

國立臺灣大學生物資源暨農學院農藝學系

碩士論文

Department of Agronomy

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

物種辨識錯誤下物種數之估計

Richness Estimation with the Presence of Species

Identity Error

顏嘉華

Jai-Hua Yen

指導教授：邱春火 博士

Advisor: Chun-Huo Chiu, Ph.D.

中華民國 108 年 6 月

June, 2019



# 國立臺灣大學碩士學位論文 口試委員會審定書

物種辨識錯誤下物種數之估計

Richness Estimation with the Presence of  
Species Identity Error

本論文係顏嘉華君 (R06621209) 在國立臺灣大學農藝學  
研究所生物統計組完成之碩士學位論文，於民國 108 年 06 月  
27 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

東海大學生命科學系  
林宜靜 教授

林宜靜

東海大學生命科學系  
江智民 教授

江智民

國立清華大學統計學研究所  
趙蓮菊 教授

趙蓮菊

國立臺灣大學農藝學系  
邱春火 助理教授 (指導教授)

邱春火

## 致謝



時光飛逝，兩年的碩士生活一晃眼就過去了，還記得兩年前的此時才剛進來農藝系，無論是對於統計上的知識或是臺大這個環境都感到相當陌生。一切正要變得熟悉的時候，反而是時間要離開了。對於當時有機會能夠有這個機會在臺大農藝系念書感到非常慶幸。論文得以完成是身邊許多人適時地提供協助才能順利完工，所以在此處表達我最誠摯的感謝。

非常感謝邱春火老師這兩年來的指導，讓我這個對於統計一知半解的人，可以欣賞統計的奧妙之處，且對於統計能夠處理的問題讚嘆不已。我是一個比較慢開竅的人，並且從財金系過來時，對於生態統計其實是一無所知，老師還是很耐心地指導，讓我這兩年成長不少，能夠讓老師指導真的是我的福氣。而老師對於研究的熱情跟嚴謹的態度更是讓我學習到自己在處理問題時，應用認真和堅持不懈的態度來面對。

感謝口試委員趙蓮菊教授、林宜靜教授和江智民教授於口試當日提出許多的建議，讓我對於我的研究題目有更不一樣的想法。雖然以我目前的能力可能這個研究還有許多問題還無法克服，但是讓我對於這個題目目前的成果與實際應用上的落差更加了解，提供了未來對於這個題目再繼續鑽研時的一條道路。

感謝蔡欣甫老師，在這段時間的鼓勵，以及分享很多關於研究與生活上的許多經驗與建議，讓我更加認識我自己，並對於未來方向的選擇有著更明確的方向。

感謝系上同學，讓我在一個新環境不會感到孤單，且讓我對於學校環境熟悉不少。剛到農藝系進廖振鐸老師的研究室時，很感謝廖老師、任翔學長與博雅學姊的照顧，讓我可以融入農藝系這個大家庭。後來到生統室的時候雖然與系館隔離會無法常見到農藝系的同學，還是很慶幸能夠在生統室遇到本立、則仵和之謙。還有學弟妹們子棠、哲恩、育婷和元輔，讓研究室充滿了歡笑聲。在農藝館的育全、許樂、念倫、秉元、韶凱、昭如以及惟綱學弟，雖然比

較不常遇到你們，但是卻不會有不熟悉的感覺。也很幸運認識育種生理組的顯均和雨晴，希望你們接下來的研究可以順利。

感謝在碩士班生活中在外系認識的人，讓我得以接觸到很不一樣的人，帶給我很不一樣的碩士生活。尤其感謝我的女友雅鈞，每個禮拜在試驗設計的課堂中聽我發牢騷，讓我在孤身一人到外系修課時不會感到孤單。也在我人生低潮的時候在旁邊聽我訴說心情，並給了我很多的鼓勵。明年換你到了碩二，希望你明年可以順利畢業，以你的程度與堅強的意志力，我相信你可以的。還有會計系統計學助教課的學生，雖然你們比我小了很多歲，但是對於未來人生的規劃比我還清楚，程度甚至都比我好，並且無論是課業上、事業上又或是在自己的夢想上，非常認真地努力為自己的未來，或者為了打造更好的社會打拼。從你們身上我也學到不少東西，讓我知道我已經晚了很多年努力，所以我還要比一般人還要再更努力。


感謝我的家人在當初我要選擇轉跑道時願意全力支持我，讓我可以無憂無慮地專心在學業上，論文得以完成，您們的功勞絕對不是我能夠三言兩語在致謝能夠表達。接下來會讓自己更加成長茁壯，然後更能獨當一面，讓我未來能夠成為您們的驕傲。

于臺灣大學農藝系生物統計組

顏嘉華

2019.07

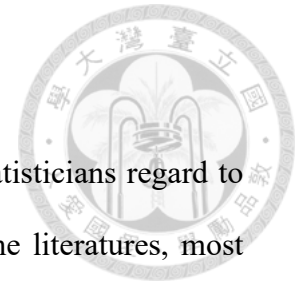
## 摘要



對於一個地區進行物種數的估計一直是個相當大的統計挑戰。過去的文獻中已發展相當多的統計估計方法來解決小樣本下容易低估的情況，但是對於進行物種調查時，物種辨識錯誤造成物種數的估計偏差問題，在文獻中卻很少被提及。為了解決此問題，本文採取兩階段抽樣方法，分別針對單組與多組調查人員的區塊抽樣資料，提出物種數估計修正的方法。同時以 Chao2 物種數估計式與一階摺刀法物種數估計式作為本文提出修正式的理論基礎。為取得物種辨識錯誤率的資訊，首先必須讓調查人員先進行一小區域的物種普查工作，再利用此資訊對樣本中記錄到的物種數、樣本中記錄一次的物種數和記錄兩次的物種數進行修正。同時為了修正因校正 Chao2 物種數估計式所造成的較大偏差與變異數過大的情形，因此本文中也提出了物種數估計式的修正式以解決此困境。為了檢測此修正估計式的表現情況，本文根據不同物種辨識錯誤率及物種機率模型下的設定，透過模擬來檢測其統計表現。結果顯示修正後的估計式有較佳的均方根誤差。最後分別於單組與多組調查人員的狀況下各提出一筆實例資料進行分析。

關鍵字：區塊抽樣、物種數、物種辨識錯誤、生物多樣性

## Abstract



Estimation of species richness in an area is always challenging statisticians regard to small sample units or the presence of species identity error. In the literatures, most richness estimators were only proposed to deal with the underestimation of the size-limited sample. However, species identity error almost exists in species surveys and seriously causes the inaccuracy of richness estimation. Therefore, the biased collected data due to species identity error should be adjusted to estimate the true richness. In the manuscript, we proposed a method to adjust the richness estimation with the existence of species identity error for single or multiple investigators. We choose Chao2 and first-order Jackknife richness estimator as the theoretical foundation of deriving the adjusted method. First, census of a subplot should be done by investigators in order to get the information of species identity error among investigators, so we can use the information of species identity error to adjust the observed, singleton, and doubleton richness in order to get the corrected Chao2 estimator. Nonetheless, the estimation will be inaccurate due to the increased variance of adjusted singleton, and doubleton richness. Then the adjusted estimator is proposed to tackle with the problem mentioned above. To investigate the performance of the adjusted estimator, we do several simulation studies and find out the estimation has the smallest root mean square error (RMSE) in most cases. In the end, we demonstrate an estimation of species richness by a weed survey data from Soft Bridge County in Taiwan for single investigator and a plant cover survey data from the Grand St. Bernard Pass in Switzerland for multiple investigators.

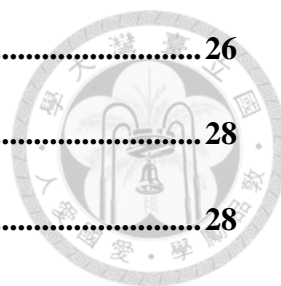
**Keywords:** Incidence data, species richness, species identity error, biodiversity

# 目錄



口試審定書 .....	i
致謝.....	ii
摘要.....	iv
Abstract.....	v
目錄.....	vi
圖目錄.....	viii
表目錄.....	ix
第一章 緒論 .....	1
第二章 符號與文獻回顧 .....	4
2.1 抽樣方法 .....	4
2.2 符號介紹 .....	5
2.3 物種數估計式文獻回顧 .....	6
第三章 物種數估計式的修正 .....	10
3.1 單組調查人員 .....	10
3.2 多組調查人員 .....	14
第四章 模擬研究 .....	18
4.1 單組調查人員 .....	19
4.2 多組調查人員 .....	21
第五章 實例分析 .....	24
5.1 竹東軟橋田間野草的物種數估計 .....	24

5.2 瑞士大聖伯納山上草地的植物物種數估計 .....	26
第六章 軟體開發 .....	28
6.1 簡介 .....	28
6.2 單組調查人員 .....	28
6.3 多組調查人員 .....	31
第七章 結論與後續研究 .....	34
附錄一 單組調查人員模擬結果 .....	37
附錄二 多組調查人員模擬結果 .....	73
附錄三 多組調查人員物種數估計式推導 .....	109
參考文獻.....	116





## 圖目錄

圖 2.1 調查區域示意圖.....	4
圖 5.1 瑞士大聖伯納山區高山草地的植物物種調查區域圖.....	26
圖 6.1 單組調查人員初始畫面與步驟一～五相關位置.....	28
圖 6.2 多組調查人員初始畫面與步驟一～三相關位置.....	31

## 表目錄



表 4.1 模擬表格中符號的表示方法.....	19
表 5.1 竹東軟橋有機水稻田間野草物種調查之資料整理.....	25
表 5.2 竹東軟橋有機水稻田間野草物種調查之物種數估計( $T = 12$ , $\hat{r} = 0.82$ ， $\hat{e} = 0.14$ 。 ).....	25
表 5.3 瑞士大聖伯納山區高山草地的植物物種調查之資料整理.....	27
表 5.4. 瑞士大聖伯納山區高山草地的植物物種調查之物種數估計。( $T = 5$ 、 $\hat{e} =$ $0.03$ 。 ).....	27
表 7.1 單組調查人員下三種方法的比較.....	34
表 7.2 多組調查人員下三種方法的比較.....	34
表 4.1 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法 各執行 200 次。( $\bar{p} = 0.51$ ， $CV = 0.53$ ， $S = 100$ ， $S_{sub} = 40$ ， $T = 5$ ， $r =$ $0.91$ ).....	37
表 4.2 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法 各執行 200 次。( $\bar{p} = 0.51$ ， $CV = 0.53$ ， $S = 100$ ， $S_{sub} = 40$ ， $T = 10$ ， $r =$ $0.91$ ).....	38
表 4.3 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法 各執行 200 次。( $\bar{p} = 0.51$ ， $CV = 0.53$ ， $S = 100$ ， $S_{sub} = 40$ ， $T = 20$ ， $r =$ $0.91$ ).....	39



**表 4.4** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.2 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.29, CV = 0.7, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.91)$ ..... **40**

**表 4.5** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.2 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.29, CV = 0.7, S = 100, S_{sub} = 40, T = 10, r = 0.91)$ ..... **41**

**表 4.6** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.2 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.29, CV = 0.7, S = 100, S_{sub} = 40, T = 20, r = 0.91)$ ..... **42**

**表 4.7** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.12, CV = 1.18, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.91)$  ..... **43**

**表 4.8** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.12, CV = 1.18, S = 100, S_{sub} = 40, T = 10, r = 0.91)$  ..... **44**

**表 4.9** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.12, CV = 1.18, S = 100, S_{sub} = 40, T = 20, r = 0.91)$  ..... **45**

**表 4.10** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.2, CV = 0.88, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.91)$  ..... **46**

表 4.11 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.2, CV = 0.88, S = 100, S_{sub} = 40, T = 10, r = 0.91)$	47
表 4.12 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.2, CV = 0.88, S = 100, S_{sub} = 40, T = 20, r = 0.91)$	48
表 4.13 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.51, CV = 0.53, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.67)$	49
表 4.14 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.51, CV = 0.53, S = 100, S_{sub} = 40, T = 10, r = 0.67)$	50
表 4.15 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.51, CV = 0.53, S = 100, S_{sub} = 40, T = 20, r = 0.67)$	51
表 4.16 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 $0.8 \times uniform(0.1, 0.3) + 0.2 \times uniform(0.4, 1)$ 的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.29, CV = 0.7, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.67)$	52
表 4.17 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 $0.8 \times uniform(0.1, 0.3) + 0.2 \times uniform(0.4, 1)$ 的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.29, CV = 0.7, S = 100, S_{sub} = 40, T = 10, r = 0.67)$	53



**表 4.18** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.2 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.29, CV = 0.7, S = 100, S_{sub} = 40, T = 20, r = 0.67)$ .....54

**表 4.19** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.12, CV = 1.18, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.67)$  .....55

**表 4.20** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.12, CV = 1.18, S = 100, S_{sub} = 40, T = 10, r = 0.67)$  ....56

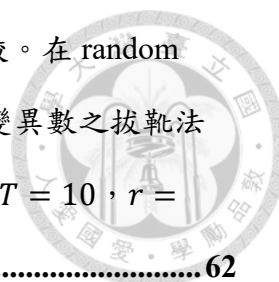
**表 4.21** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.12, CV = 1.18, S = 100, S_{sub} = 40, T = 20, r = 0.67)$  ....57

**表 4.22** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.2, CV = 0.88, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.67)$  .....58

**表 4.23** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.2, CV = 0.88, S = 100, S_{sub} = 40, T = 10, r = 0.67)$  .....59

**表 4.24** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.2, CV = 0.88, S = 100, S_{sub} = 40, T = 20, r = 0.67)$  .....60

**表 4.25** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.51, CV = 0.53, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.33)$ .....61



**表 4.26** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.51, CV = 0.53, S = 100, S_{sub} = 40, T = 10, r = 0.33)$ ..... **62**

**表 4.27** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.51, CV = 0.53, S = 100, S_{sub} = 40, T = 20, r = 0.33)$ ..... **63**

**表 4.28** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times uniform(0.1, 0.3) + 0.2 \times uniform(0.4, 1)$ 的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.29, CV = 0.7, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.33)$ ..... **64**

**表 4.29** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times uniform(0.1, 0.3) + 0.2 \times uniform(0.4, 1)$ 的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.29, CV = 0.7, S = 100, S_{sub} = 40, T = 10, r = 0.33)$ ..... **65**

**表 4.30** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times uniform(0.1, 0.3) + 0.2 \times uniform(0.4, 1)$ 的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.29, CV = 0.7, S = 100, S_{sub} = 40, T = 20, r = 0.33)$ ..... **66**

**表 4.31** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.12, CV = 1.18, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.33)$  ..... **67**

**表 4.32** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.12, CV = 1.18, S = 100, S_{sub} = 40, T = 10, r = 0.33)$  ....68

**表 4.33** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.12, CV = 1.18, S = 100, S_{sub} = 40, T = 20, r = 0.33)$  ....69

**表 4.34** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.2, CV = 0.88, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.33)$  ..... 70

**表 4.35** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.2, CV = 0.88, S = 100, S_{sub} = 40, T = 10, r = 0.33)$  ..... 71

**表 4.36** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.2, CV = 0.88, S = 100, S_{sub} = 40, T = 20, r = 0.33)$  ..... 72

**表 4.37** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.41, CV = 0.3, S = 100, S_{sub} = 40, T = 2, r = 0)$  ..... 73

**表 4.38** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.41, CV = 0.3, S = 100, S_{sub} = 40, T = 3, r = 0)$  ..... 74

表 4.39 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.41, CV = 0.3, S = 100, S_{sub} = 40, T = 4, r = 0)$

..... 75

表 4.40 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.41, CV = 0.3, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0)$

..... 76

表 4.41 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.42, CV = 0.65, S = 100, S_{sub} = 40, T = 2, r = 0)$  .....

77

表 4.42 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.42, CV = 0.65, S = 100, S_{sub} = 40, T = 3, r = 0)$  .....

78

表 4.43 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.42, CV = 0.65, S = 100, S_{sub} = 40, T = 4, r = 0)$  .....

79

表 4.44 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.42, CV = 0.65, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0)$  .....

80



表 4.45 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 $Beta(2, 3)$ 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.45, CV = 0.5, S = 100, S_{sub} = 40, T = 2, r = 0)$	81
表 4.46 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 $Beta(2, 3)$ 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.45, CV = 0.5, S = 100, S_{sub} = 40, T = 3, r = 0)$	82
表 4.47 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 $Beta(2, 3)$ 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.45, CV = 0.5, S = 100, S_{sub} = 40, T = 4, r = 0)$	83
表 4.48 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 $Beta(2, 3)$ 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.45, CV = 0.5, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0)$	84
表 4.49 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.41, CV = 0.3, S = 100, S_{sub} = 40, T = 2, r = 0.1)$	85
表 4.50 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.41, CV = 0.3, S = 100, S_{sub} = 40, T = 3, r = 0.1)$	86
表 4.51 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.41, CV = 0.3, S = 100, S_{sub} = 40, T = 4, r = 0.1)$	87

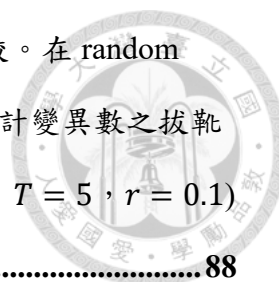


表 4.52 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.41, CV = 0.3, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.1)$  .....88

表 4.53 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times uniform(0.1, 0.3) + 0.5 \times uniform(0.4, 1)$ 的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.42, CV = 0.65, S = 100, S_{sub} = 40, T = 2, r = 0.1)$  .....89

表 4.54 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times uniform(0.1, 0.3) + 0.5 \times uniform(0.4, 1)$ 的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.42, CV = 0.65, S = 100, S_{sub} = 40, T = 3, r = 0.1)$  .....90

表 4.55 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times uniform(0.1, 0.3) + 0.5 \times uniform(0.4, 1)$ 的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.42, CV = 0.65, S = 100, S_{sub} = 40, T = 4, r = 0.1)$  .....91

表 4.56 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times uniform(0.1, 0.3) + 0.5 \times uniform(0.4, 1)$ 的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.42, CV = 0.65, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.1)$  .....92

表 4.57 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在Beta(2, 3)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.45, CV = 0.5, S = 100, S_{sub} = 40, T = 2, r = 0.1)$  .....93

表 4.58 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 $Beta(2, 3)$ 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.45, CV = 0.5, S = 100, S_{sub} = 40, T = 3, r = 0.1)$	94
表 4.59 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 $Beta(2, 3)$ 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.45, CV = 0.5, S = 100, S_{sub} = 40, T = 4, r = 0.1)$	95
表 4.60 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 $Beta(2, 3)$ 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.45, CV = 0.5, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.1)$	96
表 4.61 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.41, CV = 0.3, S = 100, S_{sub} = 40, T = 2, r = 0.3)$	97
表 4.62 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.41, CV = 0.3, S = 100, S_{sub} = 40, T = 3, r = 0.3)$	98
表 4.63 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.41, CV = 0.3, S = 100, S_{sub} = 40, T = 4, r = 0.3)$	99
表 4.64 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.41, CV = 0.3, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.3)$	100



**表 4.65** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  
 $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬  
資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.42, CV =$   
 $0.65, S = 100, S_{sub} = 40, T = 2, r = 0.3)$  ..... **101**

**表 4.66** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  
 $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬  
資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.42, CV =$   
 $0.65, S = 100, S_{sub} = 40, T = 3, r = 0.3)$  ..... **102**

**表 4.67** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  
 $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬  
資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.42, CV =$   
 $0.65, S = 100, S_{sub} = 40, T = 4, r = 0.3)$  ..... **103**

**表 4.68** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  
 $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬  
資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.42, CV =$   
 $0.65, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.3)$  ..... **104**

**表 4.69** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$   
的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200  
次。 $(\bar{p} = 0.45, CV = 0.5, S = 100, S_{sub} = 40, T = 2, r = 0.3)$  ..... **105**

**表 4.70** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$   
的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200  
次。 $(\bar{p} = 0.45, CV = 0.5, S = 100, S_{sub} = 40, T = 3, r = 0.3)$  ..... **106**

**表 4.71** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$   
的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200  
次。 $(\bar{p} = 0.45, CV = 0.5, S = 100, S_{sub} = 40, T = 4, r = 0.3)$  ..... **107**

表 4.72 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2,3)$  的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。 $(\bar{p} = 0.45, CV = 0.5, S = 100, S_{sub} = 40, T = 5, r = 0.3)$  ..... 108




## 第一章 緒論



生物多樣性(biodiversity)常在生態學研究領域被廣泛地討論，而這個字是生物的多樣性(biological diversity)的簡稱，其概念可以解釋為「一個區域中的基因、物種和生態系的所有變異的總和」，所以生物多樣性大致可分為三個層級：基因多樣性(genetic diversity)、物種多樣性(species diversity)以及生態系統多樣性(ecosystem diversity)。其中，基因多樣性為同種物種個體間基因或遺傳物質的多樣化程度；物種多樣性為物種組成的多樣化程度；生態系統多樣性則為生物棲息地和生態過程的多樣化程度。

在農業上，生物多樣性扮演著很重要的角色。例如作物育種可以憑藉著生物多樣性培育出較優良的品種，不僅可擁有較高的產量，也可有抗病蟲害的特性。臺灣的臺中在來一號稻米就是由此而來，它是 1950 年代末期育種專家藉由低腳烏尖半矮性基因的特性與在來稻進行育種所得的品種，由於此類半矮性的植株可以藉由施肥增加產量，且因為其株高較矮，所以在產量提高的時候不會倒下。後來國際稻米研究所(IRRI)在 1960 年代初期再利用低腳烏尖的特性進行育種，培育出如 IR8 品種，進而在東南亞迅速傳播，大量增加稻米的產量，解決了當時許多飢荒的問題，創造出亞洲綠色革命。1970 年代末期，東亞水稻遭受到草狀矮化病毒侵襲，感染後會造成水稻的品質與產量下降。在國際稻米研究所的協助下，育種專家發現一種生長於印度北方的野生稻具有對於草狀矮化病毒抗性的基因，利用雜交的方式將帶有病毒抗性的基因轉入栽培的水稻當中，進而解決了水稻生產的危機。

農業行為是人類賴以維生的一個重要活動，但是人類為了生產糧食時，會將一整片區域原有的物種去除並大規模地種下單一種植的作物，這樣的結果使得此區域的物種組成單一，物種多樣性大幅度地下降(Altieri 1999)。且由於土地利用的變更、過量使用農藥與施肥以及汙染等，對於生態環境的破壞，也會使得生物多樣性降低。然而生物多樣性的減少不僅僅是農業行為造成的，工業化



的影響對於生態環境的破壞如水資源與空氣的汙染使得物種大規模地滅絕，例如桃園市的埔心溪等則是因為有中下游工廠排放大量廢水，使得整條溪中幾乎見不到生物，原本當地生物的居住環境整個被破壞，該地區的物種幾乎消失滅跡，該地生物多樣性大量的減少。聯合國在 1992 年巴西里約熱內盧所辦的高峰會上，為了保護生物多樣性，由 168 個國家共同簽署的合約《生物多樣性公約》(Convention on Biological Diversity)，落實三大目標：(1)保育生物多樣性、(2)永續利用生物多樣性以及(3)公平分享生物多樣性遺傳資源所帶來的利益。雖然此公約未提到農業生物多樣性，許多生態學家或者農學家便開始思考，是否有辦法在人類對於糧食的大量需求與生態環境保育中達到一個平衡？這問題在農業生態學(agroecology)中有給出一些解決方法，像是利用雜草增加向日葵種植區的生物多樣性以建構接近天然的環境的方法，此法有效地使種植區的授粉者數量增多，且提升授粉效率進而增加向日葵的產量，這樣不僅可以減少向日葵種植區的擴建，減少侵害自然區域的面積，也可以減少清除雜草的農藥使用量，降低農人的成本和對自然生態環境的破壞 (Carvalho *et al.* 2011 和 Garibaldi *et al.* 2013)。另外，藉由一地區草本植物生物多樣性的提升，透過生態環境中不同生物的資源利用上存在差異(時間和空間上)，達到生物之間的互利共生或者不互相競爭資源並使得生物量的提升(Hector *et al.* 1999 和 Tilman *et al.* 2001)。同樣透過生物多樣性的提升來增進牧草的產量以提供大量的農業需求(Bullock *et al.* 2011)。所以生物多樣性的研究與監測已成為許多生態研究以及促進有機農業很重要的基礎工作。

生態學家為了以數值化的指標來呈現生物多樣性，物種數為一個簡單且具有生態直覺的方法來衡量一個地區的生物多樣性。當該區域的物種數越多，則該區域的生物多樣性越豐富。但是抽樣後觀測到的物種數並非就是當地真實的物種數。在許多文獻中提到關於物種數的估計方法可以使用樣本中稀有物種的資訊來估計該樣本中未觀測到的物種數(Burnham & Overton 1978、Chao 1984、

Chao 1987、Chao & Lee 1992 和 Chiu *et al.* 2014)，使得物種數的估計更加精確。第二章將介紹文獻中常被使用的無母數物種數估計式。

在物種資料抽樣的過程中，物種辨識錯誤的問題經常會發生且時常被忽略 (Vittoz & Guisan 2007、Burg *et al.* 2015 和 Morrison 2015)。當使用有物種辨識錯誤狀況的觀測資料進行物種數估計是否會對物種數的估計造成嚴重的影響？本文將於第三章以統計方法列出當物種辨識錯誤發生時，樣本中記錄到的物種數、樣本中記錄到一次的物種數與樣本中記錄到兩次物種數的變化情形，並提出修正的方法。並於第四章以電腦模擬的方式呈現物種辨識錯誤下，物種數估計的變化情形。

為了了解當有物種辨識錯誤發生時物種數估計式的變化與修正方法的表現情形，本文於第四章進行模擬研究。藉由設定不同的抽樣區塊數、物種辨識錯誤率以及物種的機率模型來檢測物種數估計式的表現。第五章則是透過一組來自新竹竹東軟橋地區有機農田間雜草的物種調查資料，以及一組來自瑞士聖伯納山口高山草地的植物物種調查資料分別計算修正後與直接觀測下的物種數估計並進行比較。第六章則是介紹以 R 語言中其中的一個套件：Shiny 所開發的環境，將本文提出的分析方法建構成的互動式的網頁，經由簡單的點選方式即可獲得修正後物種數的估計與其標準誤的結果，方便於未來對於此種估計有需求的使用者使用。最後第七章則是本文的結論並提出建議與未來的研究方向。



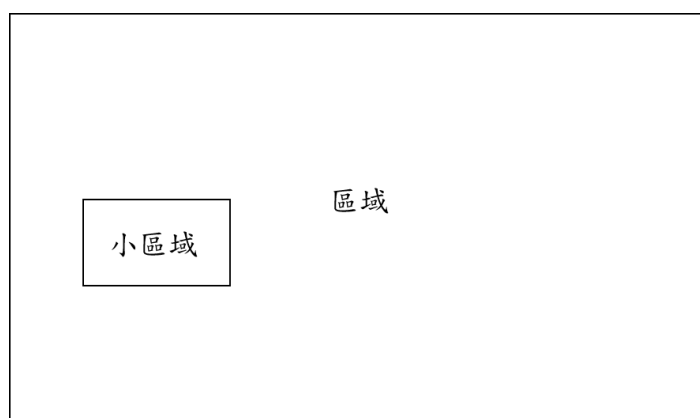
## 第二章 符號與文獻回顧



### 2.1 抽樣方法

本文所需要的物種抽樣調查分為兩個階段，第一階段為調查人員於研究區域內隨機選擇一小區域進行物種普查工作，此資料可用於估計物種辨識錯誤率。第二階段為相同調查人員對研究區域進行區塊抽樣。其關係可表示為圖 2.1：

圖 2.1 調查區域示意圖



本研究的資料型態為記錄物種的出現與否。收集資料的人員組成可分為單組調查人員與多組調查人員。單組人員調查資料即為同一組調查人員進行小區域普查和區域的區塊抽樣所得的資料；多組人員調查資料即為不同組調查人員進行同一小區域普查和區域的區塊抽樣所得的資料。對於第一階段的物種調查，令  $Z_i$  為單組人員調查資料中物種  $i$  於小區域普查的記錄結果，當物種  $i$  被記錄到時則  $Z_i = 1$ ，未被記錄到時則  $Z_i = 0$ 。令  $Z_{ij}$  為多組人員調查資料中第  $j$  組調查人員對物種  $i$  於小區域普查的記錄結果，當第  $j$  組調查人員記錄到物種  $i$  時則  $Z_{ij} = 1$ ，當人員  $j$  沒記錄到物種  $i$  時則  $Z_{ij} = 0$ 。物種  $i$  於小區域普查中被  $T$  組調查人員記錄到的次數為  $Z_{i+}$ 。

第二階段的抽樣方法為區塊抽樣。區塊抽樣是對某一區域以取後歸還的方式選取  $T$  個區塊(或者選擇  $T$  條穿越線)進行調查，同時只記錄選取區塊(穿越線)內，物種的出現與否。令  $Y_{ij}$  為區塊  $j$  中物種  $i$  觀測情形，當在區塊  $j$  中物種  $i$  被記錄到則  $Y_{ij} = 1$ ，未被記錄到則  $Y_{ij} = 0$ 。假設物種  $i$  在區塊中被觀測到的機率為  $p_i$ ，則  $Y_{ij}$  服從機率為  $p_i$  的伯努利(Bernoulli)分配。樣本中物種  $i$  在選取的  $T$  個區塊中被觀測到的區塊數為  $Y_{i+}$ ，則  $Y_{i+}$  服從實驗次數為  $T$  機率為  $p_i$  的二項(Binomial)分配，即

$$P(Y_{i+} = k) = \binom{T}{k} p_i^k (1 - p_i)^{T-k}。$$

## 2.2 符號介紹

### ● 單組調查人員

$S_{sub,e}$ ：第一階段小區域的普查調查中，記錄到且存在於小區域的物種數。

$f_{sub,0}$ ：第一階段小區域的普查調查中，記錄到但不存在小區域的物種數。

### ● 多組調查人員

$S_{\gamma,e}$ ：第一階段小區域的普查調查中，小區域混合資料所記錄的物種數，即

$$S_{\gamma,e} = \sum_i I(Z_{i+} > 0)。$$

$S_{\alpha,e}$ ：第一階段小區域的普查調查中，平均每組調查人員所記錄的物種數，即

$$S_{\alpha,e} = \frac{\sum_i \sum_j I(Z_{ij} > 0)}{T}。$$

### ● 通用符號

$I(A)$ ：指標函數，若事件  $A$  發生，則  $I(A) = 1$ ；反之則  $I(A) = 0$ 。

$S$ ：整個區域的物種總數。

$T$ ：區塊抽樣的個數。

$\bar{p}$ ：平均物種被觀測到的機率。

$S_{sub}$ ：小區域的物種數。



$r$ ：物種因辨識錯誤而記錄為該區域物種的比率。

$e$ ：物種辨識錯誤率，為一個服從平均數為 $\bar{e}$ 的分佈 $F(e)$ 的隨機變數。

$S_{obs}$ ：樣本中記錄到的物種數，即 $S_{obs} = \sum_i^S I(Y_{i+} > 0)$ 。

$Q_k$ ：樣本中只記錄到 $k$ 次的物種數，即 $Q_k = \sum_{i=1}^S I(Y_{i+} = k)$ ，

$k = 1, 2, \dots, T$ 。

$S_{obs,e}$ ：物種辨識錯誤下，樣本中記錄到的物種數。

$Q_{ke}$ ：物種辨識錯誤下，樣本中只記錄到 $k$ 次的物種數。

$\hat{S}_{Chao2,e}$ ：物種辨識錯誤下，由樣本資料計算出的 Chao2 估計值。

$S_{obs,a}$ ：物種辨識錯誤下，樣本中記錄到的物種數的修正。

$Q_{ka}$ ：物種辨識錯誤下，樣本中只記錄到 $k$ 次的物種數的修正。

## 2.3 物種數估計式文獻回顧

物種數為衡量生物多樣性的一種指標，由於環境限制或是成本考量，普查一地區的物種變得不可行，而由樣本中觀測到的物種會嚴重低估該區域的物種數，所以如何估計樣本中未觀測到的物種數變成一個很重要的課題。文獻中常利用樣本中稀有物種數的資訊來估計樣本中未看見的物種數。本文針對區塊抽樣下，常用的兩種無母數方法的物種數估計式做介紹。

### 2.3.1 摺刀法物種估計式

Burnham & Overton (1978)根據摺刀法(Jackknife approach)導出一階摺刀法與二階摺刀法的物種數估計式。一階摺刀法利用樣本中只記錄到一次的物種數來估計樣本中還未看見的物種數，其估計式為

$$S_{JK1} = S_{obs} + \frac{T-1}{T} Q_1。 \quad (2.1)$$

而二階摺刀法利用到樣本中只記錄到一次與兩次的物種數來估計樣本中還未看

見的物種數，其估計式為

$$S_{JK2} = S_{obs} + \frac{2T-3}{T}Q_1 - \frac{(T-2)^2}{T(T-1)}Q_2。 \quad (2.2)$$



然而此兩種方法在區塊抽樣數低時容易低估物種數，而在區塊抽樣數高時容易高估物種數，所以此兩種摺刀法物種數估計式只有在限定的區塊抽樣數區間才會估計出接近真實的物種數。

### 2.3.2 Chao2 物種數下界估計式

Chao (1987)根據柯西不等式，提出利用樣本中只記錄到一次與兩次的物種數資訊來估計樣本中還未看見的物種數。其理論推導如下：由於 $Y_{i+}$ 服從二項分配，樣本中剛好觀測到 $k$ 次的物種數的期望值為

$$E(Q_k) = E \left[ \sum_{i=1}^S I(Y_{i+} = k) \right] = \sum_{i=1}^S \binom{T}{k} p_i^k (1-p_i)^{T-k}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, T。$$

由柯西不等式得出

$$\left[ \sum_{i=1}^S (1-p_i)^T \right] \left[ \sum_{i=1}^S p_i^2 (1-p_i)^{T-2} \right] \geq \left[ \sum_{i=1}^S p_i (1-p_i)^{T-1} \right]^2。$$

並且得出

$$\frac{E(Q_0)}{\binom{T}{0}} \frac{E(Q_2)}{\binom{T}{2}} \geq \left[ \frac{E(Q_1)}{\binom{T}{1}} \right]^2。$$

經整理後得出 $E(Q_0)$ 的下界為

$$E(Q_0) \geq \frac{T-1}{T} \frac{[E(Q_1)]^2}{2E(Q_2)} \quad (2.3)$$

由式 2.3 可得物種數( $S$ )的下界為

$$S = E(S_{obs}) + E(Q_0) \geq E(S_{obs}) + \frac{T-1}{T} \frac{[E(Q_1)]^2}{2E(Q_2)} \quad (2.4)$$

最後將式 2.4 中期望值的部分取代成實際觀測資料的 $S_{obs}$ 、 $Q_1$ 、 $Q_2$ 後得到 Chao2 估計式

$$\hat{S}_{Chao2} = S_{obs} + \frac{T-1}{T} \frac{Q_1^2}{2Q_2} \quad (2.5)$$

當 $Q_2 = 0$ 的時候，Chao2 估計式為

$$\hat{S}_{Chao2} = S_{obs} + \frac{T-1}{T} \frac{Q_1(Q_1-1)}{2(Q_2+1)} \quad (2.6)$$

因為 Chao2 為 $(Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_T)$ 的函數，根據 Haas & Stokes (1988)的描述，當觀察的物種數夠大時， $(Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_T)$ 為近似一個總和為 $S$ ，機率為 $(\frac{E(Q_0)}{S}, \frac{E(Q_1)}{S}, \frac{E(Q_2)}{S}, \dots, \frac{E(Q_T)}{S})$ 的多項式分配，因此可透過 $\delta$ -method 近似出 Chao2 的變異數估計式：

$$Var(\hat{S}_{Chao2}) \approx \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \frac{\partial \hat{S}_{Chao2}}{\partial Q_i} \frac{\partial \hat{S}_{Chao2}}{\partial Q_j} Cov(Q_i, Q_j),$$

其中 $Cov(Q_i, Q_j) = -\frac{Q_i Q_j}{S}$ , if  $i \neq j$ ,  $Cov(Q_i, Q_j) = Q_i (1 - \frac{Q_i}{S})$ , if  $i = j$ 。



經整理後可得

$$\begin{aligned} & \hat{V}ar(\hat{S}_{Chao2}) \\ &= \begin{cases} Q_2 \left[ \frac{1}{4} B^2 \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right)^4 + B^2 \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right)^3 + \frac{1}{2} B \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right)^2 \right], & \text{if } Q_2 > 0 \\ B \frac{Q_1(Q_1 - 1)}{2} + B^2 \frac{Q_1(2Q_1 - 1)^2}{4} - B^2 \frac{Q_1^4}{4\hat{S}_{Chao2}}, & \text{if } Q_2 = 0 \end{cases}, \end{aligned} \quad (2.7)$$

其中  $B = \frac{T-1}{T}$ 。

### 第三章 物種數估計式的修正



物種辨識錯誤對於樣本中記錄到的物種數( $S_{obs}$ )、記錄一次的物種數( $Q_1$ )和記錄兩次的物種數( $Q_2$ )可能會有相當大的影響，進而影響對於物種數的估計會有嚴重的偏誤，所以物種數的估計有需要做修正。本文將採取兩階段抽樣，第一階段藉由小區域的物種普查，來估計物種辨識錯誤率；第二階段對於研究區域物種進行抽樣調查，利用物種辨識錯誤率對樣本中記錄到的物種數、記錄一次的物種數和記錄兩次的物種數進行修正，以得到較準確的物種數估計。而根據不同資料收集的方式分為單組與多組調查人員兩部分，分別討論之。

#### 3.1 單組調查人員

##### 3.1.1 第一階段：小區域物種普查

首先讓調查人員對一個已知物種名目的小區域(或者以物種的圖片集測驗調查人員)進行普查工作。調查人員完成該小區域(或者以圖片測驗完調查人員)的普查工作後，其記錄到的物種可以歸類為存在於原小區域的物種和不存在於原小區域的物種。其中當該物種被辨識錯誤成新種時，則此新種則不屬於原小區域的物種。因此觀測到不存在小區域的物種數( $f_{sub,0}$ )，其期望值可以表示為

$$\begin{aligned} E(f_{sub,0}) &\approx \int S_{sub} \times e \times (1-r) dF(e) \\ &\approx S_{sub} \times \bar{e} \times (1-r)。 \end{aligned} \quad (3.1)$$

另外，物種 $i$ 沒被觀測到的可能性為物種 $i$ 被錯誤辨識，同時其他物種不會被錯誤辨識為該物種。因此普查資料中存在於小區域的物種數( $S_{sub,e}$ )，其期望值可以表示為



$$\begin{aligned}
E(S_{sub,e}) &= S_{sub} - \sum_{i=1}^{S_{sub}} E[I(Z_i = 0)] \\
&= S_{sub} - S_{sub} \int e \times \left(1 - \frac{e}{\frac{S_{sub}}{r} - 1}\right)^{S_{sub}-1} dF(e) \\
&\approx S_{sub} - S_{sub} \times \bar{e} \times \left(1 - \frac{\bar{e} \times r}{S_{sub} - r}\right)^{S_{sub}-1}. \quad (3.2)
\end{aligned}$$

透過式 3.1 與式 3.2，可以利用數值方法解出平均物種辨識錯誤率( $\hat{e}$ )和物種因辨識錯誤而記錄為該區域物種的比率( $\hat{r}$ )。

### 3.1.2 第二階段：研究區域之物種抽樣調查

#### 3.1.2.1 樣本中記錄到的物種數修正

當發生物種辨識錯誤的情況下，樣本中記錄到的物種大致可分為這兩種可能：(1)該物種沒被錯誤辨識，以及(2)該物種被錯誤辨識成新種。因此樣本中觀測到的物種數( $S_{obs,e}$ )，其期望值可以表示為

$$E(S_{obs,e}) \approx E\{S_{obs}[(1 - e) + e \times (1 - r)]\}。$$

由上式可修正樣本中觀測到的物種數為

$$S_{obs,a} = \frac{S_{obs,e}}{1 - \hat{e} \times \hat{r}}。 \quad (3.3)$$

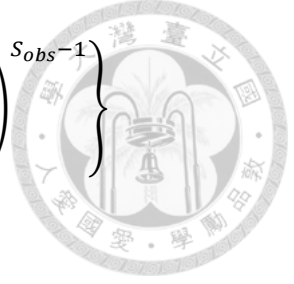
#### 3.1.2.2 樣本中記錄到一次的物種數修正

當發生物種辨識錯誤的情況下，樣本中記錄到一次的物種大致可分為這兩種可能：(1)該物種沒被錯誤辨識，且其他的物種不會錯誤辨識成該物種，以及(2)該物種被錯誤辨識成新種，且其他的物種不會錯誤辨識成該物種。因此樣本中記錄一次的物種數( $Q_{1e}$ )，其期望值可以表示為



$$E(Q_{1e}) \approx E \left\{ Q_1 [(1-e) + e \times (1-r)] \times \left( 1 - \frac{e}{\frac{S_{obs}}{r} - 1} \right)^{S_{obs}-1} \right\}$$

$$\approx E\{Q_1[(1-e) + e \times (1-r)] \times \exp(-e \times r)\}。$$



由上式得出物種辨識錯誤發生的情況下，樣本中記錄一次物種數的修正

$$Q_{1a} = \min \left\{ \frac{Q_{1e}}{(1 - \hat{e} \times \hat{r}) \exp(-\hat{e} \times \hat{r})}, S_{obs,a} \right\}。 \quad (3.4)$$

### 3.1.2.1 樣本中記錄到兩次的物種數修正

當發生物種辨識錯誤的情況下，樣本中記錄到兩次的物種大致可分為三種可能：(1)該物種沒被錯誤辨識，且其他的物種不會被錯誤辨識成該物種、(2)該物種被錯誤辨識成新種，且其他的物種不會被錯誤辨識成該物種，以及(3)樣本中記錄到一次的物種被錯誤辨識成其他記錄到一次的物種，且其他的物種不會被錯誤辨識成該物種。因此樣本中記錄兩次的物種數( $Q_{2e}$ )，其期望值為

$$E(Q_{2e}) \approx E\{Q_2[(1-e) + e \times (1-r)] \times \exp(-e \times r)\} \\ + E\left\{Q_1 \times e \times r \times \left(1 - \frac{1}{T}\right) \times \frac{Q_1}{S_{obs}} \times \exp(-e \times r)\right\}。$$

由上式得出物種辨識錯誤發生的情況下，樣本中剛好觀測兩次的物種數的修正

$$Q_{2a} = \frac{Q_{2e} - Q_{1a} \times \hat{e} \times \hat{r} \times \left(1 - \frac{1}{T}\right) \times \frac{Q_{1a}}{S_{obs,a}} \times \exp(-\hat{e} \times \hat{r})}{(1 - \hat{e} \times \hat{r}) \times \exp(-\hat{e} \times \hat{r})}。 \quad (3.5)$$

將 $S_{obs,a}$ 、 $Q_{1a}$ 和 $Q_{2a}$ 取代式 2.4 與式 2.5 中的 $S_{obs}$ 、 $Q_1$ 和 $Q_2$ 得出 Chao2 物種數估計式的校正式(corrected Chao2)為

$$\hat{S}_{Chao2,c} = S_{obs,a} + \frac{T-1}{T} \frac{Q_{1a}^2}{2Q_{2a}}。 \quad (3.6)$$

當 $0 \leq Q_{2a} < 1$ 的時候，Chao2 的校正式修正為

$$\hat{S}_{Chao2,c} = S_{obs,a} + \frac{T-1}{T} \frac{Q_{1a}(Q_{1a}-1)}{2(Q_{2a}+1)} \quad (3.7)$$

如果直接將 $S_{obs,a}$ 、 $Q_{1a}$ 和 $Q_{2a}$ 替代 $S_{obs}$ 、 $Q_1$ 和 $Q_2$ 使用，因為 $Q_{1a}$ 和 $Q_{2a}$ 有負相關關係，所以當 $Q_{1a}$ 高估的時候 $Q_{2a}$ 則會傾向低估，或是當 $Q_{1a}$ 低估的時候 $Q_{2a}$ 則

會傾向高估，即使 $Q_{1a}$ 和 $Q_{2a}$ 為 $Q_1$ 和 $Q_2$ 的漸進不偏估計式，仍導致 $\frac{Q_{1a}^2}{2Q_{2a}}$ 高估，

Chao2 的估計將會不穩定。本文藉由泰勒展開式得出 $\frac{[E(Q_{1a})]^2}{E(2Q_{2a})}$ 和 $E\left(\frac{Q_{1a}^2}{2Q_{2a}}\right)$ 的差

異，進而得出修正式。令 $g(Q_1, Q_2) = \frac{Q_1^2}{Q_2}$ 以及 $E(Q_1) = \mu_1$ 、 $E(Q_2) = \mu_2$ 、 $\theta =$

$(\mu_1, \mu_2)$ 。則 $E[g(Q_1, Q_2)]$ 由泰勒展開式在 $\mu_1$ 與 $\mu_2$ 展開為：

$$\begin{aligned} E[g(Q_1, Q_2)] &\approx g(\theta) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 g(\theta)}{\partial Q_1^2} Var(Q_1) + \frac{\partial^2 g(\theta)}{\partial Q_1 \partial Q_2} Cov(Q_1, Q_2) \\ &\quad + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 g(\theta)}{\partial Q_2^2} Var(Q_2) \\ &= \frac{\mu_1^2}{\mu_2} + \frac{1}{\mu_2} Var(Q_1) - \frac{2\mu_1}{\mu_2^2} Cov(Q_1, Q_2) + \frac{\mu_1^2}{\mu_2^3} Var(Q_2) \end{aligned}$$

由此可以得到

$$E\left(\frac{Q_1^2}{2Q_2}\right) \approx \frac{[E(Q_1)]^2}{E(2Q_2)} + \frac{V\hat{a}r(Q_1)}{2E(Q_2)} - \frac{E(Q_1)C\hat{o}v(Q_1, Q_2)}{[E(Q_2)]^2} + \frac{[E(Q_1)]^2 V\hat{a}r(Q_2)}{2[E(Q_2)]^3}$$

經由調整之後可以得出

$$\frac{[E(Q_1)]^2}{E(2Q_2)} \approx E\left(\frac{Q_1^2}{2Q_2}\right) - \frac{1}{2} \frac{V\hat{a}r(Q_1)}{E(Q_2)} + \frac{E(Q_1)C\hat{o}v(Q_1, Q_2)}{[E(Q_2)]^2} - \frac{1}{2} \frac{[E(Q_1)]^2 V\hat{a}r(Q_2)}{[E(Q_2)]^3}$$

其中 $C\hat{o}v(Q_1, Q_2) = -\frac{Q_1 Q_2}{S}$ ， $V\hat{a}r(Q_i) = Q_i \left(1 - \frac{Q_i}{S}\right)$ 。最後經由整理後，得出物種估

計式之修正式(adjusted estimator)為

$$\hat{S}_{adj} = S_{obs,a} + \frac{T-1}{T} \max \left\{ \left( \frac{Q_{1a}^2}{2Q_{2a}} - \frac{Q_{1a}}{2Q_{2a}} - \frac{Q_{1a}^2}{2Q_{2a}^2} \right), 0 \right\} \circ \quad (3.8)$$

當  $0 \leq Q_{2a} \leq 1$  時，經模擬研究後，物種數估計式的修正式採用一階摺刀法估計式為

$$\hat{S}_{adj} = S_{obs,a} + \frac{T-1}{T} Q_{1a} \circ \quad (3.9)$$

如果當發生物種辨識錯誤的情況，物種被錯誤辨識成新種的機率為 1 時，可直接將觀測到的資料使用 Chao2 估計式進行物種數估計。

## 3.2 多組調查人員

### 3.2.1 第一階段：小區域物種普查

首先，多組調查人員分別對同一小區域進行普查工作。其中，存在於該小區域的物種不需事先預知。在此假設：(1)當物種辨識錯誤發生時，一定會辨識成不同的新物種，且(2)當物種辨識錯誤發生時，不同組調查人員錯誤辨識的物種一定是不同的新種。

當收集資料的人員組成為兩組調查人員時，混合資料中被記錄到的物種可能性為：(1)原小區域的物種，以及(2)因至少被其中一組調查人員辨識錯誤而記錄到的新種。因此小區域混合資料所記錄的物種數( $S_{\gamma,e}$ )，其期望值可以被表示為

$$\begin{aligned} E(S_{\gamma,e}) &= \int \binom{2}{0} S_{sub} (1-e)^2 + 2 \binom{2}{1} S_{sub} e(1-e) + 2 \binom{2}{2} S_{sub} e^2 dF(e) \\ &= \int S_{sub} (1 + 2e - e^2) dF(e) \\ &\approx S_{sub} (1 + 2\bar{e} - \bar{e}^2) \circ \end{aligned}$$

當收集資料的人員組成為  $T$  組調查人員時，小區域混合資料所記錄的物種數( $S_{\gamma,e}$ )，其期望值經由推導(詳細過程列於附錄三(1))後可近似為

$$E(S_{\gamma,e}) \approx S_{sub}(1 + T\bar{e} - \bar{e}^T)。$$

因假設每組調查人員發生物種辨識錯誤時，一定會辨識成不同新物種，所以

$$E(S_{\alpha,e}) = S_{sub}。可以得出$$

$$\frac{E(S_{\gamma,e})}{E(S_{\alpha,e})} = (1 + T\bar{e} - \bar{e}^T)。(3.10)$$

由式 3.10 即可透過數值方法解出多組調查人員之平均物種辨識錯誤率( $\hat{e}$ )。

### 3.2.2 第二階段：研究區域物種抽樣調查

當收集資料的人員組成為兩組調查人員時，根據假設，物種辨識錯誤下樣本中記錄到兩次的物種為兩組調查人員都沒有辨識錯誤的物種。另外，物種辨識錯誤下樣本中記錄到一次的物種，根據假設，其可能性可分為：(1)該物種被記錄到兩次至少被其中一組調查人員辨識錯誤，以及根據假設，(2)該物種記錄到一次。因此物種辨識錯誤下，樣本中記錄一次與兩次的物種數，其期望值可以分別表示為

$$E(Q_{2e}) = E\left[\binom{2}{0} Q_2(1-e)^2\right]，$$

$$E(Q_{1e}) = E(Q_1) + E\left\{Q_2\left[2\binom{2}{2}e^2 + 2\binom{2}{1}e(1-e)\right]\right\}。$$

將上兩式整理可得樣本中記錄到一次與兩次的物種數的修正為

$$Q_{2a} = \frac{Q_{2e}}{(1 - \hat{e})^2} ,$$

$$Q_{1a} = Q_{1e} - Q_{2a} \left[ 2 \binom{2}{2} \hat{e}^2 + 2 \binom{2}{1} \hat{e}(1 - \hat{e}) \right] .$$



所以當收集資料的人員組成為兩組調查人員時，樣本中記錄到的物種數為

$$S_{obs,a} = Q_{1a} + Q_{2a} .$$

當收集資料的人員組成為  $T$  組調查人員時，經由推導(詳細過程列於附錄三(2))之後，得出發生物種辨識錯誤下，樣本中記錄到  $k$  次的物種數( $Q_{ke}$ )，其期望值可以表示為

$$E(Q_{ke}) = E \left\{ \sum_{i=0}^{T-k} \binom{k+i}{i} e^i (1-e)^k Q_{k+i} \right\}, k = 2, \dots, T ,$$

$$E(Q_{1e}) = E(Q_1) + E \left\{ \sum_{k=2}^T \sum_{j=1}^k \left[ \binom{k}{k-j+1} e^{k-j+1} (1-e)^{j-1} \right] \right.$$

$$\left. \times [k \times I(j \leq 2) + (k-j+1)I(j > 2)] Q_k \right\} .$$

透過上式即可得出樣本中記錄到  $k$  次的物種數修正( $Q_{ka}$ )為

$$Q_{ka} = \frac{Q_{ke} - \sum_{i=1}^{T-k} \binom{k+i}{i} \hat{e}^i (1 - \hat{e})^k Q_{(k+i)a}}{(1 - \hat{e})^k}, k = 2, 3, \dots, T , \quad (3.11)$$

$$Q_{1a} = Q_{1e} - \sum_{k=2}^T \sum_{j=1}^k \left[ \binom{k}{k-j+1} \hat{e}^{k-j+1} (1 - \hat{e})^{j-1} \right]$$

$$\times [k \times I(j \leq 2) + (k-j+1)I(j > 2)] Q_{ka} . \quad (3.12)$$

因此， $T$ 組調查人員的樣本中觀測到的物種數( $S_{obs,a}$ )修正為

$$S_{obs,a} = Q_{1a} + Q_{2a} + \cdots + Q_{Ta} \quad (3.13)$$

如果我們直接將得到的 $S_{obs,a}$ 、 $Q_{1a}$ 和 $Q_{2a}$ 直接使用校正後的 Chao2 (式 3.6 與式 3.7)進行估計會面臨如 3.1 節所述的問題，即使 $Q_{1a}$ 和 $Q_{2a}$ 為 $Q_1$ 和 $Q_2$ 的漸進不偏估計式，仍導致 $\frac{Q_{1a}^2}{2Q_{2a}}$ 高估，Chao2 的估計會不穩定。所以我們將 $S_{obs,a}$ 、 $Q_{1a}$ 和 $Q_{2a}$ 也直接套進物種數估計式的修正式(式 3.8 與式 3.9)作為物種數的估計方法。



## 第四章 模擬研究

為了比較在物種辨識錯誤發生的情況下，由樣本資料所估計的物種數與修正樣本資料後所估計的物種數的表現，藉由設定不同的物種機率模型(species detection models)、區塊抽樣數( $T$ )、物種辨識錯誤率( $e$ )和物種因辨識錯誤而記錄為該區域物種的比率( $r$ )來評估不同估計方法的統計表現。其中針對單組調查人員的模擬設定總共有 27 種參數組合；針對多組調查人員的模擬設定總共有 36 種參數組合。

本文將小區域的物種數設定為 40 ( $S_{sub} = 40$ )，研究區域的物種數設定為 100 ( $S = 100$ )。每種參數組合各模擬 500 次，且每次模擬各執行 200 次拔靴法(bootstrapping)來估計物種數估計式的標準差。模擬結果的比較皆有三種不同的估計方法：觀測(Observed)方法代表直接由辨識錯誤下的資料，以 Chao2 下界估計式估計的結果。校正(Corrected)方法代表修正由辨識錯誤下的資料，以校正後的 Chao2 估計式估計的結果。而修正(Adjusted)方法代表修正由辨識錯誤下的資料，以修正後的估計式估計的結果。True 方法代表由無辨識錯誤下的資料以 Chao2 下界估計式計算出來的結果。

物種辨識錯誤率設定為以下四個模型：

$$(1) e_i \sim \text{Uniform}(0.025, 0.075), i = 1, 2, \dots, S. \bar{e} = 0.05.$$

$$(2) e_i \sim \text{Uniform}(0.05, 0.15), i = 1, 2, \dots, S. \bar{e} = 0.1.$$

$$(3) e_i \sim \text{Uniform}(0.1, 0.2), i = 1, 2, \dots, S. \bar{e} = 0.15.$$

$$(4) e_i \sim \text{Uniform}(0.15, 0.25), i = 1, 2, \dots, S. \bar{e} = 0.2.$$

模擬結果的表格中各符號的表示整理在表 4.1

表 4.1 模擬表格中符號的表示方法

符號	定義
Mean error rate	平均物種辨識錯誤率
Estimated error rate	物種辨識錯誤率估計量
$S_{obs}$	樣本中記錄到的物種數
$Q_1$	樣本中記錄到一次的物種數
$Q_2$	樣本中記錄到兩次的物種數
$\hat{S}$	物種數估計量
Bias	偏誤值
Sample s.e	估計式的標準差
Estimated s.e	拔靴方法的標準差估計量
Sample RMSE	物種數估計式的均方根誤差

#### 4.1 單組調查人員

在單組調查人員的方法下，設定 3 種不同區塊抽樣個數( $T$ )：5、10 和 20，並且給定不同之平均物種被辨識錯誤為該區域的物種的比率( $r$ )：0.91、0.67 和 0.33。在此設定三種不同物種機率模型，分別如下：



- (1) Random uniform model：此模擬的數據 $Y_{1+}, Y_{2+}, \dots, Y_{S+}$ 各自獨立且服從 $Bin(T, p_i)$ ， $p_i$ 服從 $Uniform(0,1)$ 的分布， $i = 1, 2, \dots, S$ 。  $CV = 0.53$ 、 $\bar{p} = 0.51$ 。
- (2) Mixture model：此模擬的數據 $Y_{1+}, Y_{2+}, \dots, Y_{S+}$ 各自獨立且服從 $Bin(T, p_i)$ ， $p_i$ 服從 $0.8 \times Uniform(0.1, 0.3) + 0.2 \times Uniform(0.4, 1)$ 的分布， $i = 1, 2, \dots, S$ 。  $CV = 0.7$ 、 $\bar{p} = 0.29$ 。
- (3) Broken stick model：此模擬的數據 $Y_{1+}, Y_{2+}, \dots, Y_{S+}$ 各自獨立且服從 $Bin(T, p_i)$ ， $\pi_i$ 服從 $Exp(\lambda = 1)$ 的分布， $p_i = \frac{\pi_i}{\max(\pi_i)}$ ， $i = 1, 2, \dots, S$ 。  $CV = 1.18$ 、 $\bar{p} = 0.12$ 。
- (4) Log-normal model：此模擬的數據 $Y_{1+}, Y_{2+}, \dots, Y_{S+}$ 各自獨立且服從 $Bin(T, p_i)$ ， $p_i$ 服從 $LogN(0, 1)$ 的分布， $i = 1, 2, \dots, S$ 。  $CV = 0.88$ 、 $\bar{p} = 0.45$ 。

模擬步驟如下：

步驟一：將小區域的物種數設定為 40 ( $S_{sub} = 40$ )。根據物種辨識錯誤率的設定產生出一筆物種辨識錯誤後的普查資料，並對物種辨識錯誤率以及物種被辨識錯誤為該區域的物種的比率進行估計。

步驟二：將研究區域的物種數設定為 100 ( $S = 100$ )。根據物種辨識錯誤率、區塊抽樣數與物種機率模型的設定產生出一筆物種辨識錯誤後的抽樣資料。並利用步驟一所估計出的物種辨識錯誤率以及物種被辨識錯誤為該區域的物種的比率對樣本中觀測到、只記錄到一次以及只記錄到兩次的物種數進行修正。

步驟三：修正和校正方法的標準差估計方式採取拔靴法，其方法是將樣本中只記錄到一次、只記錄到兩次以及剩餘觀測到的物種數的修正各自服從一個二項式分配進行重新抽樣

$$Q_1^{(b)} \sim Bin\left(\hat{S}_{adj}, \frac{Q_{1a}}{\hat{S}_{adj}}\right),$$

$$Q_2^{(b)} \sim Bin\left(\hat{S}_{adj}, \frac{Q_{2a}}{\hat{S}_{adj}}\right),$$

$$S_{obs}^{(b)} - Q_1^{(b)} - Q_2^{(b)} \sim Bin\left(\hat{S}_{adj}, \frac{S_{obs,a} - Q_{1a} - Q_{2a}}{\hat{S}_{adj}}\right)。$$

得出 $(Q_{1a}^{(b)}, Q_{2a}^{(b)}, S_{obs,a}^{(b)})$ ，由估計出的物種辨識錯誤率 $(\hat{e})$ 和物種被辨識錯誤為該區域的物種的比率 $(\hat{r})$ 重新生成一筆辨識錯誤後的資料，經由本文的校正與修正方法，重複 200 次，然後計算出 $\hat{S}_{Chao2,c}^{(b)}$ 與 $\hat{S}_{adj}^{(b)}$ ， $b = 1, 2, \dots, 200$ ，最後得出估計式的標準差。模擬結果列於附錄一(表 4.1 至表 4.27)。

由模擬結果呈現出，觀測方法在大多數狀況有最大的偏誤。而校正方法在大多數情形皆有最小的偏誤，但是在物種辨識錯誤率高時，此方法的估計會容易高估，導致其偏差增大。修正方法的偏誤在大多數狀況較校正方法大，但是其程度並不大，且在辨識錯誤率高時，雖然其估計也會容易高估，但是其偏誤相較於另外兩種方法較小。

以估計方法的變異程度來說，觀測方法在大多數狀況有最小的標準差。校正方法經常是有最大標準差的方法，且其方法標準差的估計在此拔靴方法中當物種辨識錯誤率 0.15-0.2 時，會很不精確。而修正方法的標準差比校正方法小，雖然其標準差的估計在物種辨識錯誤率到達 0.2 且區塊抽樣數較小時會有低估的狀況發生，但是在區塊抽樣數高時則會有較好的標準差估計。

以均方根誤差來說，觀測方法在大多數狀況有最大的均方根誤差。在大多數情況下，校正方法與修正方法的均方根誤差相當接近，但是修正方法的均方根誤差仍然較小。且在物種辨識錯誤率高時，校正方法會因為其高估和高標準差而導致其均方根誤差較大，而修正方法仍可維持其最小的均方根誤差。

## 4.2 多組調查人員

在多組人員調查的方法下，設定四種不同調查人員組數 $(T)$ ：2、3、4 和 5。雖然在此我們的模型假設為當物種被辨識錯誤時一定記錄為新種，但是為了檢查其模型在違反假設時 $(r \neq 0)$ 的表現狀況，因此給定不同的平均物種被辨識錯誤

為該區域的物種的比率( $r$ ): 0、0.1、0.3。在此設定三種不同物種機率模型，分別如下：

(1) Random uniform model：此模擬的數據 $Y_{1+}, Y_{2+}, \dots, Y_{S+}$ 各自獨立且服從

$Bin(T, p_i)$ ， $p_i$ 服從 $Uniform(0.2, 0.6)$ 的分布， $i = 1, 2, \dots, S$ 。  $CV = 0.3$ 、 $\bar{p} = 0.41$ 。

(2) Mixture model：此模擬的數據 $Y_{1+}, Y_{2+}, \dots, Y_{S+}$ 各自獨立且服從 $Bin(T, p_i)$ ， $p_i$

服從 $0.5 \times Uniform(0.1, 0.3) + 0.5 \times Uniform(0.4, 1)$ 的分布， $p_i = \frac{\pi_i}{\max(\pi_i)}$ ， $i = 1, 2, \dots, S$ 。  $CV = 0.65$ 、 $\bar{p} = 0.42$ 。

(3) Beta model：此模擬的數據 $Y_{1+}, Y_{2+}, \dots, Y_{S+}$ 各自獨立且服從 $Bin(T, p_i)$ ， $p_i$ 服從

$Beta(2, 3)$ 的分布， $i = 1, 2, \dots, S$ 。  $CV = 0.5$ 、 $\bar{p} = 0.45$ 。

模擬步驟如下：

步驟一：將小區域的物種數設定為 40 ( $S_{sub} = 40$ )。根據物種辨識錯誤率的設定產生出一筆物種辨識錯誤後的普查資料，並對物種辨識錯誤率進行估計。

步驟二：將研究區域的物種數設定為 100 ( $S = 100$ )。根據物種辨識錯誤率、調查人員組數與物種機率模型的設定產生出一筆物種辨識錯誤後的抽樣資料。並利用步驟一所估計出的物種辨識錯誤率對樣本中觀測到、只記錄到一次以及只記錄到兩次的物種數進行修正。

步驟三：修正和校正方法方法的標準差估計方式採取拔靴法，其方法是將樣本中未看見、只記錄到一次、兩次、三次、四次與五次物種數的修正服從一個多項式分配進行重新抽樣

$$(Q_0^{(b)}, Q_1^{(b)}, Q_2^{(b)}, Q_3^{(b)}, Q_4^{(b)}, Q_5^{(b)}) \sim Multinomial(\hat{S}_{adj}, \frac{\hat{S}_{adj} - S_{obs,a}}{\hat{S}_{adj}}, \frac{Q_{1a}}{\hat{S}_{adj}}, \frac{Q_{2a}}{\hat{S}_{adj}}, \frac{Q_{3a}}{\hat{S}_{adj}}, \frac{Q_{4a}}{\hat{S}_{adj}}, \frac{Q_{5a}}{\hat{S}_{adj}})。$$

得出 $(Q_{1a}^{(b)}, Q_{2a}^{(b)}, Q_{3a}^{(b)}, Q_{4a}^{(b)}, Q_{5a}^{(b)})$ ，再由估計出的物種辨識錯誤率生成一筆辨識錯

誤後的資料，經由本文的校正與修正方法，重複 200 次，然後計算出 $\hat{S}_{Chao2,c}^{(b)}$ 與

$\hat{S}_{adj}^{(b)}, b = 1, 2, \dots, 200$ ，最後得出估計式的標準差。模擬結果列於附錄二(表 4.28 至表 4.63)。

由模擬結果呈現出，觀測方法在調查人員組數數小的時候，有最小的偏誤，但是其原因為其估計本身容易高估造成，而在調查人員組數多時則很明顯可以看出其高估，導致其偏誤最大。而校正方法在大多數情形皆有最小的偏誤，但是在物種辨識錯誤率高時，此方法的估計會容易高估，導致其偏差增大。修正方法的偏誤在大多數狀況較校正方法大，但是其程度並不大，且在辨識錯誤率高時，雖然其估計也會容易高估，但是其偏誤相較於校正方法方法較小。

以估計方法的變異程度來說，觀測方法在大多數狀況有最大的標準差。在大多數情況下，校正方法與修正方法的標準差相當接近，但是其方法標準差的估計在此拔靴方法中當物種辨識錯誤率 0.15~0.2 時，會很不精確。而修正方法的標準差比另外兩種方法小，且其標準差地估計相較於另外兩種方法更精確。

以均方根誤差來說，觀測方法在調查人員組數數小的時候，有最小的均方根誤差，但是其原因為其估計本身容易高估造成，而在調查人員組數多時則很明顯可以看出其高估，且此時的標準差會是三種方法中最大的，導致其均方根誤差最大。在大多數情況下，校正方法與修正方法的均方根誤差相當接近，但是修正方法的均方根誤差仍然較小。且在物種辨識錯誤率高時，校正方法會因為其高估和高標準差而導致其均方根誤差較大，而修正方法仍可維持其最小的均方根誤差。

## 第五章 實例分析



### 5.1 竹東軟橋田間野草的物種數估計

這筆資料來自新竹竹東軟橋地區的有機水稻田，其目的為了解雜草的多樣性對於田間水稻產量及對於水稻的病蟲害等影響，希望透過田間雜草的管理，增加物種多樣性以達到自然防治害蟲的功效，兼顧作物生產與環境保護的目標。

此資料收集人員組成為單組調查人員，並以區塊抽樣為資料收集方法，資料記錄方式為有觀測該物種則紀錄為 1，否則紀錄為 0。在抽樣之前，調查人員在一個已知 40 種物種名目的小區塊進行普查工作，將普查後的結果與已知的 40 種物種資料進行比對，結果得到觀測到且存在於小區域的物種數為 35，以及觀測到且不存在小區域的物種數為 1。透過式 3.1 和式 3.2 估計出物種辨識錯誤率( $\hat{e}$ )為 0.14，以及物種因辨識錯誤而記錄為該區域物種的比率( $\hat{r}$ )為 0.82，代表有物種辨識錯誤的狀況發生。

對於竹東有機水稻田，抽樣時總共走 12 條穿越線( $T = 12$ )，每條穿越線 20 公尺長。由抽樣資料可以發現總共記錄到 74 種物種，且只記錄到一次與兩次的物種數分別為 19 與 9，物種出現頻度整理列於表 5.1；物種數估計的結果列於表 5.2。如果直接使用原始資料，估計出的物種數為 92.4。經由物種辨識錯誤率以及物種因辨識錯誤而記錄為該區域物種的比率，修正後為觀測到的物種數為 83.6，且只觀測到一次與兩次的物種數分別為 24.1 與 10.6。由校正方法(Corrected)估計出的物種數為 108.8，修正方法(Adjusted)估計出的物種數為 105.4，皆比用原始資料估計的物種數高。

由估計的結果可以看出物種因辨識錯誤而記錄為該區域物種的比率相當高，並且由 4.1 節模擬的結果得知，如果在物種因辨識錯誤而記錄為該區域物種的比率相當高的時候，直接用觀察到的資料進行物種數估計，物種數將會低

估。然而校正方法的估計的標準差較高，雖然其原因有可能為此拔靴法對校正方法的標準差的估計較不精確，但是其標準差在物種辨識錯誤率與物種因辨識錯誤而記錄為該區域物種的比率高時，較容易會比修正方法高很多，所以在此選用修正方法所估計的結果會是較好的選擇。其結果顯示如果直接使用觀測到的資料進行估計，物種數會明顯低估。

表 5.1 竹東軟橋有機水稻田間野草物種調查之資料整理。

被觀測到的次數	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$	$Q_6$	$Q_7$	$Q_8$	$Q_9$	$Q_{10}$	$Q_{11}$	$Q_{12}$
物種數	19	9	12	8	6	4	1	4	3	3	2	3

表 5.2 竹東軟橋有機水稻田間野草物種調查之物種數估計。

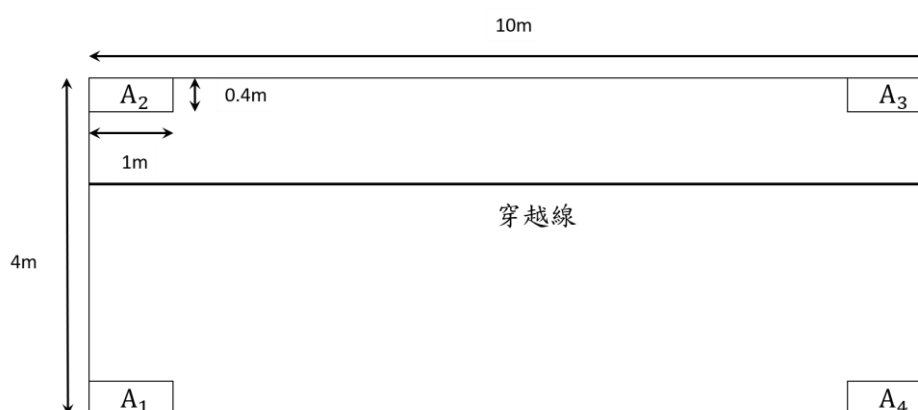
( $T = 12$  ,  $\hat{r} = 0.82$  ,  $\hat{e} = 0.14$  。)

Method	$S_{\text{obs}}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Estimated s.e.
Observed	74.0	19.0	9.0	92.4	11.27
Corrected	83.6	24.1	10.6	108.8	54.54
Adjusted	83.6	24.1	10.6	105.4	18.68

## 5.2 瑞士大聖伯納山區高山草地的植物物種數估計

此資料來自 Vittoz & Guisan (2007)，為了解調查人員對於物種辨識錯誤狀況所做的分析。時間為 2004 年 7 月，實驗地點設置在瑞士海拔約 2430 公尺的大聖伯納山區中一由乾燥且酸性土壤組成的區塊，以高山草地中的植物物種為調查的對象。總共有 7 組調查人員，但由於其中兩組調查人員缺少小區域普查或區域抽樣的資料，所以使用完整調查的五組人員的資料進行分析。

圖 5.1 瑞士大聖伯納山區高山草地的植物物種調查區域圖



此資料同樣為區塊抽樣的資料收集方法，資料紀錄方式為有觀測物種則紀錄為 1，否則紀錄為 0。在抽樣之前，先選擇四個 0.4 平方公尺未知物種的小區域(圖 5.1 中  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  與  $A_4$ )進行普查，再由普查的結果利用式 3.11 估計出物種辨識錯誤率( $\hat{e}$ )為結果 0.03，代表有物種辨識錯誤的狀況發生。

同樣 5 組調查人員在區域中選擇兩條 10 公尺 (或是在附近區域一條 20 公尺)的穿越線進行抽樣。抽樣資料中可以發現總共記錄到 33 種物種，且只記錄到一次與兩次的物種數分別為 5 與 3，其物種出現頻度整理列於表 5.3；物種數

估計的結果列於表 5.4。如果直接使用原始資料，估計出的物種數為 36.33。經由物種辨識錯誤率，修正的結果為觀測到的物種數為 28.79，且只觀測到一次與兩次的物種數分別為 0.52 與 2.66。由校正方法(Corrected)估計出的物種數為 28.83，修正方法(Adjusted)估計出的物種數為 28.79，皆比用原始資料估計的物種數低。

經由估計的結果發現物種辨識錯誤率不高，但是由 4.2 節的結果可以知道，當  $T = 5$  的時候，直接利用原資料進行估計還是會使物種數容易高估，而校正方法的估計的標準差較高，雖然其原因有可能為此拔靴法對校正方法的標準差的估計較不精確，但是其標準差在  $T = 5$  時，較容易會比修正方法高很多，所以在此一樣選用修正方法所估計的結果會是最好的選擇。由結果可以發現如果當直接使用觀察到的資料進行物種數的估計，物種數的估計將會明顯高估。

表 5.3 瑞士大聖伯納山區高山草地的植物物種調查之資料整理。

被觀測到 的次數	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$
物種數	5	3	5	3	17

表 5.4. 瑞士大聖伯納山區高山草地的植物物種調查之物種數估計。  
( $T = 5$ 、 $\hat{e} = 0.03$ 。)

Method	$S_{\text{obs}}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Estimated s.e.
Observed	33	5	3	36.33	3.99
Corrected	28.79	0.52	2.66	28.83	4.71
Adjusted	28.79	0.52	2.66	28.79	2.24



## 第六章 軟體開發



### 6.1 簡介

RESIE (Richness Estimation with Species Identity Error)是一個透過 R 語言與 Shiny 套件所建構的互動式網站，不需下載軟體安裝置電腦上，只需要連接上網際網路即可直接通過 <https://jaihuayen.shinyapps.io/RESIE/> 網站獲取。使用者無需學習 R 語言即可運行 RESIE。交互式網站是使用 R Shiny 建立的。RESIE 的運算是基於觀測(Observed)方法、校正(Corrected)方法與修正(Adjusted)方法來計算物種數的程式。包含兩個部分：

- 第一部分：單組調查人員
- 第二部分：多組調查人員

### 6.2 單組調查人員

圖 6.1 單組調查人員初始畫面與步驟一～五相關位置

Richness Estimation with Species Identity Error (RESIE)   Single   Multiple

Upload method

- ☒ Upload
- ☐ Insert
- ☐ Dataset

(1)  $S_{sub}$    (2)  $S_{sub,e}$    (3)  $f_{sub,0}$

40   35   1

Choose file to upload (Sample Data)

Browse...   No file selected

Number of transactions

12

Number of bootstrapping trials

200

Run

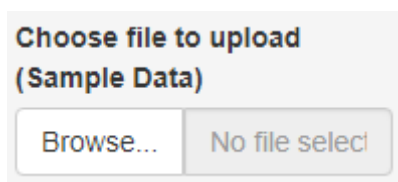
步驟一   步驟二   步驟三   步驟四   步驟五

點選上方欄位 **Single** 連結到單組人員物種數估計的頁面，接下來介紹左側輸入項操作的步驟：

步驟一：在 Upload method 選擇適當的資料上傳形式，以下介紹三種不同的上傳形式：

- **Upload**：可在下方以讀取的方式輸入外部資料，其方法如下

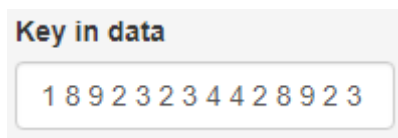
➤ 按下下方資料輸入的 Browse 鈕



➤ 輸入一筆僅有一行無標頭(header)的檔案，其形式範例如下圖

	A
1	1
2	8
3	9
4	2
5	3
6	2
7	3
8	4
9	4
10	2
11	8
12	9
13	2
14	3
15	5
16	6
17	1
18	11
19	1
20	2
21	3
22	1
23	1

- **Insert**：可在下方以手動的方式輸入外部資料。其方法為將依序輸入物種被觀測到的次數，每一個元素以空白鍵分隔。其範例如下圖



- **Dataset**：為第五章中第一節的有機田間雜草資料。選擇此選項可省略步驟二與步驟三。

步驟二：從 (1)、(2)、(3) 逐一輸入已知小區域的物種數、觀測到且存在於小區域的物種數與觀測到且不存在小區域的物種數。其範例如下圖

(1)	(2)	(3)
$S_{sub}$	$S_{sub,e}$	$f_{sub,0}$
40	35	1

步驟三：輸入此資料區塊抽樣的個數，其範例如下圖


**Number of transections**

12

步驟四：輸入此資料重複拔靴法的次數，預設為 200 次。如欲更改可直接更改格子中的數字

**Number of bootstrapping trials**

200

步驟五：點擊 。

進行完步驟一至步驟六後，右側頁面會將資料分析的結果呈現出來如下：

Error.rate	rate	Method	Sobs	Q1	Q2	Estimate	s.e.
0.14	0.82	Observed	74.00	19.00	9.00	92.40	11.27
0.14	0.82	Corrected	83.60	24.10	10.60	108.80	58.38
0.14	0.82	Adjusted	83.60	24.10	10.60	105.40	18.05

其中 Error.rate 為估計出的平均物種辨識錯誤率( $\hat{e}$ )、rate 為估計出物種因辨識錯誤而記錄為原小區域物種的比率( $\hat{r}$ )、s.e 為估計式標準差的估計。

### 6.3 多組調查人員

圖 6.2 多組調查人員初始畫面與步驟一～三相關位置

Richness Estimation with Species Identity Error (RESIE)    Single    Multiple

**Upload method**

☒ Upload    ☐ Dataset

**Choose file to upload (Census Data)**

Browse...    No file selected

**Choose file to upload (Sample Data)**

Browse...    No file selected

**Number of bootstrapping trials**

200

Run

步驟一    步驟二    步驟三

點選上方欄位 **Multiple** 連結到多組人員物種數估計的頁面，接下來介紹左側輸入項操作的步驟：

步驟一：在 Upload method 選擇適當的資料上傳形式，以下介紹三種不同的上傳形式：

- **Upload**：選擇之後可在下方以讀取的方式輸入外部資料，需要輸入普查與抽樣的資料，其方法如下
  - 按下下方資料輸入的 Browse 鈕輸入普查資料

**Choose file to upload (Census Data)**

Browse...    No file selected

- 輸入一筆有多組人員紀錄物種的普查資料的 csv 檔，第一行為觀察者的編號，資料可其形式範例如下圖

	A	B	C	D	E
1	A	B	D	F	H
2	1	0	1	1	1
3	1	0	1	1	0
4	1	0	1	1	1
5	1	0	1	0	0
6	1	1	1	1	1
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0
10	1	1	1	1	1



- 再按下下方資料輸入的 Browse 鈕輸入抽樣資料

Choose file to upload (Sample Data)

Browse...

No file selected

- 輸入一筆有多組人員紀錄物種的抽樣資料的 csv 檔，其資料形式與普查資料相同，其形式範例如下圖


	A	B	C	D	E
1	A	B	D	F	H
2	1	0	1	1	1
3	1	0	1	0	1
4	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	1	0	1
10	1	1	1	1	1

- **Dataset**：為第五章中第二節的植被資料。

步驟二：輸入此資料重複拔靴法的次數，預設為 200 次。如欲更改可直接更改格子中的數字

Number of bootstrapping trials

200

步驟三：點擊 。

進行完步驟一至步驟三後，右側頁面會將資料分析的結果呈現出來如下：

Error.rate	Method	Sobs	Q1	Q2	Estimate	s.e.
0.03	Observed	33.00	5.00	3.00	36.33	3.99
0.03	Corrected	28.79	0.52	2.66	28.83	4.71
0.03	Adjusted	28.79	0.52	2.66	28.79	2.24

其中 Error.rate 為估計出的平均物種辨識錯誤率( $\hat{e}$ )、s.e 為估計式標準差的估計。

## 第七章 結論與後續研究



本文主要探討的是當有物種辨識錯誤的時候，物種數的估計方法。在緒論的部分提及調查人員在進行物種調查時，物種辨識錯誤的狀況經常發生，而由附錄一與附錄二的模擬結果皆可以發現，當物種辨識錯誤發生的時候，直接使用觀測到的資料進行物種數的估計時，會有明顯的偏誤。其中根據單組調查人員收集的資料，物種數容易低估；根據多組調查人員收集的資料，物種數容易高估。為了修正此種情況，本文採用兩階段的抽樣方式，第一階段利用普查的資料估計出物種辨識錯誤率。接著利用物種辨識錯誤率的資訊，修正樣本中觀測到的物種數、記錄一次和兩次的物種數。然而由模擬研究指出，如果將修正後的資料直接套入 Chao2 估計式，會讓物種數的估計會有不穩定的狀況發生，所以本文提出透過泰勒展開式的方法修正此狀況。三種方法的整體表現分單組與多組人員列於表 7.1 與表 7.2，✓的數目越多表現越好：

表 7.1 單組調查人員下三種方法的比較

方法	偏誤表現	變異程度	均方根誤差
物種辨識錯誤下，觀測資料下的 Chao2 物種數估計式	✓	✓✓✓	✓
物種辨識錯誤下，校正後的 Chao2 物種數估計式	✓✓✓	✓	✓✓
本文提出的修正方法	✓✓	✓✓	✓✓✓

表 7.2 多組調查人員下三種方法的比較

方法	偏誤表現	變異程度	均方根誤差
物種辨識錯誤下，觀測資料下的 Chao2 物種數估計式	✓	✓✓	✓✓
物種辨識錯誤下，校正後的 Chao2 物種數估計式	✓✓✓	✓	✓✓
本文提出的修正方法	✓✓	✓✓✓	✓✓✓

本文提出的修正方法在單組調查人員下，隨著抽樣區塊數目增加，在物種數的估計上的表現都會有較小的偏誤、變異程度以及均方根誤差。然而多組調查人員下，隨著人員組數的增加，在物種數的估計上的表現會有較小的偏誤、以及均方根誤差，但是變異程度會增加。其原因為物種辨識錯誤的變異會隨著調查人員組數的增加而增加。總結來說，雖然本文提出的修正方法在物種辨識錯誤率高時仍會有高估的現象，其仍是本文推薦的物種數估計方法。

經由兩筆實例分析，物種辨識錯誤的狀況確實會發生，且單組調查人員的資料進行物種數估計，可能會使物種數的估計低估(如竹東軟橋地區有機水稻田中的雜草資料)；多組調查人員的資料進行物種數估計，可能會使物種數的估計高估(如瑞士大聖伯納山區高山草地的植被資料)。但是如果將此三者的修正套入 Chao2 估計式，其估計的標準差可能會較不精確。此資料分析的結果與模擬的結果相似，所以在使用有物種辨識錯誤的資料進行物種數的估計時，建議選用本文提出的修正方法會有較好的估計。

由於本文提出的修正方法在物種辨識錯誤率高時(0.15~0.2)，其估計的結果仍然會因為修正後樣本中只記錄到一次的物種數會有高估的現象發生，進而導致物種數的估計會有高估的狀況發生，所以後續研究可以針對此情況進行修



正。然而因為此方法目前只適用於區塊抽樣的資料，未來對於個體抽樣資料的修正亦是一個值得探討的議題。另外，物種多樣性的指標還有包括 Simpson's Index 和 Shannon Entropy 等，這些指標在物種辨識錯誤發生時可能在估計上會有很大的影響，所以針對其他物種多樣性指標的修正也是未來相當值得討論的問題。

## 附錄一 單組調查人員模擬結果

表 4.1 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.51$ ,  $CV = 0.53$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0.91$ )

Mean	Estimated									
error	error	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample	Estimated	Sample
rate	rate							s.e	s.e	RMSE
0	0	True	85.2	15.3	17.3	91.37	-8.63	4.82	4.19	9.89
0.053	0.058	Observed	81.5	13.9	15.8	87.22	-12.78	5.46	4.06	13.9
		Corrected	86.3	15.6	17.5	92.75	-7.25*	7.57	8.73	10.48 <sup>†</sup>
		Adjusted	86.3	15.6	17.5	92.05	-7.95	7.17	8.33	10.71
0.097	0.098	Observed	78.3	13.2	14.8	83.72	-16.28	5.29	3.95	17.12
		Corrected	86.3	15.9	17.5	93.03	-6.97*	8.28	9.94	10.83 <sup>†</sup>
		Adjusted	86.3	15.9	17.5	92.2	-7.8	7.92	9.4	11.12
0.15	0.157	Observed	74	11.7	13.4	78.86	-21.14	5.24	3.75	21.78
		Corrected	86.8	16	17.6	93.8	-6.2*	10.81	11.66	12.47 <sup>†</sup>
		Adjusted	86.8	16	17.6	92.89	-7.11	10.33	10.2	12.54
0.199	0.209	Observed	70.7	10.3	12.7	74.71	-25.29	5.01	3.34	25.78
		Corrected	88.3	15.8	18.5	97.02	-2.98*	45.96	16.14	46.06
		Adjusted	88.3	15.8	18.5	94.34	-5.66	14.05	11.12	15.15 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.2 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.51$ ,  $CV = 0.53$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 10$ ,  $r = 0.91$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	91.7	7.5	7.8	96.08	-3.92	5.18	4.14	6.52
0.053	0.054	Observed	87.5	6.8	7.1	91.74	-8.26	5.83	4.2	10.11
		Corrected	92.2	7.5	7.8	96.93	-3.07*	7.71	9.13	8.29
		Adjusted	92.2	7.5	7.8	95.4	-4.6	5.84	6.91	7.44 <sup>†</sup>
0.097	0.102	Observed	83.8	6.3	6.4	87.88	-12.12	7.3	4.21	14.15
		Corrected	92.5	7.6	7.7	97.62	-2.38*	10.21	10.76	10.48
		Adjusted	92.5	7.6	7.7	95.77	-4.23	7.87	7.7	8.93 <sup>†</sup>
0.15	0.154	Observed	80.1	5.8	6.1	83.9	-16.1	5.91	4.05	17.15
		Corrected	93.8	7.9	8.1	99.25	-0.75*	12.05	12.57	12.07
		Adjusted	93.8	7.9	8.1	97.13	-2.87	9.95	8.43	10.35 <sup>†</sup>
0.199	0.206	Observed	76.4	5.2	5.6	79.79	-20.21	6.22	3.73	21.14
		Corrected	95.1	7.9	8.3	100.9	0.92*	15.81	14.64	15.84
		Adjusted	95.1	7.9	8.3	98.66	-1.34	12.49	9.08	12.56 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.3 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.51$ ,  $CV = 0.53$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 20$ ,  $r = 0.91$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	95.3	4.1	3.9	98.8	-1.2	4.9	4.25	5.06
0.053	0.055	Observed	91.2	3.9	3.6	94.8	-5.2	5.46	4.45	7.53
		Corrected	96.1	4.3	4	100.3	0.25*	7.9	8.4	7.9
		Adjusted	96.1	4.3	4	97.85	-2.15	5.26	5.39	5.68 <sup>†</sup>
0.097	0.095	Observed	87.3	3.3	3.5	90.1	-9.9	5.15	3.76	11.15
		Corrected	95.8	4	4.1	99.36	-0.64*	8.15	8.67	8.18
		Adjusted	95.8	4	4.1	97.1	-2.9	6.52	5.72	7.14 <sup>†</sup>
0.15	0.151	Observed	82.9	3.1	2.9	85.61	-14.39	5.21	3.79	15.31
		Corrected	96.7	4.1	3.9	100.6	0.63*	11.28	10.07	11.3
		Adjusted	96.7	4.1	3.9	97.94	-2.06	8.94	6.23	9.17 <sup>†</sup>
0.199	0.21	Observed	79.2	2.9	2.7	81.79	-18.21	5.25	3.66	18.95
		Corrected	98.8	4.4	4	103.3	3.29	13.51	11.89	13.91
		Adjusted	98.8	4.4	4	100.5	0.46*	11.52	7.04	11.53 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.4 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.2 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.29$ ,  $CV = 0.7$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0.91$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	72	32.5	19.7	95.34	-4.66	11.4	10.9	12.33
0.053	0.054	Observed	68.9	29.5	19.2	88.87	-11.13	11.21	9.77	15.8
		Corrected	72.5	32.7	20.4	95.96	-4.04*	15.27	15.5	15.79
		Adjusted	72.5	32.7	20.4	94.18	-5.82	14.03	13.55	15.19 <sup>†</sup>
0.097	0.095	Observed	65.6	27.4	17.6	84.09	-15.91	10.04	9.36	18.82
		Corrected	72.1	32.8	19.6	96.55	-3.45*	15.58	18.8	15.96
		Adjusted	72.1	32.8	19.6	94.43	-5.57	14.46	15.39	15.49 <sup>†</sup>
0.15	0.155	Observed	62.9	25.3	16.9	79.58	-20.42	9.81	8.76	22.65 <sup>†</sup>
		Corrected	73.8	34.5	19.8	120.2	20.21	340.56	48.14	341.16
		Adjusted	73.8	34.5	19.8	99.39	-0.61*	25.4	20.32	25.41
0.199	0.212	Observed	60	23	16	74.81	-25.19	9.86	8.13	27.05 <sup>†</sup>
		Corrected	75.4	35.6	19.5	129.1	29.13	191.62	101.62	193.82
		Adjusted	75.4	35.6	19.5	106.8	6.75*	43.44	28.42	43.96

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.5 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.2 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.29$ ,  $CV = 0.7$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 10$ ,  $r = 0.91$ )

Mean	Estimated									
error	error	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample	Estimated	Sample
rate	rate							s.e	s.e	RMSE
0	0	True	89.1	21.3	22	99.34	-0.66	6.07	5.81	6.12
0.053	0.056	Observed	85.4	19.8	20.3	95.0	-5	6.3	5.69	8.05
		Corrected	90	22	22.2	100.9	0.87	8.18	10.39	8.23
		Adjusted	90	22	22.2	99.98	-0.02*	7.74	10	7.74 <sup>†</sup>
0.097	0.1	Observed	81.3	17.6	18.8	89.58	-10.42	6.24	5.16	12.14
		Corrected	89.7	21.3	22.2	100.0	0.04*	9.59	11.26	9.59
		Adjusted	89.7	21.3	22.2	99.08	-0.92	9.25	10.79	9.29 <sup>†</sup>
0.15	0.153	Observed	77.5	16.1	17.7	84.86	-15.14	5.77	4.83	16.21
		Corrected	90.6	21.8	22.9	101.4	1.36	12.57	14.04	12.65
		Adjusted	90.6	21.8	22.9	100.4	0.36*	12.18	12.1	12.18 <sup>†</sup>
0.199	0.21	Observed	74.2	14.8	15.8	81.32	-18.68	6.25	4.84	19.7
		Corrected	92.8	22.8	22.6	105.1	5.09	16.2	19.31	16.98
		Adjusted	92.8	22.8	22.6	103.9	3.94*	15.73	14.25	16.21 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.6 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.2 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.29$ ,  $CV = 0.7$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 20$ ,  $r = 0.91$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	97.8	7.2	11.8	100.39	0.39	2.72	2.51	2.75
0.053	0.054	Observed	93.7	6.6	10.8	96.16	-3.84	3.2	2.45	5
		Corrected	98.6	7.3	11.9	101.35	1.35	5.2	6.98	5.37
		Adjusted	98.6	7.3	11.9	100.84	0.84*	4.95	6.48	5.02 <sup>†</sup>
0.097	0.098	Observed	89.2	6	9.7	91.48	-8.52	3.75	2.36	9.31
		Corrected	98.2	7.2	11.7	100.99	0.99	7.18	7.97	7.25
		Adjusted	98.2	7.2	11.7	100.38	0.38*	7.03	7.29	7.04 <sup>†</sup>
0.15	0.156	Observed	85.1	5.3	9.1	87.12	-12.88	4.19	2.19	13.55
		Corrected	99.7	7.2	12.3	102.54	2.54	10.06	9.36	10.37
		Adjusted	99.7	7.2	12.3	101.9	1.9*	9.77	8.05	9.95 <sup>†</sup>
0.199	0.201	Observed	81.5	5	8.3	83.45	-16.55	4.23	2.22	17.08
		Corrected	100.7	7.4	12.3	103.76	3.76	10.86	10.36	11.49
		Adjusted	100.7	7.4	12.3	103.04	3.04*	10.56	8.6	10.99 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.7 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.12$  ,  $CV = 1.18$  ,  $S = 100$  ,  $S_{sub} = 40$  ,  $T = 5$  ,  $r = 0.91$ )

Mean	Estimated									
error	error	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample	Estimated	Sample
rate	rate							s.e	s.e	RMSE
0	0	True	37.4	23.6	9.1	66.21	-33.79	17.98	16.75	38.28
0.053	0.057	Observed	35.8	21.6	9.1	60.16	-39.84	17.98	14.66	43.71
		Corrected	37.8	24	9.2	70.35	-29.65*	33.46	35.37	44.7
		Adjusted	37.8	24	9.2	63.52	-36.48	20.11	16.95	41.66 <sup>†</sup>
0.097	0.098	Observed	34.1	19.7	8.9	55.28	-44.72	18.29	13.37	48.31
		Corrected	37.5	23.8	9.1	78.72	-21.28*	74.92	50.58	77.88
		Adjusted	37.5	23.8	9.1	62.87	-37.13	20.33	18.15	42.33 <sup>†</sup>
0.15	0.148	Observed	32.7	18.3	8.6	51.11	-48.89	12.45	11.75	50.45
		Corrected	38	24.5	8.7	91.32	-8.68*	102.34	75.06	102.71
		Adjusted	38	24.5	8.7	65.08	-34.92	21.88	20.9	41.21 <sup>†</sup>
0.199	0.208	Observed	31.2	16.7	8.3	47.64	-52.36	13.24	10.97	54
		Corrected	39	25.7	7.9	140.21	40.21	196.65	125.21	200.72
		Adjusted	39	25.7	7.9	70.96	-29.04*	32.75	23.48	43.77 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.



**表 4.8** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.12$  ,  $CV = 1.18$  ,  $S = 100$  ,  $S_{sub} = 40$  ,  $T = 10$  ,  $r = 0.91$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	53.3	24.3	13.1	76.26	-23.74	13.44	12.39	27.3
0.053	0.055	Observed	51	21.9	12.9	70.25	-29.75	12.27	10.86	32.18
		Corrected	53.8	24.3	13.6	76.84	-23.16*	17.81	20.42	29.22 <sup>†</sup>
		Adjusted	53.8	24.3	13.6	74.13	-25.87	14.88	14.28	29.85
0.097	0.099	Observed	48.6	20.2	11.8	66.63	-33.37	12.38	10.57	35.59
		Corrected	53.6	24.5	13	79.83	-20.17*	33.09	32.44	38.75
		Adjusted	53.6	24.5	13	75.27	-24.73	17.81	17.08	30.48 <sup>†</sup>
0.15	0.15	Observed	46.4	18.6	11	63.36	-36.64	13.05	10.45	38.89
		Corrected	54	25	12.6	87.06	-12.94*	62.5	55.61	63.82
		Adjusted	54	25	12.6	78.65	-21.35	22.55	21.08	31.05 <sup>†</sup>
0.199	0.209	Observed	44.5	17.1	10.5	59.61	-40.39	12.02	9.7	42.14
		Corrected	55.7	26.3	12.4	117.91	17.91	204	105.7	204.79
		Adjusted	55.7	26.3	12.4	84.66	-15.34*	34.18	24.95	37.47 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.9 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.12$  ,  $CV = 1.18$  ,  $S = 100$  ,  $S_{sub} = 40$  ,  $T = 20$  ,  $r = 0.91$ )

Mean	Estimated									
error	error	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample	Estimated	Sample
rate	rate							s.e	s.e	RMSE
0	0	True	68.4	20.8	14.2	84.95	-15.05	10.66	9.42	18.47
0.053	0.055	Observed	65.4	18.9	13.4	79.7	-20.3	9.63	8.55	22.47
		Corrected	69	21	14.5	85.54	-14.46*	12.52	15.5	19.13 <sup>†</sup>
		Adjusted	69	21	14.5	83.69	-16.31	10.91	12.07	19.63
0.097	0.103	Observed	62.8	17.6	12.5	76.47	-23.53	10.29	8.48	25.68
		Corrected	69.5	21.5	14.5	87.79	-12.21*	16.49	21.78	20.52
		Adjusted	69.5	21.5	14.5	85.36	-14.64	14.31	14.64	20.47 <sup>†</sup>
0.15	0.153	Observed	59.6	15.9	11.3	72.35	-27.65	10.61	8.27	29.61
		Corrected	69.7	21.5	13.9	90.73	-9.27*	26.88	35.95	28.44
		Adjusted	69.7	21.5	13.9	87.37	-12.63	20.26	17.21	23.88 <sup>†</sup>
0.199	0.204	Observed	56.8	14.5	10.6	68.03	-31.97	8.73	7.64	33.14
		Corrected	70.4	21.9	14	98.55	-1.45*	106.92	54.36	106.93
		Adjusted	70.4	21.9	14	88.83	-11.17	20.65	19.55	23.47 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.10** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.2$ ,  $CV = 0.88$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0.91$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	56.1	29.6	14.9	82.09	-17.91	13.58	12.85	22.48
0.053	0.055	Observed	53.5	27.1	14.3	76.49	-23.51	13.76	11.84	27.24
		Corrected	56.5	30.1	14.9	84.65	-15.35*	21.65	22.9	26.54
		Adjusted	56.5	30.1	14.9	81.66	-18.34	17.5	15.83	25.35 <sup>†</sup>
0.097	0.097	Observed	51.8	25.2	14.1	71.92	-28.08	12.34	10.72	30.67
		Corrected	56.9	30.4	15.3	85.46	-14.54*	21.21	30.43	25.71 <sup>†</sup>
		Adjusted	56.9	30.4	15.3	82.27	-17.73	18.65	18.02	25.73
0.15	0.155	Observed	48.8	22.8	13.2	66.69	-33.31	11.64	9.98	35.28
		Corrected	57.2	31.1	14.6	101.9	1.9*	124.34	64.97	124.36
		Adjusted	57.2	31.1	14.6	86.19	-13.81	27.38	23.47	30.67 <sup>†</sup>
0.199	0.203	Observed	46.6	20.8	12.6	62.05	-37.95	10.31	8.99	39.33 <sup>†</sup>
		Corrected	57.8	31.4	14.4	115.1	15.1	173.84	101.77	174.5
		Adjusted	57.8	31.4	14.4	89.31	-10.69*	38	27.14	39.48

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.11** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.2$ ,  $CV = 0.88$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 10$ ,  $r = 0.91$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	73.5	24.9	17.9	90.63	-9.37	9.48	8.98	13.34
0.053	0.055	Observed	70.3	22.6	16.9	85.44	-14.56	9.06	8.3	17.15
		Corrected	74.2	25.1	18.3	91.7	-8.3*	12.04	13.53	14.62 <sup>†</sup>
		Adjusted	74.2	25.1	18.3	90.14	-9.86	11	12.05	14.77
0.097	0.098	Observed	67.4	21.1	15.5	81.76	-18.24	8.56	8.17	20.15
		Corrected	74.2	25.5	17.7	92.87	-7.13*	13.57	17.47	15.33 <sup>†</sup>
		Adjusted	74.2	25.5	17.7	90.98	-9.02	12.54	14.02	15.45
0.15	0.155	Observed	64	19	14.7	76.51	-23.49	8.87	7.44	25.11
		Corrected	75.2	25.9	18.2	94.63	-5.37*	17.18	27.1	18
		Adjusted	75.2	25.9	18.2	92.63	-7.37	16.01	16.67	17.62 <sup>†</sup>
0.199	0.203	Observed	61.3	17.2	13.6	72.7	-27.3	9.45	7.14	28.9
		Corrected	75.9	25.9	18	105.8	5.8	150.59	48.6	150.71
		Adjusted	75.9	25.9	18	95.06	-4.94*	23.02	19.97	23.55 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.12** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.2$ ,  $CV = 0.88$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 20$ ,  $r = 0.91$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	86.9	15.7	14.9	95.85	-4.15	6.28	5.85	7.53
0.053	0.054	Observed	82.9	14.3	13.8	91.12	-8.88	6.13	5.56	10.79
		Corrected	87.3	15.8	15.1	96.47	-3.53*	7.54	10.47	8.32 <sup>†</sup>
		Adjusted	87.3	15.8	15.1	95.38	-4.62	6.97	9.54	8.36
0.097	0.1	Observed	79.4	13.1	12.5	86.96	-13.04	6.6	5.39	14.62
		Corrected	87.6	15.9	14.9	97.08	-2.92*	9.66	12.35	10.1
		Adjusted	87.6	15.9	14.9	95.78	-4.22	9.01	10.69	9.95 <sup>†</sup>
0.15	0.157	Observed	75.7	11.7	11.8	82.43	-17.57	6.69	4.99	18.8
		Corrected	89.1	16.1	15.5	99.09	-0.91*	15.2	17.52	15.23
		Adjusted	89.1	16.1	15.5	97.69	-2.31	14.11	12.13	14.3 <sup>†</sup>
0.199	0.206	Observed	72.3	10.9	10.6	79	-21	6.79	5.18	22.07
		Corrected	90.1	16.6	15.2	101.5	1.5	16.58	22.86	16.65
		Adjusted	90.1	16.6	15.2	99.73	-0.27*	15.06	13.71	15.07 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.13 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.51$ ,  $CV = 0.53$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0.67$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	85.3	15.2	17.3	91.26	-8.74	4.65	4.12	9.91
0.053	0.054	Observed	82.7	14.5	16.2	88.62	-11.38	4.9	4.12	12.39
		Corrected	85.8	15.6	17.3	92.24	-7.76*	6.08	8.01	9.86 <sup>†</sup>
		Adjusted	85.8	15.6	17.3	91.65	-8.35	5.74	7.71	10.14
0.097	0.103	Observed	80	13.5	15.6	85.32	-14.68	5.29	3.86	15.61
		Corrected	86.3	15.7	17.9	92.65	-7.35*	7.69	9.49	10.64 <sup>†</sup>
		Adjusted	86.3	15.7	17.9	91.93	-8.07	7.39	8.85	10.94
0.15	0.15	Observed	76.9	12.2	14.9	81.45	-18.55	4.84	3.51	19.17
		Corrected	85.8	15.1	18.1	91.65	-8.35*	8.02	9.61	11.58 <sup>†</sup>
		Adjusted	85.8	15.1	18.1	90.92	-9.08	7.78	9.1	11.96
0.199	0.208	Observed	74.5	11.8	13.4	79.25	-20.75	5.24	3.7	21.4
		Corrected	87.4	16.1	17.7	94.35	-5.65*	11.6	12.69	12.9 <sup>†</sup>
		Adjusted	87.4	16.1	17.7	93.49	-6.51	11.28	10.28	13.03

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.14** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.51$ ,  $CV = 0.53$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 10$ ,  $r = 0.67$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	91.8	7.4	7.9	95.89	-4.11	4.79	3.92	6.32
0.053	0.052	Observed	88.8	7.1	7.5	92.85	-7.15	4.84	3.86	8.64
		Corrected	92.3	7.6	8	96.72	-3.28*	6.3	8.08	7.1
		Adjusted	92.3	7.6	8	95.81	-4.19	5.51	6.53	6.92 <sup>†</sup>
0.097	0.1	Observed	86	6.4	7.1	89.68	-10.32	5.67	3.75	11.78
		Corrected	92.7	7.5	8.2	97.05	-2.95*	8.3	9.34	8.81
		Adjusted	92.7	7.5	8.2	95.64	-4.36	6.87	7.26	8.13 <sup>†</sup>
0.15	0.153	Observed	82.8	6.1	6.5	86.56	-13.44	5.57	3.89	14.55
		Corrected	92.8	7.6	8	97.67	-2.33*	10.31	10.8	10.57
		Adjusted	92.8	7.6	8	95.86	-4.14	8.02	7.77	9.02 <sup>†</sup>
0.199	0.199	Observed	80.1	5.7	6.2	83.44	-16.56	5.07	3.52	17.32
		Corrected	93.4	7.7	8.3	98.13	-1.87*	11.39	11.6	11.54
		Adjusted	93.4	7.7	8.3	96.56	-3.44	10.17	8.21	10.74 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.15 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.51$ ,  $CV = 0.53$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 20$ ,  $r = 0.67$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	95.4	4.1	3.9	98.86	-1.14	5.06	4.28	5.19
0.053	0.054	Observed	92.5	3.8	3.7	95.6	-4.4	4.79	3.99	6.51
		Corrected	96	4.1	4	99.48	-0.52*	6.43	7.19	6.45
		Adjusted	96	4.1	4	97.65	-2.35	4.43	4.98	5.01 <sup>†</sup>
0.097	0.097	Observed	89.5	3.7	3.5	92.7	-7.3	5.33	4.1	9.04
		Corrected	96.1	4.3	4	99.88	-0.12*	7.41	8.56	7.41
		Adjusted	96.1	4.3	4	97.69	-2.31	6.05	5.68	6.48 <sup>†</sup>
0.15	0.157	Observed	85.9	3.3	3.2	88.93	-11.07	5.37	4.05	12.3
		Corrected	96.8	4.2	4	100.76	0.76*	9.39	9.64	9.42
		Adjusted	96.8	4.2	4	98.12	-1.88	7.89	6.07	8.11 <sup>†</sup>
0.199	0.208	Observed	83.2	3.1	3	85.76	-14.24	4.89	3.5	15.05
		Corrected	97.6	4.2	4	101.32	1.32	10.36	10.11	10.44
		Adjusted	97.6	4.2	4	99.03	-0.97*	8.94	6.38	8.99 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.



表 4.16 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.2 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.29$ ,  $CV = 0.7$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0.67$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	72	32.4	19.8	94.98	-5.02	11.38	10.76	12.44
0.053	0.056	Observed	69.7	30.4	19	90.91	-9.09	11.13	10.22	14.37
		Corrected	72.5	32.9	19.9	96.28	-3.72*	13.39	13.95	13.9
		Adjusted	72.5	32.9	19.9	94.7	-5.3	12.56	12.98	13.63 <sup>†</sup>
0.097	0.1	Observed	67.3	28.8	18.3	87.32	-12.68	11.12	9.91	16.87
		Corrected	72.3	33.1	19.8	98.49	-1.51*	32.77	46.47	32.8
		Adjusted	72.3	33.1	19.8	95.78	-4.22	21.14	15.12	21.56 <sup>†</sup>
0.15	0.155	Observed	64.7	26.4	17.7	82.27	-17.73	11.77	9.06	21.28 <sup>†</sup>
		Corrected	72.7	33.1	20.1	98.71	-1.29*	25.38	200.99	25.41
		Adjusted	72.7	33.1	20.1	96.26	-3.74	21.81	17.28	22.13
0.199	0.203	Observed	63.1	24.9	17.2	78.81	-21.19	9.08	8.36	23.06
		Corrected	73.9	33.9	20.3	101.19	1.19*	38	63.26	38.02
		Adjusted	73.9	33.9	20.3	98.02	-1.98	22.62	19.58	22.71 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.17 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.2 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.29$ ,  $CV = 0.7$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 10$ ,  $r = 0.67$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	89.1	21.2	22	99.17	-0.83	6.06	5.77	6.12
0.053	0.051	Observed	86.3	19.9	20.8	95.65	-4.35	6.07	5.5	7.46
		Corrected	89.6	21.4	22.2	99.77	-0.23*	7.61	9.38	7.62
		Adjusted	89.6	21.4	22.2	99.03	-0.97	7.2	9.16	7.26 <sup>†</sup>
0.097	0.1	Observed	83.3	18.6	19.6	92.19	-7.81	6.32	5.37	10.04
		Corrected	89.6	21.4	22.2	100.06	0.06*	9.13	10.73	9.13
		Adjusted	89.6	21.4	22.2	99.13	-0.87	8.68	10.33	8.73 <sup>†</sup>
0.15	0.15	Observed	80.3	17.5	18.3	88.69	-11.31	6.66	5.24	13.12
		Corrected	89.8	21.7	22.2	100.67	0.67	10.74	11.9	10.76
		Adjusted	89.8	21.7	22.2	99.67	-0.33*	10.37	11.22	10.37 <sup>†</sup>
0.199	0.207	Observed	78	16.3	17.7	85.62	-14.38	6.16	4.93	15.64
		Corrected	91.5	22.1	23.1	102.67	2.67	12.77	14.79	13.04
		Adjusted	91.5	22.1	23.1	101.63	1.63*	12.21	12.31	12.32 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.18** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.2 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.29$ ,  $CV = 0.7$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 20$ ,  $r = 0.67$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	97.8	7	11.9	100.25	0.25	2.56	2.43	2.57
0.053	0.056	Observed	94.7	6.6	11.1	97.08	-2.92	2.98	2.37	4.17
		Corrected	98.5	7.1	12	101.06	1.06	4.82	6.15	4.94
		Adjusted	98.5	7.1	12	100.62	0.62*	4.55	5.8	4.59 <sup>†</sup>
0.097	0.102	Observed	91.5	6.2	10.4	93.78	-6.22	3.72	2.34	7.25
		Corrected	98.6	7.2	12	101.3	1.3	6.5	7.82	6.62
		Adjusted	98.6	7.2	12	100.76	0.76*	6.24	6.97	6.29 <sup>†</sup>
0.15	0.151	Observed	88.2	5.8	9.8	90.42	-9.58	3.69	2.31	10.27
		Corrected	98.5	7.2	12.1	101.25	1.25	7.66	8.42	7.76
		Adjusted	98.5	7.2	12.1	100.62	0.62*	7.5	7.5	7.53 <sup>†</sup>
0.199	0.204	Observed	85.4	5.4	9.1	87.45	-12.55	4.2	2.3	13.24
		Corrected	99.9	7.3	12.2	102.82	2.82	9.87	9.06	10.27
		Adjusted	99.9	7.3	12.2	102.08	2.08*	9.64	7.98	9.86 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.19 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.12$  ,  $CV = 1.18$  ,  $S = 100$  ,  $S_{sub} = 40$  ,  $T = 5$  ,  $r = 0.67$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	37.5	23.6	9.1	66.77	-33.23	20.08	17.11	38.84
0.053	0.057	Observed	36.3	22.2	8.9	62.38	-37.62	17.96	15.49	41.69
		Corrected	37.8	24.1	9	70.17	-29.83*	30.02	31.01	42.32
		Adjusted	37.8	24.1	9	64.6	-35.4	19.48	16.79	40.41 <sup>†</sup>
0.097	0.095	Observed	35.3	21	8.8	58.94	-41.06	16.14	14.35	44.12
		Corrected	37.7	24	8.9	72.66	-27.3*	38.22	41.81	46.99
		Adjusted	37.7	24	8.9	64.2	-35.8	20.67	17.53	41.34 <sup>†</sup>
0.15	0.153	Observed	34	19.6	8.7	55.95	-44.05	17.9	13.9	47.55
		Corrected	38.2	24.6	8.7	94.78	-5.22*	131.92	69.21	132.03
		Adjusted	38.2	24.6	8.7	66.86	-33.14	26.09	20.26	42.18 <sup>†</sup>
0.199	0.206	Observed	32.8	18.5	8.6	52.19	-47.81	16.47	12.53	50.56
		Corrected	38.5	25.2	8.5	108.13	8.13*	156.62	86.61	156.83
		Adjusted	38.5	25.2	8.5	67.51	-32.49	25.89	21.75	41.55 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.20** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.12$  ,  $CV = 1.18$  ,  $S = 100$  ,  $S_{sub} = 40$  ,  $T = 10$  ,  $r = 0.67$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	53.2	24.2	13.1	76.06	-23.94	13.77	12.38	27.63
0.053	0.055	Observed	51.4	22.8	12.4	72.94	-27.06	13.79	12.03	30.37
		Corrected	53.5	24.7	12.9	78.38	-21.62*	17.97	21.1	28.11 <sup>†</sup>
		Adjusted	53.5	24.7	12.9	75.72	-24.28	15.54	14.65	28.83
0.097	0.101	Observed	49.9	21.4	12.2	69.48	-30.52	13.03	11.17	33.19
		Corrected	53.7	24.7	13.2	78.83	-21.17*	19.04	26.13	28.47 <sup>†</sup>
		Adjusted	53.7	24.7	13.2	75.62	-24.38	16.17	16.09	29.25
0.15	0.149	Observed	48.1	19.7	11.8	65.12	-34.88	11.17	10.08	36.63
		Corrected	53.8	24.6	13.2	84.91	-15.09*	77.3	39.36	78.76
		Adjusted	53.8	24.6	13.2	75.61	-24.39	20.1	17.82	31.61 <sup>†</sup>
0.199	0.206	Observed	46.4	18.6	11.1	62.47	-37.53	11.05	9.79	39.13
		Corrected	55.1	26	12.7	169.6	69.6	1755.7	271.6	1757.1
		Adjusted	55.1	26	12.7	80.21	-19.79*	34.26	21.78	39.57 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.21** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.12$  ,  $CV = 1.18$  ,  $S = 100$  ,  $S_{sub} = 40$  ,  $T = 20$  ,  $r = 0.67$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	68.6	21	14.2	85.46	-14.54	11.05	9.56	18.29
0.053	0.056	Observed	66.6	19.7	13.7	81.77	-18.23	10.01	8.86	20.8
		Corrected	69.3	21.3	14.6	86.23	-13.77*	12.52	14.19	18.61 <sup>†</sup>
		Adjusted	69.3	21.3	14.6	84.55	-15.45	11.25	11.75	19.11
0.097	0.099	Observed	64.1	18.4	12.8	78.87	-21.13	12.31	8.94	24.46
		Corrected	68.9	21.2	14.1	87.13	-12.87*	17.51	18.68	21.73
		Adjusted	68.9	21.2	14.1	84.7	-15.3	13.97	13.5	20.72 <sup>†</sup>
0.15	0.146	Observed	62.1	17.4	12.2	76.25	-23.75	11.72	8.79	26.49
		Corrected	69.3	21.5	14.2	89.86	-10.14*	36.19	24.9	37.59
		Adjusted	69.3	21.5	14.2	85.85	-14.15	16.05	15.2	21.4 <sup>†</sup>
0.199	0.211	Observed	59.9	15.8	11.5	71.89	-28.11	9.59	7.83	29.7
		Corrected	70.8	21.8	14.5	90.7	-9.3*	26.1	34.54	27.71
		Adjusted	70.8	21.8	14.5	87.73	-12.27	20.49	16.98	23.89 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.22 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.2$ ,  $CV = 0.88$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0.67$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	56	29.4	15	81.56	-18.44	13.33	12.71	22.77
0.053	0.055	Observed	54.1	27.6	14.6	77.18	-22.82	12.11	11.81	25.84
		Corrected	56.2	29.7	15	82.66	-17.34*	15.62	18.2	23.34 <sup>†</sup>
		Adjusted	56.2	29.7	15	80.28	-19.72	13.81	14.55	24.07
0.097	0.099	Observed	52.4	26.2	14.3	73.92	-26.08	12.65	11.24	28.99
		Corrected	56.4	30.2	15.1	84.47	-15.53*	19.85	25.88	25.21 <sup>†</sup>
		Adjusted	56.4	30.2	15.1	81.51	-18.49	17.49	16.73	25.45
0.15	0.155	Observed	50.4	24.2	13.7	69.47	-30.53	11.06	10.34	32.47
		Corrected	56.4	30.1	14.8	89.04	-10.96*	82.92	40.01	83.64
		Adjusted	56.4	30.1	14.8	82.13	-17.87	20.53	19.37	27.22 <sup>†</sup>
0.199	0.207	Observed	48.9	22.7	13.2	66.57	-33.43	11.61	9.92	35.39
		Corrected	57.5	31.1	14.8	94.75	-5.25*	68.72	62.9	68.92
		Adjusted	57.5	31.1	14.8	86.02	-13.98	25.11	23.83	28.74 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.23** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.2$ ,  $CV = 0.88$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 10$ ,  $r = 0.67$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	73.5	24.9	17.8	90.6	-9.4	9.24	8.96	13.18
0.053	0.056	Observed	71.4	23.5	17.1	87.29	-12.71	9.25	8.56	15.72
		Corrected	74.2	25.4	18.1	91.82	-8.18*	10.91	12.32	13.63 <sup>†</sup>
		Adjusted	74.2	25.4	18.1	90.51	-9.49	10.14	11.45	13.89
0.097	0.1	Observed	69.1	22	16.5	83.76	-16.24	8.81	8.16	18.48
		Corrected	74.3	25.4	18.2	92.2	-7.8*	12.97	15.22	15.13 <sup>†</sup>
		Adjusted	74.3	25.4	18.2	90.49	-9.51	11.94	12.93	15.26
0.15	0.154	Observed	66.4	20.6	15.3	80.41	-19.59	8.84	8.02	21.49
		Corrected	74.6	25.9	17.9	93.94	-6.06*	15.13	19.85	16.29
		Adjusted	74.6	25.9	17.9	91.98	-8.02	14.09	14.96	16.21 <sup>†</sup>
0.199	0.203	Observed	64.1	18.8	14.5	76.62	-23.38	9.16	7.5	25.11
		Corrected	75	25.5	17.9	94.98	-5.02*	21.77	28.93	22.34
		Adjusted	75	25.5	17.9	92.69	-7.31	18.84	16.71	20.21 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.



**表 4.24** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.2$ ,  $CV = 0.88$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 20$ ,  $r = 0.67$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	86.8	15.7	15	95.74	-4.26	6.18	5.81	7.51
0.053	0.056	Observed	84.1	14.8	14.2	92.45	-7.55	6.24	5.61	9.8
		Corrected	87.5	16	15.3	96.67	-3.33*	7.77	9.91	8.46
		Adjusted	87.5	16	15.3	95.7	-4.3	7.19	9.04	8.38 <sup>†</sup>
0.097	0.098	Observed	81.4	13.7	13.4	89.3	-10.7	7.04	5.52	12.81
		Corrected	87.2	15.8	15.2	96.59	-3.41*	10.11	11.54	10.67
		Adjusted	87.2	15.8	15.2	95.31	-4.69	8.54	9.97	9.75 <sup>†</sup>
0.15	0.15	Observed	78.5	12.9	12.3	86.1	-13.9	6.64	5.42	15.4
		Corrected	87.5	16	14.8	97.39	-2.61*	11.13	13.33	11.43
		Adjusted	87.5	16	14.8	96.02	-3.98	10.46	11.06	11.19 <sup>†</sup>
0.199	0.208	Observed	75.8	11.9	11.6	82.71	-17.29	6.29	5.15	18.4
		Corrected	88.9	16.2	15.1	99.19	-0.81*	14.23	17.46	14.25
		Adjusted	88.9	16.2	15.1	97.72	-2.28	12.87	12.2	13.07 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.25 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.51$ ,  $CV = 0.53$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0.33$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	85.3	15.3	17.2	91.48	-8.52	4.76	4.22	9.76
0.053	0.054	Observed	84	14.9	16.7	90.01	-9.99	4.82	4.14	11.09
		Corrected	85.7	15.4	17.3	91.93	-8.07*	5.42	6.72	9.72 <sup>†</sup>
		Adjusted	85.7	15.4	17.3	91.5	-8.5	5.15	6.54	9.93
0.097	0.097	Observed	82.7	14.3	16.3	88.41	-11.59	4.96	4.04	12.6
		Corrected	85.7	15.4	17.3	91.91	-8.09*	6.39	7.89	10.3 <sup>†</sup>
		Adjusted	85.7	15.4	17.3	91.33	-8.67	5.94	7.54	10.52
0.15	0.154	Observed	81.2	13.9	15.8	86.74	-13.26	4.88	3.99	14.13
		Corrected	86	15.5	17.5	92.33	-7.67*	6.91	8.68	10.32 <sup>†</sup>
		Adjusted	86	15.5	17.5	91.64	-8.36	6.58	8.35	10.64
0.199	0.205	Observed	79.6	13.3	15.2	85.01	-14.99	5.16	3.95	15.85
		Corrected	86.4	15.7	17.6	92.98	-7.02*	8.63	9.92	11.12 <sup>†</sup>
		Adjusted	86.4	15.7	17.6	92.2	-7.8	8.28	8.96	11.38

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.26 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.51$ ,  $CV = 0.53$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 10$ ,  $r = 0.33$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	91.7	7.6	7.8	96.06	-3.94	4.58	4.03	6.04
0.053	0.053	Observed	90.2	7.4	7.5	94.44	-5.56	4.63	4	7.24
		Corrected	91.8	7.6	7.8	96.17	-3.83*	5.33	6.56	6.56
		Adjusted	91.8	7.6	7.8	95.52	-4.48	4.49	5.5	6.35 <sup>†</sup>
0.097	0.097	Observed	88.7	7	7.5	92.59	-7.41	4.53	3.74	8.68
		Corrected	91.9	7.5	8	96.15	-3.85*	5.97	7.73	7.1
		Adjusted	91.9	7.5	8	95.28	-4.72	5.23	6.31	7.04 <sup>†</sup>
0.15	0.15	Observed	87.2	6.7	7	91.2	-8.8	5.02	3.93	10.13
		Corrected	92.3	7.5	7.8	96.77	-3.23*	7	9.15	7.71
		Adjusted	92.3	7.5	7.8	95.5	-4.5	6.15	6.98	7.62 <sup>†</sup>
0.199	0.204	Observed	85.8	6.8	7	90.02	-9.98	6.46	4.1	11.89
		Corrected	93.1	8	8.1	98.28	-1.72*	10.37	10.36	10.51
		Adjusted	93.1	8	8.1	96.65	-3.35	7.27	7.61	8 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.27 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.51$ ,  $CV = 0.53$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 20$ ,  $r = 0.33$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	95.3	4.2	3.9	98.9	-1.1	4.77	4.34	4.92
0.053	0.052	Observed	93.8	3.9	4	96.87	-3.13	4.51	3.83	5.49
		Corrected	95.5	4	4.1	98.69	-1.31*	4.98	5.74	5.15
		Adjusted	95.5	4	4.1	97.78	-2.22	4.06	4.65	4.62 <sup>†</sup>
0.097	0.095	Observed	92.2	3.9	3.8	95.47	-4.53	4.47	4.11	6.37
		Corrected	95.3	4.2	4	98.83	-1.17*	5.74	7	5.85
		Adjusted	95.3	4.2	4	97.14	-2.86	4.24	4.93	5.12 <sup>†</sup>
0.15	0.155	Observed	90.9	3.9	3.4	94.67	-5.33	5.76	4.8	7.85
		Corrected	96.2	4.4	3.8	100.63	0.63*	8.51	8.71	8.54
		Adjusted	96.2	4.4	3.8	98.1	-1.9	6.12	5.58	6.41 <sup>†</sup>
0.199	0.204	Observed	89	3.7	3.3	92.49	-7.51	5.83	4.37	9.51
		Corrected	96.4	4.4	3.9	100.61	0.61*	9.02	9.09	9.04
		Adjusted	96.4	4.4	3.9	98.14	-1.86	7.2	5.8	7.44 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.28 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.2 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.29$ ,  $CV = 0.7$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0.33$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	72	32.5	19.7	95.42	-4.58	11.6	10.94	12.48
0.053	0.056	Observed	71.2	31.6	19.4	93.59	-6.41	11.15	10.61	12.86
		Corrected	72.6	32.9	19.9	96.43	-3.57*	12.56	12.79	13.06
		Adjusted	72.6	32.9	19.9	95.34	-4.66	11.86	12.14	12.74 <sup>†</sup>
0.097	0.098	Observed	69.7	30.6	19.2	91.15	-8.85	11.91	10.29	14.84
		Corrected	72.5	33	20.1	96.62	-3.38*	15.09	14.84	15.46
		Adjusted	72.5	33	20.1	95.07	-4.93	13.9	13.2	14.75 <sup>†</sup>
0.15	0.15	Observed	68.5	29.8	18.4	89.65	-10.35	11.24	10.29	15.28
		Corrected	72.7	33.5	19.7	98.21	-1.79*	15.96	18.31	16.06
		Adjusted	72.7	33.5	19.7	96.25	-3.75	14.71	14.54	15.18 <sup>†</sup>
0.199	0.208	Observed	67.3	28.5	18.4	86.67	-13.33	10.76	9.62	17.13
		Corrected	72.9	33.4	20.1	97.74	-2.26*	16.43	19.12	16.59
		Adjusted	72.9	33.4	20.1	95.73	-4.27	15.28	15.11	15.86 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.29 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.2 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.29$ ,  $CV = 0.7$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 10$ ,  $r = 0.33$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	89.2	21.5	22	99.53	-0.47	5.87	5.87	5.9
0.053	0.055	Observed	87.8	21	21.3	97.98	-2.02	6	5.83	6.33
		Corrected	89.5	21.8	22	100.09	0.09*	6.75	8.23	6.75
		Adjusted	89.5	21.8	22	99.58	-0.42	6.42	8.07	6.43 <sup>†</sup>
0.097	0.094	Observed	86.3	20	20.8	95.9	-4.1	6.32	5.65	7.53
		Corrected	89.1	21.4	22	99.55	-0.45*	7.87	9.11	7.89
		Adjusted	89.1	21.4	22	98.87	-1.13	7.43	8.86	7.52 <sup>†</sup>
0.15	0.15	Observed	84.6	19.2	20.1	93.65	-6.35	5.78	5.42	8.58
		Corrected	89.4	21.4	22.1	99.67	-0.33*	8.33	10.13	8.33
		Adjusted	89.4	21.4	22.1	98.85	-1.15	7.98	9.75	8.06 <sup>†</sup>
0.199	0.201	Observed	83.7	19.1	20	92.75	-7.25	6.22	5.44	9.55 <sup>†</sup>
		Corrected	90.4	22.3	22.8	101.31	1.31	9.98	10.89	10.07
		Adjusted	90.4	22.3	22.8	100.4	0.4*	9.62	10.46	9.63

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.30 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.8 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.2 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.29$ ,  $CV = 0.7$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 20$ ,  $r = 0.33$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	97.8	7	11.9	100.27	0.27	2.68	2.44	2.7
0.053	0.053	Observed	96.4	6.9	11.5	98.87	-1.13	2.77	2.45	2.99
		Corrected	98.2	7.2	12	100.78	0.78	3.68	4.97	3.76
		Adjusted	98.2	7.2	12	100.49	0.49*	3.41	4.77	3.44 <sup>†</sup>
0.097	0.099	Observed	94.6	6.5	11.3	96.9	-3.1	3.07	2.32	4.36 <sup>†</sup>
		Corrected	98.1	7	12.2	100.61	0.61	4.81	6.09	4.85
		Adjusted	98.1	7	12.2	100.16	0.16*	4.42	5.73	4.43
0.15	0.151	Observed	92.8	6.2	10.5	95.1	-4.9	3.34	2.35	5.93
		Corrected	98.3	7	11.8	100.91	0.91	5.9	7.04	5.97
		Adjusted	98.3	7	11.8	100.37	0.37*	5.62	6.44	5.63 <sup>†</sup>
0.199	0.205	Observed	91.5	6.1	10.4	93.81	-6.19	3.74	2.37	7.23
		Corrected	99.1	7.2	12.1	101.87	1.87	7.24	7.68	7.48
		Adjusted	99.1	7.2	12.1	101.28	1.28*	6.88	6.97	7 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.31** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.12$  ,  $CV = 1.18$  ,  $S = 100$  ,  $S_{sub} = 40$  ,  $T = 5$  ,  $r = 0.33$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	37.4	23.6	9	66.93	-33.07	20.46	17.34	38.95
0.053	0.055	Observed	36.8	22.7	8.9	64.15	-35.85	17.72	16.18	39.99
		Corrected	37.5	23.6	8.9	67.65	-32.35*	21.27	23.99	38.72 <sup>†</sup>
		Adjusted	37.5	23.6	8.9	64.21	-35.79	16.91	16.02	39.59
0.097	0.099	Observed	36.3	22.1	9.1	61.93	-38.07	16.58	15.16	41.53
		Corrected	37.6	23.8	9.1	69.72	-30.28*	41.52	29.31	51.38
		Adjusted	37.6	23.8	9.1	63.58	-36.42	17.37	16.31	40.35 <sup>†</sup>
0.15	0.15	Observed	35.8	21.9	8.8	62.17	-37.83	21.79	16.15	43.65
		Corrected	37.8	24.4	8.8	75.26	-24.74*	48.54	40.41	54.48
		Adjusted	37.8	24.4	8.8	65.8	-34.2	21.46	18.04	40.37 <sup>†</sup>
0.199	0.201	Observed	35	20.6	8.8	57.72	-42.28	16.22	13.84	45.29
		Corrected	37.8	24.1	8.9	73.93	-26.07*	45.36	47.98	52.32
		Adjusted	37.8	24.1	8.9	64.67	-35.33	21.47	18.43	41.34 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.



**表 4.32** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.12$  ,  $CV = 1.18$  ,  $S = 100$  ,  $S_{sub} = 40$  ,  $T = 10$  ,  $r = 0.33$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	53.2	24.2	13	76.28	-23.72	13.68	12.47	27.39
0.053	0.052	Observed	52.3	23.5	12.7	74.39	-25.61	13.64	12.14	29.01
		Corrected	53.2	24.3	12.9	76.84	-23.16*	15.19	16.28	27.69 <sup>†</sup>
		Adjusted	53.2	24.3	12.9	75.28	-24.72	13.79	13.32	28.31
0.097	0.1	Observed	51.5	22.8	12.5	72.96	-27.04	13.5	11.97	30.22
		Corrected	53.4	24.4	13	77.76	-22.24*	17.22	20.39	28.12 <sup>†</sup>
		Adjusted	53.4	24.4	13	75.21	-24.79	14.7	14.31	28.82
0.15	0.156	Observed	50.9	22	12.4	70.89	-29.11	12.63	11.3	31.73
		Corrected	54.1	24.9	13.3	78.74	-21.26*	17.77	23.69	27.71 <sup>†</sup>
		Adjusted	54.1	24.9	13.3	75.78	-24.22	15.09	15.43	28.53
0.199	0.202	Observed	49.8	21.3	12.2	68.97	-31.03	11.95	11.01	33.25
		Corrected	53.7	24.8	13.1	79.55	-20.45*	28.92	28.76	35.42
		Adjusted	53.7	24.8	13.1	75.98	-24.02	21.34	16.23	32.13 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.33** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Broken Stick 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.12$  ,  $CV = 1.18$  ,  $S = 100$  ,  $S_{sub} = 40$  ,  $T = 20$  ,  $r = 0.33$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	68.5	21	14.1	85.37	-14.63	10.53	9.58	18.04
0.053	0.056	Observed	67.5	20.4	13.6	84.22	-15.78	10.95	9.62	19.2
		Corrected	68.8	21.2	14	86.48	-13.52*	11.87	12.75	17.99 <sup>†</sup>
		Adjusted	68.8	21.2	14	85.17	-14.83	10.93	11.2	18.42
0.097	0.095	Observed	66.3	19.7	13.3	82.29	-17.71	10.8	9.38	20.74
		Corrected	68.7	21.2	14	86.4	-13.6*	12.89	14.43	18.74 <sup>†</sup>
		Adjusted	68.7	21.2	14	84.71	-15.29	11.5	11.97	19.13
0.15	0.149	Observed	65	18.8	13	79.75	-20.25	9.43	8.83	22.34
		Corrected	68.7	21	14	85.91	-14.09*	12.74	15.93	19 <sup>†</sup>
		Adjusted	68.7	21	14	83.98	-16.02	11.32	12.47	19.61
0.199	0.199	Observed	64.1	18.2	12.7	78.4	-21.6	10.21	8.72	23.89
		Corrected	69.3	21.3	14.2	87.31	-12.69*	16.99	19.56	21.21
		Adjusted	69.3	21.3	14.2	85.06	-14.94	14.53	13.7	20.84 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.34** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.2$ ,  $CV = 0.88$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0.33$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	55.8	29.5	14.7	82.02	-17.98	13.64	13.01	22.6
0.053	0.051	Observed	55	28.8	14.4	80.55	-19.45	12.68	12.88	23.22
		Corrected	55.9	29.9	14.6	83.21	-16.79*	14.29	16.19	22.05 <sup>†</sup>
		Adjusted	55.9	29.9	14.6	81.62	-18.38	13.12	14.1	22.59
0.097	0.096	Observed	54	27.5	14.7	76.86	-23.14	13.48	11.68	26.78
		Corrected	55.8	29.4	15.1	81.67	-18.33*	16.72	17.24	24.81 <sup>†</sup>
		Adjusted	55.8	29.4	15.1	79.67	-20.33	15.02	14.06	25.28
0.15	0.151	Observed	53.4	27.3	14	77.26	-22.74	13.54	12.29	26.47
		Corrected	56.4	30.4	14.6	85.97	-14.03*	21.46	24.34	25.64
		Adjusted	56.4	30.4	14.6	82.95	-17.05	18.32	16.61	25.02 <sup>†</sup>
0.199	0.202	Observed	52.1	25.7	14.3	72.56	-27.44	11.64	10.77	29.81
		Corrected	56.3	29.9	15.2	83.86	-16.14*	21.97	29.29	27.27
		Adjusted	56.3	29.9	15.2	80.91	-19.09	19.05	16.84	26.97 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.35** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.2$ ,  $CV = 0.88$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 10$ ,  $r = 0.33$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	73.5	24.8	18	90.49	-9.51	9.92	8.91	13.74
0.053	0.054	Observed	72.4	23.9	17.7	88.76	-11.24	10.35	8.74	15.28
		Corrected	73.8	24.8	18.3	91.02	-8.98*	11.12	11.18	14.3 <sup>†</sup>
		Adjusted	73.8	24.8	18.3	90.09	-9.91	10.47	10.52	14.42
0.097	0.099	Observed	71.3	23.2	17.3	86.74	-13.26	9.61	8.35	16.38
		Corrected	74	25	18.2	91.22	-8.78*	12.68	12.56	15.42
		Adjusted	74	25	18.2	89.9	-10.1	11.59	11.36	15.38 <sup>†</sup>
0.15	0.151	Observed	69.9	22.6	16.6	85.28	-14.72	9.6	8.43	17.58
		Corrected	73.6	25.1	17.9	91.49	-8.51*	12.74	13.53	15.32 <sup>†</sup>
		Adjusted	73.6	25.1	17.9	89.95	-10.05	11.72	12.13	15.44
0.199	0.2	Observed	68.8	22	16.2	83.7	-16.3	9.16	8.28	18.69
		Corrected	74.1	25.4	17.9	92.29	-7.71*	13.31	16.01	15.38 <sup>†</sup>
		Adjusted	74.1	25.4	17.9	90.59	-9.41	12.24	13.03	15.44

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.36** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 Log Normal (0, 1) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.2$ ,  $CV = 0.88$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 20$ ,  $r = 0.33$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	86.8	15.6	15	95.7	-4.3	6.41	5.8	7.74
0.053	0.054	Observed	85.4	15.1	14.7	93.99	-6.01	6.56	5.7	8.89
		Corrected	87.1	15.7	15.2	96.07	-3.93*	7.28	8.36	8.28
		Adjusted	87.1	15.7	15.2	95.46	-4.54	6.85	7.91	8.21 <sup>†</sup>
0.097	0.093	Observed	84.4	14.9	14	93.2	-6.8	7.19	5.9	9.89
		Corrected	87.3	16	14.9	96.88	-3.12*	8.5	10.25	9.05
		Adjusted	87.3	16	14.9	95.87	-4.13	7.64	9.14	8.69 <sup>†</sup>
0.15	0.154	Observed	82.3	14	13.7	90.17	-9.83	6.5	5.44	11.78
		Corrected	87.3	15.7	15.2	96.31	-3.69*	8.73	10.79	9.48
		Adjusted	87.3	15.7	15.2	95.19	-4.81	8.07	9.58	9.39 <sup>†</sup>
0.199	0.204	Observed	81.3	13.6	13.4	88.9	-11.1	6.48	5.32	12.86
		Corrected	88	15.9	15.4	97.18	-2.82*	10.17	11.47	10.55
		Adjusted	88	15.9	15.4	96.03	-3.97	9.53	10.02	10.32 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

## 附錄二 多組調查人員模擬結果

表 4.37 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.41$ ,  $CV = 0.3$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 2$ ,  $r = 0$ )

Mean	Estimated									
error	error	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample	Estimated	Sample
rate	rate							s.e	s.e	RMSE
0	0	True	63.9	45.4	18.4	94.2	-5.8	13.71	13.86	14.89
0.051	0.049	Observed	65.7	48.9	16.8	104.4	4.4*	17.66	16.14	18.2
		Corrected	63.9	45.2	18.6	94.5	-5.5	17.01	18.46	17.88
		Adjusted	63.9	45.2	18.6	91.9	-8.1	15.39	15.42	17.39 <sup>†</sup>
0.101	0.1	Observed	67.4	52.6	14.8	118.7	18.7	23.48	21.29	30.02
		Corrected	63.9	45.5	18.4	96.2	-3.8*	19.6	23.03	19.96
		Adjusted	63.9	45.5	18.4	93.4	-6.6	17.7	18.79	18.89 <sup>†</sup>
0.149	0.146	Observed	69	55.5	13.5	132.2	32.2	29.32	26.33	43.55
		Corrected	63.9	45.2	18.6	96.7	-3.3*	23.36	26.81	23.59
		Adjusted	63.9	45.2	18.6	93.8	-6.2	21.16	21.54	22.05 <sup>†</sup>
0.201	0.199	Observed	70.4	58.7	11.7	153	53	41.04	35.3	67.03
		Corrected	63.7	45.2	18.5	98.3	-1.7*	28.37	34.94	28.42
		Adjusted	63.7	45.2	18.5	95.1	-4.9	25.23	25.9	25.7 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.38** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.41$ ,  $CV = 0.3$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 3$ ,  $r = 0$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	77	39.1	29.1	95.5	-4.5	8.46	8.78	9.58
0.051	0.049	Observed	81.2	46.3	27.4	108.9	8.9	12.14	11.07	15.05
		Corrected	77.1	39.4	29	96.7	-3.3*	12.35	11.62	12.78
		Adjusted	77.1	39.4	29	95.5	-4.5	11.82	10.95	12.65 <sup>†</sup>
0.101	0.098	Observed	85.2	53	25.9	123.5	23.5	16.41	14.37	28.66
		Corrected	77.1	39.2	29.4	96.9	-3.1*	15.05	14.82	15.37
		Adjusted	77.1	39.2	29.4	95.7	-4.3	14.4	13.59	15.03 <sup>†</sup>
0.149	0.148	Observed	88.8	59.1	24.2	139.9	39.9	21.05	18.43	45.11
		Corrected	76.7	38.3	29.3	96.8	-3.2*	18.88	48.17	19.15
		Adjusted	76.7	38.3	29.3	95.5	-4.5	17.93	16.64	18.49 <sup>†</sup>
0.201	0.197	Observed	92.6	66.4	21.7	164.7	64.7	29.12	25.29	70.95
		Corrected	77.1	39.7	28.7	100.7	0.7*	25.12	41.01	25.13
		Adjusted	77.1	39.7	28.7	99.1	-0.9	23.58	22.23	23.6 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.39** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.41$ ,  $CV = 0.3$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 4$ ,  $r = 0$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	84.9	31.3	31.5	97.3	-2.7	6.4	6.79	6.95
0.051	0.049	Observed	91.8	41.5	30.8	114	14	10.61	9.22	17.57
		Corrected	85.3	31.9	31.4	98.9	-1.1*	10.95	9.64	11.01
		Adjusted	85.3	31.9	31.4	98	-2	10.55	9.19	10.74 <sup>†</sup>
0.101	0.1	Observed	97.9	51	30.1	132	32	14.9	12.8	35.3
		Corrected	84.7	31.2	31.6	98.4	-1.6*	13.84	13.48	13.93
		Adjusted	84.7	31.2	31.6	97.5	-2.5	13.38	11.93	13.61 <sup>†</sup>
0.149	0.148	Observed	103.7	59.9	28.9	152.9	52.9	19.93	17.19	56.53
		Corrected	84.6	31.1	31.3	99.3	-0.7*	17.78	27.21	17.79
		Adjusted	84.6	31.1	31.3	98.3	-1.7	17.01	15.63	17.09 <sup>†</sup>
0.201	0.196	Observed	110.5	70.7	27.4	182.3	82.3	26.32	23.61	86.41
		Corrected	85.9	33	31.3	103.4	3.4	21.63	66.99	21.9
		Adjusted	85.9	33	31.3	102.2	2.2*	20.59	21.18	20.71 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.



表 4.40 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.41$ ,  $CV = 0.3$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	89.8	24.3	29.7	98.3	-1.7	5.05	5.61	5.33
0.051	0.049	Observed	99.3	36.9	30.1	118.3	18.3	9.81	8.35	20.76
		Corrected	90.4	24.9	29.8	99.9	-0.1*	10.48	8.76	10.48
		Adjusted	90.4	24.9	29.8	99.2	-0.8	10.13	8.25	10.16 <sup>†</sup>
0.101	0.101	Observed	108	48.7	30.5	140.8	40.8	15.42	12.49	43.62
		Corrected	89.8	24	30.1	99.7	-0.3*	14.71	13.03	14.71
		Adjusted	89.8	24	30.1	99	-1	14.15	11.06	14.19 <sup>†</sup>
0.149	0.148	Observed	116.2	60.4	30	167.3	67.3	20.34	17.68	70.31
		Corrected	89.9	24.5	29.7	101.3	1.3	17.91	60.89	17.96
		Adjusted	89.9	24.5	29.7	100.5	0.5*	16.92	15.07	16.93 <sup>†</sup>
0.201	0.199	Observed	125.1	73	29.5	200.9	100.9	27.8	24.3	104.66
		Corrected	90.1	24.6	29.2	103.9	3.9	24.31	339.61	24.62
		Adjusted	90.1	24.6	29.2	102.6	2.6*	22.15	20.57	22.3 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.41 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.42$ ,  $CV = 0.65$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 2$ ,  $r = 0$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	58.8	34.3	24.5	71.5	-28.5	7.14	6.46	29.38
0.051	0.051	Observed	61.2	39.2	22	79.9	-20.1*	10.4	8.38	22.63 <sup>†</sup>
		Corrected	58.7	34.3	24.4	72	-28	10.17	8.83	29.79
		Adjusted	58.7	34.3	24.4	71	-29	9.72	8.24	30.59
0.101	0.099	Observed	63.4	43.4	20	88.6	-11.4*	12.23	10.78	16.72 <sup>†</sup>
		Corrected	58.7	33.9	24.7	71.9	-28.1	11.05	10.72	30.19
		Adjusted	58.7	33.9	24.7	70.9	-29.1	10.55	9.98	30.95
0.149	0.147	Observed	65.4	47.7	17.7	99.6	-0.4*	15.41	14.19	15.42 <sup>†</sup>
		Corrected	58.6	34.1	24.6	72.6	-27.4	13.06	13.22	30.35
		Adjusted	58.6	34.1	24.6	71.6	-28.4	12.4	12.17	30.99
0.201	0.2	Observed	67.9	51.9	16	113.2	13.2*	20.16	18.52	24.1 <sup>†</sup>
		Corrected	58.6	33.3	25.3	72.7	-27.3	15.05	15.96	31.17
		Adjusted	58.6	33.3	25.3	71.7	-28.3	14.25	14.35	31.69

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.42 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.42$ ,  $CV = 0.65$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 3$ ,  $r = 0$ )

Mean	Estimated									
error	error	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample	Estimated	Sample
rate	rate							s.e	s.e	RMSE
0	0	True	68.8	29.7	21.5	83.5	-16.5	8.25	9.14	18.45
0.051	0.05	Observed	73.6	36.9	21.6	96	-4*	10.96	10.02	11.67 <sup>†</sup>
		Corrected	68.8	29.9	21.3	84.5	-15.5	10.85	11.92	18.92
		Adjusted	68.8	29.9	21.3	83.2	-16.8	10.24	10.38	19.67
0.101	0.1	Observed	77.9	43.3	21.6	108.8	8.8*	14.89	12.81	17.3 <sup>†</sup>
		Corrected	68.4	29.3	21.3	84.5	-15.5	14.97	18.53	21.55
		Adjusted	68.4	29.3	21.3	83.1	-16.9	13.96	13.29	21.92
0.149	0.145	Observed	82.4	50	21.5	123.7	23.7	18.71	16.15	30.2
		Corrected	68.9	29.6	21.7	86.3	-13.7*	18.78	28.22	23.25
		Adjusted	68.9	29.6	21.7	84.6	-15.4	17.07	16.57	22.99 <sup>†</sup>
0.201	0.198	Observed	86.2	56.7	20.5	141.9	41.9	24.64	20.78	48.61
		Corrected	68.1	29	21.4	87.7	-12.3*	27.54	47.49	30.16
		Adjusted	68.1	29	21.4	84.8	-15.2	21.4	20.85	26.25 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.43 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.42$ ,  $CV = 0.65$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 4$ ,  $r = 0$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	75.2	26.5	19.7	89.7	-10.3	8.32	9.36	13.24
0.051	0.049	Observed	81.9	35.2	20.2	106.8	6.8*	13.13	11.24	14.79 <sup>†</sup>
		Corrected	75	26.3	19.9	90.2	-9.8	12.93	12.96	16.22
		Adjusted	75	26.3	19.9	88.7	-11.3	12.16	10.95	16.6
0.101	0.102	Observed	89.5	45.2	20	130.4	30.4	18.39	16.6	35.53
		Corrected	75.2	26.6	19.1	93	-7*	20.71	24.94	21.86
		Adjusted	75.2	26.6	19.1	91	-9	17.54	15.82	19.71 <sup>†</sup>
0.149	0.148	Observed	95.3	52.9	20.5	150	50	23.54	20.87	55.26
		Corrected	74.8	25.9	19.8	94.2	-5.8*	29.2	40.14	29.77
		Adjusted	74.8	25.9	19.8	90.9	-9.1	20.52	19.29	22.45 <sup>†</sup>
0.201	0.196	Observed	101.9	62.1	20.5	175.9	75.9	25.43	26.57	80.05
		Corrected	74.9	26.3	19.3	96.9	-3.1*	35.98	63.46	36.11
		Adjusted	74.9	26.3	19.3	92.1	-7.9	21.97	23.93	23.35 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.44 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.42$ ,  $CV = 0.65$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	80.1	24	18.2	94.1	-5.9	7.99	9.35	9.93
0.051	0.049	Observed	89.6	35.5	18.9	118.4	18.4	14.31	12.96	23.31
		Corrected	80.6	24.6	18.6	95.9	-4.1*	13.18	14.17	13.8
		Adjusted	80.6	24.6	18.6	94.3	-5.7	12.31	11.84	13.57 <sup>†</sup>
0.101	0.1	Observed	98	45.9	18.9	145.7	45.7	21.09	19.27	50.33
		Corrected	79.7	23.7	18.3	95.4	-4.6*	19.25	23.85	19.79
		Adjusted	79.7	23.7	18.3	93.6	-6.4	16.68	15.73	17.87 <sup>†</sup>
0.149	0.148	Observed	106.6	56.2	19.4	176	76	28.9	26.05	81.31
		Corrected	79.5	23	18.3	98.3	-1.7*	28.43	42.88	28.48
		Adjusted	79.5	23	18.3	95	-5	21.81	19.94	22.38 <sup>†</sup>
0.201	0.2	Observed	116.5	69	19.2	221.7	121.7	38.26	36.95	127.57
		Corrected	80.3	24.1	17.5	109	9	52.91	82.37	53.67
		Adjusted	80.3	24.1	17.5	101	1*	31.94	26.91	31.96 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.45** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$  的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.45$ ,  $CV = 0.5$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 2$ ,  $r = 0$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	64.5	39.7	24.8	81.2	-18.8	8.49	8.13	20.63
0.051	0.05	Observed	67	44.5	22.5	90.7	-9.3*	11.83	9.98	15.05 <sup>†</sup>
		Corrected	64.5	39.6	24.9	81.9	-18.1	11.49	10.38	21.44
		Adjusted	64.5	39.6	24.9	80.7	-19.3	10.92	9.67	22.18
0.101	0.1	Observed	69.4	49.5	19.9	102.4	2.4*	15.37	13.36	15.56 <sup>†</sup>
		Corrected	64.6	40	24.6	83.2	-16.8	14.16	13.26	21.97
		Adjusted	64.6	40	24.6	81.9	-18.1	13.37	12.22	22.5
0.149	0.146	Observed	71.2	53.2	18	113.3	13.3*	18.67	16.78	22.92 <sup>†</sup>
		Corrected	64.4	39.5	24.8	82.8	-17.2	15.85	15.42	23.39
		Adjusted	64.4	39.5	24.8	81.5	-18.5	15.03	14.11	23.84
0.201	0.201	Observed	73.4	57.6	15.8	131	31	26.18	22.85	40.58
		Corrected	64.2	39.1	25.1	84	-16*	20.24	19.52	25.8
		Adjusted	64.2	39.1	25.1	82.6	-17.4	18.97	17.32	25.74 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.46** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$  的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.45$  ,  $CV = 0.5$  ,  $S = 100$  ,  $S_{sub} = 40$  ,  $T = 3$  ,  $r = 0$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	75.4	32.6	27	89.4	-10.6	7.33	7.39	12.89
0.051	0.051	Observed	80.6	40.9	26.4	103	3*	10.57	9.5	10.99 <sup>†</sup>
		Corrected	75.4	32.9	26.8	90.3	-9.7	11.02	10.69	14.68
		Adjusted	75.4	32.9	26.8	89.3	-10.7	10.57	9.54	15.04
0.101	0.099	Observed	85.5	48	26.1	116.7	16.7	13.54	12.29	21.5
		Corrected	75.5	32.4	27.5	90.6	-9.4*	13.93	22.51	16.8 <sup>†</sup>
		Adjusted	75.5	32.4	27.5	89.5	-10.5	13.25	12.13	16.91
0.149	0.15	Observed	89.9	55.5	24.7	134	34	18.32	16.29	38.62
		Corrected	75.2	32.3	26.9	91.5	-8.5*	17.26	45.99	19.24
		Adjusted	75.2	32.3	26.9	90.2	-9.8	16.27	15.97	18.99 <sup>†</sup>
0.201	0.199	Observed	94.8	63.4	23.5	155.5	55.5	25.07	21.38	60.9
		Corrected	75.7	32.9	27.3	93.6	-6.4*	21.41	55.4	22.35
		Adjusted	75.7	32.9	27.3	92.3	-7.7	20.24	20.49	21.66 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.47 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$  的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.45$ ,  $CV = 0.5$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 4$ ,  $r = 0$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	82	26.5	25.3	93.3	-6.7	6.6	6.4	9.4
0.051	0.049	Observed	89.6	36.6	25.5	110.5	10.5	10.17	9.25	14.62
		Corrected	82.1	26.5	25.2	93.9	-6.1*	10.28	9.89	11.95 <sup>†</sup>
		Adjusted	82.1	26.5	25.2	93	-7	9.85	9.11	12.08
0.101	0.1	Observed	97.2	47	25.9	131.2	31.2	16.42	13.31	35.26
		Corrected	82.2	26.5	25.4	95.1	-4.9*	15.5	16	16.26
		Adjusted	82.2	26.5	25.4	94.1	-5.9	14.8	12.61	15.93 <sup>†</sup>
0.149	0.148	Observed	104.2	57	25.4	155.3	55.3	21.64	18.46	59.38
		Corrected	82.2	26.9	25.1	97.1	-2.9*	19.94	28.7	20.15
		Adjusted	82.2	26.9	25.1	95.8	-4.2	18.73	17.26	19.2 <sup>†</sup>
0.201	0.198	Observed	111.8	67.7	25.6	182.7	82.7	27.21	23.95	87.06
		Corrected	82.6	27	25.6	101.7	1.7	33.7	51.36	33.74
		Adjusted	82.6	27	25.6	98.6	-1.4*	25.81	22.19	25.85 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.



**表 4.48** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$  的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.45$ ,  $CV = 0.5$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	86.3	21.4	22.9	95.1	-4.9	5.62	5.22	7.46
0.051	0.05	Observed	96.1	33.6	23.3	116.8	16.8	11	9.47	20.08
		Corrected	85.9	21.1	22.6	95.2	-4.8*	10.91	9.69	11.92 <sup>†</sup>
		Adjusted	85.9	21.1	22.6	94.3	-5.7	10.47	8.82	11.92
0.101	0.099	Observed	106.7	46.7	24.2	144.6	44.6	16.68	14.9	47.62
		Corrected	86.8	21.9	23.1	97.7	-2.3*	15.03	16.58	15.2
		Adjusted	86.8	21.9	23.1	96.7	-3.3	14.38	12.6	14.75 <sup>†</sup>
0.149	0.148	Observed	115.6	58.3	24.4	174.4	74.4	22.86	21.06	77.83
		Corrected	86.1	21.1	22.6	98.4	-1.6*	19.62	31.27	19.69
		Adjusted	86.1	21.1	22.6	97.2	-2.8	18.43	16.84	18.64 <sup>†</sup>
0.201	0.196	Observed	126.7	72.4	25	214.7	114.7	30.52	29.01	118.69
		Corrected	88.3	23.3	22.7	107.1	7.1	42.31	59.07	42.9
		Adjusted	88.3	23.3	22.7	102.8	2.8*	24.53	23.13	24.69 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.49 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.41$ ,  $CV = 0.3$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 2$ ,  $r = 0.1$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	63.9	45.5	18.4	94.5	-5.5	13.84	13.84	14.89
0.051	0.048	Observed	65.3	48.8	16.5	105.3	5.3	18.99	16.75	19.72
		Corrected	63.6	45.3	18.2	95.4	-4.6*	17.91	19.33	18.49
		Adjusted	63.6	45.3	18.2	92.7	-7.3	16.02	16.04	17.6 <sup>†</sup>
0.101	0.095	Observed	66.4	51.5	14.9	115.7	15.7	23.62	20.58	28.36
		Corrected	63.1	44.8	18.3	94.9	-5.1*	20.78	22.34	21.4
		Adjusted	63.1	44.8	18.3	92.1	-7.9	18.74	18.25	20.34 <sup>†</sup>
0.149	0.141	Observed	67.8	54.4	13.3	129.5	29.5	28.49	25.96	41.01
		Corrected	62.9	44.7	18.2	95.8	-4.2*	23.52	27.39	23.89
		Adjusted	62.9	44.7	18.2	92.8	-7.2	21.07	21.45	22.27 <sup>†</sup>
0.201	0.189	Observed	69	57.1	11.9	144.8	44.8	33.39	32.12	55.87
		Corrected	62.6	44.3	18.3	95.6	-4.4*	25.28	32.55	25.66
		Adjusted	62.6	44.3	18.3	92.6	-7.4	22.83	24.41	24 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.50** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.41$ ,  $CV = 0.3$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 3$ ,  $r = 0.1$ )

Mean	Estimated									
error	error	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample	Estimated	Sample
rate	rate							s.e	s.e	RMSE
0	0	True	77	39.3	28.9	95.8	-4.2	8.47	9.98	9.45
0.051	0.047	Observed	80.3	45.6	27.2	107.3	7.3	11.62	10.85	13.72
		Corrected	76.4	39	28.8	95.7	-4.3*	11.87	11.34	12.62
		Adjusted	76.4	39	28.8	94.5	-5.5	11.33	10.68	12.59 <sup>†</sup>
0.101	0.094	Observed	84	52	25.5	121.6	21.6	16.21	14.25	27.01
		Corrected	76.3	38.9	28.7	96.3	-3.7*	15.32	14.59	15.76
		Adjusted	76.3	38.9	28.7	95.1	-4.9	14.58	13.54	15.38 <sup>†</sup>
0.149	0.139	Observed	86.9	57.6	23.8	136.1	36.1	19.95	18.02	41.25
		Corrected	75.8	38.7	28.5	96.4	-3.6*	17.39	19.35	17.76
		Adjusted	75.8	38.7	28.5	95.1	-4.9	16.51	16.4	17.22 <sup>†</sup>
0.201	0.187	Observed	90.5	64.5	21.6	158.9	58.9	26.83	24.25	64.72
		Corrected	76.2	39.8	28	100.3	0.3*	24.39	30.27	24.39
		Adjusted	76.2	39.8	28	98.3	-1.7	22.03	21.71	22.1 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.51** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.41$ ,  $CV = 0.3$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 4$ ,  $r = 0.1$ )

Mean	Estimated									
error	error	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample	Estimated	Sample
rate	rate							s.e	s.e	RMSE
0	0	True	85	31.5	31.5	97.6	-2.4	6.61	6.58	7.03
0.051	0.047	Observed	90.8	40.5	31	112	12	11.57	8.91	16.67
		Corrected	84.6	31.3	31.6	97.8	-2.2*	11.4	9.32	11.61
		Adjusted	84.6	31.3	31.6	96.9	-3.1	10.95	8.87	11.38 <sup>†</sup>
0.101	0.093	Observed	96.4	49.3	30.3	127.9	27.9	13.34	12.01	30.93
		Corrected	84.4	31.2	31.8	97.6	-2.4*	12.91	12.1	13.13
		Adjusted	84.4	31.2	31.8	96.7	-3.3	12.5	11.33	12.93 <sup>†</sup>
0.149	0.138	Observed	101.6	58	28.5	148.1	48.1	17.84	16.49	51.3
		Corrected	84	31.5	30.6	98.8	-1.2*	16.09	20.96	16.13
		Adjusted	84	31.5	30.6	97.9	-2.1	15.47	14.94	15.61 <sup>†</sup>
0.201	0.19	Observed	107.1	67	27.6	171.4	71.4	24.54	21.63	75.5
		Corrected	83.4	30.8	31.3	98.9	-1.1*	20.09	50.11	20.12
		Adjusted	83.4	30.8	31.3	97.8	-2.2	19.04	19.22	19.17 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.52** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6)的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.4$  ,  $CV = 0.3$  ,  $S = 100$  ,  $S_{sub} = 40$  ,  $T = 5$  ,  $r = 0.1$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	89.8	24.4	29.6	98.5	-1.5	5.09	5.41	5.31
0.051	0.046	Observed	98	35.5	30	115.8	15.8	9.16	7.95	18.26
		Corrected	89.8	24.4	29.7	99	-1*	9.53	8.29	9.58
		Adjusted	89.8	24.4	29.7	98.3	-1.7	9.22	7.88	9.38 <sup>†</sup>
0.101	0.093	Observed	105.9	46.8	30	136.8	36.8	13.76	11.98	39.29
		Corrected	89.4	24.4	29.5	99.6	-0.4*	13.5	15.29	13.51
		Adjusted	89.4	24.4	29.5	98.8	-1.2	13.04	10.84	13.1 <sup>†</sup>
0.149	0.139	Observed	112.5	57.1	29.6	158.9	58.9	18.87	16.44	61.85
		Corrected	88.4	24.1	29.2	99.2	-0.8*	15.51	40.99	15.53
		Adjusted	88.4	24.1	29.2	98.4	-1.6	14.89	14.16	14.98 <sup>†</sup>
0.201	0.186	Observed	120.8	68.7	29.5	187.9	87.9	25.73	22.04	91.59
		Corrected	89	24.7	29.7	101.3	1.3	19.98	82.82	20.02
		Adjusted	89	24.7	29.7	100.3	0.3*	18.81	18.58	18.81 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.53 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.42$ ,  $CV = 0.65$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 2$ ,  $r = 0.1$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	58.9	34.3	24.6	71.5	-28.5	7.17	7.56	29.39
0.051	0.049	Observed	61	38.9	22.1	79.2	-20.8*	9.29	8.22	22.78 <sup>†</sup>
		Corrected	58.6	34.1	24.5	71.7	-28.3	9.05	8.69	29.71
		Adjusted	58.6	34.1	24.5	70.8	-29.2	8.65	8.11	30.45
0.101	0.097	Observed	62.6	43	19.6	87.8	-12.2*	12.62	10.87	17.55 <sup>†</sup>
		Corrected	58.1	33.9	24.2	71.8	-28.2	11.74	10.92	30.55
		Adjusted	58.1	33.9	24.2	70.8	-29.2	11.13	10.12	31.25
0.149	0.139	Observed	64.4	46.5	17.8	97.1	-2.9*	15.64	13.73	15.91 <sup>†</sup>
		Corrected	58	33.8	24.2	72.2	-27.8	13.63	12.99	30.96
		Adjusted	58	33.8	24.2	71.1	-28.9	12.81	11.84	31.61
0.201	0.19	Observed	66.3	50.3	15.9	109.7	9.7*	21.48	17.94	23.57 <sup>†</sup>
		Corrected	57.8	33.3	24.5	72.2	-27.8	15.88	15.82	32.02
		Adjusted	57.8	33.3	24.5	71.1	-28.9	15	14.13	32.56

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.54 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.42$ ,  $CV = 0.65$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 3$ ,  $r = 0.1$ )

Mean	Estimated									
error	error	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample	Estimated	Sample
rate	rate							s.e	s.e	RMSE
0	0	True	68.7	29.7	21.7	83.3	-16.7	8.11	9.02	18.57
0.051	0.047	Observed	72.9	36.1	21.8	94.4	-5.6*	11.41	9.72	12.71 <sup>†</sup>
		Corrected	68.4	29.6	21.6	83.9	-16.1	11.79	11.49	19.96
		Adjusted	68.4	29.6	21.6	82.6	-17.4	11.09	10.02	20.63
0.101	0.094	Observed	76.8	42.4	21.6	106.4	6.4*	13.59	12.43	15.02 <sup>†</sup>
		Corrected	68.1	29.5	21.4	84	-16	13.45	17.13	20.9
		Adjusted	68.1	29.5	21.4	82.6	-17.4	12.67	12.89	21.52
0.149	0.14	Observed	80.3	48.3	21	119.7	19.7	18.16	15.65	26.79
		Corrected	67.5	29	20.9	85.7	-14.3*	26.54	28.07	30.15
		Adjusted	67.5	29	20.9	83	-17	17.65	16.18	24.51 <sup>†</sup>
0.201	0.188	Observed	84.2	54.8	20.5	136.2	36.2	22.01	19.71	42.37
		Corrected	67.4	28.9	21.6	86.9	-13.1*	31.17	43.64	33.81
		Adjusted	67.4	28.9	21.6	83.9	-16.1	20.14	19.92	25.78 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.55 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.42$ ,  $CV = 0.65$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 4$ ,  $r = 0.1$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	75.4	26.7	19.6	90.2	-9.8	8.46	9.57	12.95
0.051	0.048	Observed	81.8	35.5	19.6	107.8	7.8*	13.12	11.74	15.26
		Corrected	75.2	26.9	19.1	91.5	-8.5	12.44	13.8	15.07 <sup>†</sup>
		Adjusted	75.2	26.9	19.1	89.9	-10.1	11.55	11.5	15.34
0.101	0.093	Observed	87.3	42.7	20.3	123.2	23.2	15.82	14.92	28.08
		Corrected	74.4	25.9	19.7	89.9	-10.1*	15.99	20.02	18.91
		Adjusted	74.4	25.9	19.7	88.4	-11.6	14.86	14.07	18.85 <sup>†</sup>
0.149	0.138	Observed	92.6	50.2	20.5	141.5	41.5	21.41	19.01	46.7
		Corrected	73.6	25.2	19.8	91.8	-8.2*	41.25	33.69	42.06
		Adjusted	73.6	25.2	19.8	88.4	-11.6	19.2	17.54	22.43 <sup>†</sup>
0.201	0.186	Observed	99.4	59.5	20.8	167	67	25.88	24.68	71.82
		Corrected	74.2	25.8	19.6	97.5	-2.5*	36.85	59.2	36.93
		Adjusted	74.2	25.8	19.6	92.2	-7.8	25.08	22.79	26.26 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.



表 4.56 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.42$ ,  $CV = 0.65$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0.1$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	80.2	24	18.2	94.3	-5.7	8.51	9.5	10.24
0.051	0.045	Observed	88.5	34.2	18.6	115.8	15.8	13.93	12.5	21.06
		Corrected	80.3	24.3	18.3	95.5	-4.5*	13.72	14.12	14.44
		Adjusted	80.3	24.3	18.3	93.9	-6.1	12.67	11.55	14.06 <sup>†</sup>
0.101	0.092	Observed	96.3	44.1	19	140.4	40.4	21.05	18.14	45.56
		Corrected	79.5	23.6	18.3	95.6	-4.4*	19.66	23.2	20.15
		Adjusted	79.5	23.6	18.3	93.8	-6.2	17.9	15.28	18.94 <sup>†</sup>
0.149	0.138	Observed	103.5	53.3	19.2	166.9	66.9	26.66	24.29	72.02
		Corrected	78.5	22.6	17.9	97	-3*	30.21	39.74	30.36
		Adjusted	78.5	22.6	17.9	93.6	-6.4	22.17	19.03	23.08 <sup>†</sup>
0.201	0.186	Observed	112	64.3	19.4	202.7	102.7	34.1	32.51	108.21
		Corrected	78.9	23.2	17.6	101.3	1.3*	42.76	66.11	42.78
		Adjusted	78.9	23.2	17.6	96.2	-3.8	26.29	24.13	26.56 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.57 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$  的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.45$ ,  $CV = 0.5$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 2$ ,  $r = 0.1$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	64.6	39.7	24.9	81.3	-18.7	8.61	8.18	20.59
0.051	0.046	Observed	66.7	44.2	22.5	89.9	-10.1*	11.28	9.83	15.14 <sup>†</sup>
		Corrected	64.4	39.6	24.8	81.8	-18.2	10.99	10.4	21.26
		Adjusted	64.4	39.6	24.8	80.6	-19.4	10.38	9.63	22
0.101	0.095	Observed	68.6	49	19.7	101.6	1.6*	16.68	13.44	16.76
		Corrected	64.2	40	24.1	83.4	-16.6	15.31	13.52	22.58 <sup>†</sup>
		Adjusted	64.2	40	24.1	82.1	-17.9	14.41	12.28	22.98
0.149	0.144	Observed	69.9	51.7	18.2	109.4	9.4*	18.25	15.91	20.53
		Corrected	63.1	38	25	80.4	-19.6	15.35	14.74	24.9 <sup>†</sup>
		Adjusted	63.1	38	25	79.1	-20.9	14.53	13.43	25.45
0.201	0.19	Observed	72.1	56.4	15.7	127.6	27.6	27.74	22.19	39.13
		Corrected	63.7	39.5	24.2	84	-16*	21.42	19.09	26.74
		Adjusted	63.7	39.5	24.2	82.5	-17.5	19.69	16.91	26.34 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.58** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$  的模型下產生 500 模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。  
 $(\bar{p} = 0.45, CV = 0.5, S = 100, S_{sub} = 40, T = 3, r = 0.1)$

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	75.4	32.4	27.1	89.1	-10.9	7.21	6.96	13.07
0.051	0.046	Observed	79.2	38.9	26.6	99.1	-0.9*	9.3	8.67	9.34 <sup>†</sup>
		Corrected	74.5	31.7	27	88	-12	9.62	9.42	15.38
		Adjusted	74.5	31.7	27	87.1	-12.9	9.29	8.84	15.9
0.101	0.095	Observed	84.1	46.4	26.4	112.8	12.8	12.94	11.45	18.2
		Corrected	74.5	31.3	27.9	88.2	-11.8*	12.85	13.95	17.45 <sup>†</sup>
		Adjusted	74.5	31.3	27.9	87.3	-12.7	12.34	11.22	17.71
0.149	0.138	Observed	87.6	53	24.8	127.8	27.8	17.59	15.11	32.9
		Corrected	74.2	31.8	26.9	89.6	-10.4*	16.25	44.38	19.29
		Adjusted	74.2	31.8	26.9	88.5	-11.5	15.48	14.57	19.28 <sup>†</sup>
0.201	0.19	Observed	92.1	60.6	23.5	147.3	47.3	21.84	19.81	52.1
		Corrected	74.1	31.8	27.2	90.9	-9.1*	20.42	79.43	22.36
		Adjusted	74.1	31.8	27.2	89.5	-10.5	18.69	18.99	21.44 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.59 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$  的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.45$ ,  $CV = 0.5$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 4$ ,  $r = 0.1$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	82	26.4	25.3	93.1	-6.9	6.42	6.32	9.42
0.051	0.045	Observed	89	36	25.7	109.2	9.2	10.68	8.96	14.1
		Corrected	82.2	26.7	25.4	94	-6*	10.61	9.52	12.19 <sup>†</sup>
		Adjusted	82.2	26.7	25.4	93.1	-6.9	10.17	8.86	12.29
0.101	0.092	Observed	95.2	45	25.7	126.5	26.5	14.61	12.52	30.26
		Corrected	81.4	26.2	25.3	93.9	-6.1*	14.53	14.44	15.76
		Adjusted	81.4	26.2	25.3	92.9	-7.1	13.91	11.85	15.62 <sup>†</sup>
0.149	0.139	Observed	101.4	54.2	25.4	147	47	18.92	16.83	50.67
		Corrected	80.9	26	25.1	94.3	-5.7*	18.09	23.81	18.97
		Adjusted	80.9	26	25.1	93.2	-6.8	17.15	15.4	18.45 <sup>†</sup>
0.201	0.186	Observed	107.5	63.2	25.4	170	70	23.72	21.69	73.91
		Corrected	80.4	25.5	25.5	95.6	-4.4*	23.24	42.64	23.65
		Adjusted	80.4	25.5	25.5	94	-6	20.41	19.58	21.27 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.60** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$  的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.45$  ,  $CV = 0.5$  ,  $S = 100$  ,  $S_{sub} = 40$  ,  $T = 5$  ,  $r = 0.1$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	86.5	21.6	22.9	95.3	-4.7	5.46	5.26	7.2
0.051	0.045	Observed	95.2	32.6	23.8	114.4	14.4	10.64	8.88	17.9
		Corrected	86.1	21.2	23.2	95.3	-4.7*	10.76	9.13	11.74 <sup>†</sup>
		Adjusted	86.1	21.2	23.2	94.4	-5.6	10.33	8.35	11.75
0.101	0.094	Observed	103.6	43.9	23.6	138.1	38.1	15.19	13.91	41.02
		Corrected	84.9	20.7	22.3	94.8	-5.2*	14.16	14.64	15.08
		Adjusted	84.9	20.7	22.3	93.9	-6.1	13.6	11.77	14.91 <sup>†</sup>
0.149	0.139	Observed	113	56.1	24.3	167.8	67.8	21.89	19.93	71.25
		Corrected	85.8	21.8	22.6	98.3	-1.7*	19.7	27.47	19.77
		Adjusted	85.8	21.8	22.6	96.8	-3.2	17.05	16.13	17.35 <sup>†</sup>
0.201	0.188	Observed	122.1	67.6	25	198.9	98.9	28.02	25.89	102.79
		Corrected	85.7	21	23	99.5	-0.5*	25.59	45.16	25.59
		Adjusted	85.7	21	23	97.2	-2.8	20.81	19.85	21 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.61** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.4$ ,  $CV = 0.3$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 2$ ,  $r = 0.3$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	64	45.5	18.5	94.4	-5.6	13.94	13.56	15.02
0.051	0.044	Observed	64.6	48.1	16.6	102.8	2.8*	18.05	16.01	18.27
		Corrected	63	44.9	18.1	94	-6	17.07	18.07	18.09
		Adjusted	63	44.9	18.1	91.4	-8.6	15.44	15.4	17.67 <sup>†</sup>
0.101	0.087	Observed	65.1	50.1	15	111.1	11.1	21.79	19.39	24.45
		Corrected	62	43.9	18.1	92.8	-7.2*	19.72	21.52	20.99
		Adjusted	62	43.9	18.1	90	-10	17.43	17.45	20.09 <sup>†</sup>
0.149	0.13	Observed	65.3	51.8	13.5	121.2	21.2	28.37	23.89	35.42
		Corrected	60.9	43	17.9	91.9	-8.1*	22.65	25.65	24.05
		Adjusted	60.9	43	17.9	89	-11	20.13	19.88	22.94 <sup>†</sup>
0.201	0.171	Observed	65.8	54	11.8	134.6	34.6	31.84	29.87	47.02
		Corrected	60.3	43	17.3	92.7	-7.3*	23.77	31.05	24.87
		Adjusted	60.3	43	17.3	89.5	-10.5	21.03	23.08	23.51 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.62 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.4$ ,  $CV = 0.3$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 3$ ,  $r = 0.3$ )

Mean	Estimated									
error	error	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample	Estimated	Sample
rate	rate							s.e	s.e	RMSE
0	0	True	77	39.2	29	95.8	-4.2	8.71	8.49	9.67
0.051	0.04	Observed	79.4	44.5	27.4	105.1	5.1	11.54	10.43	12.62
		Corrected	76.1	38.8	28.7	95.3	-4.7*	11.55	11.02	12.47 <sup>†</sup>
		Adjusted	76.1	38.8	28.7	94.1	-5.9	11.01	10.36	12.49
0.101	0.081	Observed	81	49.3	25.4	114.9	14.9	14.34	13.15	20.68
		Corrected	74.6	38.3	28.1	94.1	-5.9*	13.72	13.51	14.93
		Adjusted	74.6	38.3	28.1	92.9	-7.1	13.1	12.57	14.9 <sup>†</sup>
0.149	0.124	Observed	83.5	54.1	24	126.6	26.6	17.72	16.18	31.96
		Corrected	73.8	37.3	28.3	93	-7*	15.78	18.38	17.26
		Adjusted	73.8	37.3	28.3	91.8	-8.2	15.04	14.85	17.13 <sup>†</sup>
0.201	0.167	Observed	85.6	59.2	21.9	142.2	42.2	22.03	20.68	47.6
		Corrected	73	37.6	27.6	93.6	-6.4*	18.81	27.61	19.87
		Adjusted	73	37.6	27.6	92.2	-7.8	17.81	18.14	19.44 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.63 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.4$ ,  $CV = 0.3$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 4$ ,  $r = 0.3$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	84.8	31.1	31.6	97.1	-2.9	6.35	6.18	6.98
0.051	0.038	Observed	88.8	38.3	31.1	107.7	7.7	9.68	8.18	12.37
		Corrected	83.8	30.9	31.7	96.4	-3.6*	9.87	8.64	10.51
		Adjusted	83.8	30.9	31.7	95.6	-4.4	9.52	8.24	10.49 <sup>†</sup>
0.101	0.08	Observed	92.8	45.9	29.9	120.7	20.7	12.55	11.04	24.21
		Corrected	82.6	30.6	31	95.5	-4.5*	11.37	11.16	12.23
		Adjusted	82.6	30.6	31	94.7	-5.3	10.95	10.55	12.17 <sup>†</sup>
0.149	0.12	Observed	96.8	52.8	29	135	35	16.25	14.16	38.59
		Corrected	81.8	30.1	31	95.4	-4.6*	14.8	15.66	15.5
		Adjusted	81.8	30.1	31	94.5	-5.5	14.2	13.01	15.23 <sup>†</sup>
0.201	0.165	Observed	100.4	59.9	28.1	150.8	50.8	18.99	17.67	54.23
		Corrected	80.4	29	31.7	93.2	-6.8*	15.6	184.08	17.02
		Adjusted	80.4	29	31.7	92.3	-7.7	14.96	15.66	16.83 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.



表 4.64 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在 random uniform (0.2, 0.6) 的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.4$ ,  $CV = 0.3$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0.3$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	89.8	24.5	29.6	98.5	-1.5	5	5.04	5.22
0.051	0.037	Observed	95.8	33.6	30	111.8	11.8	8.4	7.36	14.48
		Corrected	89.1	24.6	29.7	98.3	-1.7*	8.78	7.75	8.94
		Adjusted	89.1	24.6	29.7	97.7	-2.3	8.51	7.39	8.82 <sup>†</sup>
0.101	0.079	Observed	101.8	42.7	30.4	127	27	11.58	10.26	29.38
		Corrected	88	23.9	30.1	97.1	-2.9*	11.39	10.16	11.75
		Adjusted	88	23.9	30.1	96.4	-3.6	11.03	9.49	11.6 <sup>†</sup>
0.149	0.116	Observed	106.8	51.2	29.8	143.8	43.8	15.64	13.78	46.51
		Corrected	87.2	24.1	29.5	97.3	-2.7*	14.43	22.12	14.68
		Adjusted	87.2	24.1	29.5	96.5	-3.5	13.91	12.07	14.34 <sup>†</sup>
0.201	0.162	Observed	112.9	60.9	29.7	165.3	65.3	21.12	18.08	68.63
		Corrected	86	23.3	30.3	96.5	-3.5*	17.63	44.01	17.97
		Adjusted	86	23.3	30.3	95.7	-4.3	16.93	15.13	17.47 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.65 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.42$ ,  $CV = 0.65$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 2$ ,  $r = 0.3$ )

Mean	Estimated									
error	error	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample	Estimated	Sample
rate	rate							s.e	s.e	RMSE
0	0	True	58.8	34.2	24.6	71.4	-28.6	7.28	6.36	29.51
0.051	0.044	Observed	60.1	38	22.1	77.6	-22.4*	9.82	7.96	24.46 <sup>†</sup>
		Corrected	58	33.8	24.2	71	-29	9.62	8.45	30.55
		Adjusted	58	33.8	24.2	70	-30	9.18	7.88	31.37
0.101	0.087	Observed	60.6	40.7	19.9	83	-17*	12.16	9.89	20.9 <sup>†</sup>
		Corrected	56.5	32.6	24	69.3	-30.7	11.15	10.09	32.66
		Adjusted	56.5	32.6	24	68.3	-31.7	10.6	9.33	33.43
0.149	0.129	Observed	61.6	43.7	17.9	90.5	-9.5*	15.48	12.45	18.16 <sup>†</sup>
		Corrected	55.8	32	23.8	68.9	-31.1	13.86	12.18	34.05
		Adjusted	55.8	32	23.8	67.9	-32.1	13.01	11.02	34.64
0.201	0.175	Observed	63.1	47.2	15.8	101.4	1.4*	18.09	16.28	18.14 <sup>†</sup>
		Corrected	55.5	32.1	23.4	69.3	-30.7	14.04	14.56	33.76
		Adjusted	55.5	32.1	23.4	68.2	-31.8	13.19	13.18	34.43

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.66 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.42$ ,  $CV = 0.65$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 3$ ,  $r = 0.3$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	68.8	29.8	21.7	83.6	-16.4	8.27	9.11	18.37
0.051	0.041	Observed	71.7	35.1	21.9	91.8	-8.2*	10.36	9.23	13.21
		Corrected	67.8	29.4	21.7	82.7	-17.3	10.45	10.95	20.21 <sup>†</sup>
		Adjusted	67.8	29.4	21.7	81.4	-18.6	9.79	9.52	21.02
0.101	0.084	Observed	74.3	40.2	21.6	100.8	0.8*	12.21	11.39	12.24
		Corrected	66.7	28.7	21.6	81.6	-18.4	12.8	14.66	22.41 <sup>†</sup>
		Adjusted	66.7	28.7	21.6	80.3	-19.7	12	11.61	23.07
0.149	0.125	Observed	76.9	44.9	21.2	110.8	10.8*	15.9	13.85	19.22
		Corrected	65.7	27.9	21.6	80.9	-19.1	15.91	21.67	24.86 <sup>†</sup>
		Adjusted	65.7	27.9	21.6	79.5	-20.5	14.79	14.09	25.28
0.201	0.168	Observed	79.4	49.9	20.5	122.7	22.7	19.19	17.05	29.72
		Corrected	64.7	27.4	21.6	82	-18*	28.17	31.86	33.43
		Adjusted	64.7	27.4	21.6	79	-21	17.16	16.92	27.12 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.67 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.42$ ,  $CV = 0.65$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 4$ ,  $r = 0.3$ )

Mean	Estimated									
error	error	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample	Estimated	Sample
rate	rate							s.e	s.e	RMSE
0	0	True	75.5	26.7	19.7	90.2	-9.8	8.36	9.45	12.88
0.051	0.039	Observed	80.2	33.5	20.1	102.6	2.6*	11.76	10.36	12.04
		Corrected	74.8	26.6	19.8	89.8	-10.2	11.8	11.53	15.6 <sup>†</sup>
		Adjusted	74.8	26.6	19.8	88.4	-11.6	11.11	10.15	16.06
0.101	0.08	Observed	84.1	39.5	20.6	114.5	14.5	14.64	13.06	20.61
		Corrected	73.2	25.1	20.2	87.4	-12.6*	14.46	16.19	19.18 <sup>†</sup>
		Adjusted	73.2	25.1	20.2	86.1	-13.9	13.44	12.49	19.34
0.149	0.118	Observed	88	45.6	20.6	128.7	28.7	19.1	16.46	34.47
		Corrected	72.2	24.7	20	87.2	-12.8*	18.05	24.72	22.13
		Adjusted	72.2	24.7	20	85.7	-14.3	16.53	15.4	21.86 <sup>†</sup>
0.201	0.164	Observed	92.4	52.7	20.5	146.4	46.4	21.03	20.65	50.94
		Corrected	71.1	24.2	19.7	88.9	-11.1*	33.9	41.17	35.67
		Adjusted	71.1	24.2	19.7	85.4	-14.6	18.77	18.91	23.78 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

**表 4.68** 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $0.5 \times \text{uniform}(0.1, 0.3) + 0.5 \times \text{uniform}(0.4, 1)$  的混合模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.42$ ,  $CV = 0.65$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0.3$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	80.2	24	18.2	94.1	-5.9	7.93	9.32	9.88
0.051	0.039	Observed	85.8	31.6	18.6	108.9	8.9	11.48	10.96	14.53
		Corrected	78.7	23.1	18.3	92	-8*	11.23	12.07	13.79 <sup>†</sup>
		Adjusted	78.7	23.1	18.3	90.7	-9.3	10.49	10.21	14.02
0.101	0.078	Observed	92.6	40.6	19.1	130	30	18.29	15.88	35.14
		Corrected	78.8	23.7	18.6	93.9	-6.1*	16.17	18.83	17.28
		Adjusted	78.8	23.7	18.6	92.4	-7.6	14.99	13.84	16.81 <sup>†</sup>
0.149	0.117	Observed	97.4	47.3	19.2	147.3	47.3	22.07	19.91	52.2
		Corrected	76.8	21.9	18.4	91.3	-8.7*	18.75	26.92	20.67
		Adjusted	76.8	21.9	18.4	89.6	-10.4	17	16.08	19.93 <sup>†</sup>
0.201	0.16	Observed	103.7	56	19.7	171.3	71.3	26.19	25.34	75.96
		Corrected	76.3	21.8	18.5	95	-5*	41.55	43.05	41.85
		Adjusted	76.3	21.8	18.5	89.9	-10.1	19.57	19.33	22.02 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.69 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$  的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.45$ ,  $CV = 0.5$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 2$ ,  $r = 0.3$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	64.7	39.7	24.9	81.5	-18.5	8.31	7.98	20.28
0.051	0.043	Observed	65.8	43.4	22.4	88.4	-11.6*	11.27	9.69	16.17 <sup>†</sup>
		Corrected	63.7	39.2	24.5	81	-19	11.14	10.28	22.02
		Adjusted	63.7	39.2	24.5	79.8	-20.2	10.54	9.52	22.78
0.101	0.084	Observed	66.8	46.8	20.1	96	-4*	13.61	12.09	14.19 <sup>†</sup>
		Corrected	62.9	38.8	24.1	80.5	-19.5	12.35	12.28	23.08
		Adjusted	62.9	38.8	24.1	79.2	-20.8	11.65	11.31	23.84
0.149	0.13	Observed	67.6	49.5	18.1	104.1	4.1*	16.86	14.92	17.35 <sup>†</sup>
		Corrected	61.7	37.6	24.1	79.1	-20.9	14.84	14.27	25.63
		Adjusted	61.7	37.6	24.1	77.8	-22.2	13.95	13.03	26.22
0.201	0.174	Observed	68.2	52.5	15.7	116.4	16.4*	24.13	19.74	29.18
		Corrected	60.7	37.6	23.2	79.7	-20.3	18.7	17.8	27.6 <sup>†</sup>
		Adjusted	60.7	37.6	23.2	78.2	-21.8	17.41	15.69	27.9

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.70 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$  的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.45$ ,  $CV = 0.5$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 3$ ,  $r = 0.3$ )

Mean	Estimated									
error	error	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample	Estimated	Sample
rate	rate							s.e	s.e	RMSE
0	0	True	75.5	32.5	27.1	89.4	-10.6	7.41	6.74	12.93
0.051	0.04	Observed	78.1	37.8	26.9	97	-3*	9.72	8.33	10.17 <sup>†</sup>
		Corrected	74.1	31.6	27.3	87.5	-12.5	9.74	8.95	15.85
		Adjusted	74.1	31.6	27.3	86.6	-13.4	9.34	8.41	16.33
0.101	0.082	Observed	81.5	44.1	26	108	8*	13.21	10.82	15.44 <sup>†</sup>
		Corrected	73.5	31.5	27.1	87.5	-12.5	12.92	11.6	17.98
		Adjusted	73.5	31.5	27.1	86.5	-13.5	12.37	10.71	18.31
0.149	0.123	Observed	84.3	49.5	24.7	119.3	19.3	15.41	13.57	24.7
		Corrected	72.6	31	26.6	87	-13*	14.55	19.27	19.51 <sup>†</sup>
		Adjusted	72.6	31	26.6	86	-14	13.94	13.12	19.76
0.201	0.168	Observed	86.6	55	23.6	132.4	32.4	20.71	17.08	38.45
		Corrected	71.2	30.1	27.2	86.2	-13.8*	18.77	48.55	23.3
		Adjusted	71.2	30.1	27.2	85	-15	17.69	16.21	23.19 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

表 4.71 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$  的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.45$ ,  $CV = 0.5$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 4$ ,  $r = 0.3$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	82	26.2	25.5	92.8	-7.2	6.19	6.12	9.5
0.051	0.037	Observed	87	33.6	25.8	104.5	4.5*	9.28	8.1	10.31 <sup>†</sup>
		Corrected	81.3	26	25.6	92.4	-7.6	9.74	8.67	12.35
		Adjusted	81.3	26	25.6	91.5	-8.5	9.33	8.08	12.62
0.101	0.08	Observed	91.7	41.3	26.2	117.6	17.6	12.16	10.78	21.39
		Corrected	80	25.2	26	90.9	-9.1*	12.41	11.86	15.39 <sup>†</sup>
		Adjusted	80	25.2	26	90	-10	11.81	10.36	15.48
0.149	0.118	Observed	96	48.9	25.7	132.8	32.8	16.62	14.19	36.77
		Corrected	79.1	25.5	25.8	91.1	-8.9*	14.92	17.27	17.37 <sup>†</sup>
		Adjusted	79.1	25.5	25.8	90.1	-9.9	14.28	13.09	17.38
0.201	0.163	Observed	101.1	57.1	25.4	151.9	51.9	20.93	18.35	55.96
		Corrected	78.5	25.2	25.9	92.2	-7.8*	24.75	27.98	25.95
		Adjusted	78.5	25.2	25.9	90.3	-9.7	17.55	16.61	20.05 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.



表 4.72 物種辨識錯誤下，觀測、校正與修正物種估計式的比較。在  $Beta(2, 3)$  的模型下產生 500 次模擬資料，每一次模擬估計變異數之拔靴法各執行 200 次。

( $\bar{p} = 0.45$ ,  $CV = 0.5$ ,  $S = 100$ ,  $S_{sub} = 40$ ,  $T = 5$ ,  $r = 0.3$ )

Mean error rate	Estimated error rate	Method	$S_{obs}$	$Q_1$	$Q_2$	$\hat{S}$	Bias	Sample s.e	Estimated s.e	Sample RMSE
0	0	True	86.2	21.5	22.8	95.1	-4.9	5.56	5.28	7.41
0.051	0.039	Observed	93	30.5	23.6	109.9	9.9	9.23	8.12	13.54
		Corrected	85.2	20.9	23.2	93.9	-6.1*	9.14	8.45	10.99 <sup>†</sup>
		Adjusted	85.2	20.9	23.2	93.1	-6.9	8.75	7.84	11.14
0.101	0.08	Observed	99.3	39.5	24	126.8	26.8	12.9	11.67	29.74
		Corrected	83.7	19.9	23.1	92.5	-7.5*	11.93	11.89	14.09 <sup>†</sup>
		Adjusted	83.7	19.9	23.1	91.6	-8.4	11.35	10.23	14.12
0.149	0.117	Observed	106.1	48.9	24.6	147.3	47.3	18.14	15.83	50.66
		Corrected	83.7	20.5	23.5	93.9	-6.1*	16.51	18.51	17.6
		Adjusted	83.7	20.5	23.5	92.9	-7.1	15.44	13.16	16.99 <sup>†</sup>
0.201	0.159	Observed	112.7	58.5	25.2	170.1	70.1	22.51	20.46	73.63
		Corrected	83	20.1	24.2	93.9	-6.1*	19.36	29.41	20.3
		Adjusted	83	20.1	24.2	92.7	-7.3	17.97	15.96	19.4 <sup>†</sup>

\*Denotes the smallest bias. <sup>†</sup>Denotes the smallest RMSE.

### 附錄三 多組調查人員物種數估計式推導



#### (1) 物種辨識錯誤率估計方法

當收集資料的人員組成為三組調查人員時，混合資料中被記錄到的物種可能性為：(1)原小區域的物種，以及(2)因至少被其中一組調查人員辨識錯誤而記錄到的新種。因此當收集資料的人員組成為三組調查人員時，小區域混合資料所記錄的物種數( $S_{\gamma,e}$ )期望值可以被表示為

$$\begin{aligned} E(S_{\gamma,e}) &= \int \binom{3}{0} S_{sub} (1-e)^3 + 2 \binom{3}{1} S_{sub} e(1-e)^2 + 3 \binom{3}{2} S_{sub} e^2(1-e) \\ &\quad + 3 \times \binom{3}{3} S_{sub} e^3 dF(e) \\ &= \int S_{sub} (1 + 3e - e^3) dF(e) \\ &\approx S_{sub} (1 + 3\bar{e} - \bar{e}^3) 。 \end{aligned}$$

藉由同樣的推導方式，收集資料的人員組成為三組調查人員時，小區域混合資料所記錄的物種數( $S_{\gamma,e}$ )，其期望值可以表示為

$$\begin{aligned} E(S_{\gamma,e}) &= \int \binom{4}{0} S_{sub} (1-e)^4 + 2 \binom{4}{1} S_{sub} e(1-e)^3 + 3 \binom{4}{2} S_{sub} e^2(1-e)^2 \\ &\quad + 4 \binom{4}{3} S_{sub} e^3(1-e) + 4 \binom{4}{4} S_{sub} e^4 dF(e) \\ &= \int S_{sub} (1 + 4e - e^4) dF(e) \\ &\approx S_{sub} (1 + 4\bar{e} - \bar{e}^4) 。 \end{aligned}$$

收集資料的人員組成為五組調查人員時，小區域混合資料所記錄的物種數  $(S_{\gamma,e})$ ，其期望值可以表示為

$$\begin{aligned}
 E(S_{\gamma,e}) &= \int \binom{5}{0} S_{sub} (1-e)^5 + 2 \binom{5}{1} S_{sub} e(1-e)^4 + 3 \binom{5}{2} S_{sub} e^2(1-e)^3 \\
 &\quad + 4 \binom{5}{3} S_{sub} e^3(1-e)^2 + 5 \binom{5}{4} S_{sub} e^4(1-e) + 5 \binom{5}{5} S_{sub} e^5 dF(e) \\
 &= \int S_{sub} (1 + 5e - e^5) dF(e) \\
 &\approx S_{sub} (1 + 5\bar{e} - \bar{e}^5) .
 \end{aligned}$$

由前五組調查人員的規律，可以近似出在  $T$  組調查人員下小區域混合資料所記錄的物種數  $(S_{\gamma,e})$ ，其期望值可以表示為

$$E(S_{\gamma,e}) \approx S_{sub} (1 + T\bar{e} - \bar{e}^T) .$$



## (2) 樣本中記錄到 $k$ 次的物種數修正方法

當收集資料的人員組成為兩組調查人員時，根據假設，物種辨識錯誤下樣本中記錄到三次的物種為三組調查人員都沒有辨識錯誤的物種。物種辨識錯誤下樣本中只記錄到兩次的物種，根據假設，其可能性可分為：(1)該物種被記錄到兩次沒有被任一組調查人員辨識錯誤，以及根據假設，(2)該物種記錄到三次且被其中一組調查人員辨識錯誤。另外，物種辨識錯誤下樣本中記錄到一次的物種，根據假設，其可能性可分為：(1)該物種被記錄到兩次至少被其中一組調查人員辨識錯誤，以及根據假設，(2)該物種只記錄到一次。因此物種辨識錯誤下，樣本中記錄到一次( $Q_{1e}$ )、兩次( $Q_{2e}$ )與三次( $Q_{3e}$ )的物種數，其期望值可以表示為

$$E(Q_{3e}) = E \left[ \binom{3}{0} Q_3 (1-e)^3 \right],$$

$$E(Q_{2e}) = E \left[ \binom{2}{0} Q_2 (1-e)^2 \right] + E \left[ \binom{3}{1} Q_3 e (1-e)^2 \right],$$

$$\begin{aligned} E(Q_{1e}) = & E(Q_1) + E \left\{ Q_2 \left[ 2 \binom{2}{2} e^2 + 2 \binom{2}{1} e(1-e) \right] \right\} \\ & + E \left\{ Q_3 \left[ 3 \binom{3}{3} e^3 + 3 \binom{3}{2} e^2(1-e) + \binom{3}{1} e(1-e)^2 \right] \right\}. \end{aligned}$$

將上三式整理可得樣本中只記錄到一次、兩次與三次物種數的修正為

$$Q_{3a} = \frac{Q_{3e}}{(1-\hat{e})^3},$$

$$Q_{2a} = \frac{Q_{2e} - \binom{3}{1} Q_{3a} \hat{e} (1-\hat{e})^2}{(1-\hat{e})^2},$$

$$Q_{1a} = Q_{1e} - Q_{2e} \left[ 2 \binom{2}{2} \hat{e}^2 + 2 \binom{2}{1} \hat{e} (1-\hat{e}) \right]$$

$$-Q_{3a} \left[ 3 \binom{3}{3} \hat{e}^3 + 3 \binom{3}{2} \hat{e}^2(1 - \hat{e}) + \binom{3}{1} \hat{e}(1 - \hat{e})^2 \right] .$$

當收集資料的人員組成為四組調查人員時，樣本中記錄到一次( $Q_{1e}$ )、兩次( $Q_{2e}$ )、三次( $Q_{3e}$ )與四次( $Q_{4e}$ )物種數，其期望值可以表示為

$$E(Q_{4e}) = E \left[ \binom{4}{0} Q_4(1 - e)^4 \right] ,$$

$$E(Q_{3e}) = E \left[ \binom{3}{0} Q_3(1 - e)^3 \right] + E \left[ \binom{4}{1} Q_4 e(1 - e)^3 \right] ,$$

$$E(Q_{2e}) = E \left[ \binom{2}{0} Q_2(1 - e)^2 \right] + E \left[ \binom{3}{1} Q_3 \hat{e}(1 - e)^2 \right]$$

$$+ E \left[ \binom{4}{2} Q_4 e^2(1 - e)^2 \right] ,$$

$$E(Q_{1e}) = E(Q_1) + E \left\{ Q_2 \left[ 2 \binom{2}{2} e^2 + 2 \binom{2}{1} e(1 - e) \right] \right\}$$

$$+ E \left\{ Q_3 \left[ 3 \binom{3}{3} e^3 + 3 \binom{3}{2} e^2(1 - e) + \binom{3}{1} e(1 - e)^2 \right] \right\}$$

$$+ E \left\{ Q_4 \left[ 4 \binom{4}{4} e^4 + 4 \binom{4}{3} e^3(1 - e) + 2 \binom{4}{2} e^2(1 - e)^2 + \binom{4}{1} e(1 - e)^3 \right] \right\} .$$

將上四式整理，可得樣本中記錄到一次、兩次、三次與四次物種數的修正為

$$Q_{4a} = \frac{Q_{4e}}{(1 - \hat{e})^4} ,$$

$$Q_{3a} = \frac{Q_{3e} - \binom{4}{1} Q_{4a} \hat{e}(1 - \hat{e})^3}{(1 - \hat{e})^3} ,$$

$$Q_{2a} = \frac{Q_{2e} - \binom{3}{1} Q_{3a} \hat{e}(1 - \hat{e})^2 - \binom{4}{2} Q_{4a} \hat{e}^2(1 - \hat{e})^2}{(1 - \hat{e})^2} ,$$

$$Q_{1a} = Q_{1e} - Q_{2a} \left[ 2 \binom{2}{2} \hat{e}^2 + 2 \binom{2}{1} \hat{e}(1 - \hat{e}) \right]$$

$$\begin{aligned}
& -Q_{3a} \left[ 3 \binom{3}{3} \hat{e}^3 + 3 \binom{3}{2} \hat{e}^2 (1 - \hat{e}) + \binom{3}{1} \hat{e} (1 - \hat{e})^2 \right] \\
& -Q_{4a} \left[ 4 \binom{4}{4} \hat{e}^4 + 4 \binom{4}{3} \hat{e}^3 (1 - \hat{e}) + 2 \binom{4}{2} \hat{e}^2 (1 - \hat{e})^2 + \binom{4}{1} \hat{e} (1 - \hat{e})^3 \right]。
\end{aligned}$$



當收集資料的人員組成為五組調查人員時，樣本中記錄到一次( $Q_{1e}$ )、兩次( $Q_{2e}$ )、三次( $Q_{3e}$ )與四次( $Q_{4e}$ )與五次( $Q_{5e}$ )的物種數，其期望值可以表示為

$$\begin{aligned}
E(Q_{5e}) &= E \left[ \binom{5}{0} Q_5 (1 - e)^5 \right] , \\
E(Q_{4e}) &= E \left[ \binom{4}{0} Q_4 (1 - e)^4 \right] + E \left[ \binom{5}{1} Q_5 e (1 - e)^4 \right] , \\
E(Q_{3e}) &= E \left[ \binom{3}{0} Q_3 (1 - e)^3 \right] + E \left[ \binom{4}{1} Q_4 e (1 - e)^3 \right] \\
&\quad + E \left[ \binom{5}{2} Q_5 e^2 (1 - e)^3 \right] , \\
E(Q_{2e}) &= E \left[ \binom{2}{0} Q_2 (1 - e)^2 \right] + E \left[ \binom{3}{1} Q_3 e (1 - e)^2 \right] \\
&\quad + E \left[ \binom{4}{2} Q_4 e^2 (1 - e)^2 \right] + E \left[ \binom{5}{3} Q_5 e^3 (1 - e)^2 \right] , \\
E(Q_{1e}) &= E(Q_1) + E \left\{ Q_2 \left[ 2 \binom{2}{2} e^2 + 2 \binom{2}{1} e (1 - e) \right] \right\} \\
&\quad + E \left\{ Q_3 \left[ 3 \binom{3}{3} e^3 + 3 \binom{3}{2} e^2 (1 - e) + 1 \binom{3}{1} e (1 - e)^2 \right] \right\} \\
&\quad + E \left\{ Q_4 \left[ 4 \binom{4}{4} e^4 + 4 \binom{4}{3} e^3 (1 - e) + 2 \binom{4}{2} e^2 (1 - e)^2 + \binom{4}{1} e (1 - e)^3 \right] \right\} \\
&\quad + E \left\{ Q_5 \left[ 5 \binom{5}{5} e^5 + 5 \binom{5}{4} e^4 (1 - e) + 3 \binom{5}{3} e^3 (1 - e)^2 + 2 \binom{5}{2} e^2 (1 - e)^3 \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \binom{5}{1} e (1 - e)^4 \right] \right\}。
\end{aligned}$$

最後將上五式整理，可得樣本中記錄到一次、兩次、三次、四次以及五次物種數的修正為



$$Q_{5a} = \frac{Q_{5e}}{(1 - \hat{e})^4} ,$$

$$Q_{4a} = \frac{Q_{4e} - \binom{5}{1}Q_{5a}\hat{e}(1 - \hat{e})^4}{(1 - \hat{e})^4} ,$$

$$Q_{3a} = \frac{Q_{3e} - \binom{4}{1}Q_{4a}\hat{e}(1 - \hat{e})^3 - \binom{5}{2}Q_{5a}\hat{e}^2(1 - \hat{e})^3}{(1 - \hat{e})^3} ,$$

$$Q_{2a} = \frac{Q_{2e} - \binom{3}{1}Q_{3a}\hat{e}(1 - \hat{e})^2 - \binom{4}{2}Q_{4a}\hat{e}^2(1 - \hat{e})^2}{(1 - \hat{e})^2}$$

$$- \frac{\binom{5}{3}Q_{5a}\hat{e}^2(1 - \hat{e})^3}{(1 - \hat{e})^2} ,$$

$$Q_{1a} = Q_{1e} - Q_{2a} \left[ 2 \binom{2}{2} \hat{e}^2 + 2 \binom{2}{1} \hat{e}(1 - \hat{e}) \right]$$

$$- Q_{3a} \left[ 3 \binom{3}{3} \hat{e}^3 + 3 \binom{3}{2} \hat{e}^2(1 - \hat{e}) + \binom{3}{1} \hat{e}(1 - \hat{e})^2 \right]$$

$$- Q_{4a} \left[ 4 \binom{4}{4} \hat{e}^4 + 4 \binom{4}{3} \hat{e}^3(1 - \hat{e}) + 2 \binom{4}{2} \hat{e}^2(1 - \hat{e})^2 + \binom{4}{1} \hat{e}(1 - \hat{e})^3 \right]$$

$$- Q_{5a} \left[ 5 \binom{5}{5} \hat{e}^5 + 5 \binom{5}{4} \hat{e}^4(1 - \hat{e}) + 3 \binom{5}{3} \hat{e}^3(1 - \hat{e})^2 + 2 \binom{5}{2} \hat{e}^2(1 - \hat{e})^3 \right. \\ \left. + \binom{5}{1} \hat{e}(1 - \hat{e})^4 \right] .$$

由前五組調查人員的規律，可以得出當收集資料的人員組成為  $T$  組調查人員時，樣本中記錄到  $k$  次的物種數( $Q_{ke}$ )，其期望值為

$$E(Q_{ke}) = E \left\{ \sum_{i=0}^{T-k} \binom{k+i}{i} e^i (1-e)^k Q_{k+i} \right\}, k = 2, \dots, T ,$$

$$E(Q_{1e}) = E(Q_1) + E\left\{\sum_{k=2}^T \sum_{j=1}^k \left[\binom{k}{k-j+1} e^{k-j+1} (1-e)^{j-1}\right]\right.$$

$$\times [k \times I(j \leq 2) + (k-j+1)I(j > 2)]Q_k\} \circ$$



即可解出樣本中記錄到  $k$  次的物種數的修正( $Q_{ka}$ )為

$$Q_{ka} = \frac{Q_{ke} - \sum_{i=1}^{T-k} \binom{k+i}{i} \hat{e}^i (1-\hat{e})^k Q_{(k+i)a}}{(1-\hat{e})^k}, k = 2, 3, \dots, T,$$

$$Q_{1a} = Q_{1e} - \sum_{k=2}^T \sum_{j=1}^k \left[\binom{k}{k-j+1} \hat{e}^{k-j+1} (1-\hat{e})^{j-1}\right]$$

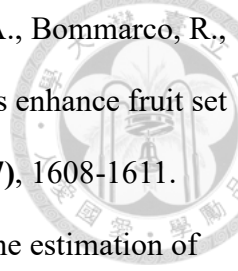
$$\times [k \times I(j \leq 2) + (k-j+1)I(j > 2)]Q_{ka} \circ$$



## 參考文獻



1. Altieri, M.A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **74**, 19-31.
2. Bullock, J. M., Pywell, R. F., Burke, M. J., & Walker, K. J. (2001). Restoration of biodiversity enhances agricultural production. *Ecology Letters*, **4**(3), 185-189.
3. Burg, S., Rixen, C., Stöckli, V. & Wipf, S. (2015). Observation bias and its causes in botanical surveys on high-alpine summits. *Journal of Vegetation Science*, **26**, 191-200.
4. Burnham, K. P., & Overton, W. S. (1978). Estimation of the size of a closed population when capture probabilities vary among animals. *Biometrika*, **65**(3), 625-633.
5. Carvalheiro, L. G., Veldtman, R., Shenkute, A. G., Tesfay, G. B., Pirk, C. W. W., Donaldson, J. S., & Nicolson, S. W. (2011). Natural and within-farmland biodiversity enhances crop productivity. *Ecology Letters*, **14**(3), 251-259.
6. Chao, A. (1987). Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics*, **43**, 783-791.
7. Chao, A., & Lee, S-M. (1992). Estimating the number of classes via sample coverage. *Journal of American Statistical Association*, **87**, 210-217.
8. Chao, A., & Chiu, C. H. (2016). Species richness: estimation and comparison. *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, 1-26.
9. Chiu, C. H., Wang, Y. T., Walther, B. A., & Chao, A. (2014). An improved nonparametric lower bound of species richness via a modified Good–Turing frequency formula. *Biometrics*, **70**(3), 671-682.

- 
10. Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., Cunningham, S. A., ... & Bartomeus, I. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, **339(6127)**, 1608-1611.
  11. Good, I. J. (1953). The population frequencies of species and the estimation of population parameters. *Biometrika*, **40(3-4)**, 237-264.
  12. Haas, P. J., & Stokes, L. (1998). Estimating the number of classes in a finite population. *Journal of the American Statistical Association*, **93(444)**, 1475-1487.
  13. Hector, A., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., Caldeira, M. C., Diemer, M., Dimitrakopoulos, P. G., ... & Harris, R. (1999). Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science*, **286(5442)**, 1123-1127.
  14. Morrison, L.W. (2015). Observer error in vegetation surveys: a review. *Journal of Plant Ecology*, **9**, 367-379.
  15. Tilman, D., Reich, P. B., Knops, J., Wedin, D., Mielke, T., & Lehman, C. (2001). Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, **294(5543)**, 843-845.
  16. Vittoz, P., & Guisan, A. (2007). How reliable is the monitoring of permanent vegetation plots? A test with multiple observers. *Journal of Vegetation Science*, **18**, 413-422.