

人工林成活率 抽樣調查之商榷

◎廖大牛

農業委員會為保育水土資源，推行全民造林運動，提高造林補助金，引起農民興趣，各縣市努力以赴。為配合推行成果的驗收，發放補助金，中華造林事業協會在農委會林業處指導下，前往各縣市召開研習會。造林協會為配合各鄉鎮實際需要，由本人講解測量及造林成績之調查技術。因在農委會召集檢討會時決議如何驗收成活率乙節由協會與林務局會同決定。此重任落在協會後，希望本人講解調查方法，造林初期的問題為成活率。因從未參加林務局造林抽查經驗的人，不知究如何驗收造林

地，開始請教實際造林工作的林務人員，如樣區大小(Plot Size)、樣本大小(Sample Size)及樣區排列等問題。然依林務局頒訂造林作業承包注意事項其規定為：

- ① 各項工作成績調查以系統抽樣，取標準地調查；
- ② 20ha 以下者每 4ha 1 個樣區；
- ③ 21~40ha 者每增加 8ha (增加) 1 個；
- ④ 41~100ha 者每增加 16ha (增加) 1 個；
- ⑤ 101ha 以上者每增 32ha (增加) 1 個；
- ⑥ 並以總面積平均計算所得結果為準。

大意如上 6 點，因此本人以從事森林調查的看法提出幾點意見就教。

抽樣調查 (Sampling) 就群族 (Population) 抽出有代表性且無偏誤的 (Unbiased) 樣本，以推測母數 (Parameter)。在森林調查上，一般原則為：

- ① 抽樣以隨機取樣為原則，但系統抽樣原則上較隨機好，亦可得客觀的樣本。此點與標準地不同。
- ② 抽樣調查的樣區大小，影響林分變異係數 (Coefficient of Variation, $C = S/X$)。樣區面積越大則樣區間的變化越小 (即 C 小)。

唯樣區面積大至0.1ha至0.15ha時，C趨於穩定，即樣區面積達0.1ha後所增大的調查面積，對效率的增益有限，不會比例提高。

③ 抽樣率固定時樣區面積越小，可增加樣區數(n)，致自由度(df=n-1)增加使誤差降低，提高正確度。然樣區數多於30個樣區以上時，誤差趨向穩定。

④ 樣區內的林木株數以能包括30株左右為準。

⑤ 調查對象林分，面積越大林相越不均勻，即C增大，需要較多的樣區數，抽樣率(Sampling Ratio)要提高，始更具代表性。

⑥ 林相差異大(亦即面積越大)的林分，可區劃成林相較整齊的層(Strata)，分層抽樣的效果較佳。

⑦ 林分面積太小(如6ha以下)的抽樣調查意義不大。即所節省經費有限，但正確度損失大。

⑧ 一般定論為：天然林調查樣區以0.1ha，造林地材積調查以0.05ha，幼齡林木調查以0.02ha樣區，天然更新調查以方塊叢樣區調查之。

⑨ 抽樣調查的樣本大小(n)與群族大小(N)林分變異係數(c)及容許誤差(e)有關，採用下式計算應調查的樣區數：

$$n = \frac{t^2 c^2}{e^2} \quad \text{或}$$

$$n = \frac{t^2 c^2 N}{Ne^2 + t^2 c^2}$$

式中t為Student t分布，倘機率要求為95%可靠性時以2計算。C為經驗數，依林相變化情形而定，0.2至0.6之間變化很大。容許誤差以控制在10%(0.1)為準。然造林地面積不大，稱有限群族(Finite Population)，宜採用第二公式計算樣區數。此時其群族大小，將林分面積以樣區面積除之得N。

⑩ 系統抽樣的樣區間隔為：

$$\text{樣區間隔(m)} = \sqrt{\frac{\text{林地面積(ha)}}{\text{樣區數(n)}}} \times 100$$

而樣區的排列方向以造林行列為準。然林相變化有方向性時，可在其變化的方向上取密一點的樣區，而均勻的方向可疏一點，但維持總樣區數相同。

⑪ Arther Mayer認為固定在不同抽樣率下，調查林分所得之誤差率，有如下表關係(摘錄)：

各種森林面積不同林分變異係數下不同調查面積的材積誤差
 Mayer et al, 1965 Forest management P28 摘錄

林分面積	調查面積	抽 1%	2%	樣 5%	率 10%
C=0.15 林分變異係數0.15時，材積誤差%					
	20ha	21.1	14.8	9.2	6.4
	40ha	14.9	10.5	6.5	4.5
	80ha	10.6	7.4	4.6	3.2
	200ha	6.7	4.7	2.9	2.0
C=0.3 林分變異係數0.3時，材積誤差%					
	20ha	42.2	29.7	18.5	12.7
	40ha	29.9	21.0	13.1	9.0
	80ha	21.1	14.9	9.2	6.4
	200ha	13.3	9.4	5.8	4.0
C=0.6 林分變異係數0.6時，材積誤差%					
	20ha	84.4	59.4	37.0	25.4
	40ha	59.8	42.0	26.2	18.0
	80ha	42.2	29.7	18.5	12.7
	200ha	26.7	18.8	11.7	8.0

人工林以固定的株距與行距栽植苗木，且有 6 年的撫育作業，可認為林相變異係數不大的林分，C 可設定在 0.3 左右或以下。其抽樣率比較如次：

不同林地面積下的抽樣率比較 (Mayer 標準以 e=0.1 訂定之)

抽樣調查 林地面積	林務局現行調查方法				Mayer標準		
	樣區數	0.05 ha 樣區		0.1 ha 樣區		C=0.15	C=0.3
		調查面積	抽樣率	調查面積	抽樣率		
20 ha 以下	5 個	0.25 ha	0.0125	0.5 ha	0.025	0.05	0.1
20-40 ha	8 個	0.4 ha	0.01	0.8 ha	0.02	0.02	0.1
40-100 ha	12 個	0.6 ha	0.006	1.2 ha	0.012	0.01	0.02

就上表比較，除非造林地林相整齊均勻外(C=0.15)，現行抽樣調查的樣區數是不夠的，且樣區太少，誤差率會相當大。若以 0.05ha 樣區調查更不必談。

事例，設有栽植 3000 株 /ha 的造林地 25ha 要調查其成活率，依規定為 6 個樣區，即要調查 0.1ha 樣區時共查定 0.6ha 的抽樣面積。倘改以 0.02ha 樣區調查，可改進調查效率並計算有關統計量：

人工林 25 公頃 0.02ha 樣區成活率調查結果

根據比率調查(如成活率)的抽樣理論，由群族 N 中抽出 n 個隨機樣本時，

群族比率 R 為：

$$\hat{R} = r = \frac{\sum Y_i}{\sum X_i}$$

r 的變異數(Variance)為：

$$\hat{V}(r) = \left(\frac{N-n}{nN} \right) \left(\frac{1}{\mu_i} \right) \frac{\sum (Y_i - rX_i)^2}{n-1}$$

推測誤差界限：

$$2\sqrt{\hat{V}(r)} = 2\sqrt{\frac{N-n}{nN} \cdot \frac{1}{\mu_i} \cdot \frac{\sum (Y_i - rX_i)^2}{n-1}}$$

式中 $\sum (Y_i - rX_i)^2$ 的簡便計算式為：

$$\sum (Y_i - rX_i)^2 = \sum Y_i^2 + r^2 \sum X_i^2 - 2r \sum X_i Y_i$$

樣區號碼	株數		0.1 ha 樣區		成活率計算
	造林 X_i	總數 Y_i	$Y_i - rX_i$	$(Y_i - rX_i)^2$	
1	60	58	1.417	2.007	$r = \frac{\sum Y_i}{\sum X_i} = \frac{679}{720} = 0.943$ $2\sqrt{\hat{V}(r)} = 2\sqrt{\frac{N-n}{nN} \cdot \frac{1}{\bar{X}^2} \cdot \frac{\sum (Y_i - rX_i)^2}{n-1}}$ $= 2\sqrt{\frac{500-12}{12 \times 500} \cdot \frac{1}{60^2} \cdot \frac{172,919}{12-1}}$ $= 2\sqrt{0.0003551535}$ $= 0.03769$
2	60	57	0.417	0.174	
3	60	59	2.417	5.840	
4	60	48	-8.584	73.674	
5	60	60	3.417	11.674	
6	60	60	3.417	11.674	
7	60	59	2.417	5.840	
8	60	57	0.417	0.174	
9	60	50	-6.583	43.340	
10	60	60	3.417	11.674	
11	60	54	-2.583	6.674	
12	60	57	0.417	0.174	
n=12	720	679	+17.746 -17.750	172.919	成活率=(94±4)%

註：正值 (+17.746) 與負值 (-17.750) 相加不等於零係四捨五入之故。

同樣的計算如利用有迴歸程式計算機來算時，直接算出下列數據：

$$\begin{aligned}n &= 12 \\ \Sigma X &= 720 \\ \Sigma Y &= 679 \\ \Sigma X^2 &= 43,200 \\ \Sigma Y^2 &= 38,593 \\ \Sigma XY &= 40,740\end{aligned}$$

由此數值來計算：

$$r = \frac{\Sigma Y}{\Sigma X} = \frac{679}{720} = 0.943$$

$$\Sigma(Y - rX)^2 = \Sigma Y^2 + r^2 \Sigma X^2 - 2r \Sigma XY$$

$$= 38,593 + 0.943^2 \times 43,200 - 2 \times 0.943 \times 40,740$$

$$= 172.916634$$

$$2\sqrt{\hat{V}(r)} = 2 \cdot \sqrt{\frac{500-12}{12 \times 500} \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{172.916634}{12-1}}$$

$$= 2 \times 0.018845 = 0.03769$$

成活率：(94% ± 4)%

假如，要設計該造林地的抽樣調查時，實需多少樣區(n)即可：

$$N = \frac{25\text{ha}}{0.02\text{ha}} = 1250 \text{ 個 } 0.02\text{ha 樣區}$$

$$C = 0.2$$

$$e = 0.1$$

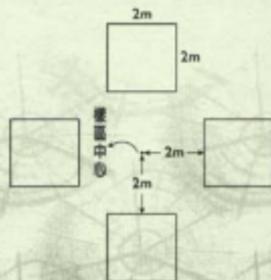
$$n = \frac{t^2 c^2 N}{Ne^2 + t^2 c^2} = \frac{2^2 \times 0.2^2 \times 1250}{1250 \times 0.1^2 + 2^2 \times 0.2^2} = 15.79$$

即 16 個 0.02ha 樣區(調查面積為 0.36ha)即可。然到第 3、4、5、6 年後成活會參差不齊，林相變異係數可設定 c=0.3 時：

$$n = \frac{2^2 \times 0.3^2 \times 1250}{1250 \times 0.1^2 + 2^2 \times 0.3^2} = 34.99$$

即需要 35 個樣區(調查 0.7ha)。

若以方塊樣區調查成活率時，可查明造林地內成活率高與低的分布情形，並可計算應補植苗木數量。同時將來成林時林木在林地內的分佈均勻，可充分利用生長空間。方塊樣區的設計視林木栽植株數來定其生育空間。例如每公頃植 2500 株時，每株苗木的分配空間為 $2 \times 2\text{m}$ 的方塊，($\sqrt{10,000\text{m}^2/2,500\text{株}} = 2$) 以四個方塊構成一個樣區。此四個方塊的配置位置為各離樣區中心一個方塊的前、後、左、右(坡地上則上下左右)各設定一個方塊，調查其成活苗木的株數。調查時僅要準備一枝長 2m 的竹或枝條，由樣區中心量出 2m 處，將竹條的中點橫放在離中心 2m 處決定 $2 \times 2\text{m}$ 方塊，數出苗木成活株數。



2,500 株 / ha
栽植時之方塊樣區

方塊樣區成活率調查（每公頃種植 2,500 株）樣區 2 × 2 方塊

方塊 \ 樣區	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
上	2	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	0	0	1	1	2	1
右	1	0	1	0	1	1	1	2	1	1	2	1	1	0	2	1	2	1
下	1	1	0	1	1	3	2	2	2	1	1	0	0	1	2	2	1	0
左	0	1	1	1	1	1	2	2	2	1	0	0	1	0	0	2	2	0
成活率	0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.75	0.5	0.5	0.5	0.75	1.0	1.0	0.5

由表計算： $n = 18$

$$\Sigma X = 14.5$$

$$\Sigma X^2 = 12.375$$

$$\text{平均成活率： } \bar{X} = \frac{14.5}{18} = 0.8055$$

$$\text{標準差： } S = \sqrt{\frac{\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2 / n}{n-1}} = 0.2021$$

$$\text{平均值之誤差： } S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} = 0.0476$$

在 0.95 機率下的成活率： $\bar{X} \pm tS_x$ 為：

(80.55 ± 2.11 × 4.76) %，即 71% 至 91% 之間。

結語：

- ① 現行成活率調查方法似尚有改進之餘地。因在固定的調查率下，倘縮小每個樣區的面積時，可增加樣區數目。蓋 n 增加後，自由度 ($n-1$) 增大可提高正確度。具體言之，在一定調查率下，0.05ha 樣區倘改為 0.02ha 時 n 增大，成為較大的樣本 (Sample Size)。
- ② 更新方塊樣區法 (Stocked-Quadrat Method) 可查出全造林面積的成活分佈情形，應可視為理想技術。調查方法簡便。
- ③ 造林第 1、2 年的成活率調查以方塊樣區，往後年度以 $\frac{1}{50}$ ha (200m²) 樣區查驗以得，同樣的工作量下多數佈樣區 (大樣本) 的效果，提高正確度。
- ④ 撫育完成後，可改以材積查核造林成績。