

## 直线型线截抽样在森林资源综合监测中的应用

罗仙仙

(泉州师范学院 数学与计算机科学学院, 福建 泉州 362000)

**摘要:** 线截抽样是稀疏总体的调查方法, 是一种有放回不等概抽样方法。系统梳理了直线型线截抽样的倒木蓄积总值、密度、均值、长度以及估计精度、方差、估计区间等计算公式, 将直线型线截抽样应用于研究区域的倒木调查, 探讨不同截线长度对调查精度的影响, 从而确定最佳的截线长度为 50 m。此时, 倒木蓄积总量为 536.85 m<sup>3</sup>, 蓄积密度为 27.53 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>, 倒木总条数为 5 887 条, 抽样精度达 90.05%(可靠性为 95%), 为森林资源综合监测地面样地设计提供理论与实践依据。图 7 表 4 参 19

**关键词:** 森林经理学; 森林资源综合监测; 直线型线截抽样; 粗木质物残体

**中图分类号:** S757.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2012)04-0566-08

## Straight-line intersect sampling with comprehensive forest resource monitoring

LUO Xian-xian

(College of Mathematics and Computer Science, Quanzhou Normal University, Quanzhou 362000, Fujian, China)

**Abstract:** Line intersect sampling is an inventory method for rare populations using unequal probability sampling with replacement. For ecological management, the formula to calculate total volume, density, and mean and total number, as well as to of fallen dead woods estimate precision, variance, and the estimate interval was systematically deduced. Then, straight-line intersect sampling was applied to the inventory of fallen dead woods in the fourth small section of the first section of checking method in China. The effect of different transect length on inventory precision was discussed. The best transect length was determined to be 50 m taked inventory time and precision into consideration, for which the total volume of fallen dead woods was 536.85 m<sup>3</sup>, the volume density was 27.53 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>, the total number of fallen dead woods was 5 887, and the sampling precision gained was 90.05% (with a reliability of 95%). These results could provide scientific and practical applications for ground plot designs with comprehensive forest resource monitoring. [Ch, 7 fig. 4 tab. 19 ref.]

**Key words:** forest management; comprehensive forest resource monitoring; straight-line intersect sampling; coarse woody debris

线截抽样是稀疏总体的调查方法, 是一种有放回不等概抽样方法<sup>[1-2]</sup>, 是在蒲丰随机投针问题(Buffon's needle problem)基础上推导而来, 具有完善的理论基础, 1941年由Canfield首次提出, 用来估计植被分布密度<sup>[3]</sup>, 先后用于采伐剩余物的调查<sup>[4]</sup>, 道路长度估计<sup>[5]</sup>, 可燃物抽样调查<sup>[6]</sup>, 法国国家森林清查中树篱长度的估计<sup>[7]</sup>、美国堪萨斯州林带面积估计<sup>[8]</sup>和干旱地区生物量估计<sup>[9]</sup>。近年来, 线截抽样技术在冠空隙<sup>[10]</sup>、森林生物量<sup>[11]</sup>等方面得到应用。刘素青等<sup>[11-12]</sup>利用线截抽样进行林分株数和林分蓄积量调查。目前, 线截抽样被广泛应用于林地粗木质物残体、倒木、野生动物、渔业和其他流动总体抽样调查<sup>[2]</sup>。线截抽样截线的形状类型及其抽样协议见文献<sup>[1-2]</sup>。粗木质物残体(coarse woody debris, CWD)是

收稿日期: 2011-09-16; 修回日期: 2011-12-01

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(2011J05093)

作者简介: 罗仙仙, 讲师, 博士, 从事森林资源监测、信息管理等研究。E-mail: luoxianxian@sina.com

指完好的和处于不同腐解时期的直径(通常指粗头部分) $D \geq 10$  cm, 长度  $L \geq 1$  m 的倒木、枯立木、大凋落枝, 以及直径  $D \geq 10$  cm, 长度  $L < 1$  m 的根桩和直径  $D > 1$  cm 的地下粗根残体 [13]。目前, 对粗木质物残体的研究大多为生态功能研究 [14-16], 尚未见有关调查方法及统计估计方法的研究。在森林资源监测逐渐向与林业可持续发展相适应的森林生态系统监测发展过程中, 许多林业发达国家均增加了粗木质物残体的调查与监测 [17]。如美国森林资源清查与监测体系采用 Y 型线截抽样进行粗木质残体的调查 [18]。为适应森林生态系统监测需求, 利用直线型线截抽样原理对试验区的倒木进行调查, 验证线截抽样调查方法的可行性。同时, 探讨不同截线长度对调查精度的影响, 从而确定最佳的截线长度, 以期为森林资源综合监测地面样地设计提供抽样技术指导。

### 1 倒木调查的直线型线截抽样原理

线截抽样的截线布设方式有 2 种: 随机布设和系统布设, 对总体参数的估计方法可分为条件估计方法和无条件估计方法。条件估计是指截线在随机布设下的估计; 无条件是指线截抽样中每条截线的方向在区间  $[0, \pi]$  内被随机一致布设。因为无法从相对精度的角度确定条件估计与无条件估计 2 种方法的优劣, 从实践角度上说, 尽量采取能够减少外业工作量的估计方法 [2]。本研究采用是无条件估计方法对倒木的蓄积、长度、条数进行估计。

假定  $\tau_y$  为总体总值, 则总体密度为  $\lambda_y = \frac{\tau_y}{A}$ ,

总体均值为  $\mu_y = \frac{\tau_y}{N}$ , 其中  $A$  为总体区域面积,  $N$

为区域内总体单元数。  $L$  为直线型截线的长度。如图 1 所示:  $\mu_k$  为倒木,  $D_k$  为大头直径,  $d_k$  为小头直径,  $l_k$  为倒木长度。则个体  $\mu_k$  构成最小封闭凸面的围长  $c_k \approx 2l_k + d_k + D_k$ , 因此, 个体  $\mu_k$  的包含概率为  $\pi_k = (c_k \cdot L) / (\pi A) = (2l_k + d_k + D_k)L / (\pi A)$ 。第  $s$  条截线属性为  $y_k$  的  $\tau_y$  无条件估计为:

$$\hat{\tau}_{y_{ms}}^u = \sum_{\mu_k \in L_s} \frac{y_k}{\pi_k} = \frac{\pi A}{L} \sum_{\mu_k \in L_s} \frac{y_k}{2l_k + d_k + D_k} \quad (1)$$

式(1)中  $L_s$  为第  $s$  条截线。

当倒木直径相对长度较小时即  $d_k, D_k$  远小于  $l_k$  时, 式(1)近似公式为:

$$\hat{\tau}_{y_{ms}}^u \approx \frac{\pi A}{2L} \sum_{\mu_k \in L_s} \frac{y_k}{l_k} \quad (2)$$

#### 1.1 倒木蓄积总值无条件估计

假定倒木可以看成圆柱体, 则个体  $\mu_k$  的材积可以看成圆柱体的体积, 为  $\pi \left(\frac{\bar{d}_k}{2}\right)^2 l_k$ ,  $\bar{d}_k$  为倒木平均直径, 即  $y_k = \pi \left(\frac{\bar{d}_k}{2}\right)^2 l_k$ , 代入式(2)可得第  $s$  条截线倒木蓄积的无条件估计为:

$$\hat{\tau}_{y_{ms}}^u = \frac{\pi^2 A}{8L} \sum_{\mu_k \in L_s} \bar{d}_k^2 \quad (3)$$

若有  $m$  条截线, 则所有倒木蓄积总值  $\tau_y$  的 HT(Horvitz-Thompson, 赫维茨-汤普森)估计值为:

$$\hat{\tau}_{y_{\pi, rep}}^u = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m \hat{\tau}_{y_{ms}}^u \quad (4)$$

#### 1.2 倒木蓄积密度无条件估计

根据密度公式  $\lambda_y = \frac{\tau_y}{A}$ , 第  $s$  条截线所截倒木蓄积密度的无条件估计为:

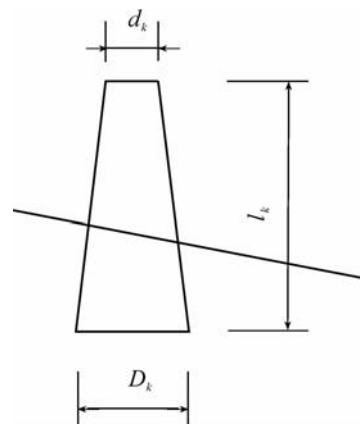


图 1 直线型截线与直径为  $d_k, D_k$ , 长为  $l_k$  倒木相交  
Figure 1 A straight line transect intersects a log with diameters  $d_k, D_k$ , and length  $l_k$

$$\hat{\lambda}_{y\pi s}^u = \frac{\hat{\lambda}_{y\pi s}^u}{A} = \frac{\pi^2}{8L} \sum_{\mu_k \in L_s} \bar{d}_k^2 \quad (5)$$

$m$  条截线所截倒木蓄积密度无条件估计为:

$$\hat{\lambda}_{y\pi s}^u = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m \hat{\lambda}_{y\pi s}^u \quad (6)$$

### 1.3 倒木长度无条件估计

当估计区域  $\Phi$  中的倒木总长度时, 此时,  $y_k=l_k$ , 第  $s$  条截线所截倒木长度估计为:

$$\hat{\tau}_{y\pi s}^u = \frac{\pi A n_s}{2L} \quad (7)$$

式(7)中:  $n_s$  为第  $s$  条截线所截倒木的条数。

$m$  条截线所截倒木总长度无条件估计为:

$$\hat{\tau}_{y\pi,rep}^u = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m \frac{\pi A n_s}{2L} \quad (8)$$

### 1.4 倒木总条数无条件估计

当估计区域  $\Phi$  中的倒木总条数时, 此时,  $y_k=1$ , 区域  $\Phi$  中第  $s$  条截线的倒木条数无条件估计为:

$$\hat{\tau}_{y\pi s}^u = \frac{\pi A}{2L} \sum_{\mu_k \in L_s} \frac{1}{l_k} \quad (9)$$

$m$  条截线所截倒木总条数无条件估计为:

$$\hat{\tau}_{y\pi,rep}^u = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m \hat{\tau}_{y\pi s}^u \quad (10)$$

### 1.5 方差估计

$V[\hat{\tau}_{y\pi,rep}^u]$  的无偏估计为:

$$\hat{v}[\hat{\tau}_{y\pi,rep}^u] = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{s=1}^m \left( \hat{\tau}_{y\pi s}^u - \hat{\tau}_{y\pi,rep}^u \right)^2 \quad (11)$$

$V[\hat{\lambda}_{y\pi,rep}^u]$  的无偏估计为:

$$\hat{v}[\hat{\lambda}_{y\pi,rep}^u] = \frac{1}{A^2} \hat{v}[\hat{\tau}_{y\pi,rep}^u] \quad (12)$$

### 1.6 估计精度

$\tau_y$  无条件估计的估计精度为:

$$P_{\hat{\tau}_{y\pi,rep}^u} = 1 - \frac{t_{a,m-1} \sqrt{\hat{v}[\hat{\tau}_{y\pi,rep}^u]}}{\hat{\tau}_{y\pi,rep}^u} \times 100\% \quad (13)$$

$\lambda_y$  无条件估计的估计精度为:

$$P_{\hat{\lambda}_{y\pi,rep}^u} = 1 - \frac{t_{a,m-1} \sqrt{\hat{v}[\hat{\lambda}_{y\pi,rep}^u]}}{\hat{\lambda}_{y\pi,rep}^u} \times 100\% \quad (14)$$

### 1.7 区间估计

$\tau_y$  无条件估计的估计区间为:

$$\hat{\tau}_{y\pi,rep}^u \pm t_{a,m-1} \sqrt{\hat{v}[\hat{\tau}_{y\pi,rep}^u]} \quad (15)$$

$\lambda_y$  无条件估计的估计区间为:

$$\hat{\lambda}_{y\pi,rep}^u \pm t_{a,m-1} \sqrt{\hat{v}[\hat{\lambda}_{y\pi,rep}^u]} \quad (16)$$

### 1.8 样线数的确定

假定个体分布为正态、独立、同分布。无条件估计的样线数为:

$$m \geq \left( \frac{t_{\alpha, m-1} \sqrt{\hat{v}[\hat{\tau}_{y\pi, rep}^u]}}{E \cdot \hat{\tau}_{y\pi, rep}^u} \right)^2 \quad (17)$$

式(17)中： $E$ 为相对误差限。

## 2 研究区概况

1987年，北京林业大学和吉林省汪清林业局合作在金沟岭林场建立检查法试验项目。项目的宗旨是预定和提交林分级尺度上森林生态系统；增强林地的承载力和生产力；提高森林经营水平。试验区属长白山系，位于 $43^{\circ}22'N$ ， $130^{\circ}10'E$ ，总面积为 $340.9 \text{ hm}^2$ ；各个大区分5个小区，共15个小区。本研究试验选择在检查法试验I大区4小区，有关I大区样地设计基本情况见表1。

表 1 I大区各小区样地面积和样地数量表

小区号	面积/ $\text{hm}^2$	样地总面积/ $\text{hm}^2$	样地数量/个
1	16.1	0.76	19
2	18.8	0.92	23
3	17.0	0.88	22
4	19.5	0.88	22
5	23.8	1.04	26

## 3 研究方法

2008年8月，在检查法的试验I大区4小区进行线截抽样的试验研究。I大区4小区共有22个样地，各个样地大小均为 $0.04 \text{ hm}^2$ ，样地布设方式见图2。其中东西方向为坡上坡下方向，为减少坡度的影响，在各个样地西桩处布设1条南北方向测绳，以西桩为中心，控制测绳在南北方向各50 m长，南方向起点为0 m，测绳总长100 m，各截线长度统计示意图所图3所示，共有22条截线。为探讨直线型线截抽样调查方法的可行性，只对大头直径 $D_k \geq 10 \text{ cm}$ ，长度 $L \geq 1 \text{ m}$ 的倒木进行调查。调查对象为与截线完全相交或部分相交的倒木，调查的指标为倒木的大头直径、小头直径、长度、分解等级。分解等级分为新近死亡、开始分解、大量分解、几乎完全分解4个等级。同时记录倒木截点处位置，便于不同截线长度线截抽样的倒木对象的统计分析。

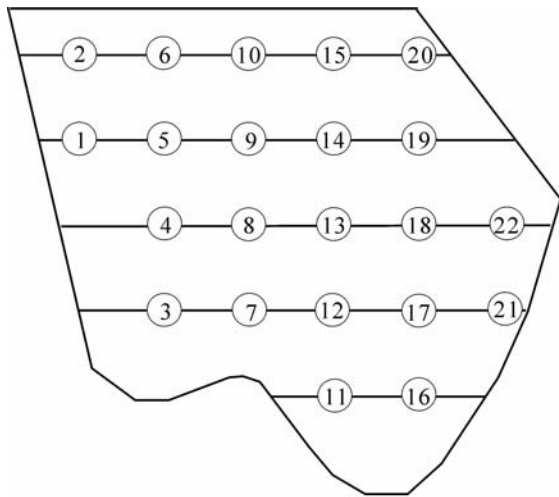


图 2 I大区4小区样点分布图  
Figure 2 Plots distribution in the fourth small section of the first section

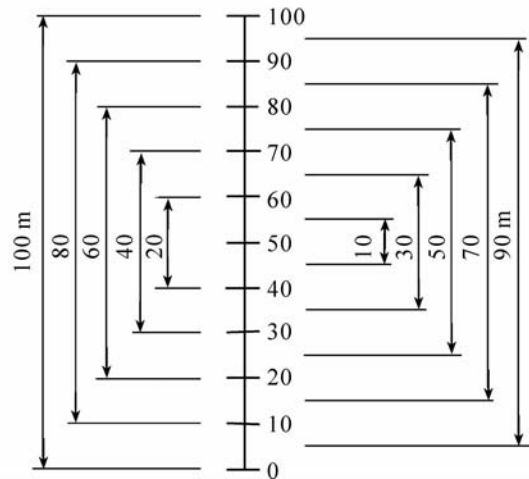


图 3 各截线长度统计示意图  
Figure 3 Statistical hint of different transect length

## 4 结果与分析

利用前面式(4)(6)(13)，不同截线长度倒木蓄积量无条件估计的抽样效果见表2。根据公式(10)(16)不同截线长度倒木条数无条件估计的抽样效果见表3。不同截线长度所截取倒木条数及估计值见表4。

截线长度是影响精度的主要因子<sup>[19]</sup>, 通过不同截线长度对倒木估计的影响, 从而确定最优的截线长度。

#### 4.1 倒木蓄积总量的估计精度与截线的长度关系

如图4所示: 倒木蓄积总量的估计精度随截线的长度增加而增加。截线长度是影响精度的主要因子<sup>[19]</sup>。当截线长度处于区间[10,50] m时, 随截线长度的增加, 抽样精度明显提高; 当截线长度达到50 m, 增加截线长度对抽样精度影响不大, 即当截线长度为50 m时, 抽样精度为90.05%, 截线长度取50 m直线型线截抽样既满足抽样精度要求, 同时也减少外业工作量。

#### 4.2 倒木总条数估计值与截线的长度关系

如图5所示: 倒木总条数估计值随截线的长度增加先增大后减少, 当截线长度区间为[50,100] m时, 倒木总条数估计值在(5 000, 6 000)相对稳定变化。

#### 4.3 倒木蓄积密度与截线的长度关系

如图6所示: 倒木蓄积密度随截线的长度增加先增大后减少, 当截线长度区间为[50,100] m时, 倒木蓄积密度在(25, 30)相对稳定变化。

#### 4.4 样本倒木条数与截线的长度关系

如图7所示: 所选样本倒木条数随截线的长度增加而近线性增加, 说明倒木在研究区域中的分布情况相对均匀。

综上各指标与截线长度的关系, 在一定区域内对倒木进行调查时, 截线长度取50 m既可以满足抽样精度要求, 又可以减少外业工作量, 因此是直线型线截抽样的最优截线长度。此时, I大区4小区倒木蓄积总量为536.85 m<sup>3</sup>, 蓄积密度为27.53 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>, 倒木总条数为5 887条, 抽样精度达90.05%(可靠性为95%)。

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

本研究在检查法的基础上, 根据现有森林生态系统监测需求, 应用直线型线截抽样原理对实验区进行了倒木的调查。探讨了不同截线长度对精度的影响, 确定了倒木调查的最佳截线长度为50 m, 此时, 倒木蓄积总量为536.85 m<sup>3</sup>, 蓄积密度为27.53 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>, 倒木总条数为5 887条, 抽样精度达90.05%(可靠性为95%)。

### 5.2 讨论

森林类型和干扰历史决定了粗木质物残体数量。本研究只对大头直径 $D_k \geq 10$  cm, 长度 $L \geq 1$  m的倒木进行系统布设的直线型线截抽样调查与研究, 对其他粗木质物残体采用其他截线类型线截抽样可进

表2 不同截线长度倒木蓄积量无条件估计的抽样效果

Table 2 Sampling effect of different transect length on the volume of log

截线长度/m	蓄积量总值/m <sup>3</sup>	蓄积量均值/ (m <sup>3</sup> ·条 <sup>-1</sup> )	蓄积量密度/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	抽样精度/%
10	321.16	0.06	16.47	13.06
20	331.37	0.06	16.99	15.73
30	597.35	0.09	30.63	76.67
40	563.75	0.09	28.91	85.72
50	536.85	0.18	27.53	90.05
60	514.76	0.10	26.40	91.39
70	533.48	0.10	27.36	93.72
80	570.23	0.11	29.24	93.87
90	575.42	0.11	29.51	95.25
100	555.75	0.10	28.50	95.94

表3 不同截线长度倒木条数无条件估计的抽样效果

Table 3 Sampling effect of different transect length on the number of log

截线长度/m	截线截取倒木 条数/条	倒木总条数/条	单位面积倒木条 数/(条·hm <sup>-2</sup> )
10	13	5 012	257
20	23	5 750	295
30	44	6 575	337
40	61	6 461	331
50	76	5 887	302
60	89	5 384	276
70	104	5 571	286
80	119	5 040	258
90	135	5 417	278
100	147	5 341	274

表 4 不同截线长度所截取倒木条数及估计值

Table 4 Number of log and its estimation of different transect length

样点号	倒木条数/条									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100 m
1	1	1	3	5	5	6	7	8	9	10
2	2	3	3	3	6	7	7	7	7	8
3	1	2	2	2	2	3	4	4	6	7
4	0	0	1	1	1	1	2	3	4	4
5	0	1	2	2	4	5	5	5	8	8
6	0	0	3	5	5	5	7	7	7	8
7	0	0	3	5	7	9	9	10	10	10
8	0	0	2	3	4	4	4	5	6	6
9	1	3	4	4	4	6	7	10	10	10
10	0	1	2	4	4	5	6	6	6	7
11	1	1	2	4	5	6	7	7	7	9
12	1	2	3	3	3	3	5	5	6	6
13	0	0	1	1	2	3	3	3	4	4
14	0	1	1	1	2	2	3	4	5	6
15	0	0	1	2	3	4	6	8	9	10
16	0	2	2	3	4	4	4	5	5	5
17	0	0	1	2	3	3	3	3	3	4
18	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3
19	0	0	0	2	3	3	4	4	5	5
20	3	3	3	3	3	3	4	4	6	7
21	1	1	2	2	2	3	3	7	8	9
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Σ	13	23	44	61	76	89	104	119	135	147
估计值	5 012	5 750	6 575	6 461	5 887	5 384	5 571	5 040	5 417	5 341

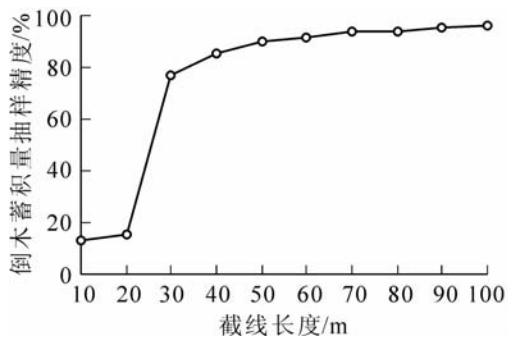


图 4 倒木蓄积总量的估计精度与截线长度的关系

Figure 4 Relationship between total volume of log and transect length

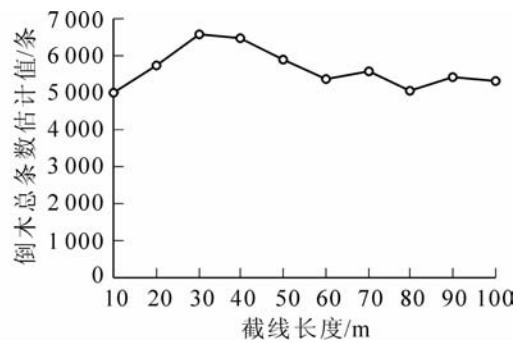


图 5 倒木总条数估计值与截线长度的关系

Figure 5 Relationship between total number of dead tree and transect length

一步研究。然而在粗木质物残体随机分布的立地中，采用复杂类型线截抽样不如采用单条直线型线截抽样<sup>[18]</sup>。调查中没有考虑坡度的影响；截线南北方向不一定十分准确，这在一定程度上影响抽样的概率。

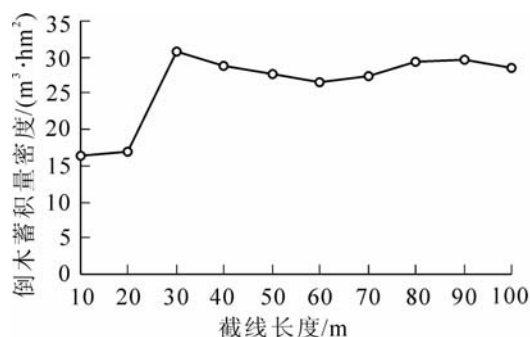


图6 倒木蓄积密度与截线长度的关系

Figure 6 Relationship between volume density of dead tree and transect length

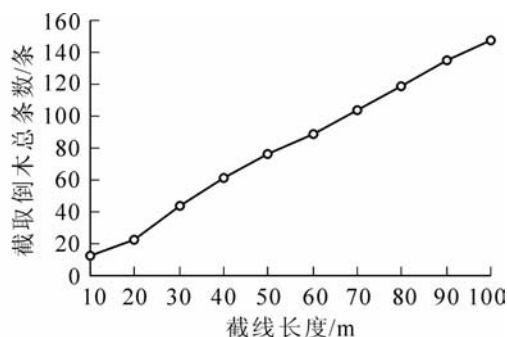


图7 样本倒木条数与截线的长度关系

Figure 7 Relationship between numbers of dead tree of dead tree and transect length

本研究调查是在检查法的基础上进行的,截线的布设方式是系统布设的,截线的条数与检查法的样地数一致。截线数量对倒木估计精度的影响可进一步研究。

此次调查研究中,所采用的截线长度是等长的。可以根据粗木质物残体的分布状况,采用不等长的截线长度进行调查,同时亦可采用多阶线截抽样进行其他监测指标的调查。

本研究所采用方法只针对研究区域进行,对于其他区域或其他森林类型的倒木的调查直线型截线长度是否 50 m 就能达到 90.05%精度有待试验与研究。

#### 参考文献:

- [1] GREGOIRE T G, VALENTINE H T. Line intersect sampling: EII-shaped transects and multiple intersections [J]. *Environ Ecol Stat*, 2003, **10** (2): 263 - 279.
- [2] GREGOIRE T G, VALENTINE H T. *Sampling Strategies for Natural Resources and the Environment* [M]. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2008: 279 - 326.
- [3] CANFIELD R H. Application of the line interception method in sampling range vegetation [J]. *J For*, 1941, **39** (4): 34 - 40.
- [4] WARREN W G, OLSEN P F. A line intersect technique for assessing logging waste [J]. *For Sci*, 1964, **10** (3): 267 - 276.
- [5] MATERN B. A method of estimating the total length of roads by means of a line survey [J]. *Stud For Suec*, 1964, **18**: 68 - 70.
- [6] BROWN T K. A planar intersect method for sampling fuel volume and surface area [J]. *For Sci*, 1971, **17** (1): 96 - 102.
- [7] CHEVROU R. Inventaire des haies [J]. *Rev For Franc*, 1973, **25**: 47 - 53.
- [8] HANSEN M H. Line intersect sampling of wooded strips [J]. *For Sci*, 1985, **31** (2): 282 - 288.
- [9] de VRIES P G. *Sampling Theory for Forest Inventory* [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1986: 242 - 279.
- [10] BATTLES J J, DUSHOFF J G, FAHEY T J. Line intersect sampling of forest canopy gaps [J]. *For Sci*, 1996, **42** (2): 131 - 138.
- [11] NELSON R, SHORT A, VALENTI M. Measuring biomass and carbon in delaware using an airborne profiling LIDAR [J]. *Scandinavian J For Res*, 2004, **19** (6): 500 - 511.
- [11] 刘素青, 洪家胜, 彭世揆. 林分蓄积量调查的线截抽样原理[J]. 东北林业大学学报, 1999, **27** (2): 60 - 64.  
LIU Suqing, HONG Jiasheng, PENG Shikui. The principle of line intersect sampling for surveying stand volume [J]. *J Northeast For Univ*, 1999, **27** (2): 60 - 64.
- [12] 刘素青, 洪家胜, 彭世揆. 线截抽样与线状物体调查原理研究[J]. 江西农业大学学报, 1998, **20** (3): 376 - 380.  
LIU Suqing, HONG Jiasheng, PENG Shikui. Line intersect sampling and surveying on linearshape object (road net, forest belt etc.) [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 1998, **20** (3): 376 - 380.
- [13] 闫恩荣, 王希华, 黄建军. 森林粗死木质残体的概念及其分类[J]. 生态学报, 2005, **25** (1): 158 - 167.

- YAN Enrong, WANG Xihua, HUANG Jianjun. Concept and classification of coarse woody debris in forest ecosystems [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25** (1): 158 – 167.
- [14] 侯平, 潘存德. 森林生态系统中的粗死木质残体及其功能[J]. 应用生态学报, 2001, **12** (2): 309 – 314.  
HOU Ping, PAN Cunde. Coarse woody debris and its function in forest ecosystem [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2001, **12** (2): 309 – 314.
- [15] 刘惠英, 张思玉, 吉霞. 粗死木质残体的水土保育功能[J]. 世界林业研究, 2004, **17** (3): 25 – 28.  
LIU Huiying, ZHANG Siyu, JI Xia. The soil and water conservation function of coarse woody debris [J]. *World For Res*, 2004, **17** (3): 25 – 28.
- [16] 赵玉涛, 余新晓, 程根伟, 等. 粗死木质残体的水文生态功能[J]. 山地学报, 2002, **20** (1): 12 – 18.  
ZHAO Yutao, YU Xinxiao, CHENG Genwei, *et al.* A slighting tache in field of forest hydrology research: hydrological effects of coarse woody debris (CWD) [J]. *J Mount Res*, 2002, **20** (1): 12 – 18.
- [17] 罗仙仙, 亢新刚. 森林资源综合监测研究综述[J]. 浙江林学院学报, 2008, **25** (6): 803 – 809.  
LUO Xianxian, KANG Xingang. Progress in research on the comprehensive monitoring of forest resources [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25** (6): 803 – 809.
- [18] du CROS R T, LOPEZ S. Preliminary study on the assessment of deadwood volume by the French national forest inventory [J]. *Ann For Sci*, 2009, **66** (3): 1 – 10.
- [19] WOLDENDORP G, KEENAN R J, BARRY S, *et al.* Analysis of sampling methods for coarse woody debris [J]. *For Ecol Manage*, 2000, **198** (1/3): 133 – 148.