

不同抽樣法之成活率調查比較

◎廖大牛

一、調查設計

造林地蓄積調查有全林每木調查與抽樣調查二種。全林每木調查就造林地內的每一株林木無遺漏的通通測定株數、直徑等蓄積因子。抽樣調查則就造林地（稱族群）抽出有代表性的樣本測定之。有代表性的樣本係指樣本的指定過程無人為因子介入，完全由機會決定之，稱隨機抽樣。森林調查多採用系統抽樣，即樣區與樣區間的區隔依事先決定之距離定之，可得無偏誤樣本(unbiased sample)。

本次調查的樣區面積分三種：

1. 0.02ha樣區，樣區半徑為7.98m。
2. 0.005ha樣區，樣區半徑為3.99m。
3. 方塊樣區，依造林株數決定方塊大小，以

4個方塊叢為一個樣區。方塊的邊長為

$$\sqrt{\frac{10,000\text{m}^2}{\text{每公頃造林株樹}}} = \sqrt{\frac{10,000}{4,000}} = 1.58\text{m}$$

調查後就不同樣區設計檢討適合澎湖的調查方法，以資以後的抽樣設計之參考。

樹高調查以雙重抽樣(double sampling)測定利用指數模型(exponential model)推定：

$$H = e^{a+bd^{-1}}$$

$$\ln(H) = a + bd^{-1}$$

二、東衛木麻黃蓄積調查結果

就東衛81年度木麻黃造林地（7年生），8.1公頃以0.02ha樣區調查結果如表1：

表1：木麻黃7年生造林地樣區調查結果

88.5.27

樣區	株數	成活率	樣區	株數	成活率	樣區	株數	成活率	樣區	株數	成活率
1	35	0.438	16	35	0.438	31	43	0.538	46	29	0.363
2	34	0.425	17	47	0.588	32	21	0.263	47	51	0.638
3	40	0.500	18	43	0.538	33	28	0.350	48	64	0.800
4	36	0.450	19	43	0.538	34	23	0.288	49	82	1.000
5	40	0.500	20	39	0.488	35	59	0.738	50	47	0.588
6	47	0.588	21	51	0.638	36	27	0.338	51	44	0.550
7	39	0.488	22	47	0.588	37	41	0.513	52	51	0.638
8	52	0.650	23	47	0.588	38	31	0.388	53	68	0.850
9	35	0.438	24	42	0.525	39	19	0.238	54	59	0.738
10	53	0.63	25	37	0.463	40	24	0.300	55	36	0.450
11	43	0.538	26	21	0.263	41	10	0.125	56	46	0.575
12	28	0.350	27	35	0.438	42	25	0.313	57	46	0.575
13	42	0.525	28	45	0.563	43	38	0.475	58	28	0.350
14	32	0.400	29	42	0.525	44	55	0.688	合計	2,345	28,942
15	41	0.513	30	36	0.450	45	43	0.538	ΣX_i^2		15,710

註： ΣX_i^2 為成活率的平方和

表1各樣區的株數合計為2,345株，其平均成活率為50.5%。

$$\text{平均成活率} = \frac{2,345}{80 \text{株} \times 58 \text{個樣區}} = 0.505$$

然各樣區內株數以80株（4,000株/ha \times 0.02ha）除之得樣區成活率 X_i （ i 為樣區號碼），亦可用以求平均成活率49.9%。

$$\text{平均成活率} = \frac{\Sigma X_i}{n} = \frac{28,942}{58} = 0.499$$

此種求法的優點能算出其正確度的信賴區間：

$$\begin{aligned} \text{偏差平方和 } \Sigma(X_i - \bar{X})^2 &= \Sigma X_i^2 - \frac{(\Sigma X_i)^2}{n} \\ &= 15,710 - \frac{28,942^2}{58} = 1,267,942 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{標準差 } S &= \sqrt{\frac{1,267,942}{58} - 1} = \sqrt{0.022244596} \\ &= 0.1491 \end{aligned}$$

$$\text{林分變異係數：} C = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{0.1491}{0.499} = 0.30$$

$$\text{平均成活率之誤差 } S_{\bar{X}} = S / \sqrt{n} = \frac{0.1491}{\sqrt{58}} = 0.01958$$

因此，在95%機率下的成活率信賴區間為53.7%至45.9%之間：

$$(0.499 \pm 2 \times 0.01958) \text{ 即 } (0.499 \pm 0.039)$$

其次同樣的成活率計算可利用比率抽樣理論，由族群 N 中抽出 n 個隨機樣本時的族群比率 R 及變異數(variance)為：

$$\text{族群比率 } \hat{R} = r = \frac{\Sigma Y_i}{\Sigma X_i} = \frac{2,343}{4,640} = 0.5049$$

樣本比率 r 的變異數 $\hat{V}(r)$ 為：

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

然 $\sum(Y_i - rX_i)^2 = \sum Y_i^2 + r^2 \sum X_i^2 - 2r \sum X_i Y_i$ ，故可利用電子計算機（有迴歸計算功能）求出下列因子：

$$\begin{aligned} n &= 58 \\ \sum X_i &= 4640 \\ \sum Y_i &= 2343 \\ \sum X_i^2 &= 371,200 \\ \sum Y_i &= 103,539 \\ \sum X_i Y_i &= 187,440 \\ \sum(Y_i - rX_i)^2 &= 103,539 + 0.5049^2 \times 371,200 - 2 \times \\ &\quad 0.5049 \times 187,440 \\ &= 8889.87931 \end{aligned}$$

然8.1ha造林地的 N 為405個0.02ha樣區，即

$$\hat{V}(r) = \frac{405-58}{405 \times 58} \cdot \frac{1}{80^2} \cdot \frac{8889.87931}{58-1} = 3.5998756 \times 10^{-4}$$

機率95%下的誤差為 $2\sqrt{\hat{V}(r)} = 2\sqrt{3.5998756 \times 10^{-4}} = 0.0379$ ，信賴區間為 (0.5049 ± 0.0379) 即54.2%至46.7%間。

倘比率抽樣若以普通計算機手算時需按各樣區計算偏差（表2第4欄）及其平方（第5欄），參考表2之說明及統計計算，得相同結果。

表2：81年度木麻黃造林地樣區內成活株數及抽樣誤差計算

樣區號碼	樣區內株數		$Y_i - rX_i$	$(Y_i - rX_i)^2$	說明及統計計算
	造林 X_i	調查 Y_i			
1	80	35	-5.43	29.48	① $(Y_i - rX_i) = 35 - 0.50538 \times 80 = -5.4304$
2	80	34	-6.43	41.34	
3	80	40	-0.43	0.18	② $(Y_i - rX_i)^2 = -5.4304^2 = 29.4892$
4	80	36	-4.43	19.64	
5	80	40	-0.43	0.18	註：此第4與5欄往往會出現不是平方的關係為第4欄精密計算後將其平方得第5欄所致是正確的平方值。
6	80	47	6.57	43.16	
7	80	39	-1.43	2.04	
8	80	52	11.57	133.86	
9	80	35	-5.43	29.48	
10	80	53	12.57	158.00	
11	80	43	2.57	6.60	
12	80	28	-12.43	154.50	
13	80	42	1.57	2.46	
14	80	32	-8.43	71.06	
15	80	41	0.57	0.32	③第3欄的合計2345株應2343株較正確，因49號樣區的82株超出正常株數應以80株計算。
16	80	35	-5.43	29.48	
17	80	47	6.57	43.16	④第4欄合計正負值應相同，但因尾數四捨五入所致-269.24與+271.04間有1.8相差不等於零，精密計算結果為 9×10^{-5} 幾乎零。
18	80	43	2.57	6.60	
19	80	43	2.57	6.60	
20	80	39	-1.43	2.04	⑤累計各欄得58個樣區之計。
21	80	51	10.57	111.72	
22	80	47	6.57	43.16	
23	80	47	6.57	43.16	
24	80	42	1.57	2.46	
25	80	37	-3.43	11.76	
26	80	21	-19.43	377.52	
27	80	35	-5.43	29.48	
28	80	45	4.57	20.88	
29	80	42	1.57	2.46	

表2：81年度木麻黃造林地樣區內成活株數及抽樣誤差計算（續）

樣區號碼	樣區內株數		$Y_i - rX_i$	$(Y_i - rX_i)^2$	統計計算
	造林 X_i	調查 Y_i			
30	80	36	-4.43	19.62	根據本表合計欄數據
31	80	43	2.57	6.60	
32	80	21	-19.43	377.52	平均成活率 $= \frac{\sum Y_i}{\sum X_i} = \frac{2345}{4.640}$
33	80	28	-12.43	154.50	
34	80	23	-17.43	303.80	$r = 0.50538$
35	80	59	18.57	344.84	
36	80	27	-13.43	180.36	註：2345應以2343為正確，因樣區49的82株超出80株的100%成活量故減2株。
37	80	41	0.57	0.32	
38	80	31	-9.43	88.92	變異數 $= \frac{N-n}{n} \cdot \frac{1}{N} \cdot \frac{\sum (Y_i - rX_i)^2}{n-1}$
39	80	19	-21.43	459.24	
40	80	24	-16.43	269.94	$V(r) = \frac{405 - 58 \cdot \frac{1}{58} \cdot \frac{8889.68}{57}}{58 \cdot 45 \cdot \frac{1}{58} \cdot \frac{8889.68}{57}}$
41	80	10	-30.43	925.98	
42	80	25	-15.43	238.08	$= 3.59979892 \times 10^{-4}$
43	80	38	-2.43	5.90	
44	80	55	14.57	212.28	標準差 $= \sqrt{V(r)}$
45	80	43	2.57	6.60	
46	80	29	-11.43	130.64	$= 0.0379$
47	80	51	10.57	111.72	
48	80	64	23.57	555.54	標準差95%時之信賴區間為 (0.505 ± 0.038) 或 (54.3%至56.7%)
49	80	82	39.57	1565.78	
50	80	47	6.57	43.56	按各項計算
51	80	44	3.57	12.74	
52	80	51	10.57	111.72	各項浮點計算累積
53	80	68	27.57	760.10	
54	80	59	18.57	344.84	
55	80	36	-4.43	19.62	
56	80	46	5.57	31.02	
57	80	46	5.57	31.02	
58	80	28	-12.43	154.50	
合計	4,640	2,345	-269.24 +271.04	8889.68	
			9×10^{-8}		

另執行樣木測定，測得各樣木的胸高直徑D及樹高H，以資獲得樹高曲線式，

$$H = e^{2.412 - \frac{4.093}{D}}$$

，如表3得各直徑級中央值的推定樹高。

表3：依據樣木測定求樹高曲線之實驗式

直徑級cm	平均胸徑cm	平均樹高m	推定樹高m	直徑級推定樹高m	樹木數
3	3.0	3.7	2.9	3.5	3
4	4.2	3.8	4.2	4.5	5
5	5.5	4.8	5.3	5.3	11
6	6.3	4.6	5.8	5.9	8
7	7.6	5.3	6.5	6.6	8
8	8.5	6.7	6.9	6.7	15
9	9.4	6.9	7.2	7.3	10
10	10.6	8.5	7.6	7.6	6
11	11.5	8.6	7.8	7.8	7
12	12.3	7.3	8.0	8.0	8
13				8.2	
14				8.4	
15				8.6	
16	16.5	10.5		8.7	3
24	24.9	11.1			2

$$\text{樹高曲線式 } H = e^{a + bD^{-1}}$$

$$\text{直線轉換式 } \ln(H) = a + bD^{-1}$$

$$\text{求得式中 } a = 2.412$$

$$b = -4.093$$

$$\text{故實驗式為 } \ln(H) = 2.412 - 4.093D^{-1}$$

$$\text{或 } H = e^{2.412 - 4.093D^{-1}}$$

例如直徑2.5cm的樹高為

$$H_{2.5} = e^{2.412 - 4.093 \cdot \frac{1}{2.5}}$$

$$= e^{0.7752}$$

$$= 2.17m$$

利用推定樹高與連皮直徑（各直徑級中央值）以0.45的形數算定各直徑級林木單株材積。

$$\text{單株材積 } V_i = 0.45 \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H$$

$$\text{例如 } V_{16} = 0.3534 \times 0.165^2 \times 8.7 = 0.0837$$

分別計算各直徑級的單株材積計列於表

4。該表稱林分表，表示造林地每公頃株數、蓄積及其所佔比率（第3、4、6、7欄）。本表第2欄的株數為58個樣區的株數按各別直徑級累加而成直徑級別株數分佈以樣區總面積1.16ha（0.02×58）除換算成每公頃株數（第3欄）

表4：木麻黃58個0.02ha樣區株數分佈及林分表

直徑級cm	樣區內總株數	一公頃株數	比率	單株材積m³	一公頃蓄積m³	比率
2	8	6.9	0.0034	0.0005		
3	142	122.4	0.0605	0.0015	0.18	0.0061
4	224	193.1	0.0955	0.0032	0.62	0.0211
5	353	304.3	0.1505	0.0057	1.73	0.0590
6	377	325.0	0.1608	0.0088	2.86	0.0975
7	385	331.9	0.1642	0.0131	4.35	0.1483
8	281	242.2	0.1198	0.0171	4.14	0.1412
9	248	213.8	0.1058	0.0233	4.98	0.1698
10	138	119.0	0.0589	0.0296	3.52	0.1200
11	100	86.2	0.0426	0.0365	3.15	0.1074
12	53	45.7	0.0226	0.0442	2.02	0.0689
13	25	21.6	0.0107	0.0528	1.14	0.0389
14	9	7.8	0.0039	0.0624	0.49	0.0167
15	1	0.9	0.0004	0.0730	0.07	0.0024
16	1	0.9	0.0004	0.0837	0.08	0.0027
合計	2345	2021.7	1.0000		29.33	1.0000

即東甌81年木麻黃造林地每公頃蓄積量為株數2,021株，材積29.33m³；全林蓄積（8.1ha）為275.58立方公頃。

三、七美造林成活率調查

七美造林地於87年栽植木麻黃、檳榔及南洋杉，5公頃。分別以方塊樣區叢（1.58m）及0.005ha樣區（半徑3.99m）調查81個樣區。其中以四個1.58m方塊所構成的81個樣區叢調查結果如表5所示，計算其成活率如次：

樣區數n=81

成活率總和 $\Sigma X_i = 49.5$

平方和 $\Sigma X_i^2 = 34.625$

平均成活率 $\bar{X} = \frac{49.5}{81} = 0.611$

標準差 $S = \sqrt{\frac{\Sigma X_i^2 - (\Sigma X_i)^2/n}{n-1}} = \sqrt{\frac{34.625 - 49.5^2/81}{80}} = 0.2338$

$$\text{林分變異係數} C = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{0.2338}{0.611} = 0.382$$

$$\text{平均值之誤差} S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0.2338}{\sqrt{81}} = 0.0259$$

95%信賴區間： $\bar{X} \pm t_{S_{\bar{X}}}$ ：0.61 \pm 2 \times 0.03

或67%至55%間

$$\text{適當的抽樣樣區數} n = \frac{t^2 e^2}{d^2} = \frac{2^2 \times 0.4^2}{0.1^2} = 64 \text{個}$$

因本抽樣81個樣區所得之誤差率為0.05較64

個樣區設計之 $e=0.1$ 改進加倍。

表5：民國87年造林地，樹種南洋杉、木麻黃、欖柳 成活率調查地點：七美，面積5ha，

88.06.01

Plot#	前	左	右	後	成活率	Plot#	前	左	右	後	成活率	Plot#	前	左	右	後	成活率
1	0	0	1	1	0.5	31	1	0	1	2	0.75	61	0	0	0	0	0.0
2	0	1	0	1	0.5	32	2	0	0	0	0.25	62	0	1	1	1	0.75
3	1	1	1	2	1.0	33	1	0	0	3	0.5	63	0	0	1	0	0.25
4	1	2	1	1	1.0	34	1	0	2	2	0.75	64	0	1	1	0	0.5
5	2	1	0	0	0.5	35	2	0	0	0	0.25	65	2	2	0	0	0.5
6	1	1	0	1	0.75	36	1	0	0	2	0.5	66	0	2	0	2	0.25
7	1	2	1	0	0.75	37	2	1	1	0	0.75	67	2	0	2	0	0.5
8	1	2	1	1	1.0	38	1	2	0	0	0.5	68	2	2	2	0	0.75
9	1	3	1	0	0.75	39	2	2	1	0	0.75	69	2	0	2	0	0.5
10	1	1	0	0	0.5	40	0	0	0	1	0.25	70	2	0	0	0	0.25
11	1	3	1	2	1.0	41	1	0	0	0	0.25	71	2	0	2	2	0.75
12	2	0	1	0	0.5	42	1	0	0	0	0.25	72	2	0	2	1	0.75
13	1	0	1	0	0.5	43	1	0	0	0	0.25	73	2	1	0	0	0.5
14	2	0	1	1	0.75	44	1	0	0	0	0.25	74	2	2	2	0	0.75
15	1	0	1	0	0.5	45	1	1	1	0	0.75	75	2	2	0	0	0.5
16	1	0	1	1	0.75	46	2	0	1	2	0.75	76	2	0	1	2	0.75
17	1	0	1	2	0.75	47	2	0	2	1	0.75	77	2	0	1	1	0.75
18	1	0	1	1	0.75	48	2	0	2	1	0.75	77	2	0	1	1	0.75
19	1	0	1	2	0.75	49	2	0	2	3	0.75	79	2	0	2	0	0.5
20	1	2	1	0	0.75	50	0	0	1	0	0.25	80	0	2	0	0	0.25
21	1	2	2	2	1.0	51	1	0	0	0	0.25	81	2	2	0	0	0.5
22	1	1	1	1	1.0	52	1	1	1	0	0.75	合計					49.5
23	2	0	1	1	0.75	53	1	0	1	0	0.5	平均					0.611
24	2	1	1	0	0.75	54	1	3	1	0	0.75						
25	0	2	2	0	0.5	55	1	2	2	2	1.0						
26	1	2	0	0	0.5	56	1	0	1	0	0.5						
27	1	1	1	0	0.75	57	1	0	0	0	0.25						
28	1	2	1	1	1.0	58	2	0	1	2	0.75						
29	0	0	1	2	0.5	59	2	0	0	0	0.25						

同一造林地以0.005ha樣區調查樣區內成活林木株數所得結果如表6，經計算成活率及有關統計量如次：

樣區數 $n=81$

成活率總和 $\Sigma X_i=68.5$

平方和 $\Sigma X_i^2=59.71$

平均成活率 $\bar{x}=68.5/81=0.845$

偏差平方和 $\Sigma X_i^2 - \Sigma X_i^2 / n = 59.71 - \frac{68.5^2}{81}$
 $= 1.780987655$

標準差 $S = \sqrt{\frac{\Sigma X_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1.780987655}{81-1}} = 0.1492$

林分變異係數 $C = \frac{S}{\bar{x}} = \frac{0.1492}{0.845} = 0.18$

平均值之誤差 $S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0.1492}{\sqrt{81}} = 0.0166$

95%信賴區間： $\bar{x} \pm t_{S_{\bar{x}}}$ 為 $0.845 \pm 2 \times 0.017$

或 0.845 ± 0.034 即87.9%至81.1%
間

適當的抽樣樣區數 $n = \frac{t^2 C^2}{e^2} = \frac{2^2 \times 0.2^2}{0.1^2} = 16$ 個

樣區，即調查16個0.02ha樣區可得機率在95%下，誤差率10%（ $e=0.1$ ），如要提高到5%誤差率時則要調查64個樣區（式中 $e=0.05$ ）。

南洋杉

表6：民國87年樹種木麻黃造林地成活率調查
檳榔

88年6月1日地點七美面積5.1ha

樣區號碼 Plot			樣區號碼 Plot			樣區號碼 Plot		
50m ² Plot R=3.99m			50m ² Plot R=3.99m			50m ² Plot R=3.99m		
樣區內株數	成活率%		樣區內株數	成活率%		樣區內株數	成活率%	
1	18	0.9	30	19	0.95	59	19	0.95
2	14	0.7	31	19	0.95	60	17	0.85
3	19	0.95	32	20	1.0	61	23	1.0
4	19	0.95	33	21	1.0	1-62	15	0.75
5	10	0.5	34	14	0.7	63	14	0.7
6	26	1.0	35	11	0.55	64	15	0.75
7	13	0.65	36	14	0.7	65	21	1.0
8	22	1.0	37	14	0.7	66	22	1.0
9	19	0.95	38	19	0.95	67	26	1.0
10	14	0.7	39	18	0.9	2-68	16	0.8
11	23	1.0	40	25	1.0	69	17	0.85
12	16	0.8	41	22	1.0	70	15	0.75
13	10	0.5	42	17	0.85	71	18	0.9
14	18	0.9	43	16	0.8	72	18	0.9
15	14	0.7	44	16	0.8	3-73	11	0.55
16	19	0.95	45	17	0.85	74	11	0.55
17	20	1.0	46	19	0.95	75	17	0.85
18	15	0.75	47	18	0.9	76	19	0.95
19	19	0.95	48	19	0.95	77	18	0.9
20	18	0.9	49	20	1.0	4-78	19	0.95
21	22	1.0	50	20	1.0	79	17	0.85
22	14	0.7	51	11	0.55	80	13	0.65
23	19	0.95	52	14	0.7	81	12	0.6
24	15	0.75	53	23	1.0	合計		68.5
25	19	0.95	54	18	0.9	平均		0.845
26	14	0.7	55	20	1.0			
27	14	0.7	56	21	1.0			
28	20	1.0	57	10	0.5			
29	18	0.9	58	18	0.9			

四、造林地成活率調查之探討

1. 本次成活率調查方法以三種抽樣方式辦理以探討適合新造林地的技術。

- ① 七年生造林地以0.02ha樣區調查。
- ② 新造林地（2年生），以0.005ha樣區調查。
- ③ 2年生造林地亦以方塊樣區調查。

此方法較林務局現行規定（0.05ha樣區）的面積小，但樣區數增加甚多。故抽樣率提高。0.02ha樣區為0.14；0.005ha樣區為0.08；方塊樣區0.02。

表7：木麻黃造林地成活率調查抽樣率

調查地點	林務局規定抽樣率	本調查抽樣率
東衛造林地 7年生8.1ha	$\frac{0.05\text{ha} \times 5\text{個樣區}}{8.1\text{ha}} = 0.031$	$\frac{0.02\text{ha} \times 58\text{個樣區}}{8.1\text{ha}} = 0.143$
七美造林地 2年生5ha	$\frac{0.05\text{ha} \times 5\text{個樣區}}{5\text{ha}} = 0.05$	$\frac{0.005\text{ha} \times 81\text{個樣區}}{5\text{ha}} = 0.081$
七美造林地 方塊樣區		$\frac{(1.58\text{m})^2 \times 4\text{塊} \times 81\text{個樣區}}{5\text{ha}} = 0.016$

2. 調查工作組的人員組成為：

- ① 東衛調查4人一組，任務區分為記錄1人，胸徑測定1人，打枝2人。
- ② 七美調查2人一組，任務為記錄1人，數株1人。
- ③ 方塊樣區2人一組，記錄1人，觀測成活株數1人。
- ④ 樣木測定1人組，為測定樹高在樣區內選樣木測定胸徑與樹高。一般由記錄員兼任即可。

株內工作環境良好時，均可以2人一組的編制即可執行工作。然新造林地之成活率調查雖由1人亦能順利執行，但在野外工作宜由2人組為佳。

調查工作天數在東衛造林地為3個組工作天（20個樣區/組工作天）在七美為1個組工作天（crew-day）。

3. 根據調查所得之林分變異係數（標準差以平均值除之 $C = \frac{S}{\bar{X}}$ ），在東衛的0.02ha樣區為0.3，七美0.005ha樣區為0.2而方塊樣區為0.4可供抽樣設計的參考。

方塊樣區的分變異係數大，表示造林地的成活情形不均勻所致。蓋七美造林地為設防風網，以二行靠近栽株以利中間可建防風網所致。倘栽植間隔為四方形之造林地分變異係數定會降低很多。否則，則證實成活情形不均勻。根據此林分變異係數，二處造林地的適當樣區數（容許誤差率。設在0.1）為：

$$0.02\text{ha樣區} : n = \frac{1^2 C^2}{e^2} = \frac{2^2 \times 0.3^2}{0.1^2} = 36\text{個樣區}$$

$$0.005\text{ha樣區} : n = \frac{2^2 \times 0.2^2}{0.1^2} = 16\text{個樣區}$$

倘成活率的誤差要控制在0.05(5%)時可增加至64個0.005ha樣區，初期的成活率調查適合此標準來抽樣，反正工作天不致增加，可一天內完成工作。

4. 調查結果，調查成果的誤差率均控制在10%以下，即：

$$0.02\text{ha樣區} : e_{\infty} = \frac{2S^2}{\bar{X}} = \frac{0.0379}{0.5049} = 0.08$$

$$0.005\text{ha樣區} : e_{\infty} = \frac{0.034}{0.845} = 0.04$$

$$\text{方塊樣區} : e_{\infty} = \frac{0.06}{0.61} = 0.1$$

根據統計分析，該造林地的成活率為：

東衛造林地：50.5% ± 3.8% (誤差率8%)

七美造林地：84.5% ± 3.4% (誤差率4%)

註：東衡造林地成活率未包括混植灌木。

5.調查後就樣區記錄表資料，計算成活率的方
法很多，本調查就東衡造林地的成活率計算
以三種技術算定之。

①就樣區內全部樣數計算者最簡單，但無
法計算誤差。

②就各樣區的成活株數，核算各樣區的成
活率，由各樣區的成活率分析統計資
訊，如林分變異係數，誤差大小及信賴
區間。

③比率抽樣的計算方法，僅要在迴歸計算
程式的計算機，以每公頃規定造林株數
乘樣區面積當 X_i （定數，如4,000株/ha \times
0.02ha樣區=80株），而樣區內成活株數當
 Y_i 輸入，可得計算過程上所要的中間統計
量，供你計算成活率及信賴區間。然因 X_i
為定數僅按鍵一次即可，以後僅要改變 Y_i ，
就是，方法簡單迅速，如同求平均與標
準差的（單變數）方法可得迴歸計算。

④上法的比率抽樣亦可利用簡單（非工程
用）計算機，以手算方法作成表格（表2）
來完成計算。但計算過程較③法繁重，
僅作為初學時瞭解其計算過程之用。

不管以那一種計算方法，推定成活率為
50.5%，僅第②法稍低是因計算過程中各樣區
的成活率經四捨五入致精密度較差。各法中
以第③法最精密，因過程的中間計算沒有除
算手續，有效數值保留完整，最後始執行除
算。

6.七年生木麻黃造林地，已達材積調查階段
的林分，為查完蓄積量，就樣本測定求出
樹高生長實驗式，得指數樹高曲線式：

$$H = e^{2.412 - \frac{4.093}{D}}$$

式中 H =樹高(m)

e =自然對數底2.71828

D =胸徑(cm)

並調製該造林地0.45形數材積表，表4⑤欄：

$$V = 0.45 \times \frac{\pi}{4} D^2 \cdot H = 0.3534 D^2 H$$

綜合調查結果得東衡七年生木麻黃的林分
表，表8。

東衡七年生木麻黃造林地現有蓄積為每公
頃2021株，材積29.33m³。

表8：木麻黃7年生造林地林分表

直徑級cm	林分結構				
	株數分佈		材積分佈		密度生長 m
	株數	比率	材積m ³	比率	
2	6.9	0.0034			2.2
3	122.4	0.0605	0.18	0.0061	3.5
4	193.1	0.0955	0.62	0.0211	4.5
5	304.3	0.1505	1.73	0.0590	5.3
6	325.0	0.1608	2.86	0.0975	5.9
7	331.9	0.1642	4.35	0.1483	6.6
8	242.2	0.1198	4.14	0.1412	6.7
9	213.8	0.1058	4.98	0.1698	7.3
10	119.0	0.0589	3.52	0.1200	7.6
11	86.2	0.0426	3.15	0.1074	7.8
12	45.7	0.0226	2.02	0.0689	8.0
13	21.6	0.0107	1.14	0.0389	8.2
14	7.8	0.0039	0.49	0.0167	8.4
15	0.9	0.0004	0.07	0.0024	8.6
16	0.9	0.0004	0.08	0.0027	8.7
合計	2021.7	1.0000	29.33	1.0000	

五、結論

- 1.造林地成活率驗收方法，值得依驗收時的
株齡不同，以不同技術調查，簡化工作並
提高抽樣效率。
- 2.有關抽樣理論部份請參閱台灣林業1999年
8月刊。
- 3.本次在澎湖的造林地抽樣調查，承蒙澎湖
縣政府林務股全體同仁之協助而完成，特
在此誌感謝之意。 🍎