ——第 $(n+1)$ 次观测到的根系根长密度值, mm cm^{-2} ;

T ——相邻两次采样间隔时间, d。

4.9.4.4 根系生长死亡量、现存量和周转计算

- a) 根系年生长量为一年内所有次采样得到的根系根长净增加值（包括所有出现的新根长与以前存在的根系长度净增加值）；根系年死亡量为一年内所有次采样中根系长度的消失（包括存在根的死亡以及由于根系的脱落或昆虫的取食引起根长的减少值）；根系年生长量与年死亡量的单位也以每年单位管面积内的单位根长来表示 ($\text{mm cm}^{-2} \text{a}^{-1}$)。
- b) 根系现存量以每次观测到的单位面积活根系长度来表示。
- c) 根系周转估计采用以下 3 种方法进行估计。
 - 年根系生长量与年根系平均现存量之比。
 - 年根系死亡量与年根系平均现存量之比。
 - 年根系生长量与年根系最大现存量之比。

4.10 森林冻土观测

4.10.1 观测目的

通过对多年冻土上下限深度、温度、密度等的观测，分析冻土深度的时空变化规律，揭示冻土温度、密度与深度之间的关系，阐明森林与冻土的关系，为研究森林及气候变化对冻土的影响提供依据。

4.10.2 观测内容

冻土含水率、冻土密度、冻结温度、冻土导热系数、冻胀量、多年冻土的上限深度、季节性冻土深度及上下限深度。

4.10.3 观测与采样方法

4.10.3.1 观测场的设置

按照 LY/T 1626 执行。

4.10.3.2 冻土取样

冻土采样前，应按照如下方法进行分类。

冻土按照其存在时间可分为三种类型：永久冻土、季节冻土、瞬时冻土。

永久冻土：又称永冻层、多年冻土，指持续三年或三年以上的冻结不融土（岩）层。

季节冻土：冬季冻结，夏天完全融化的土（岩）层。

瞬时冻土：冬季冻结持续时间小于一个月，其余时间处于融化状态的土（岩）层。

多年冻土按照冰冻土中的含水量又分为少冰冻土（含水量 $\leq 12\%$ ）、多冰冻土（ $12\% < \text{含水量} \leq 18\%$ ）、富冰冻土（ $18\% < \text{含水量} \leq 25\%$ ）、饱冰冻土（ $25\% < \text{含水量} \leq 44\%$ ）、含水土层（含水量 $> 44\%$ ）。

采样具体操作按照 MT/T 593.1 执行。

4.10.3.3 冻土含水率测量

按照 SL 237-034 执行。

4.10.3.4 冻土密度测量

按照 SL 237-035 执行。

4.10.3.5 冻结温度测量

按照 SL 237-036 执行。

4.10.3.6 冻土导热系数测量

按照 SL 237-037 执行。

4.10.3.7 冻胀量测量

按照 SL 237-039 执行。

4.10.3.8 冻土深度观测

4.10.3.8.1 仪器设备结构和原理

a) 结构

由外管和内管组成（见图10）。外管为一根标有0cm刻度线的硬橡胶管；内管为一根有厘米刻度的橡皮管（管内有固定冰用的链子、铜丝或线绳），底端封闭，顶端与短金属管、木棒及铁盖相连。内管中灌注当地干净的水（河水、井水或自来水等）至0刻度线处。

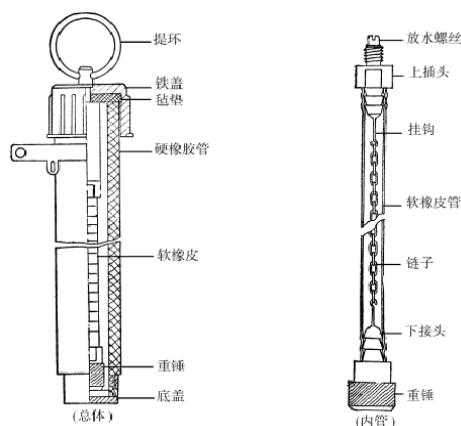


图 10 冻土器结构图

b) 工作原理

根据埋入土中的冻土器内水结冰的部位和长度，测定冻结层次及其上限和下限深度。

4.10.3.8.2 冻土器的安装

冻土器的安装应符合下列要求：

- 冻土器应安装在观测场内有自然覆盖物的地段。
- 冻土器外管和内管的0刻度线要平齐，并与地表在同一水平面上，采用钻孔法将冻土器垂直埋入土中。套管埋放后，把管壁四周与土层之间的空隙用细土充填、捣紧。

4.10.3.8.3 观测和记录

观测和记录按下列要求进行：

- 当地面温度降到0℃或以下，土壤开始冻结时，应在每日8:00观测一次冻土，直至次年土壤完全解冻为止。

- b) 观测时，一手把冻土器的铁盖连同内管提起（见图11），用另一只手摸测内管冰所在位置，从管壁刻度线上读出冰上下两端的相应刻度数，记入观测簿冻土深度栏。冻土深度观测完毕即将内管重新插入，并盖好盖子。
- c) 遇有两个或以上冻结层时，应分别测定每个冻结层的上、下限深度，并按由下至上的层次，顺序记入观测簿冻土深度栏。冻土深度不足0.5cm时，上、下限均记“0”。
- d) 当冻结层的下限深度超出最大刻度范围时，应记录最大刻度数字，并在数字前加记“>”符号，如“>xxx”。
- e) 观测操作力求迅速，勿使内管弯折。

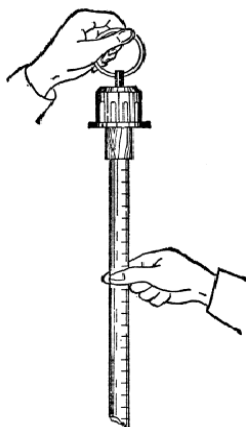


图 11 冻土器观测示意图

4.10.3.8.4 冻土器的维护

冻土器的维护应符合下列要求：

- a) 应及时加水，但不能在临近观测前加水，不能使水柱中余留气泡。
- b) 当漏水或管内链子（铜丝或线绳）不牢固时，应及时修复。
- c) 不应使降水和其它物体落入外管内。
- d) 每年使用冻土器前，应注意检查内管、外管的0刻度线与地面是否齐平。若产生位移，应在土壤冻结前调整好。
- e) 冻土期结束后，应将内管的水放掉，晾干，收回实验室内妥善保管；外管口用不渗水的物品包扎牢固。
- f) 冻结较深的地区，可在靠近冻土器的东北侧设一吊架供观测时吊取内管用。
- g) 根据当地可能出现的最大冻土深度，采用长度规格适用的冻土器。

4.10.3.8.5 数据采集频率

冻土观测参数采集频率见表 17。

表 17 冻土观测参数数据采集频率

观测参数	土壤冻结及解冻时间 (Y-M-D)	多年冻土深度/m	冻土活动层深度/m	最大季节冻结深度/m	最大季节融化深度/m	季节性冻土深度/m	季节性冻土上下限深度/m
采集频率	1 次/a	1 次/5a	1 次/a	1 次/a	1 次/a	1 次/a	1 次/d*

*土壤开始冻结至次年土壤完全解冻期间，季节性冻土上下限深度观测频率。

4.10.4 数据处理

4.10.4.1 冻土含水率

$$w = \left[\frac{m_1}{m_2} (1 + w_n) - 1 \right] \times 100$$

式中: w ——冻土含水率, %;

m_1 ——冻土试样质量, g;

m_2 ——调成糊状的冻土试样重量, g;

w_n ——平均试样含水率, 以小数表示。

4.10.4.2 冻土密度

a) 冻土密度

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_m}$$

$$\rho = \frac{m_1}{V}$$

式中: V ——冻土试样体积, cm^3 ;

ρ ——冻土密度, g cm^{-3} ;

m_1 ——冻土试样重量, g;

m_2 ——冻土试样在煤油中的重量, g;

ρ_m ——试验温度下煤油的密度, 可由煤油密度和温度关系曲线查得, g m^{-3} 。

b) 冻土干密度

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w}$$

式中: ρ_d ——冻土干密度, g cm^{-3} ;

ρ ——冻土密度, g cm^{-3} ;

w ——冻土含水率, %。

4.10.4.3 冻结温度

$$T = V/K$$

式中: T ——冻结温度, $^{\circ}\text{C}$;

V ——热电势跳跃后的电压稳定值, μV ;

K ——热电偶的标定系数, $^{\circ}\text{C}/\mu\text{V}$ 。

4.10.4.4 冻土导热系数

$$\lambda = \frac{\lambda_0 \Delta \theta_0}{\Delta \theta}$$

式中: λ ——冻土导热系数, cm s^{-1} ;

λ_0 ——石蜡导热系数, cm s^{-1} ;

$\Delta \theta_0$ ——石蜡样品盒内两壁面温差, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta\theta$ ——待测试样盒两壁面温差，℃。

4.10.4.5 冻胀率

$$\eta = \Delta h / H_f \times 100\%$$

式中： η ——冻胀率，%；
 Δh ——试样总冻胀量，mm；
 H_f ——冻结深度（不包括冻胀量），mm。

4.11 森林常规气象观测

4.11.1 观测目的

在森林生态系统典型区域内通过对风、温、光、湿、气压、降水等常规气象因子进行系统、连续观测，获得具有代表性、准确性和比较性的林区气象资料，了解典型区域气象因子的变化规律，揭示影响森林植被生长发育的关键气象因子及为研究森林对气候的响应提供基础数据。

4.11.2 观测内容

观测内容见表 18。

表 18 森林常规气象观测指标及单位

指标类别	观测指标	单 位
天气现象	风、雨、雪、雾、沙尘、能见度	WMO电报代码、m
大气降水	降雨量	mm
	强度	mm h ⁻¹
风	风速	m s ⁻¹
	风向	°
气压	气压	hPa
空气温湿度	最低温度	℃ 年月日时分秒
	最高温度	
	定时温度	℃
	相对湿度	%
地表面温度	地表定时温度	℃
	地表最高温度	℃ 年月日时分秒
	地表最低温度	
土壤温度	土壤温度	℃
蒸发	蒸发量	mm
辐射	日照时数	h
	总辐射	W m ⁻² MJ m ⁻²
	净辐射	
	长波辐射	
	紫外辐射	
	光合有效辐射	W m ⁻²

4.11.3 观测方法

4.11.3.1 观测场设置

观测场的设置按照 QX/T 45 执行，观测场的防雷装置按照 QX 4 执行。

4.11.3.2 观测仪器的结构和原理

4.11.3.2.1 天气现象观测仪

按照 QX/T 48 执行。

4.11.3.2.2 自动气象站

按照 QX/T 61 执行。

4.11.3.3 观测仪器的布设和安装

常规气象观测系统各部件的布设和安装按照 QX/T 45 执行。

4.11.3.4 数据采集

4.11.3.4.1 观测指标的采样频率

观测指标的范围、分辨率和采样频率等见表 18。

观测指标的采样方法、时制、日界和对时按照 QX/T 61 执行。

表 18 观测指标的范围、分辨率和采样频率

观测指标		测量范围	分辨率	平均时间 间	采样频率	平均方法
风、雨、雪、雾、沙尘、能见度		0.16mm~8mm	0.005mm	1min	0~1000Hz	累计
大气 降水	降雨量	0.005mm~250mm	0.005mm	1min	0~1000Hz	累计
	强度	0.005mm h ⁻¹ ~250mm h ⁻¹				
风速		0.3m s ⁻¹ ~75m s ⁻¹	0.05m	3s	1 次/s	滑动平均法
风向		0~360 °	1 °	3s	1 次/s	矢量平均法
气压		300hPa~1100hPa	0.1hPa	1min	6次/min	滑动平均法
空气温度		-30℃~+70℃	0.1℃	1min	6次/min	滑动平均法
相对湿度		0~100%	1%	1min	6次/min	滑动平均法
地表温度		-30℃~+50℃	0.1K	1min	6次/min	滑动平均法
土壤温度		-30℃~+100℃	0.1℃	1min	6次/min	滑动平均法
蒸发量		0~100mm	0.1mm	1min	6次/min	滑动平均法
总辐射		0~2000W m ⁻²	1W m ⁻²	1min	6次/min	滑动平均法
净辐射		-200W m ⁻² ~+1500W m ⁻²	1W m ⁻²			
光合有效辐射		0~500W m ⁻²	1W m ⁻²			
长波辐射		0~2000W m ⁻²	1W m ⁻²			
紫外辐射		UVA: 0~100W m ⁻² UVB: 0~0.7 W m ⁻²	-10%<绝对误差 <10%			

4.11.3.4.2 数据采集器设置

将传感器接入数据采集器，并按表 20 设置数据采集器后可开始采集数据。

表 20 数据采集器指标和设置

数据采集器	性能指标	设置
通道分辨率	24bit AD 转换	按表 19 观测指标采样要求选择通道，连接传感器
模拟通道	16 个差分模拟通道 精度：±0.01%	
计数通道	4 个计数通道；32bit	
脉冲通道	8 个	
带电通道	2 个；0~1A AC/DC，0~10A AC/DC	
测量速率	1s~60min	按表 19 观测指标采样要求设置通道参数
存储速率	1s~1d	建立瞬时数据文件、定时数据文件、极值数据文件
内存	8M，16 个通道的 10min 平均值可存储 360d， SD 卡	选择存储媒介
通信协议	FTP、http、TELNET	设置通信方式
数据输出	FTP、SD 卡、TELNET	Web 浏览器功能：查看原始数据；查看 10min 平均值；查看 30min 内的极值；查看日期和时间。
内部时钟	内部电池供电时钟，年份检测，DCF 77 无线 电时钟同步或 GPS 系统同步	时界、日界定时按照 QX/T 61 执行

4.11.3.5 日常维护

4.11.3.5.1 天气现象观测仪

在测量过程中不宜直视激光束，传感器的玻璃窗格 3 个月清洗一次。若发现昆虫巢、蜘蛛网、花粉之类的沉积物等要经常清理。

4.11.3.5.2 传感器

应定期查看各传感器是否正常、地温传感器的埋置是否准确，风向、风速传感器是否转动灵活，辐射传感器表面是否清洁等。

每月检查供电设施，保证供电安全。

每年春季对防雷设施进行全面检查，对接地电阻进行复测。

4.11.4 数据处理

通过电缆连接数据采集器的通信口和 PC 机，可查看和下载数据采集器内存中的数据文件。数据文件名由年、月、日组成，如 20090301。数据存储在 SD 卡中，通过直接读取 SD 卡，或通过 Ethernet，采用 FTP 或 Http 查看数据，也可通过 GPRS 远程传输数据到用户端。

从数据采集器下载的数据文件可包括瞬时值、每日逐时、逐日数据。系统软件设置后还可自动计算散射辐射、日照时数、蒸散量的逐时、逐日数据。

4.12 森林小气候观测

4.12.1 观测目的

通过对森林生态系统典型区域不同层次风、温、光、湿、气压、降水、土温等气象因子进行长期、连续观测，了解林内气候因子梯度分布特征及不同森林植被类型的小气候差异，揭示各种类型小气候的形成过程中的特征及其变化规律，为研究下垫面的小气候效应及其对森林生态系统的影响提供数据支持。

4.12.2 观测内容

按地上四层和地下四层观测森林小气候要素，地上四层为冠层上 3m、冠层中部、距地面 1.5m 和地被层，地下四层为地面以下 5cm、10cm、20cm、40cm。各层观测指标见表 21。

表 21 森林小气候观测内容、位置和高度及单位

项目或指标	位置和高度	单位
风向	冠层上 3m 和地被层（2 个高度）	°
温度	冠层上 3m、冠层中部、距地面 1.5m、地被层（4 个高度）	℃
湿度		%
风速		m s ⁻¹
总辐射	冠层上 3m、冠层中部、距地面 1.5m、地被层（4 个高度，总辐射或光合有效辐射任选一种，在冠层上可加净辐射）	W m ⁻²
净辐射		MJ m ⁻²
光合有效辐射		W m ⁻²
土壤热通量	地面以下 5cm、10cm（2 个深度）	W m ⁻²
土壤温度	地面以下（5cm、10cm、20cm、40cm）（4 个深度）	℃
土壤水分	地面以下（5cm、10cm、20cm、40cm）	%
降水量	地被层（1 个高度）	mm

4.12.3 观测方法

4.12.3.1 观测场设置

观测场设置要求：

- a) 观测场的主要环境因子（气候、土壤、地形、地质、生物、水分）和树种、林分等应具有代表性，下垫面能够反映生态系统的特征和季节变化的特点。
- b) 不应跨越两个林分，注意避开道路、河流及人为生产活动等影响。
- c) 观测样地的形状应为正方形或长方形，地势应较平缓。林分面积≥50m×50m 或观测场地内林木胸径（DBH）≥4cm 的株数不少于 200 株。

4.12.3.2 观测仪器的结构和原理

按照 QX/T 61 执行。

4.12.3.3 观测系统的布设和安装

4.12.3.3.1 观测塔的布设

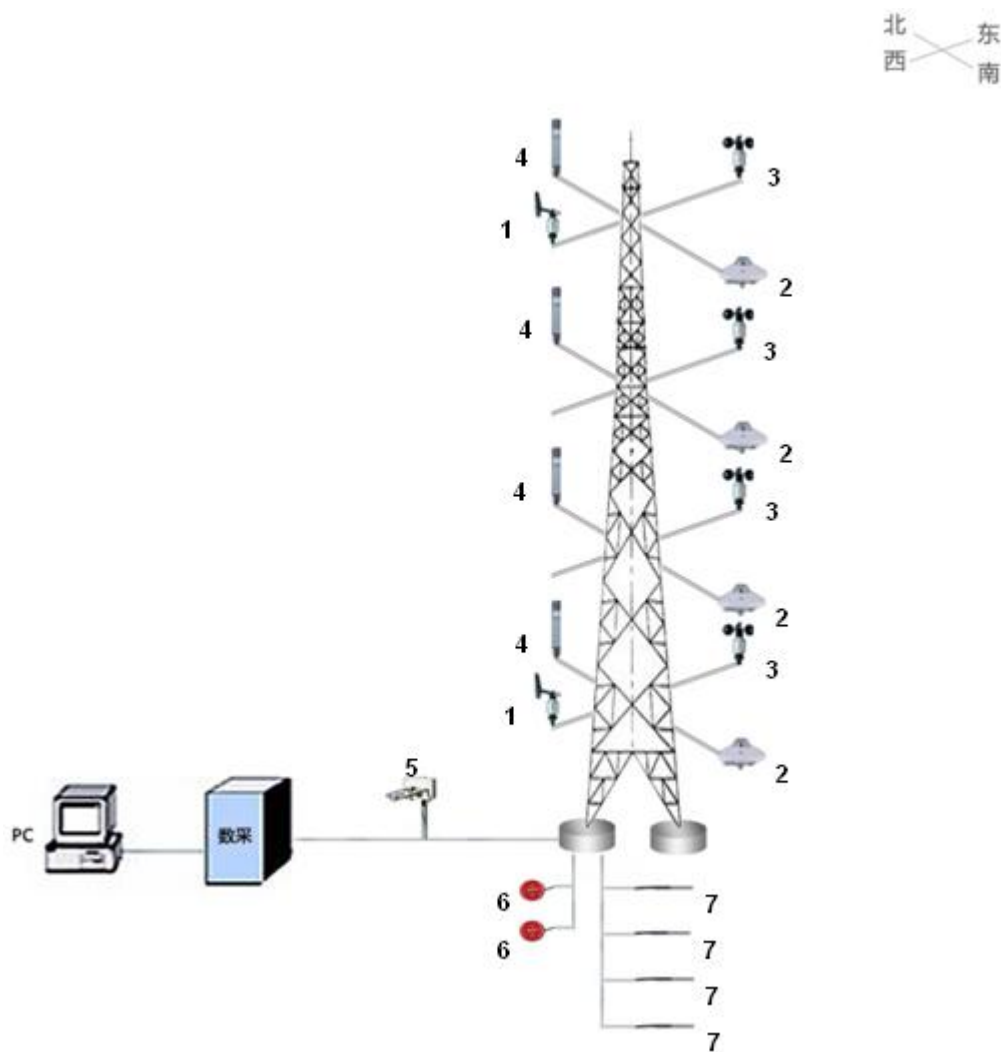
- a) 应建立固定的观测塔观测森林小气候。塔的水泥底座面积应足够小，确保不改变局部下垫面性质。

建造过程中应注意保护塔四周下垫面森林的状态。

- b) 观测塔的位置应位于观测场地中央或稍偏下风侧。塔应高出主林冠层。
- c) 观测塔通常为拉线式矩形塔，塔体及其横杆的颜色应涂为银白色或浅灰色。
- d) 观测塔的设计要方便工作人员安装检修仪器。
- e) 观测塔应安装避雷系统。

4.12.3.3.2 观测仪器的布设和安装

传感器安装见表 21，仪器布设见图 12。



- 1 风向传感器
- 2 辐射传感器
- 3 风速传感器
- 4 空气温湿度传感器
- 5 降水（雨量、雨强和降水类型）
- 6 土壤热通量
- 7 土壤水分、温度

图 12 森林小气候观测系统布设示意图

各部件的布设和安装要求按照 QX/T 45 执行。

4.12.3.3.3 避雷装置

观测系统避雷装置的布设按照 QX 30 执行。

4.12.3.3.4 传感器的平行校验

应定期对同类传感器进行平行校验观测。

温、湿、风速传感器架设在“Π”形横杆上进行平行校验观测，平行检验时间应至少持续一个日变化周期。将观测结果进行平均后，经比较选择观测结果最为接近的传感器用于小气候梯度观测，并且选择一个为基准，进行归一化处理。

“Π”形横杆应足够长。温、湿度传感器之间距离 0.3m。风传感器之间距离 0.5m，“Π”形横杆应与主风向垂直。

进行平行检验的观测场的下垫面状况应尽可能保证水平均一。

如果小气候观测持续时间长，应该在观测结束前再次进行平行校验观测。

平行校验结果应该与其它观测记录一起存档。

4.12.3.3.5 观测系统的维护

应定期查看各传感器是否正常，地温传感器的埋置是否准确，风向、风速传感器是否转动灵活，辐射传感器表面是否清洁等。

每月检查供电设施，保证供电安全。

每年春季对防雷设施进行全面检查，对接地电阻进行复测。

一个小气候观测周期结束后，风速、风向、温度、湿度、地表温度传感器和辐射表要取下收好，土壤温度传感器和热通量传感器可以不动，把接头部分保护好，下次观测时直接连接使用。

自动气象站的数据出现缺测时，按规定进行补测。

定期取回无人值守自动观测系统的数据。

4.12.3.4 数据采集

4.12.3.4.1 采样频率

观测指标的范围、分辨率和采样频率等见表 22。

观测指标中气象参数的采样方法、时制、日界和对时按照 QX/T 61 执行，土壤水分、土壤热通量采样时间是 10min 一次，20s 加热后的测量值作为瞬时值。

4.12.3.4.2 数据采集器设置

将传感器接入数据采集器，按表 22 设置数据采集器后可开始采集数据。

表 22 观测指标的范围、分辨率和采样频率

观测指标	测量范围	分辨率	平均时间	采样频率	平均方法
降雨量	0.005mm~250mm	0.005mm	1min	0~1000Hz	累计
强度	0.005mm h ⁻¹ ~250mm h ⁻¹	0.005m	1min	0~1000Hz	累计
风速	0.3m s ⁻¹ ~75m s ⁻¹	0.05m	3s	1 次/s	滑动平均法
风向	0~360 °	1 °	3s	1 次/s	矢量平均法

表 22 (续)

气压	300hPa~1100hPa	0.1hPa	1min	6次/min	滑动平均法
空气温度	-30℃~+70℃	0.1℃	1min	6次/min	滑动平均法
相对湿度	0~100%	1%	1min	6次/min	滑动平均法
地表温度	-30℃~+50℃	0.1K	1min	6次/min	滑动平均法
土壤温度	-30℃~+100℃	0.1℃	1min	6次/min	滑动平均法
土壤热通量	-2000W m ⁻² ~2000W m ⁻²	50μV·W ⁻¹ m ⁻²	10min	6次/min	滑动平均法
土壤水分	0~100%Vol	0.1%	10min	测量前 20s	滑动平均法
蒸发量	0~100mm	0.1mm	1min	6次/min	滑动平均法
总辐射	0~2000W m ⁻²	1W m ⁻²	1min	6次/min	滑动平均法
净辐射	-200W m ⁻² ~+1500W m ⁻²	1W m ⁻²			
光合有效辐射	0~500 W m ⁻²	1W m ⁻²			

4.12.4 数据处理

瞬时值、逐时值、逐日值的计算方法同 4.11.4 数据处理方法。

通过电缆连接数据采集器的通信口和 PC 机,可查看数据采集器内存中的数据文件。数据文件名由年、月、日组成,如 20090301。数据存储在 SD 卡中,通过直接读取 SD 卡,或通过 Ethernet,采用 FTP 或 Http 查看数据,也可通过 GPRS 远程传输数据到用户端。

从数据采集器下载的数据文件可包括瞬时值、每日逐时、逐日数据。系统软件可计算散射辐射、日照时数、蒸散量的逐时、逐日值。从下载的数据文件中调用数据,经统计后得到逐月数据。

森林小气候观测系统输出的每日逐时、逐日、逐月数据文件包含的数据内容见表 23。

表 23 森林小气候观测系统数据内容

数据周期	每日逐时数据	逐日数据	逐月数据
数据表内容	太阳总辐射及其累计值	太阳总辐射及其累计值	太阳总辐射及其累计值
	空气温湿度	空气温湿度	空气温湿度
	土温	土温	土温
	气压	气压	气压
	海平面气压	海平面气压	海平面气压
	降水	降水	降水
	2min 平均风速	2min 平均风速	1h 极大风速
	10min 平均风速	10min 平均风速	
	2min 平均风向	2min 平均风向	
	10min 平均风向	10min 平均风向	
		10min 极大风速	
		1h 极大风速	

4.13 森林生态系统微气象法碳通量观测

4.13.1 观测目的

通过微气象法为主体的通量观测方法对典型森林生态系统植被-大气界面的 CO_2 及水热量通量进行长期连续观测,掌握其动态变化规律,分析森林生态系统碳源/汇的时空分布特征,探讨森林生态系统碳收支和水热平衡过程及其对环境变化的响应,为深入研究森林生态系统中的碳循环过程及其调控机理提供科学依据。

4.13.2 观测内容

湍流数据 (x 轴水平风速、y 轴水平风速、z 轴垂直风速), 二氧化碳浓度, 水汽浓度, 脉动温度。

4.13.3 观测与采样方法

4.13.3.1 观测场设置

观测场设置要求:

- a) 下垫面相对平坦, 坡度不超过 5° 。
- b) 风向相对稳定。
- c) 植被在上风向有足够的水平纵深。
- d) 研究区域面积 $\geq 1\text{hm}^2$ 。

4.13.3.2 观测仪器的结构和工作原理

4.13.3.2.1 结构

由 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 分析仪、三维超声风速仪、适配器、数据采集终端、供电模块等组成 (见图 13)。

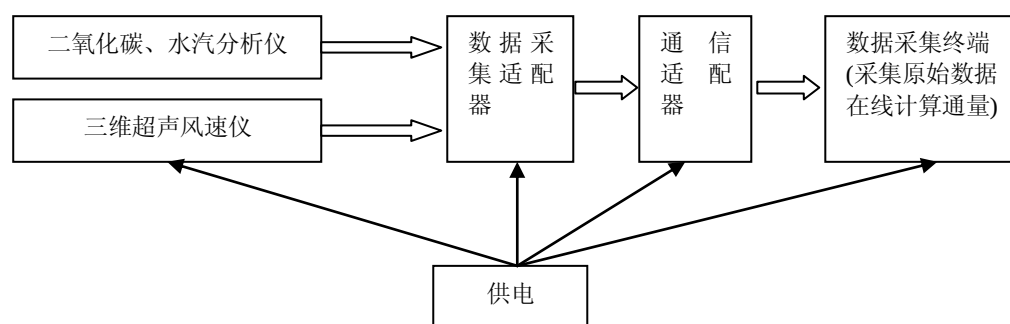


图 13 通量观测仪器结构示意图

4.13.3.2.2 工作原理

$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 分析仪采用红外吸收原理,多折射光路设计可快速响应湍流的二氧化碳和水汽变化,实时测量大气中二氧化碳、水汽浓度。

三维超声风速计采用超声原理测量 X 轴、Y 轴、Z 轴的瞬时风速。

通过计算机上运行的涡度分析软件,每秒采集 10 次湍流数据,并在线计算半小时通量或按设定的时间间隔计算二氧化碳、水汽通量值。

4.13.3.3 观测仪器的布设和安装

4.13.3.3.1 观测塔的布设和安装

利用观测场以往的气象资料分析盛行风的季节变化，确定生长季的盛行风向。观测塔要建在生物活动活跃区，位于观测场的下风侧，上风侧尽可能具有长的风浪区，距上风侧林缘距离要足够长（50m~300m）。若盛行风不明显，观测塔可建在观测场林分的中央附近。

观测塔高度一般应为 3 倍树高（最低不应小于 2 倍树高），为拉线式三角形或矩形塔，并在观测仪器安装处附近设置阶梯。

4.13.3.3.2 观测仪器布设和安装

观测仪器布设和安装要求：

- a) 涡度相关系统的传感器必须固定在近地边界层内某一高度，即通量层内。
- b) 观测高度与风浪区的比率确定为 1:100，在下垫面均一的情况下，仪器安装高度为冠层高度的 1.5 倍即可满足观测要求。
- c) CO₂/H₂O 分析仪、超声风速仪等传感器都配有专用的安装支架，安装高度依研究者目的而定。
- d) CO₂/H₂O 分析仪探头朝向主风向，固定支架，确定高度，调节超声风速仪的水平泡居中。
- e) CO₂/H₂O 分析仪探头稍倾斜，以便降雨时水滴能方便滑落，CO₂/H₂O 分析仪和超声风速仪感应面应选在同一高度，相距 20cm~30cm。
- f) 超声风速仪与 CO₂/H₂O 分析仪各自的控制部分的电缆接头均为防水插头，安装时注意电缆需留有适度余地，不要绷得太紧，以免接触不良。

4.13.3.3.3 其它辅助观测设施

在通量塔附近可建设观测小屋或观测箱，用于放置收藏工具和校正用的储气瓶等。观测塔上应安装避雷针。

电源宜用国家电网的商用电源，并配置备用电源和稳压设备。在偏远地方无商用电源时可考虑使用专用发电机或太阳能电池。

4.13.3.4 数据采集

涡度相关系统的观测频率为 10Hz。系统中配置的计算机可在线、实时采集湍流数据，内置的涡度相关分析软件可在线计算 30min 的 CO₂ 和 H₂O 通量。

4.13.4 数据处理

4.13.4.1 通量计算

在近地面层，大气湍流运动的频率直接决定着能量和物质的垂直输送通量。涡度相关法是通过直接测量温度、湿度、风速和气体浓度的脉动来确定动量、热量、水汽和微量气体的通量。根据雷诺原理，CO₂ 的垂直通量 (F_c) 可由下式表示：

$$\overline{F_c} = \overline{\omega c_c} = \overline{\omega c_c} + \overline{\omega' c_c'}$$

式中： F_c ——CO₂ 的垂直通量，mg m⁻² s⁻¹；

ω ——垂直风速，m s⁻¹；

c_c ——浓度，mg m⁻³；

$\overline{w}$ ——垂直风速平均值, m s^{-1} ;

$\overline{c_c}$ ——浓度平均值, mg m^{-3} ;

w' ——垂直风速脉动量, m s^{-1} ;

c_c' ——浓度脉动量, mg m^{-3} 。

4.13.4.2 通量数据的校正

4.13.4.2.1 坐标轴变换倾斜校正

坐标变换法包括二次旋转 DR 和三次旋转 TR, 坐标轴变换倾斜校正主要是通过选择适当的坐标轴系统, 进行坐标轴变换来实现的。该方法包括两次坐标轴旋转和三次坐标轴旋转。通常使坐标系 x 轴与平均水平风方向平行, 从而使平均侧风速度和平均垂直风速度最小化, 即为 0 (称为二次坐标轴旋转 DR), 若同时使相应的平均侧风应力也为 0, 即为三次坐标轴旋转 TR。

4.13.4.2.2 平面拟合倾斜校正

平面拟合法包括单平面拟合和组合拟合, 对于平面拟合倾斜校正, 首先需要根据三维平均风速通过最小二乘法来确定平面拟合常数 b_0 、 b_1 、 b_2 。

$$\overline{w_m} = b_0 + b_1 \overline{u_m} + b_2 \overline{v_m}$$

根据平面拟合常数 b_1 和 b_2 可以确定长期通量观测的旋转矩阵 A_{PF} , 因此使长期通量观测的垂直风速的平均值为 0, 而单个平均垂直风速的观测值则可以不为 0。

$$A_{PF} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix}$$

式中:

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= -b_1 / \sqrt{b_1^2 + b_2^2 + 1} & \cos \alpha &= \sqrt{b_2^2 + 1} / \sqrt{b_1^2 + b_2^2 + 1} \\ \sin \beta &= b_2 / \sqrt{b_2^2 + 1} & \cos \beta &= 1 / \sqrt{b_2^2 + 1} \end{aligned}$$

4.13.4.3 缺失数据的插补

4.13.4.3.1 平均日变化补值法

最大的不确定性在于所取的平均时间段的长度不同, 一般而言为 4~15d。但是通量数据常常在 3~4d 出现一个峰值, 4d 的观测值是不足以计算平均变化的。使用平均日变化插值法得到的净生态系统碳交换量与用根据特定的气象条件查表法得到的结果差异在 $-45\text{gC m}^{-2} \sim 200\text{gC m}^{-2}$ 。

4.13.4.3.2 特定气象条件下的查表法

按季节建立通量与气象因子的相关关系, 需要先确定气象因子, 然后按缺失通量数据所对应的特定温度或辐射值进行线性内插。除上述因子外, 净生态系统碳交换量还受到土壤、植物叶片季节性生长、水分有效性和站点下垫面均一性等因子的影响, 冠层 CO_2 交换光响应曲线也会受到云量的影响, 因此特定气象条件下的查表法需要考虑的因素更多。特定气象条件下的查表法得到的年 NEE 差异在 $-30\text{gC m}^{-2} \sim 150\text{gC m}^{-2}$ 。

4.13.4.3.3 非线性回归法

建立不同时间段通量与相关的影响因子之间的回归关系, 如对不同季节的白天和晚上的规律分开进行模拟, 可选择的温度响应函数与光响应曲线方程很多, 也包含了叶片、树干和土壤的综合过程。非线性回

归法得到的年 NEE 差异在 $-30\text{gC m}^{-2} \sim 150\text{gC m}^{-2}$ 。

4.13.4.4 数据输出格式与规范

4.13.4.4.1 湍流观测数据输出格式与规范

湍流观测数据是指三维超声风速仪、红外 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 分析仪采集的高频 (10Hz) 数据。湍流数据文件每站每时次一个, 文件包括表头区和数据区。表头区为说明信息, 包括变量名的说明; 数据区以逗号为分隔符。文件名为 FLUX_O_Iiii_YYYYMMDDHH.TXT

其中: FLUX —— 通量

O —— 原始观测数据 (湍流数据);

Iiii —— 观测系统的编号或区站号;

YYYY —— 年份;

MM —— 月份;

DD —— 日;

HH —— 时 (01 时~24 时);

TXT —— 固定编码, 表示此文件为 ASCII 格式。

4.13.4.4.2 通量观测数据输出格式与规范

通量观测数据是指通量观测系统的数据采集器或计算机采用协方差方法在线计算得到的通量。在线通量数据文件每 30min 一个, 文件包括表头区和数据区。表头区为说明信息, 其中一行为变量名 (列名), 一行为测量单位, 数据区以逗号为分隔符。文件名为 FLUX_S_Iiii_YYYYMMDDHH_00(30).TXT

其中: FLUX —— 通量;

S —— 计算的通量值;

Iiii —— 观测系统的编号或区站号;

YYYY —— 年份;

MM —— 月份;

DD —— 日;

HH —— 时 (01 时~24 时);

00 (30) —— 整点或 30 分钟时刻;

TXT —— 固定编码, 表示此文件为 ASCII 格式。

4.14 森林生态系统温室气体观测

4.14.1 观测目的

通过观测森林生态系统温室气体的变化, 掌握森林生态系统温室气体的排放规律, 揭示大气沉降、植被类型、凋落物分解、土壤温度和湿度、根系等因子对森林温室气体产生和消耗的过程机理, 为我国温室气体减排提供可靠依据。

4.14.2 观测内容

温室气体浓度和温室气体排放通量。

观测指标见表 24。

表 24 森林生态系统温室气体观测指标

观测指标	英文名称	分子式	检测限/ $\mu\text{mol mol}^{-1}$
二氧化碳	Carbon dioxide	CO_2	1.5
甲烷	Methane	CH_4	0.1
氧化亚氮	Nitrous oxide	N_2O	0.03
氢氟碳化物	Hydrofluorocarbons	CHF_3	0.01
		$\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$	0.01
		$\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$	0.02
全氟碳化物	Perfluorocarbons	CF_4	0.03
		C_2F_6	0.01
六氟化硫	Sulfur hexafluoride	SF_6	0.004

4.14.3 观测与采样方法

4.14.3.1 观测场设置

观测场设置要求：

- a) 研究区域的典型林分。
- b) 不应跨越道路、山脊和沟谷，同时还应考虑交通状况是否便利。
- c) 采样点四周无遮挡雨、雪、风的高大树木，并考虑风向（顺风、背风）和地形等因素。

4.14.3.2 观测仪器

光声谱仪、采样管、多点采样器、静态箱、注射器和测温仪等。

4.14.3.3 观测方法

4.14.3.3.1 温室气体浓度观测

4.14.3.3.1.1 气相色谱法

将气体捕集装置串联到采样系统中，森林生态系统环境空气中气体样本的采集及采集记录按照 HJ/T 194 执行。

采集的气体样本应及时送往实验室，应用气相色谱等相关仪器分析样本中的温室气体浓度。

4.14.3.3.1.2 光声谱法

a) 光声谱仪结构和原理

结构：由采样管、多点采样器、计算机、软件等组成。

工作原理：主机内置的采样泵从采样点将气体样本抽进后，过滤膜滤除气体样本中的粉尘，同时冲走测量系统内的残留气体，留下“新”的气体样本被密封在测量室内。穿过分光轮的红外光源变成脉动光，然后穿过滤波盘的一个滤波镜。由滤波镜送出的光会选择性地被测量室内的气体吸收，使气体温度上升。因光源是脉动的，气体温度升降导致测量室内的气压（声波信号）随之增减。测量室内的传感器测量声波信号，声波信号与气体的浓度成正比（示意图见图 14）。

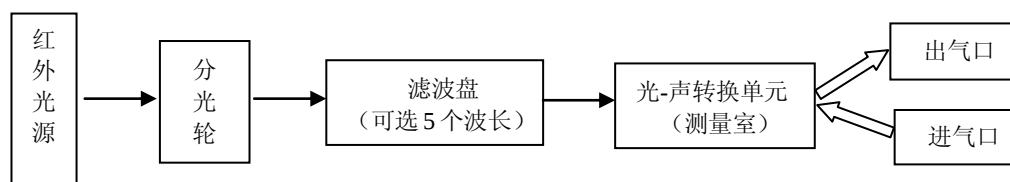


图 14 光声谱仪的工作原理示意图

b) 仪器的布设安装

仪器主机可放置在观测场的观测房内。采样进气口距离屋顶平面的高度以 1.5m~2m 为宜。仪器机房位于大型建筑内（高度超过 5m）时，采样口的位置应选择在建筑的迎风面或最顶端，采样进气口距离屋顶平面的高度应适当增加。

当四周有茂密树木时，采样进气口高度应超过冠层高度 1m 以上，至少在进气口的迎风面水平面 270° 扇区内，阻挡物到采样进气口的距离大于阻挡物高度的 10 倍。

c) 采样和数据采集

首先将采样管连接到光声谱仪的主机上，然后设定“样本平均值测量时间”（S.I.T），开始测量。测量过程会延续至观测员按停或已经设定的停止时间。

4.14.3.3.2 温室气体排放量观测（静态箱法）

4.14.3.3.2.1 仪器结构和原理

结构：由静态箱、注射器、测温仪和气相色谱仪等组成。

工作原理：土壤排放的 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等气体进入到静态箱，经过一定时间积累，收集的气体样品经气象色谱仪分析得到单位时间内土壤温室气体的排放量。

4.14.3.3.2.2 仪器的布设安装

在观测点设置两个处理，处理 1 是土壤（清除凋落物），处理 2 是土壤+凋落物，设置 4~6 个重复。

处理 1 和处理 2 配对设置，即在同一点内同时设置处理 1 和处理 2，两种处理的底座间距不超过 50cm。可设置 4~6 个配对重复，以确保箱内土壤及环境对周围林地状况的代表性。

在观测点提前埋设底座，观测前应有足够的平复扰动时间。底座要以对观测点的破坏和扰动最小为原则，把底座插入土中至密封水槽底部，在水槽内放入用木头制成的方框，用锤子均匀砸下。在整个测量季节，底座保持不移动。观测人员在采样操作中应最大限度地减少采样给土壤带来的扰动。

4.14.3.3.2.3 采样和数据采集

底座埋设大约一周，待扰动基本平复后可开始罩箱采样。

罩箱前向底座的密封水槽内注满 1/2 的水，尽量减少对箱内的扰动，不要让采样箱边缘受到磕碰损坏，也要防止密封水槽内的水溅出而影响箱内外土壤湿度。

罩箱后，用 100mL 或 60mL 带有三通阀的聚丙烯医用注射器抽取箱内气体。注意使用注射器抽取气体样品时不能用力过猛，尽量平缓地抽出箱内气体以免造成箱内气压波动。初始时和最后一次抽样完毕后，读取地下 5cm、地表、箱内、箱外气温值并做记录。

采集的样本应及时送往实验室，在 24h 内分析完毕。

静态箱法采样过程的注意事项：

——采样箱运达样地准备应用时要侧放，开口方向背向太阳。

——保持采样箱内表面洁净，采样箱和采气管线严防污染。

- 在采样箱周围采取必要的措施减少踩踏的次数和面积，采样次数要适当。
- 注射器三通阀使用要注意旋紧，放在运输箱内要防止绞在一起，以免三通阀脱落造成样品失效。
- 样品采集后要立即遮阳保存，防止样品体积涨缩和采样器械老化。

4.14.3.3.2.4 观测频率及时间

采样间隔为从前一观测日的上午9:00开始至下一日上午9:00结束，白天每隔2h采样1次，夜间每隔3h采样1次。采样频率一般定为：12月、1月、2月，每2周1次；11月、3月和4月每周1次；5~10月每周2次。观测日应选择在具有当地代表性的气象条件下进行。

4.14.4 数据处理

4.14.4.1 森林温室气体浓度

采用气相色谱法时，气体样本体积计算按照 HJ/T 194 执行。根据实验室分析结果，计算森林温室气体浓度。

采用光声谱法时，系统主机在野外直接测量及存储温室气体浓度值。连接主机和电脑后，可下载数据文件。

4.14.4.2 森林温室气体排放通量

$$F = \frac{M}{V_0} \times \frac{p}{p_0} \times \frac{T_0}{T} \times \frac{dc}{dt} \times h_0$$

式中： M ——特定的温室气体的摩尔质量， g mol^{-1} ；

P ——采样时箱内气体的实际压力，hPa；

P_0 ——理想气体标准状态下的压力，1013.25hPa；

V_0 ——温室气体在标准状态下的摩尔体积， 22.41L mol^{-1} ；

T ——采样时箱内气体的实际温度，K；

T_0 ——理想气体标准状态下的温度，273.15K；

h_0 ——正方体、长方体或圆状采样箱气室顶高度，m；

dc/dt ——箱内目标气体浓度随时间的回归曲线斜率。

测量时，箱底水深为淹水水面（或土壤表面）距底座水槽底部的垂直距离，高于水槽底部为正，低于水槽底部为负。则

$$\text{采样箱实际高度} = \text{采样箱高度} - \text{箱底水深}$$

气压值可通过气象站获取，温度值取采样开始和结束时箱内温度的平均值，气相色谱的分析结果和采样时间可得到 dc/dt 。

4.15 森林生态系统大气干湿沉降观测

4.15.1 观测目的

通过对森林生态系统大气干湿沉降的野外系统观测，揭示干湿沉降物的组分构成，探讨森林生态系统干湿沉降中物质质量的变化规律、分布特征、影响因素及对生态环境的影响。

4.15.2 观测内容

干沉降：铜、锌、硒、砷、汞、镉、铬（六价）、铅、硫化物、硫酸盐、氯化物、钙、镁、钠、钾、氮。

湿沉降：pH 值、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、总磷、总氮、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、铜、锌、硒、砷、汞、镉、铬（六价）、铅、硫化物、硫酸盐、氯化物、钙、镁、钠、钾。

4.15.3 观测与采样方法

4.15.3.1 采样点设置

林外干湿沉降采样点应布设在研究区典型林分外的空地内。采样点四周无遮挡雨、雪、风的高大树木，并考虑风向（顺风、背风）和地形等因素。

林内干湿沉降采样点应布设在研究区典型林分内。

4.15.3.2 收集器的选择

干沉降采用集尘缸或集尘罐。

湿沉降采用带盖口径 $>40\text{cm}$ 、高 20cm 的聚乙烯塑料容器。

对于距电源较近的采样点，可采用干湿沉降仪（APS-3A）作为收集器。

4.15.3.3 收集器的布设

4.15.3.3.1 林外干湿沉降收集器的布设

收集器与周围物体（例如树木、建筑物等）的距离，应不低这些物体高度的2倍。平行安置两个完全相同的收集器。

4.15.3.3.2 林内干湿沉降收集器的布设

样地中选择3株标准木，连成一个三角形。在三角形每个边的三等分点各布设一个收集器。

4.15.3.4 干沉降采样方法

4.15.3.4.1 干沉降的采集

集尘缸（罐）集器具在使用前用10%（体积分数）的盐酸浸泡24h后，用去离子水清洗干净，密封携至采样点。也可用洁净的塑料容器，容器底部装上玻璃、不锈钢等干燥光洁物作为沉降面，在林中放置1个月，采集非降水期的干性物质。

野外回收样品时，用清洁的镊子将落入缸（罐）内的树叶、昆虫等异物取出，然后用去离子水反复冲洗缸壁，将所有沉淀物和悬浊液转移至聚乙烯塑料桶中密封保存，并及时送至实验室妥善保存备用。

4.15.3.4.2 样品预处理

样品送达实验室后，将所有溶液和尘粒转入烧杯中，在电热板上蒸发，使体积浓缩到 $10\text{mL}\sim 20\text{mL}$ ，冷却后用水冲洗杯壁，并把杯壁上的尘粒擦洗干净，将溶液和尘粒全部转移到恒定质量的 100mL 瓷坩埚中，放在搪瓷盘里，在电热板上小心蒸发至干（溶液少时注意防止崩溅），然后放入烘箱在 $65^\circ\text{C}\pm 5^\circ\text{C}$ 下烘干，称量其质量，密封保存备用。

4.15.3.5 湿沉降的采样方法

4.15.3.5.1 湿沉降的采集

收集器放置在野外之前，在实验室内先将收集器用1:5的HCl浸泡7d，然后用去离子水淋洗6遍，在洁净的工作台上晾干，用洁净塑料袋包好备用。

用收集器收集大于 0.5mm 的降水后，同时根据样品的体积加入0.4%（V/V）的 CHCl_3 ，振荡混匀，

于阴凉干燥处保存；收集器用去离子水冲洗干净，再用塑料袋包好，保存前应贴上标签，并记录采样时间、地点、风向、风速、大气压降水量、降水起止时间。

取每次降水的全过程样（降水开始至结束）。若一天中有几次降水过程，可合并为一个样品测定。若遇连续几天降雨，可收集上午 08:00 至次日上午 08:00 的降水，即 24h 降水样品作为一个样品进行测定。

雨水采样方法按照GB 13580.2执行。

4.15.3.5.2 样品预处理

采集液首先用0.45μm的醋酸纤维滤膜过滤，过滤后的滤膜在40℃~45℃下烘干，差减法计算颗粒物质量。滤液转移到洁净的聚乙烯瓶中，于4℃下冷藏保存。

4.15.4 数据处理

4.15.4.1 干沉降中元素沉降通量

$$F_i = \frac{M \times C_i}{S}$$

式中： F_i ——干沉降通量， mg m^{-2} ；
 M ——干沉降量， g ；
 C_i ——干样部分样品元素质量分数， mg g^{-1} ；
 S ——采样面积， m^2 。

4.15.4.2 湿沉降中元素沉降通量

$$F = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(C_i \times 10^6 \times V_i)}{A} \right] \times 10000$$

式中： F ——湿沉降通量， kg hm^{-2} ；
 C_i ——浓度， mg L^{-1} ；
 V_i ——湿沉降体积， L ；
 A ——雨量桶横截面积， m^2 。

林内湿沉降量计算中应剔除森林生态系统冠层干沉降历史积累量，其公式如下：

林内实际湿沉降量=林内总湿沉降量-(林外干沉降量-林内干沉降量)

4.15.4.3 样品中各离子含量测定

各离子分析方法及方法来源见表25。

表25 大气干湿沉降各指标分析方法

序号	项目	分析方法	方法来源
1	pH 值	电极法	GB 13580.4
2	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	纳氏试剂比色法	GB 7479
3	总磷	钼酸氨分光光度法	GB 11893
4	总氮	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法	GB 11894

表 25 (续)

序号	项目	分析方法	方法来源
5	铜	2, 9-二甲基-1, 10-菲啰啉分光光度法	HJ 486
		二乙基二硫代氨基甲酸钠分光光度法	HJ 485
		原子吸收分光光度法(螯合萃取法)	GB 7475
6	锌	原子吸收分光光度法	GB 7475
7	硒	2, 3-二氨基萘荧光法	GB 11902
		石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 15505
8	砷	二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法	GB 7485
9	汞	冷原子吸收分光光度法	GB 7468
10	镉	原子吸收分光光度法(螯合萃取法)	GB 7475
11	铬(六价)	二苯碳酰二肼分光光度法	GB 7467
12	铅	原子吸收分光光度法(螯合萃取法)	GB 7475
13	硫化物	亚甲基蓝分光光度法	GB/T 16489
14	硫酸盐	重量法	GB 11899
		离子色谱法	HJ/T84
15	氯化物	离子色谱法	HJ/T84
16	NO ₃ ⁻ -N	酚二磺酸分光光度法	GB 7480
		紫外分光光度法	HJ/T 165
		离子色谱法	HJ/T84
17	钙、镁	原子吸收分光光度计法	GB 13580.13
18	钠、钾	原子吸收分光光度计法	GB 13580.12

4.16 森林生态系统负离子、痕量气体及气溶胶观测

4.16.1 观测目的

通过野外长期连续定位观测森林生态系统负离子、痕量气体和气溶胶浓度的动态变化,掌握其时空分布规律,为研究森林生态系统对空气负离子、痕量气体和气溶胶的调控,揭示森林生态系统对大气的净化机制提供基础依据。

4.16.2 观测内容

森林负离子: $O_2^-(H_2O)_n$ 、 $OH^-(H_2O)_n$ 、 $CO_3^{2-}(H_2O)_2$ 等负离子浓度。

森林痕量气体: CO 、 N_2O 、 SO_2 、 O_3 、 CH_4 、 NO 、 NO_x 、 NH_3 、 H_2S 。

气溶胶: 总悬浮颗粒物 (TSP)、可吸入颗粒物 PM_{10} (粒径 $<10\mu m$ 的颗粒物)、可吸入颗粒物 $PM_{2.5}$ (粒径 $<2.5\mu m$ 的颗粒物)。

4.16.3 观测与采样方法

4.16.3.1 观测点设置

观测群落内森林负离子、痕量气体和气溶胶空间变异性时，选择典型林分设置样地，水平方向上采用单对角线 3 点法或双对角线 5 点法布设观测点（如图 15），垂直方向上参照本标准 4.12 小气候要素观测梯度布设观测点。

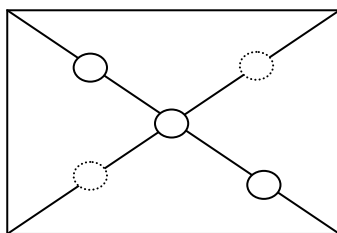


图 15 群落内森林负离子、痕量气体和气溶胶观测点布设示意图

4.16.3.2 观测仪器

负离子检测仪、量子级联激光探测器系统、大或中流量采样器、孔口流量计等。

4.16.3.3 森林负离子观测

4.16.3.3.1 负离子检测仪的结构和原理

a) 结构

由气泵、离子收集器和微电流计等组成。

b) 工作原理

通过测量空气离子携带电荷形成的电流大小以及采样空气流量，计算空气中的负离子浓度。

4.16.3.3.2 负离子检测仪的布设

在选定的观测点对空气负离子进行同步观测。

若无法实现同步观测，对所选观测点应在同一时段内测定完毕，并在该时段内对各测点进行重复观测，再分别将各观测点所得数据取其均值，作为该时段内观测点上的空气负离子值。

4.16.3.3.3 负离子的数据采集

在同一观测点相互垂直的 4 个方向，待仪器稳定后每个方向连续记录 5 个负离子浓度的波峰值，4 个方向共 20 组数据的平均值为该观测点的负离子浓度值。

观测频率为每月 1 次，每次 3d~5d，选择晴朗稳定的天气。每天观测时间从 6:00~18:00，间隔 2h 观测 1 次，每次采样持续时间不少于 10min。

在观测空气负离子时，由于要选取多个点进行观测，应该给每个观测点编号，以确定观测位置。观测记录表见表 26。

表 26 森林负离子观测记录表

样地编号:

观测地点		观测开始时间		观测结束时间	
立地条件描述					
群落特点描述					
观测仪器编号					
气象条件记录	天气状况		气温		相对湿度
	大气压		风向		风速
离子浓度(个/cm ³)	最大值	最小值	平均值	测定时长	
负离子					
正离子					

观测单位:

观测员:

4.16.3.4 痕量气体观测

4.16.3.4.1 观测仪器结构和原理

a) 结构

由气泵、量子级联激光探测器、软件等组成。

b) 工作原理

系统内置的气泵在线抽取气体样本，量子级联激光探测器识别不同痕量气体的吸收峰后求算气体浓度。

4.16.3.4.2 观测仪器的布设和安装

仪器主机可放置在观测场的观测房内。采样进气口距离屋顶平面的高度以 1.5m~2.0m 为宜。仪器机房位于大型建筑内（高度超过 5m）时，采样口的位置应选择在建筑的迎风面或最顶端，采样进气口距离屋顶平面的高度应适当增加。

系统测量环境温度应在 5℃~30℃。

4.16.3.4.3 采样和数据采集

将采样管连接主机上，开启电源，设定样本测量时间后可开始测量。

4.16.3.5 森林气溶胶观测

4.16.3.5.1 观测仪器的结构和原理

a) 结构

由大或中流量采样器、孔口流量计、滤膜、恒温恒湿箱、天平等组成。

b) 工作原理

通过有一定切割特性的采样器，以恒速抽取定量体积的空气，空气中粒径<100μm 的悬浮颗粒物，被截留在滤膜上。根据采样前、后滤膜质量之差及采气体积，计算总悬浮颗粒物的质量浓度。若被截留的悬浮颗粒物<10μm，测量的是 PM₁₀；若被截留的悬浮颗粒物<2.5μm，测量的是 PM_{2.5}。

4.16.3.5.2 观测仪器的布设和安装

按照 GB/T 15432 执行。

4.16.3.5.3 采样和数据采集

按照 GB/T 15432 执行。

4.16.4 数据处理

4.16.4.1 森林痕量气体

森林痕量气体浓度与空气质量等级间的关系按照 GB 3095 执行。

4.16.4.2 森林气溶胶

气溶胶浓度与空气质量等级间的关系按照 GB 3095 执行。

4.17 森林生态系统长期固定样地观测

4.17.1 观测目的

通过选定具有代表群落基本特征的地段作为森林生态系统长期定位观测样地，获取森林生态系统结构参数的样地观测数据，为森林生态系统水文、土壤、气候等观测提供背景资料。同时，揭示森林生态系统生物群落的动态变化规律，为深入研究森林生态系统的结构与功能、森林可持续利用的途径和方法提供数据服务。

4.17.2 观测内容

乔木层：群落中所有乔木种的胸径、树高、冠幅、郁闭度、密度等。

灌木层：灌木种的株数（丛数）、株高、基径、盖度和多度等。

草本层：草本植物的种类、数量、高度、多度和盖度等。

层间植物：藤本植物的藤高、蔓数、基径和藤冠等；附（寄）生植物的附（寄）主种名、多度等。

竹林：见附录 A 竹林生态系统长期固定样地观测。

4.17.3 观测与采样方法

4.17.3.1 观测仪器设备

4.17.3.1.1 全站仪结构

全站型电子速测仪简称全站仪，又称电子全站仪。主要由测角部分、测距部分和微处理机（CPU）三部分组成。微处理机是全站仪的核心部件，主要由寄存器系列（缓冲寄存器、数据寄存器、指令寄存器）、运算器和控制器组成。

4.17.3.1.2 全站仪工作原理

全站仪是一种集光、机、电为一体的新型测角仪器，是把测距、测角和微处理机等部分结合起来形成一体，能够自动控制测距、测角、自动计算水平距离、高差、坐标增量等的测绘仪器，同时可自动显示、记录、存储和输出数据。

4.17.3.1.3 全站仪应用

a) 水平角测量

按角度测量键，使全站仪处于角度测量模式，照准第一个目标 A。设置 A 方向的水平度盘读数为 $0^{\circ}00'00''$ 。然后照准第二个目标 B，此时显示的水平度盘读数即为两方向间的水平夹角。

b) 距离测量

设置棱镜常数：测距前需输入棱镜常数，仪器将自动对所测距离进行修正。

设置大气改正值或气温、气压值：光在大气中的传播速度会随大气温度和气压而变化， 15°C 和一个标准大气压是仪器设置的一个标准值，此时的大气改正值为 0ppm (cm^3/m^3)。实测时，输入温度和气压值，全站仪将自动计算大气改正值（直接输入大气改正值），并对所测距离进行改正。

将仪器高、棱镜高等参数输入全站仪。

距离测量：照准目标棱镜中心，按测距键，距离测量开始，测距完成时显示斜距、平距、高差。

全站仪的测距模式包括精测模式、跟踪模式、粗测模式。精测模式是最常用的测距模式，测量时间约 2.5s ，最小显示单位 1mm ；跟踪模式，常用于跟踪移动目标或放样时连续测距，测量时间约 0.3s ，最小显示单位一般为 1cm ；粗测模式，测量时间约 0.7s ，最小显示单位 1cm 或 1mm 。在距离测量时，可按测距模式（MODE）键选择不同的测距模式。

c) 坐标测量

设定测站点的三维坐标。

设定后视点的坐标（或设定后视方向的水平度盘读数）为其方位角，此时全站仪会自动计算后视方向的方位角。

设置棱镜常数。

设置大气改正值或气温、气压值。

将仪器高、棱镜高等参数输入全站仪。

照准目标棱镜，按下坐标测量键，全站仪开始测距并计算显示测点的三维坐标。

4.17.3.2 样地设置

主要包括样地选择、样地设置体系、样地设定、绘制样地数字地形图、林木定位与标识等。

4.17.3.2.1 样地选择

样地选择要求：

- a) 样地设置在所调查生物群落的典型地段。
- b) 植物种类成分的分布均匀一致。
- c) 群落结构要完整，层次分明。
- d) 样地条件（特别是地形和土壤）一致。
- e) 样地用显著的实物标记，以便明确观测范围。
- f) 样地面积不宜小于森林群落最小面积。
- g) 森林生态系统动态观测大样地面积定为 6hm^2 ，形状为长方形（ $200\text{m}\times 300\text{m}$ ）。

4.17.3.2.2 样地设置体系

采用网格（络）法区划分割，区划单位的长度有 25m 、 20m 、 10m 及 5m 。首先将 6hm^2 （ $200\text{m}\times 300\text{m}$ ）样地分成 6 个 1hm^2 样方，每个 1hm^2 样方再分成 25 个 $20\text{m}\times 20\text{m}$ 样方，每个 $20\text{m}\times 20\text{m}$ 样方继续分成 16 个 $5\text{m}\times 5\text{m}$ 样方。对，使用行列数进行编号，行号从南到北编写，列号从西到东编写，具体详见表 27。 $5\text{m}\times 5\text{m}$ 的样方以坐标系统命名为（1.1）、（1.2）、（1.3）、（1.4）等。

表27 20m×20m样方编号设置体系

编号	列号 西→东															
行号 北 ↑ 南	0010	0110	0210	0310	0410	0510	0610	0710	0810	0910	1010	1110	1210	1310	1410	1510
	0009	0109	0209	0309	0409	0509	0609	0709	0809	0909	1009	1109	1209	1309	1409	1509
	0008	0108	0208	0308	0408	0508	0608	0708	0808	0908	1008	1108	1208	1308	1408	1508
	0007	0107	0207	0307	0407	0507	0607	0707	0807	0907	1007	1107	1207	1307	1407	1507
	0006	0106	0206	0306	0406	0506	0606	0706	0806	0906	1006	1106	1206	1306	1406	1506
	0005	0105	0205	0305	0405	0505	0605	0705	0805	0905	1005	1105	1205	1305	1405	1505
	0004	0104	0204	0304	0404	0504	0604	0704	0804	0904	1004	1104	1204	1304	1404	1504
	0003	0103	0203	0303	0403	0503	0603	0703	0803	0903	1003	1103	1203	1303	1403	1503
	0002	0102	0202	0302	0402	0502	0602	0702	0802	0902	1002	1102	1202	1302	1402	1502
	0001	0101	0201	0301	0401	0501	0601	0701	0801	0901	1001	1101	1201	1301	1401	1501
	0000	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500

4.17.3.2.3 样地设置步骤

样地设置按如下步骤进行：

- 全站仪定基线（中央轴线）：从样地中央向东、西、南、北四个方向测定行、列基线，在东西、南北两个方向上各定出三条平行线（平行线距离为 20m）。
- 在基线的垂线上放样：在基线上每隔 20m 定出一个样点，在每个样点上安置全站仪，按照基线垂直方向，定出基线的垂线，并在垂线上每隔 20m 定出一个样点，将各样点连接，即可确定样地及其 20m×20m 样格。
- 将 20m×20m 样格划分为 5m×5m 的样方。
- 样地边界处理：采用距离缓冲区法，即在样地内的四周设置带状缓冲区，通常缓冲区的宽度为样地平均树高的 1/2，本标准定为不少于 5m。对缓冲区内的树木进行每木调查，但不定位。

4.17.3.2.4 林木定位与标识

对样地内胸径≥1.0cm 木本植物（乔木、灌木、木质藤本）分别定位。采用极坐标法，在 20m×20m 的样方内用罗盘仪与皮尺相结合对树木进行准确定位。

用林木标识牌对所定位的每株林木进行编号并标识。林木编号以 20m×20m 的样方为单位，对每个样方内的林木编号，编号用 8 位数字表示，其中前四位代表样方号，后四位代表样方内的林木编号。

4.17.3.3 观测方法

4.17.3.3.1 样地基本情况观测

首先观测样地的基本情况，描述内容主要包括植物群落名称、郁闭度、地貌地形、水分状况、人类活动等，见表 28。其次按图 16 样地调查顺序观测样地内森林群落。

表28 样方基本信息观测表

样地编号:观测时间:经纬度: E ____ N ____

植物群落	郁闭度	地貌地形	水分状况	土壤质地	人类活动	

观测单位:观测员:

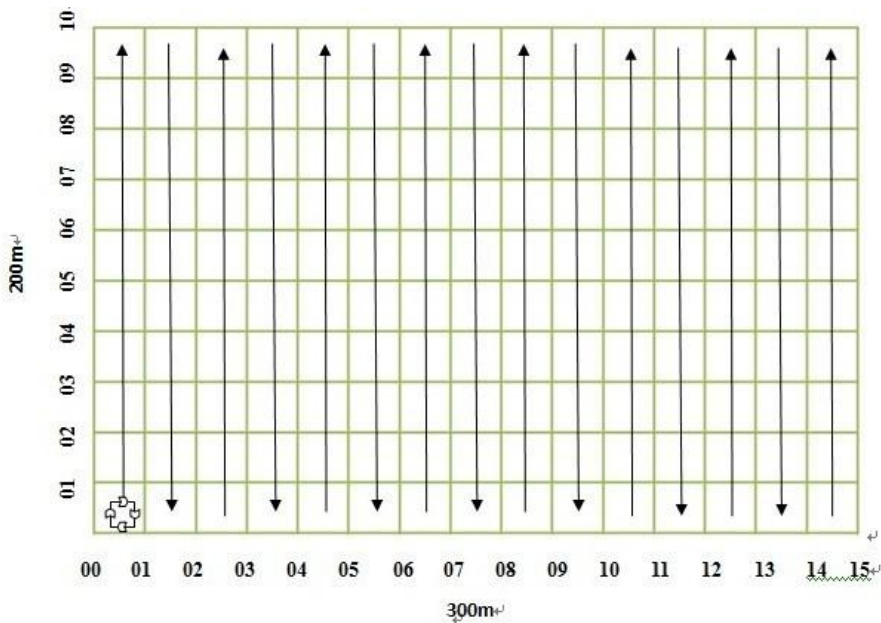


图 16 森林群落样地调查顺序图

4.17.3.3.2 乔木层观测

观测指标见表 29。

表 29 乔木层观测表

样地编号:观测时间:

样方号	树号	坐标值 (x 轴) /m	坐标值 (y 轴) /m	中文名	拉丁名	树高/m	胸径/cm	枝下高/m	冠幅/m			备注
									东西	南北	平均	

观测单位:观测员:

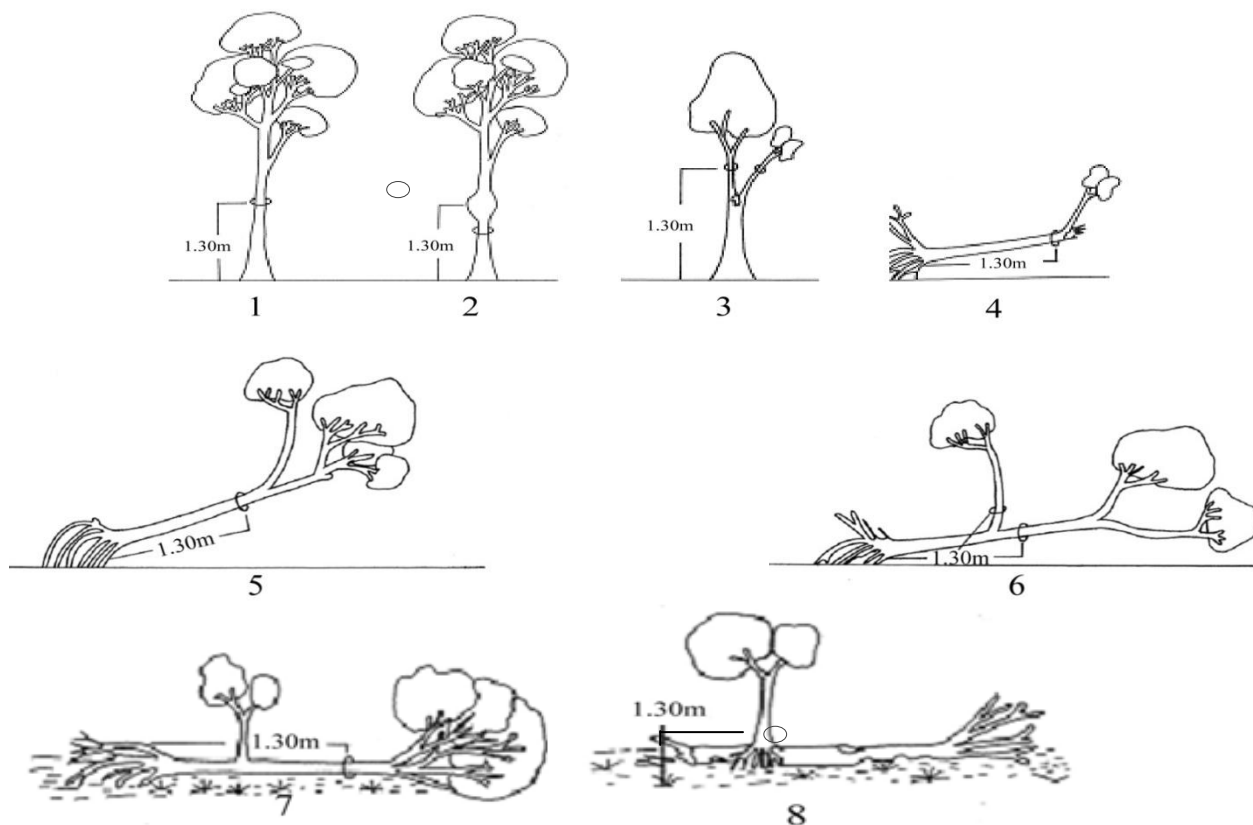
具体观测方法如下：

- a) 准确鉴定并详细记录群落中所有植物种的中文名、拉丁名。对于不能当场鉴定的，应采集带有花或果的标本，带回实验室鉴定。没有花或果的作好标记，以备在花果期进行鉴定。
- b) 每木调查，对样地内胸径≥1.0cm 的各类树种的胸径、树高等进行逐一测定，并做好记录，每测一株树要进行编号（编号规则见 4.17.3.2）。

胸径测定采用围尺测量地面向上 1.3m 处树干，当树高 1.3m 处出现不规则现象，可按图 17 示意方法确定测量位置。

在测树高时应以测量者看到树木顶端为条件，以“m”为计量单位。

冠幅的测量，以两个人一组，一个人拿着皮尺贴树干站好，另一个人拉住皮尺的另一端向东、南、西、北四个方向转一圈，测定其冠幅垂直投影的宽度。



注：图中的 2、3、6 应分别测量“○”处，取平均值。

图17 树木胸径测量标准示意图

c) 按样方观测群落郁闭度，然后按每木调查数据，计算林分平均高度、平均胸径（如计算生物量则需要测定标准木）。

d) 幼树和幼苗分别随同灌木层或草本层一起调查。

4.17.3.3.3 灌木层观测

每个 20m×20m 样方随机选取 5 个 5m×5m 的样方，进行长期观测并记录灌木种名（中文名和拉丁名），调查株数（丛数）、株高、盖度。

多度测定，采用目测估计法，用 Drude 的 7 级制划分。

密度测定，统计每一平方米样方内所测灌木的株数（丛数）。

盖度测定，采用样线法，即根据有植被的片段占样线总长度的比例来计算植被总盖度。

具体观测指标见表 30。

表 30 灌木层观测表

样地编号: _____ 观测时间: _____

样方号	中文名	拉丁名	株数/丛数	盖度/%	高度/cm	基径/cm	多度	备注

观测单位: _____ 观测员: _____

4.17.3.3.4 草本层观测

每个 20m×20m 样方内设置 5 个 1m×1m 的草本小样方, 调查并记录草本层种名(中文名和拉丁名), 调查草本植物的种类、数量、高度、多度、盖度。

具体观测指标见表 31。

表 31 草本层观测表

样地编号: _____ 观测时间: _____

样方号	中文名	拉丁名	株数/丛数	盖度/%	高度/cm	备注

观测单位: _____ 观测员: _____

4.17.3.3.5 层间植物观测

层间植物主要以藤本植物和附(寄)生植物为主。

藤本植物观测主要包括记录种名(中文名和拉丁名), 调查基径、长度、蔓数, 见表 32 和表 33。

附(寄)生植物观测主要包括记录种名(中文名和拉丁名)、多度、附(寄)主种类。

表 32 藤本植物观测表

样地编号: _____ 观测时间: _____

样方号	中文名	拉丁名	藤高/cm	蔓数	基径/cm	藤冠/m			备注
						东西	南北	平均	

观测单位: _____ 观测员: _____

表 33 附(寄)生植物观测表

样地编号: _____ 观测时间: _____

样方号	中文名	拉丁名	附(寄)主种名	多度	备注

观测单位: _____ 观测员: _____

4.17.3.4 观测频率

一般为 5a 观测一次。

4.17.4 数据处理

4.17.4.1 读取数据

将全站仪与电脑连接，选择“读取全站仪数据”，选择“CASS 坐标文件”，输入文件名，点击“转换”，将全站仪里的数据转换成标准的 CASS 坐标数据。

4.17.4.2 绘制平面图

按下列程序进行：

- a) 根据输入坐标数据文件的数据大小定义屏幕显示区域的大小，以保证所有点可见。
- b) 在“绘图处理”菜单选择“定显示区”，输入文件数据文件名及其相应路径，打开后系统自动找到最小和最大坐标并显示在命令区，以确定屏幕上的显示范围。
- c) 选择“测点点号法”成图，在右侧菜单“定位方式”中选取“测点点号”，输入坐标和坐标数据文件名，打开后系统将所有数据读入内存。
- d) 展点，在“绘图处理”菜单选择“展野外测点点号”项，输入坐标数据文件名，打开后所有点以注记点号形式展现在屏幕上。
- e) 绘平面图，根据草图通过人机交互绘制、编辑，删除点名。

4.17.4.3 绘制等高线

按下列程序进行：

- a) 在“绘图处理”菜单选择“展高程点”项，输入数据文件名，确认。
- b) 在“等高线”菜单中选择“建立并显示 DTM”项，根据提示输入、确认完成数字高程模型的建立。
- c) 用鼠标选择“等高线”菜单下的“绘等高线”项，根据系统命令行窗口提示进行操作，完成等高线的绘制。
- d) 选择“等高”菜单下的“删三角网”项，删除三角网。
- e) 把绘制好的样地数字地形图根据使用要求输出。

4.18 森林生态系统物候观测

4.18.1 观测目的

通过森林生态系统物候现象的长期观测，探索植物生长发育的节律及其对周围环境的依赖关系，进而了解气候变化对植物生长周期的影响。根据长期观察资料进行物候历的编制，为森林生态系统的生产和经营提供科学依据。

4.18.2 观测内容

乔木和灌木：树液流动开始日期、芽膨大开始日期、芽开放期、展叶期、花蕾或花序出现期、开花期、果实或种子成熟期、果实或种子脱落期、新梢生长期、叶变色期、落叶期等物候期。

草本植物：萌芽期/返青期（萌动期）、展叶期、分蘖期、拔节期、抽穗期、现蕾期、开花期、结荚期、二次或多次开花期、成熟期、种子散布期、黄枯期等物候期。

气象现象：初终霜、初终雪、严寒开始、水面（池塘、湖泊、河流）结冰、土壤表面冻结、河上厚冰出现、河流封冻、土壤表面解冻、（池塘、湖泊、河流）春季解冻、河流春季流水、雷声、闪电、虹以及

植物遭受自然灾害等现象。

4.18.3 观测与采样方法

4.18.3.1 观测点选择

观测点按下列要求选择：

- a) 观测点应选择在地形、土壤、植被具有代表性的地段。
- b) 观测点应选择在地势平坦、开阔的地方。
- c) 观测点应稳定，可以长期连续观测，不轻易移动。
- d) 观测点选定后，应将地点名称、生态环境、海拔、地形、位置和土壤等详细记载，作为档案长期保存。

4.18.3.2 观测对象选定

4.18.3.2.1 植物物候观测对象应是森林中优势的、分布广的、指示性强的以及对季节反应明显的植物。

4.18.3.2.2 乔木和灌木植物的物候观测，所选样树应是发育正常、无病虫害、生长健壮、达到开花结实3a以上的中龄树，每种宜选3~5株；如条件所限，也可选择1株作为观测对象。样树选定后，挂牌编号作长期观测。

4.18.3.2.3 草本植物的物候观测，在一定地点确定3~5个1m×1m小样方，做好标记，然后进行物候观测。

4.18.3.3 观测部位的确定

个体树木的观测部位可以采用东、南、西、北四个方位分别进行观测和记录。

用于全年物候观测的冠层部位必须一致，且长期保持不变。

观测时，应尽量靠近植株，对于高大乔木或视野不开阔可借助望远镜进行观测。

观测发芽时需注意观察树木的顶部，无条件时可观测树冠外围的中下部。

4.18.3.4 观测方法

植被物候期的观测方法为野外定点目视观测法。

4.18.3.4.1 乔木和灌木物候期的观测

a) 树液流动开始日期

在冬天即将结束，白天阴处的温度升高到0℃时，在树干的向南方向表皮上用刀划开小缝（或钻个小孔）时有树液流出的日期，就是树液流动的开始日期。在生长季末期用同样的方法来确定树液流动终止日期。

注意事项：

——树液流动观测之后，宜用油灰之类的东西将树皮缝隙补塞，以免发生病虫害。

b) 芽膨大开始日期

具有鳞片的乔木和灌木的芽开始分开，侧面显露淡绿色的线形或角形，即为芽膨大开始日期。

果树和浆果树可从芽鳞片的间隙里看到芽的浅色部分，即为芽膨大开始日期。

针叶类，如松属植物顶芽鳞片开裂反卷时，出现淡黄褐色的线缝，即为芽膨大开始日期。

裸芽不记芽膨大期。

对于芽较大的树木，可在被观测的树芽上涂上小墨点，随芽的生长小墨点会移动，露出开始分开的绿

色鳞片，便于被察觉；对于芽小或绒毛状鳞芽的树木，建议用放大镜或望远镜观察；绒毛状芽的膨大可根据它顶端出现比较透明的银色毛茸辨认。

注意事项：

——花芽或叶芽的膨大宜分别记录其膨大日期，如果花芽先膨大即先记花芽膨大日期，后记录叶芽膨大日期，反之亦然；芽膨大期的变化比较缓慢，不太明显，若记载不及时，可有半月左右的误差。

c) 芽开放期

芽的鳞片裂开，芽的顶端出现新鲜颜色的尖端；或是明显看见了绿色叶芽；或是带有锈毛的冬芽出现黄棕色的线缝，即为芽开放期。

有些植物芽的开放，也就是花蕾的出现。

如果芽膨大与芽开放不易分辨，可只记“芽开放期”。

d) 展叶期

针叶树出现幼针叶的日期，阔叶树第一批（10%）新叶开始伸展的日期，即为展叶始期。

针叶树当新针叶的长度达到老针叶长度的一半时，阔叶树植株上有一半枝条的小叶完全展开时，即为展叶盛期。

e) 花蕾或花序出现期

叶腋或花芽中，开始出现花蕾或花序的日期。

f) 开花期

当树上开始出现完全开放的花时是开花始期；对于风媒传粉的树，当摇动树枝而散出花粉时，为开花始期。

当树上有一半枝条上的花展开花瓣或花序散出花粉，或半数以上柔荑花序松散下垂时，为开花盛期。

当树上大部分的花脱落，残留部分不足开花盛期的10%，或柔荑花序停止散出花粉，或柔荑花序大部分脱落时，为开花末期。

有时树木在夏季或秋季有第二次开花或多次开花现象，也应分别予以记录。记录项目包括：① 二次或多次开花日期；② 二次开花时个别树还是多数树；③ 二次开花和没有二次开花的树在地势上有什么不同；④ 二次开花的树有没有损害，开花后有无结果，结果多少和成熟度等；⑤ 如两次开花树木为不选定的观测树种，也应在备注栏注明树种名称，二次开花期及上述各项。

g) 果实或种子成熟期

树上有一半以上数目的果实或种子变为成熟的颜色时，即为果实或种子成熟期。有些树木的果实或种子翌年成熟时也应记录。

球果类：松属和落叶松属种子的成熟，是球果变成黄褐色；侧柏的果实成熟时变黄绿色；桧柏的果实成熟时变黄绿色，且表面出现白粉；水杉的果实成熟时出现黄褐色。

蒴果类：果实成熟时出现黄绿色，少数尖端开裂，露出白絮，如杨属、柳属。

坚果类：如麻栎属的种子成熟时果实的外壳变硬，并出现褐色。

核果、浆果、仁果类：核果、浆果成熟时果实变软，并呈现该品种的标准颜色；仁果成熟时呈现该品种的特有颜色和口味。

翅果类：如榆属和白蜡属的种子，成熟时翅果绿色消失，变为黄色或黄褐色。

荚果类：刺槐和紫藤等的种子，成熟时荚果变褐色。

柑果类：如常绿果树（甜橙、红橘、枇杷）呈现可采摘果实时的颜色即为成熟。

h) 果实或种子脱落期

不同树种的果实及种子脱落形式各异。松属为种子散布，柏属为果实脱落，杨属和柳属为飞絮，榆属和麻栎属为果实或种子脱落等，观测记录果实和种子的开始脱落期和脱落末期。如果果实或种子当年绝大多数不脱落，应记为“宿存”，第二年再记脱落的日期。

i) 新梢生长期

新梢按其发生的时期可分为春梢、夏梢、秋梢三种。根据气象学对四季的划分，可视新梢发生在哪个月内分别记为春梢（3月、4月、5月）、夏梢（6月、7月、8月）、秋梢（9月、10月、11月）。

除春梢开始生长期不记，只记停止生长期外，其余分别记录开始生长期和停止生长期。

j) 叶变色期

当被观测的树木有10%的叶颜色变为秋季叶时，为叶变色始期。

所有的叶子全部变色为完全变色期。

注意事项：

——叶变色是指正常的季节性变化，树上出现变色叶的颜色不再消失，并且新变色的叶日渐增多。不应把夏天因为干旱、炎热或其他原因引起的叶变色混同起来，要注意辨别。

k) 落叶期

当观测的树木在秋天开始落叶，为落叶始期。

树上的叶子50%左右脱落为落叶盛期。

树上的叶子几乎全部脱落时，为落叶末期。

注意事项：

——正常落叶开始的象征是：当轻轻地摇动树枝，就落下3~5片叶子，或者在没有风的时候，叶子一片片地落下来，但不可以和因夏季干燥、炎热或其他非自然因素胁迫如昆虫、病原体引起的落叶混淆起来；如果气温降到0℃或0℃以下时，叶子还未脱落，应该记录；树叶在夏季发黄散落下来，也应该记录。

4.18.3.4.2 草本植物物候观测

a) 萌动期

草本植物有地面芽越冬和地下芽越冬两种情况，当地面芽变绿色或地下芽出土时，为萌芽期。植物的幼苗移栽或越冬后，由黄色变为绿色，并恢复正常，为返青期。

b) 展叶期

有10%植株上开始展开小叶时为开始展叶期。

达到50%的植株叶子展开时为展叶盛期。

c) 分蘖期

禾本科植物主茎基部（根颈处）开始萌出新的分枝时为分蘖期。

10%的植株出现分蘖为分蘖初期。

50%的植株出现分蘖为分蘖盛期。

d) 拔节期

禾本科植物基部第一节间开始伸长的时期为拔节期。

10%的植株出现拔节为拔节初期。

50%的植株出现拔节为拔节盛期。

e) 抽穗期

禾本科植物生殖枝出现的时期为抽穗期。

10%的植株出现抽穗为抽穗初期。

50%的植株出现抽穗为抽穗盛期。

f) 花序或花蕾出现期

花序或花蕾开始出现的日期。

g) 开花期

当10%的植株上初次有个别花的花瓣完全展开时，为开花始期。

有50%花的花瓣完全展开，为开花盛期。

花瓣快要完全凋谢，为开花末期。

h) 结荚期

结荚植物开花后荚果形成的时期。

i) 果实或种子成熟期

当植株上的果实或种子开始呈现成熟初期的颜色，即为成熟始期。

有一半以上果实或种子成熟，即为完全成熟期。

j) 果实脱落或种子散落期

果实或种子有10%变色为成熟开始期。

50%的果实或种子变色为全熟期。

k) 种子散布期

种子开始散布的日期。

l) 二次或多次开花期

某些草本植物在春季或夏季开花后秋季偶尔又开花，为二次或多次开花期。

m) 黄枯期

以下部基生叶为准，下部基生叶有10%黄枯时为开始黄枯期；达到50%黄枯时为普通黄枯期；完全黄枯时为全部黄枯期。

4.18.3.4.3 气象现象观测

a) 霜

春季最后一次霜出现的日期为终霜。

秋末冬初第一次霜出现的日期为初霜。

b) 雪

春季最后一次雪出现的日期为终雪。

冬季第一次雪出现的日期为初雪。

在平坦的地面上，积雪开始融化显露地面的日期及完全融化全部露出地面的日期为积雪融化。

在地面上初次见到积雪的日期为初次积雪。

c) 雷声

春季初次闻雷声日期，秋季或冬季最后闻雷声的日期（每次闻雷声均应记录）。

d) 闪电

一年中初次见闪电的日期，一年中最后见闪电的日期（每次见闪电均应记录）。

e) 虹

一年中初次见虹的日期，一年中最后见虹的日期（每次见虹均应记录）。

f) 严寒开始

阴暗处水面开始结冰的日期（可按观测场蒸发皿开始结冰日期代替）。

g) 土壤表面解冻和冻结

春季土壤表面开始解冻的日期。

冬季土壤表面开始冻结的日期。

h) 池塘、湖泊水面解冻和冻结

春季开始解冻和完全解冻日期。

冬季开始冻结和水面完全冻结日期。

i) 河流解冻和结冰

春季河流开始解冻日期，开始流冰日期，完全解冻日期，流冰终止日期。

冬季河流开始结冰和完全封冰日期。

4.18.3.4.4 观测注意事项

观测注意事项如下：

- a) 物候观测应随记随看，观测要仔细，同时可用望远镜、放大镜、照相机等辅助工具，记录各个时期物候的变化。
- b) 对于一些物候期有明显的跨年现象，把跨年的部分也计算在一年内，这样可以保证物候期的完整性。
- c) 对于一年多个物候期，则需分别计算各段物候期持续时间，然后累加计算全年物候期长度。
- d) 禁止从用于物候观测的树木个体中采集枝叶或其他人为伤害。用于树液流动观测的树木不用于其他物候参数的观测。
- e) 物候观测需有固定人员或专人负责，不宜轮流值班观测。但平时需训练补充观测人员，以便在必要时替代，不使记录中断。
- f) 做好观测记录。观测记录表见表34、表35、表36、表37。

表 34 植物地理环境观测表

样地编号：观测时间：经纬度： E ____ N ____

中文名	学名	生长地点	海拔/m	植物年龄或植物年代	地形	土壤	同生植物	备注

观测单位：观测员：

表 35 乔灌木物候观测表

样地编号：_____经纬度：E _____N _____

植物名称	日期	发育期																		全部生长期日数			
		萌动期			展叶期		花蕾或花序出现期	开花期				第二次开花期	果实或种子成熟期	果实或种子脱落期			叶变色期				落叶期		
		芽膨大期	芽开放期	间隔日数	开始展叶期	展叶盛期		开花始期	开花盛期	开花末期	开花始末间隔日数			脱落始期	脱落末期	间隔日数	变色始期	完全变色期	间隔日数		落叶始期	落叶末期	间隔日数

观测单位：_____观测员：_____

表 36 草本物候观测表

样地编号: 经纬度: E ____N____

植物名称	日期	发育期																全部 生长期 日数	
		萌动期			展叶期			开花期				果实或种子 成熟期			果实脱落或种子 散落期	黄枯期			
		地下芽出土期	地上芽变绿色期	间隔日数	开始展叶期	展叶盛期	间隔日数	开花始期	开花盛期	开花末期	开花始末间隔日数	成熟始期	完全成熟期	间隔日数		黄枯始期	黄枯普遍期	黄枯末期	间隔日数

观测单位: 观测员:

表 37 气象物候观测表

样地编号: 经纬度: E ____N____

观测项目	霜		雪				雷声	闪电	虹	严寒开始	土壤表面解冻和冻结	池塘、湖泊水面解冻和冻结		河流解冻和结冰							
												春季		冬季		春季				冬季	
	终霜	初霜	终雪	初雪	积雪融化	初次积雪						开始解冻	完全解冻	开始冻结	完全冻结	开始解冻	开始流冰	完全解冻	流冰终止	开始结冰	完全封冰
日期																					

观测单位: 观测员:

4.18.3.5 观测时间及频率

观测时间宜随季节和观测对象而灵活掌握；一般最好的观测时间在下午；但对于有些在早晨开花，下午就隐花不见的植物，则需在上午观测。

在观测期间，宜每天观测，如人力不足，可以隔一天观测一次，或根据选定的观测项目酌量减少观测次数，但又不失时机为前提。

气象现象应随时记载。冻结观测宜于早晨或上午进行，解冻观测宜于中午或下午进行。

4.18.4 数据处理

4.18.4.1 物候历编制

将观测资料分类抄写，制成统计表；绘制多年变化曲线；编制成物候历。

4.18.4.2 物候格局计算

物候格局计算方法如下：

- a) 把物候期数据由日期型转化为数值型，转化方法是1月1日为第1天、1月2日为第2天……然后依次

往后推，直到12月31日为第365天。

- b) 把每个编号植物多年物候期进行平均。
- c) 把多年的平均物候期再转换成日期型数据，得到多年物候期平均月。
- d) 把每个月出现某个物候相的植物编号数进行统计，除以出现这个物候相的总植物编号数。
- e) 依次计算出萌芽、落叶、现蕾、开花、幼果、果熟的起始期和结束期等物候时间格局。

4.19 森林生态系统植被层碳储量观测

4.19.1 观测目的

野外实测森林生态系统总生物量与净初级生产力，探索森林生态系统碳密度空间分布特征；研究森林生态系统碳储量及年净固碳量的动态变化规律，为森林生态系统碳汇功能以及森林生态系统碳储量和碳循环研究提供基础数据。

4.19.2 观测内容

乔木层生物量、灌木层生物量、草本层生物量、层间植物生物量、凋落物量、植被净初级生产力(NPP)、森林植被碳储量、森林植被年净固碳量。

4.19.3 观测与采样方法

4.19.3.1 样地设置

按照LY/T 1626执行。

4.19.3.2 观测方法

4.19.3.2.1 乔木层生物量

a) 采样工具

测绳、测高器、测杆、卷尺、测树围尺、枝剪、木锯、1.3m高的标杆、标签、麻袋、布袋、镐头、台秤、记号笔等。

b) 每木调查

在所样地内，进行每木调查，测定胸径和树高。

c) 平均标准木或径级标准木的选定和伐树

在整理好每木调查的结果后，选择胸径在平均值附近的几株立木作为平均标准木，或根据不同胸径立木所占比例来划分不同的径级和确定不同径级的立木株数，分别选择径级标准木。在选标准木时，选择没有发生干折、基部没有分叉的正常树木，要防止选用林缘树木，避免造成叶量、枝量的偏大。

选出3株标准木伐倒，进行树干解析，测定各部分的质量及其他项目。标准木伐倒前，应先确定根径位置和实测胸径，并在树干上标明胸径的位置和南北方向。

d) 乔木各部分生物量的测定方法

1) 树干生物量

树木测量：解析木伐倒后，测定胸径、枝下高、树高和树高的1/4、1/2、3/4处的直径，并打去枝桠，用粉笔在树干上标出南、北方向，并填写伐倒木记录表38。

树干分段：树高(H) < 15.0m者，在树干1.3m处分段，以后按1.0m长度分段，直到树梢不足1.0m；树高(H) > 15.0m者，在树干1.3m处分段，以后按2.0m长度分段，直到树梢不足2.0m。

截取圆盘：在地径处和树高1.3m处截取3.0cm~5.0cm厚的圆盘，分别记为0号盘和1号盘，各段采用中央断面区分求积法，在每个区分段的中点位置截取3.0cm~5.0cm厚的圆盘，依次记录圆盘号。截取

圆盘应尽量与干轴垂直，不可偏斜。

测定数据：测定每个圆盘的带皮鲜重和去皮鲜重，并装袋带回实验室，在 70~80℃烘干至恒重后称重，计算样品的含水率，并将整个树干鲜重转换成干重。对不能用秤来称量的大树树干的质量，则可测出每区分段两头截断面积和长度，用两个断面积的平均值乘以长度，计算出体积，再换算成质量，进而测算出树干生物量。

表 38 伐倒木树干记录表

样方号		调查日期	
树号		枝下高/m	
树高 (h)		胸径/cm	
1/4h		直径/cm	
1/2h		直径/cm	
3/4h		直径/cm	
备注			
调查人员		记录人员	
断面高	断面质量/kg		
1.3m			
.....			
.....			
.....			

2) 枝叶生物量

枝叶采用分层、分级调查。从第一活枝起，将树冠等分三层，然后在各层内以枝基径<1.0cm、1.0cm~2.0cm、2.0cm~4.0cm、>4.0cm 为标准进行分级，统计各层、各等级枝数，每级选取 3 个标准枝称取带叶枝总鲜重（对于基径大于 10.0cm 的树枝按乔木树干生物量测定方法测定），然后分层、分级称取带叶枝总鲜重，随后摘净叶，再称总去叶鲜重，算出总叶鲜重和总枝鲜重。同时分层、分级各称取一定量的枝、叶样品一份（样品质量以足够每项测定项目三个重复为标准），装入自封袋做好标记，带回实验室，在 70~80℃烘箱内烘干至恒重，测定含水率并算出干物质生物量。

3) 根系生物量

分不同方向（树干基部的坡上、坡下、左、右）、层次（0~20cm、20cm~40cm、40cm~60cm、60cm~80cm、80cm~100cm 等层次，直至无根系分布）挖取树木根系，用水冲洗，风干后分根系直径 D<1.0cm、1.0cm~2.0cm、2.0cm~5.0cm、5.0cm~10.0cm、>10.0cm 五类，分层分类称重。随机抽取 1kg 样品，装入自封袋做好标记，带回实验室烘干，得出干物质生物量。

4.19.3.2.2 灌木层生物量

a) 样地设置

在样地内设置 5 个 2m×2m 的灌木样方。

b) 采样工具

测绳、枝剪、小锯、铁锹、塑料袋、布袋、天平、记号笔等。

c) 生物量测定

参见本标准附录 A。

4.19.3.2.3 草本层生物量

a) 样地设置

在样地内设置 5 个 1m×1m 的小样方。

b) 采样工具

样方框、枝剪、铁锹、塑料袋、布袋、天平、记录表、记号笔等。

c) 生物量测定

记录每一种草本植物样地的物种名和数量，观察判断样地内每一草本植物物种所覆盖面积的百分率。选择生物量生长高峰期月份进行采伐，按照植物物种，收割每一样地的草本植物，并称取其质量。取混合样 1kg 带回烘干，计算草本植物干重，进而测算草本植物生物量。

4.19.3.2.4 层间植物生物量

层间植物主要以藤蔓和附生植物为主。

调查样方中出现的藤蔓、附生植物的种类和数量。

测定所有个体的胸径，可与乔木、灌木样方的调查同时进行。

生物量的观测可根据层间植物种类特点，分别参照乔木、灌木或草本层生物量的观测方法进行。

4.19.3.2.5 凋落物量

调查方法参见本标准 4.20。

4.19.3.2.6 植被净初级生产力（NPP）

根据植被生物量的动态数据，可用增重累积法对植被净初级生产力（NPP）进行测算。

4.19.4 数据处理

4.19.4.1 标准木生物量

$$W_i = W_R + W_S + W_B + W_L$$

式中： W_i ——标准木生物量，kg；

W_R ——根系生物量，kg；

W_S ——树干生物量，kg；

W_B ——树枝生物量，kg；

W_L ——树叶和花、果的生物量，kg。

4.19.4.2 单位面积乔木生物量

$$W = \frac{G}{\sum_{i=1}^n g_i} \sum_{i=1}^n W_i$$

式中： W ——单位面积乔木生物量，kg；

G ——胸高总断面积， m^2 ；

g_i ——标准木胸高断面积， m^2 ；

W_i ——标准木生物量，kg。

4.19.4.3 净初级生产力 (NPP)

$$NPP = \frac{W_a - W_{a-n}}{n}$$

式中: NPP ——植被年净初级生产力, $\text{kg hm}^{-2} \text{a}^{-1}$;

W_a ——第 a 年测定的生物量, kg hm^{-2} ;

W_{a-n} ——第 $a-n$ 年测定的生物量, kg hm^{-2} ;

n ——间隔年数, a 。

4.19.4.4 植被层碳储量

a) 乔木层碳储量

根据乔木层各树种实测生物量和各树种含碳率相乘累加求得, 其中某一树种单位面积碳储量的计算公式如下:

$$Q_D = B_s \times S_{soc} + B_b \times B_{soc} + B_l \times L_{soc} + B_r \times R_{soc}$$

式中: Q_D ——某一树种单位面积碳储量, kg hm^{-2} ;

B_s 、 B_b 、 B_l 、 B_r ——干、枝、叶、根的生物量, kg hm^{-2} ;

S_{soc} 、 B_{soc} 、 L_{soc} 、 R_{soc} ——干、枝、叶、根的含碳率, %。

b) 灌木层碳储量

根据灌木层各灌木实测生物量和含碳率相乘累加求得, 其中某一灌木单位面积碳储量的计算公式如下:

$$Q_D = BS$$

式中: Q_D ——某一种灌木单位面积碳储量, kg hm^{-2} ;

B ——某一种灌木单位面积生物量, kg hm^{-2} ;

S ——某一种灌木含碳率, %。

c) 草本层碳储量

根据草本层各草本实测生物量和含碳率相乘累加求得, 其中某一草本单位面积碳储量的计算公式如下:

$$Q_D = BS$$

式中: Q_D ——某一种草本单位面积碳储量, kg m^{-2} ;

B ——某一种草本单位面积生物量, kg m^{-2} ;

S ——某一种草本含碳率, %。

d) 凋落物层碳储量

$$Q_D = BS$$

式中: Q_D ——单位面积凋落物碳储量, kg m^{-2} ;

B ——单位面积凋落物生物量, kg ;

S ——凋落物含碳率, %。

e) 层间植物碳储量

根据层间植物种类特点, 可分别参照乔木、灌木、草本层碳储量测算方法计算。

4.19.4.5 植被年净固碳量

$$Q_D = 1.63 \times NPP \times 27.27\%$$

式中： Q_D ——植被年净固碳量， $\text{kg m}^{-2} \text{a}^{-1}$ ；

NPP ——植被净生产力， $\text{kg m}^{-2} \text{a}^{-1}$ ；

1.63——植被积累 1g 干物质，可以固定 1.63gCO_2 ；

27.27%—— CO_2 中碳含量。

4.20 森林生态系统凋落物与粗木质残体观测

4.20.1 观测目的

通过对森林生态系统凋落物、粗木质残体的长期观测，获取年凋落物量、粗木质残体贮量和凋落物分解速率的准确数据，掌握凋落物和粗木质残体分解规律，探讨凋落物和粗木质残体种类、数量和贮量上的消长与森林生态系统物质循环及养分平衡的相互关系，为研究森林土壤有机质的形成和养分释放速率、测算森林生态系统的生物量 and 生产力奠定基础。

4.20.2 观测内容

年凋落物量及其组分含量、凋落物分解速率、粗木质残体贮量。

4.20.3 观测与采样方法

4.20.3.1 样地设置

在代表性区域的典型林分内设置观测样地；样地要求生境条件、植物群落种类组成、群落结构、利用方式和强度等具有相对一致性；垂直带谱上样地应设置在每带的中部，且坡度、坡向和坡位应相对一致；样地不应设置在过渡性地带。

样地规格按照 LY/T 1626 执行。

4.20.3.2 采样方法

4.20.3.2.1 采样点设置

在每个样地内坡面上部、中部、下部与等高线平行各设置一条样线。环境异质性较小的林分，每条样线上等距设 3 个采样点；环境异质性较大的林分，在每条样线上设置 5 个采样点。

4.20.3.2.2 采样

a) 凋落物采样

凋落物采用直接收集法收集。用孔径为 1.0mm 的尼龙网做成 $1\text{m} \times 1\text{m} \times 0.25\text{m}$ 的收集器，网底离地面 0.5m，置于每个采样点。采样时间以秋季落叶时间为准。将收集的凋落物按叶片、枝条、繁殖器官（果、花、花序轴、胚轴等）、树皮、杂物（小动物残体、虫鸟粪和一些不明细小杂物等）5 种组分分别采样，带回实验室。

b) 现存凋落物（林地枯落物）采样

在样地内划定 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 小样方，将小样方内所有现存凋落物按未分解层、半分解层和分解层分别收集，装入尼龙袋中，带回实验室。

森林生态系统现存凋落物未分解层、半分解层和分解层的分层见表 39。

表 39 森林生态系统现存凋落物分层

层次	特征
未分解层	即凋落层，凋落物如叶、枝皮、繁殖器官等的颜色和形态基本保持刚落地时的状态，外表看不出被分解的迹象。
半分解层	即发酵分解层，在上一层次已被分解，其叶形不十分完整，叶肉组织变色并开始腐烂，但有可辨认的叶脉相连，颜色多为灰褐至灰黑色，质地变软。在夏秋季里，该层具大量白色菌丝、菌丝膜和多种形态的菌素及菌丝束，肉眼可辨。
全分解层	即腐殖质层，凋落物被完全分解成细碎状态，近似于土壤，但较土壤轻、松软，具有一定的弹性。

c) 粗木质残体采样

通常采用线截抽样法（Line Intersect Sampling）。在采样点用皮尺设置一个边长 10m 的正三角形，只将与三条边相截的所有粗木质残体作为调查对象。将粗木质残体根据尺寸大小和其状态进行分类（图 18），并按表 40 的分类标准确定其腐解等级。分类测量与三条边相截的粗木质残体长度及其与线条相截处的直径，并分别采样，称其湿重后记录，带回实验室。

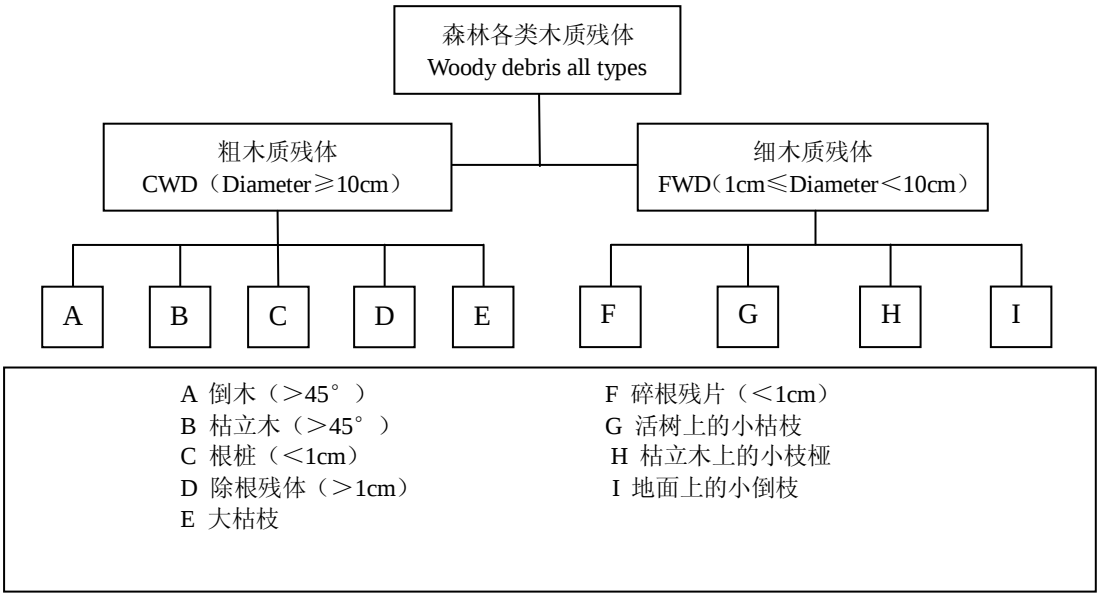


图18 根据尺寸大小和其状态对木质残体的分类

4.20.3.3 样品分析

4.20.3.3.1 年凋落物量的测定

将带回实验室的样品，70℃～80℃烘干至恒重，按组分分别称重，测算林地单位面积凋落物干重。

4.20.3.3.2 凋落物现存量的测定

将带回实验室的样品，70℃～80℃烘干至恒重，称重，测算林地单位面积现存凋落物干重。

表 4.20.2 森林生态系统粗木质残体腐解等级分类标准

类型	特征	腐解等级				
		1	2	3	4	5
枯立木	树叶	存在	无	无	无	-
	树皮	紧密	疏松	部分存在	无	-
	树冠, 树枝	都存在	仅大枝存在	仅大枝存在	无	成为倒木
	树身	新近死亡	站立, 坚固	站立, 腐烂	严重腐烂, 松散	
	间接手段	形成层新鲜, 死亡不足一年	开始腐解, 刀片可刺进数毫米	刀片可刺进 2cm	刀片可刺进 2cm~5cm	可以任意刺穿形成层
倒木	结构完整性	完好	边材腐烂, 心材完好	边材消失心材完好	心材已腐烂	变软
	树叶	存在	无	无	无	无
	树枝	小枝全存在	大枝存在	大粗枝存在	枝脱落节存在	无
	树皮	存在	存在	大部分存在	大部分脱落	无
	主干形状	圆形	圆形	圆形	圆形至卵形	卵形至扁形
	木质	坚实	坚实	半坚实	部分变软	粉碎至粉末
	木质颜色	原色	原色	原色至褪色	原色至褪色	严重褪色
	与地面位置	被某点抬高	被某点抬高	接近地面	整体落在地面	整体在地面
	被根入侵	无	无	边材区域	入侵全部	入侵全部
	植物生长	无	少量植物生长	少量灌木, 幼苗, 苔藓	灌木, 苔藓和大树	-
	间接手段	形成层新鲜, 死亡不足 1 年	开始腐解, 刀片可刺进数毫米	刀片可刺进 2cm	刀片可刺进 2cm~5cm	刀片可以任意刺穿形成层
根桩	间接手段	形成层新鲜, 死亡不足 1 年	开始腐解, 刀片可刺进数毫米	刀片可刺进 2cm	刀片可刺进 2cm~5cm	刀片可以任意刺穿形成层

4.20.3.3.3 凋落物分解速率的测定

将烘干的凋落物每份 200g 装入网眼 2mm×2mm 的尼龙纱网袋（20cm×25cm）中并编号，每种样品重复 3~5 个。模拟自然状态平放在样地凋落物层中，使网袋上表面与地面凋落物相平，网袋底部应接触土壤 A 层。依据研究目的（每份样品可分为叶样，也可是叶、枝、花、果、皮等按比例混合样；可以分为同一树种或样地内所有树种的混合样。放置的地点可以是同一生境，也可以是不同生境），每月取回样袋，清除样袋附着杂物，70℃~80℃烘干至恒重后称量，得到残留凋落物量。然后将样袋放在潮湿环境中，吸水至取回实验室时的含水量后，再放回原处。按月定期测定，即可获得凋落物逐月的分解过程。连续数年，直至样品完全失去原形，即可获得凋落物完整的逐年分解过程。

4.20.3.3.4 粗木质残体贮量的测定

将不同腐解等级的粗木质残体标准株样品在 70℃~80℃烘干至恒重。

计算干重（枯立木和倒木、大枝、根桩）、粗木质残体体积、粗木质残体密度。

根据计算结果，测算标准株以及林地单位面积粗木质残体贮量。

4.20.4 数据处理

4.20.4.1 凋落物

a) 年凋落物量

$$Q_1 = Q_2 \cdot 10^{-2}$$

式中： Q_1 ——年凋落物量， $t \cdot hm^{-2}$ ；

Q_2 ——年凋落物量， $g \cdot m^{-2}$ ；

10^{-2} ——由 $g \cdot m^{-2}$ 换算成 $t \cdot hm^{-2}$ 的进率。

b) 凋落物组分含量

$$C = Q_d / Q \times 100\%$$

式中： C ——凋落物中各组分含量，%；

Q_d ——叶片、枝条、果、树皮和繁殖物、杂物等凋落物干重， $g \cdot m^{-2}$ ；

Q ——凋落物干物质总量， $g \cdot m^{-2}$ 。

c) 凋落物现存量

$$M_{jb} = M_1 \times 10^4$$

式中： M_{jb} —— $1hm^2$ 凋落物现存量， $kg \cdot hm^{-2}$ ；

M_1 —— $1m \times 1m$ 年凋落物现存量， $kg \cdot m^{-2}$ ；

10^4 ——将 hm^2 换算为 m^2 的进率。

d) 凋落物分解速率

$$R = (Q_0 - Q_1) / Q_0 \times 100\%$$

式中： R ——凋落物分解速率，%；

Q_0 ——原始凋落物干重， $g \cdot m^{-2}$ ；

Q_1 ——残留凋落物干重， $g \cdot m^{-2}$ 。

4.20.4.2 粗木质残体贮量

$$Q = \frac{\rho \pi^2}{8L} \sum_{i=1}^n D_i^2 l_i$$

式中：Q——粗木质残体贮量，kg hm⁻²；
ρ——粗木质残体密度，kg m⁻³；
Di——与线条相截处的粗木质残体直径，m；
li——与线条相截的粗木质残体长度，m；
L——样线长度（即边长），m。

4.21 森林生态系统年轮分析方法

4.21.1 观测目的

通过树木年轮宽度、密度测定及年轮元素分析，建立树木年轮表，探求不同树种生长与气候因子的关系，推测过去环境变化尤其是环境污染状况。根据区域内的气象资料和同时期的树木年轮信息，建立树木年轮数据与气象数据的相关关系，并据此重建典型气候带的气候变化谱，进一步揭示气候变化对森林生态系统的影响。

4.21.2 观测内容

年轮宽度、早材宽度、晚材宽度、早材密度、晚材密度、年轮密度、最大年轮密度、最小年轮密度、早材晚材界线密度、年轮元素含量。

4.21.3 观测与采样方法

4.21.3.1 样地设置

选择树木生长对环境因子（温度、降水等）变化非常敏感的地区。在采样布局上，选取土层较薄、坡度较大、受人类活动影响较小的地点。根据研究目的不同，按照海拔、坡向、坡位等因子进行样地设置。采样点概况见表 41。

表 41 采样点概况

样地编号：

采样点名称	采样点代号	样本量/株	样芯/个	经度 E	纬度 N	海拔/m	坡向	坡度/°	平均郁闭度

观测单位：

观测员：

4.21.3.2 仪器设备

指南针、GPS、土壤含水量测量仪、树木测高仪、照相机或摄像机、望远镜、生长锥、样条箱、皮尺、卷尺、记录登记表等。

生长锥直径有 4.35mm、5.15mm、10mm、12mm，一般用直径 5.15mm 的生长锥。生长锥长度范围为 100mm～1000mm。根据树木木质的不同，选取两线或三线螺纹式钻头；通常两线螺纹式生长锥适合硬质

的树木，每旋转一圈可转进 8mm，三线螺纹式生长锥适合木质较软的树木，每旋转一圈可转进 12mm。

4.21.4 采样方法

4.21.4.1 样树选择

每个样地同一树种样本为 20~30 株，北方地区 20 株为宜，南方地区 30 株为宜。

选择树木基部、根茎无动物洞穴、无干梢、树干通直的树木。

为了重建尽量长的年轮气候变化谱，应选取树龄较长的树木包括枯死的古老树木。

4.21.4.2 样本采集

活体树木用生长锥在树干胸径处采样，方向一般与山坡等高线方向一致，或者与山坡的坡向垂直，同一样地内采样方向必须保持一致。已死亡的树木在树干均匀处截采样本盘（树木截面）。用生长锥采样时，先将锥体取出装在锥柄上，然后将生长锥端水平，两手持锥柄两端，前端螺旋刃口对准树体，旋转锥柄。当锥体过树心后，停止旋转锥柄。用取芯勺提取钻芯，将勺尖紧紧贴在锥体内壁，平稳较快地提取钻芯并放置于钻条箱中。

样本采集后按表 42 填写年轮标本信息。

表 42 树木年轮标本登记表

样地编号：

样本编号：_____	采集日期：____年____月____日
采样地名：_____	
纬度_____经度_____高度_____	
树种名称_____（中文）_____（拉丁文）	
林分密度_____	标本性质：钻芯 圆盘 其它
样本来源：活树 死树 古木 炭化木 化石 其它	
树高____米 胸径____米	生长状况_____
采样方向_____	采样高度_____
采样环境：坡向_____坡度_____郁闭度_____	
优势树种_____	其它 _____
样本存放：_____	

观测单位：

观测员：

4.21.4.3 采样时间

有休眠期的树木应在树木的休眠期进行，无休眠期的树木一年四季随时可以采样。样本采集后，宜用油灰之类的东西将树皮缝隙补塞，以免发生病虫害。

4.21.5 样本分析

4.21.5.1 分析仪器结构和原理

4.21.5.1.1 年轮宽度分析系统

a) 结构

由 Lintab 数控操作平台、高分辨率显微镜、计算机及标准年轮分析软件四部分组成。

b) 工作原理

年轮宽度测量采用年轮定位测量技术，将树轮样本盘或样芯固定在特制的可移动精确操作台架上，通过高分辨率显微镜对年轮边界精确定位，并通过精确的转轮控制对操作台上样芯或样盘精确移动，测量年轮宽度，专业年轮分析软件实时记录测量数据并进行统计和分析。

4.21.5.1.2 年轮密度及元素分析仪器

a) 结构

MultiScanner 年轮密度分析系统由 X 光发生系统、标准 LEF 型 X 光显像管、Polyflat™ 扁平 X 光束光学系统、可调 X 光束准直仪、300 mm×200 mm X/Y 可移动电脑控制台、线性排列的感应原件、密度校准塑料楔、操作台、样本固定盘、计算机、平板扫描仪和系统专用用户软件组成。

b 工作原理

利用 X 光透射成像技术获得待测样本的高精度数码图像，可以观察年轮密度等参数，然后利用软件进行统计分析。

利用 XRF (X 光荧光原理) 扫描检测样本中 Mg、Al、Si、S、Cl、K、Ca、Ti、Ba、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、Br、Rb、Sr、Pb 等多种元素含量，其中钾、钙等元素含量图像还可辅助识别不清晰的年轮。仪器由激发源 (X 射线管) 产生入射 X 射线 (一次射线)，激发被测样本，样本中的每一种元素会因此发出荧光 X 射线 (二次射线)，并且不同元素所放出的二次射线具有特定的能量特性；检测系统检测这些放射出来的二次射线的能量及数量，然后由仪器软件将检测系统所收集的信息转换成样本中各种元素的种类及含量。

4.21.5.2 样本预处理

待取回的样本自然风干后，用白乳胶将其固定在样本槽内，要确保样本的木质纤维直立在样本槽内。样本槽长 0.8m~1.2m，宽 4.3mm~4.5mm，深 2.0mm~2.5mm。使用时截成比样芯略长的小段木条，在木条两端书写或粘贴样芯编号。

固定后的样芯依次使用砂粒为 ISO (77) 240 号、320 号、500 号和 600 号 4 种规格的砂纸打磨抛光，分别使样本达到光、滑、亮，轮界清晰分明，在 40 倍显微镜下可以看到清晰的细胞轮廓为止。

4.21.5.3 交叉定年

4.21.5.3.1 原理

生长在同一生态环境下的树木，由于受到同样的限制因子作用，其年轮的宽窄变化应该是同步的。如果在某一个年轮序列中存在失踪年轮、断轮或伪年轮，那么它与树干的另一侧读得的年轮序列就无法重叠起来。把这两个序列点在图上，年轮变化曲线就会出现明显的位相差，通过比较最终能确定出每个年轮正确的生长年份。

交叉定年要先从同一株树的不同样本对比开始，无误后再与其它树木的样本对比。交叉定年可以在样本上直接进行，也可以先量测，然后利用量测的轮宽序列进行。在定年前，对所有的样本都进行一次目估，进一步了解每一个样本年轮的走向、清晰程度、是否有结疤、病腐等，选取生长正常的样本部分定年。

4.21.5.3.2 交叉定年的步骤

1) 年轮标识

年轮标识是从样本最外轮向髓芯数，每到公元整十年，如 1990 年、1980 年、1970 年做出“•”标志，到公元整五十年，做出“:”标志，到公元整一百年，做出“⋮”标志，并记录样本总长度。除标识之外，一些窄轮、怀疑伪轮、缺、断轮，尽可能在预处理中标出，并作记录，便于定年。

b) 画骨架图

每个样本画一个骨架图。一般采用美国亚利桑那大学树木年轮研究实验室的交叉定年方法，即骨架示意图方法对树木年轮进行定年。该方法将树轮宽度序列中的窄轮作为序列之“骨”，识别后即以竖线的长短形式标注在坐标纸上。如果所视年轮比其两侧相邻的年轮相对愈窄，在坐标纸相应的年份位置上标注的竖线就愈长，而平均宽度的年轮不标出，以空白表示，极宽的年轮以字母 W 标注。以此方法在坐标纸上标识出的窄轮分布型被看作是实际轮宽变化的“骨架”。

c) 比较

首先对同一棵树上的两个树芯进行比较，是否窄轮重合，确定后再与另一个样本用同样的方法进行比较。直到所有的样本的年轮数量准确无误为止。

d) 确定年代

对于活树的样芯，最外层年轮的年代是已知的，由于前面几步定年准确无误，那么每个年轮的生长年代就能准确定年。如果古木样本的年轮骨架与现代样本的年轮骨架重叠，那么每个年轮的生长年代也就能确定。

e) 年轮宽度测量

样本年代确定后，用 LINTAB5 年轮宽度分析系统测量树木年轮宽度。仪器安装与操作步骤详见仪器说明书。

f) 交叉定年检验

将树木年轮宽度值和年代录入计算机，用专门用于检查样芯或树盘定年和年轮宽度测量值的国际树木年轮数据库 COFECHA 定年质量控制程序，做进一步交叉定年和数据质量检查，以甄别系统定年错误和测量误差，确保每一生长年轮具有准确的日历年龄。COFECHA 定年质量控制程序检验结果统计见表 43。

表 43 COFECHA 程序检验结果统计

样地编号:

采样点代 码	海拔 /m	经 COFECHA 程序检验合格的样芯 ($p=0.05$)						建立年表的样芯					
		样本量/ 株	树芯/ 个	年轮 数	最长序列/ 年	序列间相关 系数	平均敏感 度	样本量/ 株	树芯/ 个	年轮 数	最长序列/ 年	序列间相关 系数	平均敏感 度

观测单位:

观测员:

4.21.5.4 年表研制

4.21.5.4.1 年表类型

使用国际树木年轮数据库 ARSTAN 程序（显著水平为 $p=0.05$ ）研制 3 种树轮宽度年表，即标准年表（STD）、差值年表（RES）和自回归年表（ARS），能够增加在气候重建时的年表可选择性。生长量订正和标准化过程，能够消除树木生长中与年龄增长相关联的生长趋势及部分树木之间的非一致性扰动，排除

其中的非气候信号。ARSTAN 程序见表 44。

表 44 年表主要特征参数及公共区间分析结果

样地编号:

代码			
海拔			
样本量 (株)			
树芯 (个)			
年表长度			
公共区间 (年)			
年表类型	STD	RES	ARS
平均指数			
平均敏感度			
标准差			
一阶自相关系数			
树间平均相关系数			——
信噪比			——
样本总体代表性			——
第一主成分所占方差量			

观测单位:

观测员:

4.21.5.4.2 标准化年表

对树木年轮样本进行前处理、初步定年和轮宽测定。通过轮宽的标准化,剔除与树龄有关的生长趋势,得到年轮指数,再根据指数序列与主序列间的相关系数,剔除相关差的标本,最后采用双权重平均法合并得到,它是常规意义上的年轮年表。

4.21.5.4.3 差值年表

在标准化年表的基础上,考虑到森林内部由于树与树之间的竞争以及可能存在的人类活动导致的树轮宽度序列的低频变化,以时间序列的自回归模式对标准化年表进行拟合并再次标准化,去掉树木个体特有的和前期生理条件对后期生长造成的连续性影响而建立的一种年表,它只含有群体共有的高频变化。

4.21.5.4.4 自回归年表

估计采样点树木群体所共有的持续性造成的生长量,再将其加回到差值年表。它既含有群体所共有的高频变化,又含有群体所共有的低频变化。

4.21.5.5 年轮密度与年轮元素分析

年轮宽度测量仅能初步反映年轮间的宽度变化,更多的气候变化等信息存在于年轮内部的变化(季节性、年度变化),如早晚材的宽度、年轮密度、年轮中痕量元素浓度等。通过年轮密度分析,可以进一步

识别季节性生长不明显（年轮宽度变化不明显，用一般的图像分析法和年轮定位测量技术不能很好地加以识别分析）的林木；通过年轮元素分析可以更好的推断环境变化等信息，重建古气候变化以及研究气候变化对树木生长的影响。

利用目前世界上最先进和最精确的年轮密度和年轮元素分析仪—MultiScanner 年轮密度分析系统，针对已完成预处理的树芯或树轮样本进行年轮密度和年轮元素含量分析。具体安装过程和操作步骤请详见仪器操作说明书。

4.21.6 数据处理

4.21.6.1 年表特征分析

a) 平均敏感度

$$MS = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \left| \frac{2(x_{i+1} - x_i)}{x_{i+1} + x_i} \right|$$

式中：MS ——敏感度；

x_i ——第*i*年轮宽度值，cm；

x_{i+1} ——第*i*+1个年轮宽度值，cm；

n ——样本年轮总数，个。

b) 样本的总体代表量

$$EPS(t) = \frac{r_{bt}}{r_{bt} + (1 - r_{bt})/t}$$

式中：EPS ——样本的总体代表量；

t ——样本数，个；

r_{bt} ——不同树间的相关系数。

4.21.6.2 重建方程的建立及检验

利用树木年轮宽度、年轮密度和年轮元素浓度等资料以及必备的气象资料，采用单相关、逐步回归分析法建立回归方程，并利用误差缩减值、符号检验、乘积平均数以及逐一剔除法对回归方程进行检验。

4.21.6.3 重建结果特征分析

主要包括变化阶段分析、周期分析、最大熵谱分析、频率极值分析、趋势分析和突变特征分析。

4.21.6.4 重建结果对比

利用已有的资料，将所得到的重建结果与其他研究人员所得结果进行比较，一般包括阶段比较、突变比较、趋势比较等。

4.22 森林动物资源观测

4.22.1 观测目的

通过对森林生态系统主要动物类群种类和分布、种群数量和密度、栖居生境和质量、行为轨迹以及动物能量代谢过程的长期连续观测，了解森林动物物种资源时空分布规律，分析其消长动态及原因，掌握森林动物行为生态学特征，客观评价动物物种资源利用和保护现状，为更有效合理地利用和保护森林生态系统动物资源，研究森林生态系统的次级生产力状况和能量流动规律提供科学依据。

4.22.2 观测内容

昆虫、鸟类、两栖类：种类和分布、种群数量和密度、栖居生境及质量。

兽类：种类和分布、种群数量和密度、栖居生境类型及质量、出生率和死亡率。

能量代谢：CO₂排放量、O₂消耗量、动物呼吸商。

4.22.3 观测方法

4.22.3.1 昆虫观测方法

4.22.3.1.1 样地设置

样地设置要求：

- a) 选择生境一致的区域设置样地。
- b) 样地内植被或基质应尽可能均质。
- c) 样地的大小应包括属于该群落的全部种类。
- d) 森林生态系统样地最小面积为 200m²~500m²。

4.22.3.1.2 观测方法

在每个样地按网格机械布点法设置大小为 1m×1m 的小样方 30 个，每个样方放置无底木框，调查记录框中所有昆虫的种类和数量。将调查信息填入表 45 中。

表 45 昆虫观测数据记录表

样地编号：

样方号：

物种编号	种类	名称	俗名	拉丁名	数量	栖居生境	备注

观测单位：

观测员：

4.22.3.2 鸟类观测方法

通常使用路线统计法。每种栖息地或生境类型设置一条至少 1km 长的样线。观测人员按照预定的路线以 1km h⁻¹~3km h⁻¹ 的步行速度匀速前进，记录观测到的鸟类名称和数量，并记录鸟类出现的距离。把鸟类与行走路线的平均距离作为样带的宽度。观测时应注意不要重复记录，由后向前飞的鸟不予统计，只记录从前向后飞的鸟类，将记录数据填入表 46。

表 46 鸟类观测数据记录表

样线编号：

观测日期	观测地点	开始时间	结束时间	鸟类种类	鸟类名称	鸟类数量	鸟类性别	目测距离	目测角度

观测单位：

观测员：

4.22.3.3 两栖类观测方法

两栖类应选择在繁殖期进行观测。

每种生境类型，选择 5~10 个面积为 50m² 的样方。

观测人员借助捕捉网、手电直接捕捉一昼夜，捕尽样方内所有两栖类动物，记录其种类和数量。观测信息填入表 47。

表 47 两栖类观测数据记录表

样地编号：

样方号：

物种名	数量	性别	成体	幼体	卵	栖居生境	备注

观测单位：

观测员：

4.22.3.4 小型兽类观测方法

4.22.3.4.1 动物电子标记识别系统结构和工作原理

a) 结构

由植入式电子标签（9~12mm）、标签植入器和手持式标签识别器组成。

b) 工作原理

将进行了编号的微小植入式标签通过标签植入器植入动物体表，然后通过手持式标签识别器持续发出低频无线电信号，在有效范围内的植入式标签被激活后，发回其特有的识别信息到识别器上，从而可以确定被识别的植入器所在的动物个体及其数量。

4.22.3.4.2 小型兽类观测

通常采用标记重捕法。在一定面积的观测区域捕获某种群 M 只动物个体，利用标签植入器将植入式标签植入动物体表，以作标记，同时记录该标签对应的动物个体信息，填入表 48。然后立即在原地释放。标记个体和未标记个体充分混杂后，第二次样本捕获 n 只动物个体，用手持式标签识别器可获知，其中 m 只是标记过的。则可由此计算此观测区域内该动物的种群密度。

表 48 小型兽类标记个体信息数据记录表

样地编号：

观测日期

标记编号	种类	名称	性别	年龄	生理状况	生境类型

观测单位：

观测员：

4.22.3.5 大型兽类观测方法

4.22.3.5.1 大型兽类数量调查

根据生境类型，设置若干条 5km 长样线，样线分布要均匀，应尽量避免公路、村庄。观测人员沿样线以 $1\text{km h}^{-1}\sim 3\text{km h}^{-1}$ 的步行速度匀速前进，记录观测到的动物个体种类和数量，并记录动物出现的距离。

把动物与行走路线的平均距离作为样带的宽度。将记录数据填入表 49。

表 49 大型兽类观测数据记录表

样线编号：

观测日期

观测日期	观测地点	物种名称	物种数量	物种性别	目测距离	目测角度

观测单位：

观测员：

4.22.3.5.2 大型兽类行为轨迹观测

4.22.3.5.2.1 野生动物无线遥测系统结构和原理

a) 结构

由可降解皮带体项圈、可发射无线信号的发射器、接收器、电池组、Yagi 天线、内置 GPS 组成。

b) 工作原理

将可发射无线信号的发射器和 GPS 内置于皮带体项圈，安装于动物体后，发射器发出的无线电信号由 Yagi 天线接收后输入接收器，经接收器放大处理，从扬声器或耳机中放出，从而可以进行动物的定位。设置定时接收 GPS 信号进行轨迹跟踪，并存储。

4.22.3.5.2.2 观测方法

a) 充分校验野生动物无线遥测系统。

b) 捕获具有代表性的目标动物个体，完成体重、体长、肩高、胸围、雌雄、成幼等常规信息的测量记录。

c) 测量结束后，立即安装内置有可发射无线信号发射器和 GPS 的皮带体项圈，皮带体项圈安装应松紧合适，动物应无不适感。

d) 同时打开发射器和接收器，设置固定频率并记录，然后确认能收到清晰信号。

e) 释放动物个体，并进行跟踪，必要时连续跟踪数天，直至动物从惊恐中恢复，不再远距离迁移时，再开展正常的观测。

4.22.3.5.2.3 数据采集

包括：

a) 定期跟踪观测，采集动物的方位和活动地点数据。

b) 定期重捕动物个体，下载 GPS 中存储的定位数据。

4.22.3.6 动物能量代谢观测

4.22.3.6.1 便携式动物能量代谢测量系统结构和工作原理

a) 结构

由气室（呼吸室）、二氧化碳分析仪、氧气分析仪、气流控制器、数据采集器及程序软件组成。

b) 工作原理

通过高精度分析仪精确测量开放呼吸室中动物的二氧化碳排放量及耗氧量，同时测量水汽含量、气压和温度等参数，计算呼吸商和能量代谢，

4.22.3.6.2 动物能量代谢测量

程序如下：

- a) 根据待测动物个体情况，选择合适的呼吸室。
- b) 将待测动物个体放入呼吸室中，连接气泵管路到呼吸室进气口。
- c) 呼吸室出气口接入系统旁路气路，将二次抽样气路连接到高精度二氧化碳分析仪、氧气分析仪以及水汽分析仪。
- d) 将温度传感器和气压传感器连接到系统中。
- e) 设置合适的气泵流速，设置数据记录时间间隔。
- f) 采集数据，进行处理和分析。

4.22.4 数据处理

4.22.4.1 昆虫、两栖类样方法观测数据处理

- a) 种群密度

$$d_i = \frac{n}{A}$$

式中： d_i ——种群密度，只 m^{-2} ；

n ——样方中记录的个体数，只；

A ——样方面积， m^2 。

- b) 种群平均密度

$$D = \frac{\sum d_i}{N}$$

式中： D ——种群平均密度，个 m^{-2} ；

d_i ——第 i 样方的种群密度，个 m^{-2} ；

N ——样方总数，个。

4.22.4.2 鸟类、大型兽类样线法观测数据处理

$$d_i = \frac{N_i}{2L \times \frac{\sum D_j}{N_i}}$$

式中： d_i ——种群密度，只 m^{-2} ；

L ——样线总长度， m ；

N_i ——动物 i 在观测样线中的所有记录数，只；

D_j ——动物 i 中第 j 个个体距样线中线的垂直距离， m 。

4.22.4.3 小型兽类标记重捕法观测数据处理

$$d_i = \frac{M \times n}{m \times A}$$

式中： d_i ——种群密度，只 m^{-2} ；
 A ——样方面积， m^2 ；

M ——标记动物个体（要除去死亡标记个体），只；
 n ——捕获取样量，只；
 m ——捕获样本中带标记的动物个体数，只。

4.22.4.4 动物能量代谢观测数据处理

a) 呼吸商

$$RQ = \frac{V_{\text{CO}_2\text{std}}}{V_{\text{O}_2\text{std}}}$$

式中： RQ ——动物代谢呼吸商；
 $V_{\text{CO}_2\text{std}}$ ——标况下，动物所排放的二氧化碳体积， mL ；
 $V_{\text{O}_2\text{std}}$ ——标况下，动物所消耗的氧气体积， mL 。

b) 单位时间单位体重 CO_2 排放量

$$Q_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2} \times v \times 10^{-6}}{m}$$

式中： Q_{CO_2} ——单位时间单位体重二氧化碳排放量， $\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1}$ ；
 V_{CO_2} ——二氧化碳排放量， mg m^{-3} ；
 v ——泵速， mL min^{-1} ；
 m ——动物体重， g ；
 10^{-6} ——换算系数。

c) 单位时间单位体重耗氧量

$$Q_{\text{O}_2} = \frac{V_{\text{O}_2} \times v \times 10^{-6}}{m}$$

式中： Q_{O_2} ——单位时间单位体重耗氧量， $\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1}$ ；
 V_{O_2} ——耗氧量， mg m^{-3} ；
 v ——泵速， mL min^{-1} ；
 m ——动物体重， g ；
 10^{-6} ——换算系数。

4.23 森林生态系统氮循环观测

4.23.1 观测目的

通过对森林生态系统氮循环的观测，掌握土壤—植物—大气连续体（SPAC）中的氮循环规律。了解植物的氮利用效率、土壤氮转化与可利用性，分析森林生态系统氮通量、碳氮耦合及氮收支规律，并探讨氮沉降对森林生态系统的影响。

4.23.2 观测内容

氮沉降通量，固氮植物生物固氮量，凋落物氮储量，土壤全氮、水解氮、硝态氮、铵态氮，土壤氮素

转化速率（土壤氨化速率、硝化速率、反硝化速率）。

4.23.3 观测与采样方法

4.23.3.1 样地设置

选择群落结构明显、优势树种典型的林分作为观测样地。

氮沉降观测、植物固氮量观测、土壤氮素转化速率观测的样地应为同一样地。

4.23.3.2 大气氮沉降观测

参见本标准 4.15。

4.23.3.3 固氮植物生物固氮量观测

4.23.3.3.1 固氮植物生物量

a) 样方设置

每块样地内，分别设置 6 个 10m×10m 乔木样方、2m×2m 的灌木样方、1m×1m 的草本样方。具体设置方法见图 19。

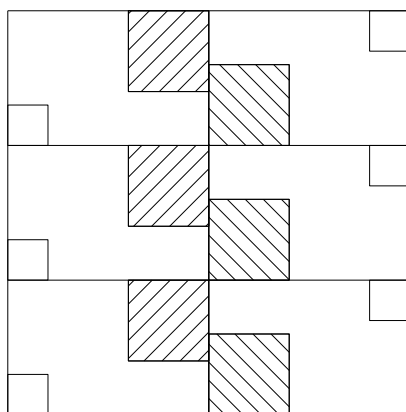


图 19 样方设置

b) 生物量测定

参见本标准 4.19。

4.23.3.3.2 固氮植物固氮比率

a) 参照植物选择标准

一般要求参照植物与固氮植物有相似的物候特征、根系分布特征、形态特征，并且参照植物利用与固氮植物相似的土壤氮源（如侧重于有机氮、铵态氮或硝态氮），为了减少测量误差，宜选取与固氮植物同属的非固氮植物就近配对采样，并选取 3~5 种非固氮植物以从中寻找合适的参照植物。

b) 植物样品采集

由于幼小植物和未成熟组织内 ^{15}N 同化过程的同位素分馏尚未完成， ^{15}N 自然丰度还没有最后稳定。因此，采样时应选取已充分展开及成熟的叶片和成熟枝茎。

植物叶片和茎通常是最可行的采样组织，一般叶片要收集相当于 200g 干物质的量。由于茎和叶的 ^{15}N 丰度不同（茎<叶），采样时，参照植物和固氮植物都应取可比组织（都取茎或叶）。

每个样地每种固氮植物和参照植物，先要从单株上分别采样，然后合二为一，形成该种的一个样品。

c) ^{15}N 丰度的测定

采集的样品带回实验室进行处理,用质谱仪进行 ^{15}N 同位素测定。

4.23.3.4 凋落物氮储量观测

4.23.3.4.1 凋落物生物量

采样点的设置和凋落物采样参见本标准 4.20。

4.23.3.4.2 凋落物氮储量

所有凋落物样品粉碎后,过 60 目筛,用奈氏比色法测定其全氮含量。

4.23.3.5 土壤氮测定

采样点设置、采样及测定方法见本标准 4.5 与 4.6。

4.23.3.6 土壤氮素转化速率观测

4.23.3.6.1 土壤样品采集

按照 LY/T 1210 执行。

根据 BaPS 土壤氮素转化速率测量系统要求,每个测量点应取 3~7 个 100ml 原状土样或 3 个 250ml 原状土样,作为重复。

注意事项:

——为尽量避免原状土样的状态受到外界因素影响,现场采集的原状土样应立即放入 BaPS 土壤氮素转化速率测量系统的密闭铝制压力培养室内,盖好转运密封盖,带回实验室进行测量。

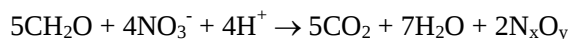
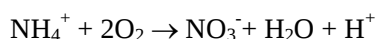
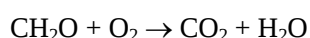
4.23.3.6.2 BaPS 土壤氮素转化速率测定系统

a) 结构

由盛放土样的铝制压力培养室、原状土样环刀、恒温水浴单元、 ZrO_2 氧气传感器、压阻式压力传感器、铂电阻温度传感器、红外吸收 CO_2 传感器、数据采集界面单元以及计算机共同组成。

b) 工作原理

在土壤呼吸系数为 1.0 的理论前提下,假定只有硝化作用、反硝化作用、土壤呼吸过程、 CO_2 溶解于土壤水中这四大过程,这几个过程与系统中的压力相关,根据压力平衡反推可以精确计算出土壤样品的总硝化速率和反硝化速率。



总计算公式:

$$\left(\frac{\Delta N_x O_y}{\Delta t} \right) = \left(\frac{\Delta n}{\Delta t} \right) - \left(\frac{\Delta \text{CO}_2}{\Delta t} \right) - \left(\frac{\Delta \text{O}_2}{\Delta t} \right)$$

4.23.3.6.3 BaPS 土壤氮素转化速率测定系统安装与使用

程序如下:

a) 取原状土样,带回实验室,通过 BaPS 土壤氮素转化速率测定系统进行测量,若样品数量较多或者一次性无法测完,可以在 4℃ 条件下冷藏存放,存放时间不超过 48h。

b) 将土样和水以 1:2.5 的比例进行混合,搅拌均匀后,取土壤溶液用酸碱中和滴定法测得土壤的 pH

值。

- c) 将装有原状土样的环刀称重、记录，然后放入测量室密封，连接温度、CO₂、O₂和压力传感器到密封测量室顶部接口，同时连接数据采集界面单元到PC机。
- d) 将恒温水浴单元的进水管和出水管分别连接到测量室底部的循环水进出口，连接管外围要缠上隔热层和防辐射膜。
- e) 打开恒温水浴单元的电源，设置到需要的温度，等待水温稳定后，开启恒温水浴循环开关。通过操作软件随时观察培养室内的温度变化，待稳定后开始实验。
- f) 开启电脑中的操作软件，新建一个实验程序，按照软件中的指导步骤完成培养室上层空间体积计算、培养室气密性检测、数据采集时间间隔、实验终止条件的设置等操作。若上述步骤操作过程一切顺利，则按“start”开始测量。
- g) 实验结束后，将土样烘干，计算土壤含水量。
- h) 将土壤含水量填到操作程序中，重新计算结果。

4.23.3.6.4 BaPS 土壤氮素转化速率测定系统数据采集

数据采集时间间隔在开启实验时已经设置，通常为10min记录一个数据，实验持续时间为12h~16h左右，也可根据实验具体情况手动停止实验。

在测试过程中，温度、压力、氧气和二氧化碳传感器读取的数据，直接记录在电脑的内存中。数据以图表的方式实时显示在操作软件和电脑屏幕上。

操作软件可以自动计算出总硝化速率、反硝化速率，并以图表的方式输出计算结果。

4.23.3.6.5 系统维护

系统维护应符合以下要求：

- a) 每次实验前后，清理土壤培养室，使其保持清洁。
- b) 定期进行土壤培养室的气密性检测，确保密封。
- c) 定期检查传感器，每隔2a进行系统校准。
- d) 避免传感器的缆线盘扭，确保内部芯线不被损坏。

4.23.4 数据处理

4.23.4.1 固氮植物固氮比率

$$N_{dfa} = \frac{\delta^{15}N_{ref} - \delta^{15}N_{fixed}}{\delta^{15}N_{ref} - B} \times 100$$

式中：
 N_{dfa} ——固氮植物固氮比率，%；
 $\delta^{15}N_{ref}$ ——参照植物的¹⁵N丰度值；
 $\delta^{15}N_{field}$ ——野外固氮植物植物组织的¹⁵N丰度值；
 B ——生长于无氮培养基质上的固氮植物的¹⁵N丰度值。

4.23.4.2 固氮植物生物固氮量

$$N_{DFA} = N_{dfa} \times M_{lb} \times C_{nc}$$

式中：
 N_{DFA} ——单位面积固氮植物生物固氮量，kg hm⁻²；
 N_{dfa} ——固氮植物固氮比率，%；

M_{lb} ——单位面积固氮植物生物量, kg hm^{-2} ;
 C_{nc} ——固氮植物的全氮含量, kg kg^{-1} 。

4.23.4.3 凋落物氮储量

$$Q_N = W \times N / 100$$

式中: Q_N ——凋落物氮储量, g m^{-2} ;
 W ——单位面积生物量, g m^{-2} ;
 N ——氮浓度, %。

4.23.4.4 土壤全氮、水解氮、硝态氮、铵态氮

土壤全氮 按照LY/T 1228执行。
土壤水解氮 按照LY/T 1229执行。
土壤硝态氮 按照LY/T 1230执行。
土壤铵态氮 按照LY/T 1231执行。

4.23.4.5 土壤氮素转化速率

实验结束后, BaPS 的软件将给出如下图 20 所示的数据图表和最终结果。

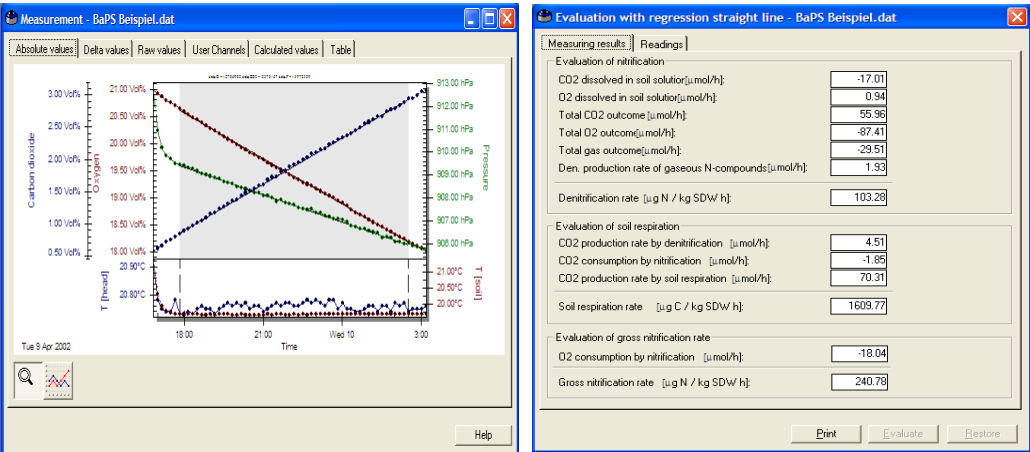


图 20 BaPS 系统分析结果

通过图表可以分析实验过程中各项条件对最终土壤总硝化速率和反硝化速率的影响, 以及误差进行分析。查看实验过程中得到的数据情况, 剔除无效数据等。

通过结果窗口可以获得线性计算的数据结果和进行了线性回归统计的数据结果; 而且针对实验之前没有确定的土壤 pH 值、土壤含水量在实验结束后的数据结果窗口可修改参数重新进行计算。

4.24 森林生态系统重金属观测

4.24.1 观测目的

通过对森林生态系统重金属进行长期、连续观测, 探讨土壤、水体重金属的不同形态与植物累积之间的关系, 分析重金属在土壤—植物系统中迁移转化, 揭示土壤重金属影响森林安全的机理, 为森林生态系统重金属调控提供科学依据。

4.24.2 观测内容

镉 (Cd)、汞 (Hg)、银 (Ag)、铜 (Cu)、钡 (Ba)、铅 (Pb)、砷 (Se)。

4.24.3 观测与采样方法

4.24.3.1 土壤样品的采集

4.24.3.1.1 采样点设置

参见本标准 4.5.3.1 与 4.5.3.2。

4.24.3.1.2 采样工具

参见本标准 4.6.3.3。

4.24.3.1.3 样品采集方法

参见本标准 4.6.3.4。

4.24.3.1.4 采样时间和频率

试验初期，为每年采样一次；以后一般为 3a~5a 分析一次。

4.24.3.2 植物组织样品的采集

4.24.3.2.1 样地设置

参见本标准 4.5.3.1。

4.24.3.2.2 采样点设置

a) 采样点数的确定

选择有充分代表性的标准株，其采样应符合统计学原理，即按照“多点、随机”的方法。一个混合样最少应包括的采样点数 (n)，可以根据各采样点的变异系数 (C_v) 和试验所允许的最大误差 (m) 计算，其公式为：

$$n = (C_v / m)^2$$

b) 采样点的布设

在设置的样地内，与土壤采样同步进行，采取蛇形布点的方法。

4.24.3.2.3 采样工具

钢卷尺子、GPS、地质罗盘仪、数码相机、样品袋、记号笔、小土铲、枝剪、手钻、机械钻、剪刀、样品标签、采样记录表、背包等。

4.24.3.2.4 采样方法

按如下方法采样：

a) 每个采样点选取5~10株标准株为宜。

b) 在树冠中上部向阳面采集叶、枝、果等各自的混合样品，每组分样品0.5kg为宜。

c) 在距植株20cm~80cm的地方，利用土钻采集根系样品，土钻钻入深度约为100cm左右。

d) 将采集好的样品置于样品布袋内，并做好标记，标签注明树种、组织器官、采集地点、时间、采集人等相关信息。

4.24.3.2.5 采样时间

森林植物样品的采集时间随植物种类的不同而不同，落叶树种应在叶子凋落前的一个月内采集；针叶树种宜在早秋至冬季这一阶段内采集；常绿阔叶树种则随时可以采集。

4.24.3.3 水样品的采集

参见本标准 4.4。

4.24.4 数据处理

重金属含量（原子吸收光谱法）的计算公式为：

$$\omega_{(i)} = \frac{\rho \times V \times ts \times 10^{-3}}{m} \times 10^3$$

式中： $\omega_{(i)}$ ——铬、镉、铜、汞、镍、铅和锌等重金属的质量分数， mg kg^{-1} ；

ρ ——测得的重金属的质量浓度， mg L^{-1} ；

V ——测定时定容体积， mL ；

10^{-3} ——将 mL 换算成 L 的系数；

ts ——分取倍数；

m ——试样质量， g ；

10^3 ——将 mg g^{-1} 换算成 mg kg^{-1} 的系数。

4.25 森林生态系统稳定同位素观测

4.25.1 观测目的

通过对森林生态系统中稳定同位素的测定及分析，掌握稳定同位素在森林生态系统关键过程中的迁移转化规律，研究植物对环境的响应机制，为示踪碳、氮和水等的地球化学循环过程提供依据。

4.25.2 观测内容

^{13}C 丰度值 ($\delta^{13}\text{C}$)、 ^{15}N 丰度值 ($\delta^{15}\text{N}$)、 ^{18}O 丰度值 ($\delta^{18}\text{O}$)、 D 丰度值 (δD)、 ^2H 丰度值 ($\delta^2\text{H}$) 等。

4.25.3 观测与采样方法

4.25.3.1 样地设置

稳定同位素示踪法的样品采集 (^{15}N)：在研究区内设置 2 个 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 的样地，两个样地之间至少相隔 20m，每个样地均划分成 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 的样方，对样地进行本底值调查。其中 1 个样地施加稳定同位素示踪剂，另 1 个样地不施加任何标记物，作为对照样地。

稳定同位素自然丰度法的样品采集：在研究区内设置 2 个 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 的典型样地。

4.25.3.2 仪器设备结构和原理

4.25.3.2.1 固体样品分析设备结构和原理

a) 元素分析仪+质谱仪

——结构

元素分析仪结构：进样系统、氧化还原系统、除水系统、分离系统和质谱仪接口。

质谱仪结构：离子源、质量分析器、检测器、真空系统和数据处理系统。

——工作原理

固体样品中 C、N 物质在元素分析仪中经过高温燃烧反应生成 CO_2 和 N_2 。通过质谱仪检测 CO_2 中的 C 与 N_2 中的 N，得到 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 与 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 的比值。

b) 光谱同位素分析仪

——结构

光谱同位素分析仪结构：前端氧化装置、检测单元（分析腔室、光谱仪）和数据处理单元。

——工作原理

采用高温燃烧方法，使固体样品中的 C 物质在前端燃烧装置中转化为 CO_2 。经过波长扫描光腔衰荡光谱技术检测 $^{13}\text{CO}_2$ 和 $^{12}\text{CO}_2$ 的浓度，计算得到 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 的比值。

4.25.3.2.2 液体样品分析设备结构和原理

a) 高温裂解转化分析仪+质谱仪

——结构

高温裂解转化分析仪结构：进样系统、高温转化系统、分离系统和质谱仪接口。

质谱仪结构：离子源、质量分析器、检测器、真空系统和数据处理系统。

——工作原理

液态水或有机物在反应管经高温催化裂解为 CO 与 H_2 ，产生的气体通过质谱仪检测液态水或有机物中的 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 与 $^2\text{H}/^1\text{H}$ 的比值。

b 光谱同位素分析仪

——结构

光谱同位素分析仪结构：前端氧化装置、检测单元（分析腔室、光谱仪）和数据处理单元。

——工作原理

将液态水汽化，利用波长扫描光腔衰荡光谱技术直接检测气态水不同同位素水的浓度获得 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 与 $^2\text{H}/^1\text{H}$ 的比值；水溶碳通过硫代硫酸钠进行氧化，生成的 CO_2 经过波长扫描光腔衰荡光谱技术检测，从而获得 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 的比值。

4.25.3.2.3 气体样品分析设备结构和原理

a) 预浓缩系统+质谱仪（室内获取数据）

——结构

预浓缩系统结构：进样系统、冷凝富集器、高温反应系统、分离系统和质谱仪接口。

质谱仪结构：离子源、质量分析器、检测器、真空系统和数据处理系统。

——工作原理

预浓缩系统可以将少量的气体富集，通过质谱仪进行检测。对于 CH_4 需先高温燃烧将其转化为 CO_2 ，通过质谱仪检测 CO_2 中的 C 得到 CH_4 中的 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 的比值。



N_2O 则无需转化，浓缩后直接以 N_2O 形式进行质谱仪分析，计算 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 的比值。

b) 光谱同位素分析仪（野外获取数据）

——结构

光谱同位素分析仪结构：前端氧化装置、检测单元（分析腔室、光谱仪）和数据处理单元。

——工作原理

对于含 C、H、O、N 元素的气体，无需任何前处理，通过波长扫描光腔衰荡光谱技术直接检测目标气体的浓度值，进而计算出 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ， $^2\text{H}/^1\text{H}$ ， $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 以及 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 。

4.25.3.3 稳定氮同位素示踪法的样品采集 (^{15}N)

4.25.3.3.1 标记肥的施用

a) 标记肥的选择

^{15}N 标记肥主要有 $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ 、 $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$ 和 K^{15}NO_3 三种。根据实验需要选择不同的标记肥, $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ 含有 NH_4^+ 和 NO_3^- 两种离子, 因此使用较多。

b) 标记肥施用

将标记肥溶于水中, 距离地表植被 0.5m 高处用喷洒系统进行施加, 每周或每两周喷洒一次, 施加时间为 1a。对比样地内在相同的时间喷洒相同量的水。

4.25.3.3.2 样品采集

从优势树种中选取 3~5 株标准木, 分别采集叶、枝、皮、干和根样品。

a) 植物样品

——乔木和灌木样品

叶: 在树冠的上、中、下及里、外各部分采集树叶并混合均匀作为一个样品带回实验室处理。如需要做树冠各部分同位素分布的研究, 从各部分采样分别放在袋内带回实验室。针叶树分当年生和两年生针叶采集样品。

枝: 选择当年生嫩枝采样带回实验室处理。

干、皮: 用生长锥在 1.3m 和 >6m 高处钻取木芯, 将木芯分成皮和干两部分, 其中将干根据生长年份又分成 3 部分, 将样品分类后带回实验室处理。

根: 取完整的、未受损的活细根, 结合土壤样品分层采样。

——草本样品和凋枯落物样品

参见本标准 4.19 与 4.20。

b) 土壤样品

参见本标准 4.5。

4.25.3.4 稳定同位素自然丰度法的样品采集

4.25.3.4.1 采样工具

枝剪、剪刀、记号笔、小信封、大小样品瓶、parafilm、气瓶。

4.25.3.4.2 固体样品的采集

从优势树种中选取 3~5 株标准木, 分别采集叶、枝、皮、干和根样品, 土壤采样参见本标准 4.5。具体采集方法根据不同研究需要加以确定。

a) 植物水分利用效率的研究

采样部位: 叶片。

测定指标: $\delta^{13}\text{C}$ 。

采样方法: 选取光合活性强的阳生叶片, 对于一些叶脉明显的叶片要去除主叶脉。

b) 植物光合类型的判定

采样部位: 叶片。

测定指标: $\delta^{13}\text{C}$ 。

采样方法: 同上。

c) 植物氮素利用

采样部位：叶片、土壤。

测定指标： $\delta^{15}\text{N}$ 。

采样方法：叶片同上，土壤采样参见本标准 4.5。

d) 长期气候变化研究

采样部位：树木年轮。

测定指标： $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 δD 。

采样方法：树木年轮采样方法参见本标准 4.21。

4.25.3.4.3 液体样品的采集

a) 植物水分采集

对于乔木和灌木，采集非绿色的枝条；对于草本植物，采集根茎结合处的非绿色部分。采样量根据植物的含水量有所不同，一般以能够提取 0.1mL~0.3mL 水为宜（如 3cm~4cm 长的枝条 2~3 支即可）。采样要迅速，采样完毕后样品瓶立即用 parafilm 密封，然后冰冻保存。

b) 大气水汽样品的采集

采样点的选择：参见本标准 4.15。

采样方法：冷阱法。

注意事项：

——观测并保持冷阱温度。

——采样时空气的流速不能太快，宜在 0.2L min^{-1} 左右。

——早晨 8:00~10:00 采集。采集后的样品要立即密封并低温保存。在干旱地区或阴坡林地采样时间要适当延长。

c) 潜在水源样品的采集

采样点的选择：参见本标准 4.2。

大气降水：采集降雨或降雪。

土壤水：土壤的采样宜采集根系较集中的土层；也可以采集土壤剖面，浅层土壤不应采集暴露在空气中的表层土壤，应采集表层 2cm 以下的土壤。

地下水：采集地下井水。

其它水源：采集径流水、溪流水、壤中流等。

注意事项：

——所有采集的水分样品瓶都需要立即用 parafilm 密封，然后冷冻保存。

4.25.3.4.4 气体样品的采集

a) 野外速测法气体样品的采集

采样点的选择：参见本标准 4.14。

仪器布设：仪器安放时需要 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 面积的工作平台（类似于普通桌面即可）。设置高度以普通桌面高度为宜，方便操作。

采样方法：采用廓线系统来进行垂直剖面的气体浓度和同位素比率测定。仪器进气管路一端连接仪器，一端放置于大气中（进气口）。一般需要多层，如冠层高度 30m，可划为 5 层或 6 层（2m、5m、10m、20m、30m（冠层高度）、35m~40m（冠层上方））。将仪器与廓线系统连接，廓线系统可以分成 5~6 个进气管路，对应上述层数，如下图 21 所示：

注意事项：

——廓线系统风杆的位置一般选择下垫面比较平坦均一，林冠高度比较一致的地方，注意不要选择林冠低陷的地方。选定位置后，将风杆（一般选不锈钢材质，其它不生锈、坚固的材质也可）直立固定。按

照上面示意图将不同高度层的进气管路分别固定于风杆的相应位置。由于空气中灰尘太多，在进气口应接一个气体过滤网。

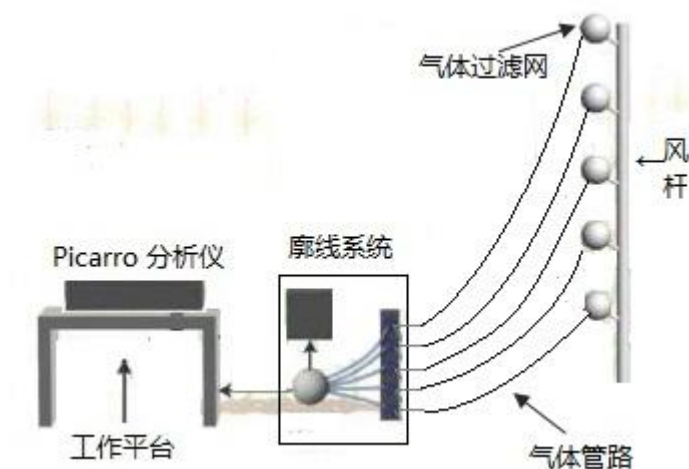


图 21 野外气体样品分析设备布设安装图

b) 室内分析法气体样品的采集

采样点的选择：参见本标准 4.14。

采样方法：按照廓线系统设置来分层采样，即在风杆固定处周围 2m 范围内。如冠层高度为 30m，可按照 2m、5m、10m、20m、30m（冠层高度）、35m~40m（冠层上方）的高度来采样。在每个高度处的采样方法如下：首先将大气采样专用气瓶抽真空，然后选择周围无植被妨碍的稍空旷的地点（风杆周围 2m 范围内）将气阀打开，待瓶子内外气压平衡后，关闭气阀，保持密封带回实验室备用。

注意事项：

——需要尽量减少人的呼吸、植物光合或土壤呼吸的影响，特别是在森林中的采样，要注意因冠层效应造成的 CO_2 浓度梯度。

4.25.3.5 样品的预处理

4.25.3.5.1 样品的储存

采集好的样品送到实验室后，将水样放入冰箱 4℃ 冷藏室保存，固体样品放入冰箱的冷冻室内保存。

4.25.3.5.2 样品的预处理

a) 固体样品

固体样品在进行同位素质谱仪分析之前应放在透气性好，且耐一定高温的采样袋或器具中，在 85℃ 的干燥箱内进行干燥。

土壤样品在粉碎前应用稀盐酸处理，一般用 0.52mol L^{-1} ~ 2mol L^{-1} 浓度，除去其中的碳酸盐。为使反应尽量完全，可用玻璃棒搅拌，反应至少 6h，沉淀，倒掉上清液，再用去离子水搅拌洗涤，沉淀后倒掉上清液，重复 3~4 次，充分洗净过量盐酸，然后烘干土壤样品。

经过烘干的样品进行粉碎，过 60 目的筛子，装入密闭容器保存，并做好标记。

经过干燥和粉碎处理的样品在分析前应放在锡箔帽中称重。用微量分析天平，精确到 0.001mg。

b) 固体样品中水分样品

植物或土壤中的水分同位素测定，预先需用水分真空抽提系统抽提出植物或土壤中的水分才能进行测定。

抽提后的样品应用 parafilm 封口，待转化为液态水后，将水分转移到密封的小瓶子内，并立即封口，整个过程要迅速，确保水分没有泄漏和蒸发，并做好标记后保存。

c) 水分样品

水样首先用 $0.45\mu\text{m}$ 的醋酸纤维滤膜过滤，水样通过醋酸纤维滤膜过滤后，用阳离子树脂（Dowex 50w-X8）和阴离子树脂（Dowex 1-X8）分别收集水样 NH_4^+ 和 NO_3^- 。使用离子交换法时，通常阴阳离子交换柱是以串连的方式组合。根据水样中 NH_4^+ 和 NO_3^- 的含量确定通过柱子水样体积。采用重力过柱，用洗净的硅胶管将水样引进交换柱（一般的玻璃层析柱即可）中，使交换柱树脂面始终低于样品液面 10cm 即可。过柱速率取决于交换柱本身的流速，不加以人工控制，一般为 $0.6\text{L hr}^{-1}\sim 0.9\text{L hr}^{-1}$ 。过完水样后的树脂加少量无氨水以防树脂干燥，密封保存。依次用 $2\text{mol L}^{-1}\text{KCl}$ 溶液和少量无氨水洗脱，流速控制在 $15\text{L hr}^{-1}\sim 30\text{L hr}^{-1}$ ，洗脱分 3 次进行，每次 $10\text{L}\sim 15\text{L}$ KCl 溶液，后一次洗脱在前一次洗脱后柱中无溶液流出时开始进行，收集好所有洗脱液妥善放置。

水样洗脱液用扩散法进一步处理。扩散实验在实验室内进行，将含 NH_4^+ 洗脱液移入密封性能良好的 120mL 聚乙烯瓶（扩散瓶）中。准备好一个酸洗干净的约 10mL 的小玻璃瓶（接收瓶），扩散前往该接收瓶中移入 2mL 的 $0.1\text{mol L}^{-1}\text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液。依次往聚乙烯扩散瓶中加 0.5gMgO 粉末和一个酸洗搅拌子，迅速将上述加有 H_2SO_4 溶液的接收瓶小心固定于扩散瓶中，立即盖紧扩散瓶盖扩散 10d。扩散完成后将扩散液取出冷冻干燥，将上述样品称取放入经 850°C 燃烧的石英管内，加入铜丝，抽取真空后焊封， 850°C 燃烧 2h，缓慢冷却后上质谱仪测定 $\delta^{15}\text{N}$ 值。

4.25.4 数据处理

同位素效应引起轻重同位素含量的不同，但计算其绝对含量没有实际意义，因此，一般用同位素比值 R 来表示。一般定义同位素比值 R 为某一元素的重同位素丰度与轻同位素丰度之比，由于轻元素在自然界中轻同位素的相对丰度很高，而重同位素的相对丰度都很低， R 值就很低且很冗长繁琐不便于比较，故在实际工作中采用相对测量法，用样品的同位素丰富度（样品同位素比值与标准物同位素比值的千分数） δ 值来表示样品的同位素成分。待测样品的同位素比值 R_{sample} 与某一标准物质的同位素比值 R_{standard} 比较，比较结果称为样品的 δx 值，即用同位素比值的千分偏差表示：

$$\delta x = \left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000$$

式中： δx ——同位素丰度值，‰；

R_{sample} ——样品同位素比值；

R_{standard} ——国际通用标准物的同位素比值，见表 50。

表 50 国际标准物质同位素比值

元素	丰度值符号	比值(R)	国际标准物质	R_{standard}
H	δD	$^2\text{H}/^1\text{H}$	标准平均海水（SMOW）	0.00015575
		$^2\text{H}/^1\text{H}$	标准南极轻降水（SLAP）	0.000089089
C	$\delta^{13}\text{C}$	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	Pee Dee Belemnite（PDB）	0.0112372
N	$\delta^{15}\text{N}$	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	大气	0.003676
O	$\delta^{18}\text{O}$	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	标准平均海水（SMOW）	0.0020052
		$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	Pee Dee Belemnite（PDB）	0.0020672
		$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	标准南极轻降水（SLAP）	0.0018939

4.26 森林生态系统健康评估方法

4.26.1 观测目的

通过对人类活动或自然因素所引起森林生态系统退化和破坏所造成的森林生态系统结构紊乱和功能失调的诊断, 获得一个实用、有效、可操作性的评估指标体系。同时对森林生态系统生产力水平、结构状态、抵抗外界干扰能力以及服务功能进行评估, 揭示森林生态系统的健康状况, 推动森林生态系统管理目标的实现。

4.26.2 观测内容

观测内容见表 51。

表51 森林生态系统健康评估观测指标

指标种类	指 标
生产力指标	胸径年平均生长量
	树高年平均生长量
	林分蓄积生长量
	年增长生物量
	林地当年凋落量
结构指标	森林覆盖率
	起源
	林冠结构
	生物多样性指数
	郁闭度
	灌木盖度
	草本盖度
	群落现存生物量
	保护动植物的种类数
	土壤pH值
干扰指标	人为干扰程度
	病虫害发生程度
	水灾危害程度
	旱灾危害程度
	火灾发生程度
	酸雨危害程度
	林地土壤的侵蚀强度
	林木受污染物危害的程度

表51（续）

指标种类	指 标
服务功能指标	水质等级
	林外林内温度差值
	林外林内湿度差值
	固定CO ₂ 量
	O ₂ 释放量
	空气负离子浓度
	吸收污染物能力

4.26.3 观测方法及赋值标准

4.26.3.1 胸径年生长量

在观测样地中，在各径级树木中随机选择 5 株样木，用胸径生长测定仪每年测定胸径生长量。赋值标准为年生长量>1.0cm 为 3，0.5cm~1.0cm 为 2，<0.5cm 为 1。

4.26.3.2 树高年生长量

在观测样地中，在各径级中随机选择 5 株样木，用树高生长测定仪每年测定树高生长量。赋值标准为年生长量>1.0m 为 3，0.5m~1.0m 为 2，<0.5m 为 1。

4.26.3.3 森林蓄积增长量

用材积差法计算林分蓄积生长量。用一元材积表按下式计算各径阶材积差 ΔV ：

$$\Delta V = \frac{1}{2c} (v_2 - v_1)$$

式中：

ΔV ——1cm 材积差，m³ hm⁻²；

V_1 ——比该径阶小一个径阶的材积，m³ hm⁻²；

V_2 ——比该径阶大一个径阶的材积，m³ hm⁻²；

c ——径阶距。

赋值标准为年蓄积生长量>15m³ hm⁻² 为 3，10m³ hm⁻²~15m³ hm⁻² 为 2，<10m³ hm⁻² 为 1。

4.26.3.4 生物量年增长量（NPP）

在观测样地林分生物量估测中，利用两次调查的差值计算年平均增长生物量。

赋值标准为年增长生物量>30t hm⁻² 为 3，15t hm⁻²~30t hm⁻² 为 2，<15t hm⁻² 为 1。

4.26.3.5 林地当年凋落量

观测方法参见本标准 4.20。

赋值标准为当年凋落量>20t hm⁻² 为 3，10 t hm⁻²~20 t hm⁻² 为 2，<10t hm⁻² 为 1。

4.26.3.6 森林覆盖率

在观测样地内，乔灌木垂直投影覆盖面积与样地面积的比例，采用对角线截距法调查。

赋值标准为森林覆盖率>80%为3，40%~80%为2，<40%为1。

4.26.3.7 起源

根据历史资料、访问或株行距确定。

赋值标准为起源为天然林为2，人工林为1。

4.26.3.8 林冠结构

采用目估法测定。

赋值标准为林冠结构>3层为3，2层为2，1层为1。

4.26.3.9 生物多样性指数

$$H' = -\sum_{i=1}^s p_i \log p_i$$

式中： p_i ——种*i*的个体数在总体中所占的比例。

赋值标准为 Shannon-Wiener 指数>3 为3，1~2 为2，<1 为1。

4.26.3.10 郁闭度

采用目估法完成。

赋值标准为郁闭度达到0.6~0.8（含0.6）为3，0.8~1.0（含0.8）为2，0.6以下为1。

4.26.3.11 灌木盖度

观测方法参见本标准4.17。

赋值标准为灌木盖度达到0.3~0.4为3，0.3以下为2，0.4~1.0为1。

4.26.3.12 草本盖度

观测方法参见本标准4.17。

赋值标准为草本盖度达到0.4~0.6为3，0.4以下为2，0.6~1.0为1。

4.26.3.13 群落现存生物量

参见本标准4.19与4.20。

赋值标准为群落现存生物量>150t hm⁻²为3，75t hm⁻²~150t hm⁻²为2，<75t hm⁻²为1。

4.26.3.14 保护动植物的种类数

对照国家一、二级保护野生动植物名录计数统计。

赋值标准为保护动植物的种类数种数≥5为3，2~4为2，<1为1。

4.26.3.15 土壤 pH 值

采用电位法测定土壤 pH 值。

赋值标准为土壤 pH 值为6.5~7.5为3，6~6.4和7.6~8为2，其它为1。

4.26.3.16 人为干扰程度

人为干扰程度判定标准见表 52。

赋值标准为人为干扰程度为轻度为 3，中度为 2，重度为 1。

表 52 人为干扰程度判定标准表

人为干扰程度	发生内容
重度干扰	有采石场等破坏性人工活动区，山体与植被破坏较严重。
	森林景点集中，道路等基础设施完备，游人量大，开发强度高。
	林内进行过强度抚育间伐。
中度干扰	有居民点等人工活动区存在，植被受到一定干扰。
	少量景点分布，基础设施较差，游人量较小，开发强度小。
	林内进行过抚育间伐。
轻度干扰	除以上干扰情况以外的其他干扰状况。

4.26.3.17 病虫害发生程度

病虫害发生面积及成灾越大，灾害的发生程度和造成的损失就越大，成灾面积和发生面积是构成发生程度最直接、最重要的因素。病虫害发生程度判断标准详见见表 53。

表 53 森林病虫害成灾面积和发生面积判断标准表

因素指标	判别因子	数量标准	影响等级
成灾面积 C_1	中重度占发生面积比例	>25%	4
		25%~15%（含25%）	3
		15%~5%（含15%）	2
		<5%	1
发生面积 C_2	占各年度均值的幅度	>30%	4
		30%~10%（含30%）	3
		-10%~10%（含10%）	2
		<-10%	1

按下式计算发生程度的综合评价指数 A_c ：

$$A_c = 0.5726 C_1 + 0.4274 C_2$$

A_c 值<-0.5为正常， A_c 值-0.5~1.0（含1.0）为较重， A_c 值1.0~1.5（含1.5）为偏重，>1.5为极重。
赋值标准为正常为4，较重为3，偏重为2，极重为1。

4.26.3.18 水灾危害程度

未发生水灾为无危害，发生水灾危害面积占总面积的百分比<10%为轻危害，发生水灾危害面积占总面积的百分比≥10%为重危害。

赋值标准为水灾危害程度为无危害为3，轻危害为2，重危害为1。

4.26.3.19 旱灾危害程度

未发生旱灾为无危害，发生旱灾危害面积占总面积的百分比 $<10\%$ 为轻危害，发生旱灾危害面积占总面积的百分比 $\geq 10\%$ 为重危害。

赋值标准为旱灾危害程度为无危害为3，轻危害为2，重危害为1。

4.26.3.20 火灾发生程度

未发生火灾为无危害，发生火灾形成2处及2处以下林窗或形成林窗面积比 $<5\%$ 为轻危害，发生火灾形成2处以上林窗或形成林窗面积比 $\geq 5\%$ 为重危害。

赋值标准为火灾危害程度为无危害为3，轻危害为2，重危害为1。

4.26.3.21 酸雨危害程度

观测方法参见本标准 4.15。

赋值标准为酸雨 pH 值 6.5 为 3，pH 值 5.0~6.5 为 2，pH 值 <5.0 为 1。

4.26.3.22 林地土壤的侵蚀强度

观测方法按照 SL 277 执行。

赋值标准为土壤侵蚀强度 $<2500\text{t km}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 为 3， $2500\text{t km}^{-2}\text{ a}^{-1}\sim 8000\text{t km}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 为 2， $>8000\text{t km}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 为 1。

4.26.3.23 林木受污染物危害的程度

观测方法按照 GB 3095 执行。

受污染物危害的程度：I 类为轻度，赋值为 3；II 类为较严重，赋值为 2；III 类为严重，赋值为 1。

4.26.3.24 水质等级

观测方法参见本标准 4.4。

赋值标准依据 GB 3838，判定水质等级 I 类为 3，II 类和 III 类为 2，IV 和 V 类为 1。

4.26.3.25 林外林内温度差值

观测方法参见本标准 4.11 和 4.12。

赋值标准为林外林内温度差值 $>20\%$ 为 3， $10\%\sim 20\%$ 为 2， $<10\%$ 为 1。

4.26.3.26 林外林内湿度差值

观测方法见本标准 4.11 和 4.12。

赋值标准为林外林内湿度差值 $>25\%$ 为 3， $10\%\sim 25\%$ 为 2， $<10\%$ 为 1。

4.26.3.27 固定 CO₂ 量

观测方法见本标准 4.19。

赋值标准为固定 CO₂ 量 $>20\text{t hm}^{-2}$ 为 3， $10\text{t hm}^{-2}\sim 20\text{t hm}^{-2}$ 为 2， $<10\text{t hm}^{-2}$ 为 1。

4.26.3.28 O₂ 释放量

观测方法参见本标准 4.19。

赋值标准为 O_2 释放量 $>14 \text{ t hm}^{-2}$ 为 3, $7 \text{ t hm}^{-2} \sim 14 \text{ t hm}^{-2}$ 为 2, $<7 \text{ t hm}^{-2}$ 为 1。

4.26.3.29 空气负离子浓度

观测方法参见本标准 4.16。

赋值标准为空气负离子浓度 $>5000 \text{ 个 cm}^{-3}$ 为 3, $1000 \text{ 个 cm}^{-3} \sim 5000 \text{ 个 cm}^{-3}$ 为 2, $<1000 \text{ 个 cm}^{-3}$ 为 1。

4.26.3.30 吸收污染物能力

观测方法按 GB 3095 执行。

吸硫量分三类：I 类吸硫量 (>1.0)，II 类 ($0.5 \sim 1.0$)，III 类 (<0.5)。

吸氯量分三类：I 类吸氯量 (>1.5)，II 类 ($0.75 \sim 1.5$)，III 类 (<0.75)。

吸氟量分三类：I 类吸氟量 (>0.45)，II 类 ($0.15 \sim 0.45$)，III 类 (<0.15)。

赋值标准为吸收污染物为：I 类，能力很强为 3；II 类，能力强为 2；III 类，能力一般为 1。

4.26.4 数据处理

森林生态系统健康评估公式：

$$FEHI = \ln \left(\sum_{i=1}^5 P \cdot \sum_{j=1}^{10} S \cdot \sum_{m=1}^8 D \cdot \sum_{n=1}^7 F \right)$$

式中：FEHI ——森林生态系统健康评估指数；

P ——生产力指标；

S ——结构指标；

D ——干扰指标；

F ——生态功能指标。

根据上述公式计算森林生态系统健康评估指数，将森林生态系统健康情况划分为健康、基本健康、亚健康、不健康 4 个健康状态等级。

推荐森林生态系统健康等级划分标准如下：

不健康状态：FEHI < 9.0 ；

亚健康状态：9.0 $\leq$ FEHI < 10.0 ；

基本健康状态：10.0 $\leq$ FEHI < 11.0 ；

健康状态：FEHI ≥ 11.0 。

当干扰指标中任何一项指标赋值为 1 时，所评估的森林生态系统健康等级即为不健康状态。

4.27 森林生态系统服务分布式观测布局与测算方法

4.27.1 测算目的

通过把森林生态系统复杂的生态服务功能测算过程分割成相对独立运算的单元进行分布式测算，统一合并得到森林生态服务功能最终结果，以达到对森林生态系统服务功能准确测算目的，为精准评估森林生态系统服务提供科学计算手段。

4.27.2 测算内容

根据 LY/T 1721 的评估公式，计算生态观测单元的物质质量和价值量，通过由点到面的数据转换，把各

测算单元数据逐级累加得出最终结果。

4.27.3 测算单元的划分

4.27.3.1 测算单元划分

森林生态系统服务功能测算过程分割成相对独立的三个级别的运算单元进行分布式测算，见图 22。

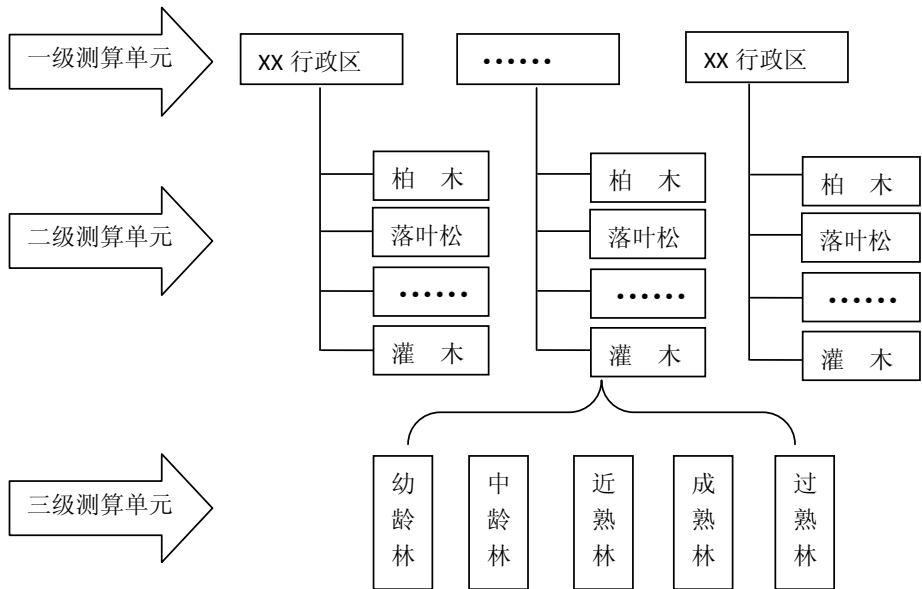


图 22 分布式测算单元的划分

4.27.3.1 一级测算单元

将测算区域按照行政区划分割成若干一级测算单元。

4.27.3.2 二级测算单元

每个一级测算单元按照森林资源清查的优势树种划分成二级测算单元。

4.27.3.3 三级测算单元

每个二级测算单元结合不同立地条件，按照幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林、过熟林 5 个不同林龄划分三级测算单元。

4.27.4 数据采集

采集一下三类数据：

- a) 在测算区域内，按照不同林分类型与林龄组，按照 LY/T 1606 中规定的指标，获取长期连续观测数据。
- b) 国家林业局森林资源清查数据。
- c) 权威机构公布的社会公共资源数据。

4.27.5 数据尺度转换

对不同生态服务功能指标参数运用遥感反演、过程机理模型等方法，进行由点到面的数据尺度转换，

将点上实测数据转换至面上的测算数据。

4.27.6 测算单元评估

按照 LY/T 1721 执行。

4.27.7 测算数据汇总

把各生态服务功能评估单元的测算数据，逐级回推并累加得出测算区域的评估结果。见图 23。

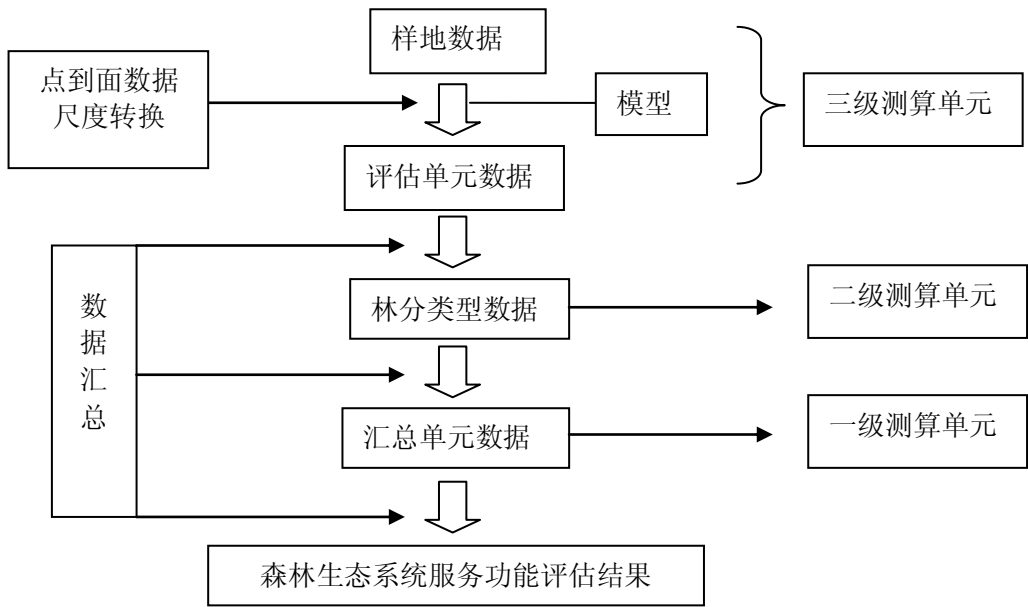


图 23 森林生态系统服务分布式测算流程图

附录 A 规范性附录

（规范性附录）

竹林生态系统长期固定样地观测

A.1 观测目的

通过竹林生态系统样地野外系统观测，掌握以竹类植物为主体的生物成份和生态因子相互作用、相互制约的群落结构特征，揭示竹林生态系统的动态变化规律，同时为竹林的结构优化、生物多样性保护和可持续利用提供科学依据。

A.2 观测内容

竹笋：出笋数、出笋日期、笋高20cm时地径、退笋数、退笋率、退笋笋重、展枝日期、展枝高度、出叶日期、成竹数、成竹率、出笋日气温、降水量等。

竹林：竹龄、各度竹（I-V）的株数、胸径、竹高、竹枝下高、竹林生物量等。

A.3 观测与采样方法

3.1 样地选择

Y样地应符合下列要求：

- a) 具有充分的代表性，能够充分反映当地竹林的平均水平。
- b) 应设置在同一片竹林内，不应跨越该片竹林。
- c) 不应跨越小河、道路，且应避开竹林边缘（至少要距林缘1倍林分平均高的距离）。
- d) 设在混交林中时，竹林株数占乔木层的总株数的75%以上或树冠投影面积比占到60%以上。

A.3.2 样地设置

按照LY/T 1626执行。

A.3.3 观测与采样

a) 竹笋期的样地观测

每年3~5月，从发笋开始至新竹全部展枝放叶结束后对观测样地的竹笋、退笋进行观测。观测内容见表A.1。

a) 每天观测并记录观测样地内的日出笋数、出笋日期和退笋数。出笋数以笋尖露出地面为准。挖退笋均在退笋明显败退后一次性挖掘，退笋质量皆为开始坏死状态。统计日出笋数和累积出笋数。同时当退笋表现明显时，调查退笋竹的根系状况、笋高及其退笋原因，计算退笋率。

b) 用围尺测笋高20cm时的地径。

c) 采用自动气象站观测气温、降水量等环境因子。

d) 观测样地内的竹子展枝日期、展枝高度、出叶日期，竹林的成竹数、成竹率。

e) 发笋成竹后，调查新竹数、新竹胸径并分别编号。

f) 将出笋期分为出笋初期、出笋盛期和出笋末期三个阶段。选出10支竹笋，做好标记，测定竹高，计算不同时期的竹高生长量和分析其生长规律。

表 A.1 竹笋野外观测表

样地编号:

出笋日期	出笋数	笋高 20cm 时地径	退笋数	退笋笋重	展枝日期	展枝高度	出叶日期	成竹数

观测单位

观测员:

A.3.3.2 竹林样地观测

A.3.3.2.1 样地基本情况观测

记录样地经度、纬度、海拔、坡向、坡位、坡度、土壤质地、竹高、枝下高和冠幅等，见表A.2。

表 A.2 竹林野外观测基本情况观测表

样地编号:

观测时间:

经纬度: E ____ N ____

海拔	坡向	坡度	土壤质地	树种组成	郁闭度	林冠层次	竹高	枝下高	冠幅	密度

观测单位:

观测员:

A.3.3.2.2 乔木层观测

测定10m×10m样方内胸径≥1cm的所有植株，记录物种名、胸径、竹高等，见表A.3。

表 A.3 竹林乔木层观测表

样地编号:

观测时间:

经纬度: E ____ N ____

样方号	牌号	竹龄	竹种	胸径 /cm	树高 /m	枝下高/m	冠幅		样方中位置/m		备注
							E-W	N-S	到下边垂距	到右边垂距	

观测单位:

观测员:

测定时，从样地左下角开始测（见图A.1），首先把0.1hm²~1hm²的样地划分成10m×10m的样方。在10m×10m样方内对胸径≥1cm的竹子和树木进行编号。如网格“00”内的第一棵树，其编号为“00001”。前2位为样方号，后3位为树号。

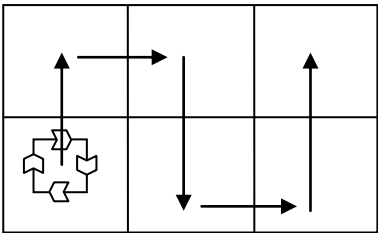


图 A.1 样地调查顺序图

立竹胸径用围尺直接测定或用卡尺量取两个垂直方向的检尺值的平均值为立竹胸径（距地面1.3m处）。

竹子生物量观测。在每竹调查的基础上，计算出各度竹的平均立竹作为标准竹，并分别砍伐I、II、III、IV、V度竹的标准竹，分别测定竹杆、竹枝和竹叶的鲜重与干重（参见本标准4.5.3.2）。并对地下部分（竹筴、筴根）用挖掘法进行挖掘，每个样地内挖掘5个1m×1m的样方，挖出竹鞭、鞭根，用水仔细漂洗，再用筛子在水中筛后捞出所有的根，风干表面水后称其鲜重，带回实验室，在70~80℃烘干至恒重，计算竹鞭、鞭根生物量。

A.3.3.2.3 灌木层观测

测定5个2m×2m样方内的灌木植物，记录物种名、株（丛）数、高度，具体参见本标准4.17。

灌木层生物量观测。在样地外面设置5个2m×2m的灌木样方，确定灌木优势种，调查各优势种的度、丛幅和高度；并测定各优势种的基径，求平均直径和高。然后按平均直径和高选取各优势种标准株（丛），每个样方按优势种随机选3~5标准株（丛），分别齐地面收割，并挖出地下部分，随机抽取1kg样品带回实验室，在70~80℃烘干至恒重，求出干鲜重之比，再推算出整个灌木层生物量。

A.3.3.2.4 草本层观测

测定5个1m×1m小样方中草本植物，记录物种名、盖度、高度，具体方法参见本标准4.17。

草本层生物量：在样方中选择典型地块，设置5个1m×1m的小样方，将每个小样方中所有的草本连根挖出，用水冲去泥土后风干称鲜重，随机抽取1kg样品带回实验室，求出干鲜重之比，再推算出整个草本层生物量。

A.4 数据处理

A.4.1 立竹度

$$M = \frac{n}{A}$$

式中：M——立竹度，株 hm²；

n——样地内立竹株数，株；

A——样地面积，hm²。

A.4.2 立竹均匀度

$$E = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m n_i}{\sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (n_i - \bar{n})^2}}$$

式中：

E——立竹均匀度；

$\bar{n}$ ——竹林单位面积（1m×1m）样方平均株数，株；

m——竹林样地或样方的数量，个；

n_i——第i个竹林样地或样方内立竹株数，株。

E>5 的竹林为均匀竹林，3≤E≤5 的竹林为较均匀竹林，E<3 的竹林为不均匀竹林。

4.3 立竹整齐度

$$U = \frac{\bar{D}}{\sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (n_i - \bar{n})^2}}$$

式中：

U ——立竹整齐度；

$\bar{D}$ ——竹林平均胸径，cm；

$\bar{n}$ ——竹林单位面积（1m×1m）样方平均株数，株；

n_i ——第*i*个竹林样地或样方内立竹株数，株。

$U > 7$ 的竹林为整齐竹林， $5 \leq U \leq 7$ 的竹林为一般整齐竹林， $U < 5$ 的竹林为不整齐竹林。

4.4 竹林生物量

$$W = W_1/5 + W_2/4 + W_3/5$$

式中：

W ——竹林生物量，kg m⁻²；

W_1 ——5个1m×1m的小样方中竹子的生物量，kg；

W_2 ——1个2m×2m的样方中灌木的生物量，kg；

W_3 ——5个1m×1m的小样方中草本的生物量，kg。

附录 B 资料性附录

(资料性附录)

t 分布表

表 B.1 t 分布表

Df 自由度	置信度 (%) : 1-a/双尾							
	20	40	60	80	90	95	98	99
	置信度 (%) : 1-a/单尾							
	60	70	80	90	95	97.5	99	99.5
1	0.325	0.727	1.376	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.289	0.617	1.061	1.886	2.92	4.303	6.965	9.925
3	0.277	0.584	0.978	1.638	2.353	3.182	4.541	5.641
4	0.271	0.569	0.941	1.533	2.132	2.776	3.747	4.064
5	0.267	0.559	0.92	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.265	0.553	0.906	1.44	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.263	0.549	0.896	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.262	0.546	0.889	1.397	1.86	2.306	2.896	3.355
9	0.261	0.543	0.883	1.383	1.833	2.262	2.821	3.25
10	0.26	0.542	0.879	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.26	0.54	0.876	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.259	0.539	0.873	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.258	0.538	0.87	1.35	1.771	2.16	2.65	3.012
14	0.258	0.537	0.868	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.258	0.536	0.866	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.258	0.535	0.865	1.337	1.746	2.12	2.583	2.921
17	0.257	0.534	0.863	1.333	1.74	2.11	2.567	2.898
18	0.257	0.534	0.862	1.33	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.257	0.533	0.861	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.257	0.533	0.86	1.325	1.725	2.386	2.528	2.845
21	0.257	0.532	0.859	1.323	1.721	2.08	2.518	2.831
22	0.256	0.532	0.858	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.256	0.532	0.858	1.319	1.714	2.069	2.5	2.807
24	0.256	0.531	0.857	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.256	0.531	0.856	1.316	1.708	2.06	2.485	2.787

表 B.1 (续)

26	0.256	0.531	0.856	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.256	0.531	0.855	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.256	0.53	0.855	1.313	1.701	2.045	2.467	2.763
29	0.256	0.53	0.854	1.311	1.699	2.042	2.462	2.756
30	0.256	0.53	0.854	1.31	1.697	2.021	2.457	2.75
40	0.255	0.529	0.851	1.303	1.684	2	2.423	2.704
60	0.254	0.527	0.848	1.296	1.671	1.98	2.39	2.66
120	0.254	0.526	0.845	1.289	1.658	1.96	2.358	2.617
∞	0.253	0.524	0.842	1.282	1.645		2.326	2.576
注：a 为显著水平								