北桃沿海地區防風林及稻作損害之文獻回顧及系統分析方法[1]

Literature Review and Methods of System Analysis to the Damages of Windbreak Vegetation and Rice Crop in the Coastal Areas of Taipei and Taoyuan Counties

陳 錦 煌 鄭 福 田[2]
Jim-Huang Chen Fu-Teng Jeng

國立台灣大學環境工程研究所
Institute of Environmental Engineering,
National Taiwan University

摘 要

北桃沿海地區防風林和稻作損害爲一長期未定之不明公害糾紛。過去二十多年來已進行許多調查，惟缺乏一有系統之歸納整理；本研究試圖以整體的資料文獻回顧，對此不明公害作定性評析，並提出欲作定量分析時所需的系統分析方法。目前，歸納所得之文獻及資料，本研究獲致以下結論:(1)稻作總產量減少，主因爲耕地面積減少；(2)而造成稻作單位面積減產之主因爲天災，包括颱風、風害、水害、旱災；(3)木麻黃受害之主因爲颱風；(4)水稻致害的主因爲鹽沫。

本研究未取用台電的空氣品質觀測資料。由其他方面所獲得的資料，目前尚無法確定林口電廠污染與水稻產量及木麻黃消長的關係。

關鍵詞：沿海鄉鎮環境公害，稻作損害，防風林損害，自然災害，環境評估

---

1. 計畫編號 EPA-81-K202-09-13。

2. 通信作者。

ABSTRACT

The damage to windbreak and rice crop in the coastal villages of Taipei and Taoyuan counties was a public dispute long since. Althought there were many investigations in the past 20 years, the results were lack of systematic organization. This study was conducted to review all published literatures, to access the unknown public dispute qualitatively and to propose the methodology to analyze this problem quantitatively. After detailed analysis and evaluation, it was concluded: (1) The main cause for reduction in total rice crop production was the decrease in cultivated area for rice crop; (2) The main causes for reduction in the yield per unit area of rice crop were natural disasters including typhoon, wind storm, flood, and drought; (3) The main cause for damage to the windbreak vegetation was typhoon; (4) The main mechanism for rice plant damage was salt-spray from the sea.

This study did not utilize any environmental measurements collected by Taiwan Power Company. Based on the available information this study cannot determine the relation between pollutants from Lin-Kou Power Plant and yield of rice crop and growth of windbreak vegetation.

Key words: Environmental damage in coastal villages, rice crop damage, windbreak damage, natural disaster, environmental assessment

一、概　　述

自然環境變遷與人爲活動均可能損害生態環境，人爲活動所造成的損害稱爲公害(Liao *et. al.* 1991)。部份公害問題，污染源排放的物質可在受害的環境或個體中檢出，因而被認爲有污染的行爲，有時雖然沒有明確的受害現象，民眾索求的條件也可經協調達成。但某些環境損害的問題中，可能人爲污染並無優勢，而自然環境的變化也扮演重要角色；或是原生污染物的影響小於其二次污染物(如酸雨)；或是人爲污染與環境條件有協力作用而增加損害效力；或二者之合併效果超過受體的負荷臨界等，此類問題不易確認造成損害的主因，是所謂「不明公害」，北桃沿海地區防風林及稻作損害即爲典型案例(以下簡稱北桃不明公害)。此案之起源可溯自民國57年台電林口電廠(其位置如圖1)開始試車並於翌年開始商轉，其後即時常有農民抱怨稻米收成減少，歸罪於林口電廠之煙囪排氣所造成，台電公司則認爲其已注意煙囪排氣對環境之衝擊，其電廠周圍裝設之二氧化硫監測器顯示未超過國家環境空氣品質標準，且台電認爲北桃沿海一帶，東北季風帶來之海鹽，亦對當地之稻作產生影響，台電公司主張要有科學之證據，證明水稻之減產爲該公司之責任，該公司願負賠償之責。

民國78年7月桃園縣政府向台電公司求償污染損害及地方建設補助，具文提請行政院公害糾紛督導處理小組討論，經該小組歷次審議，認爲有關林口電廠公害糾紛問題，過去斷斷

決定確切之成因。至民國80年9月環保署決議組成北桃公害鑑定小組。

鑑定小組於民國80年12月召開第一次會議，會中一致認爲有關北桃地區之公害糾紛，過去二十多年來，已進行許多調查研究，但是這些資料沒有經過一有系統之整理歸類。因此本研究乃將過去有關北桃防風林稻作之糾紛問題相關資料研讀評析，試圖找出北桃不明公害的可能原因，並規劃未來鑑定時所須之研究內容。

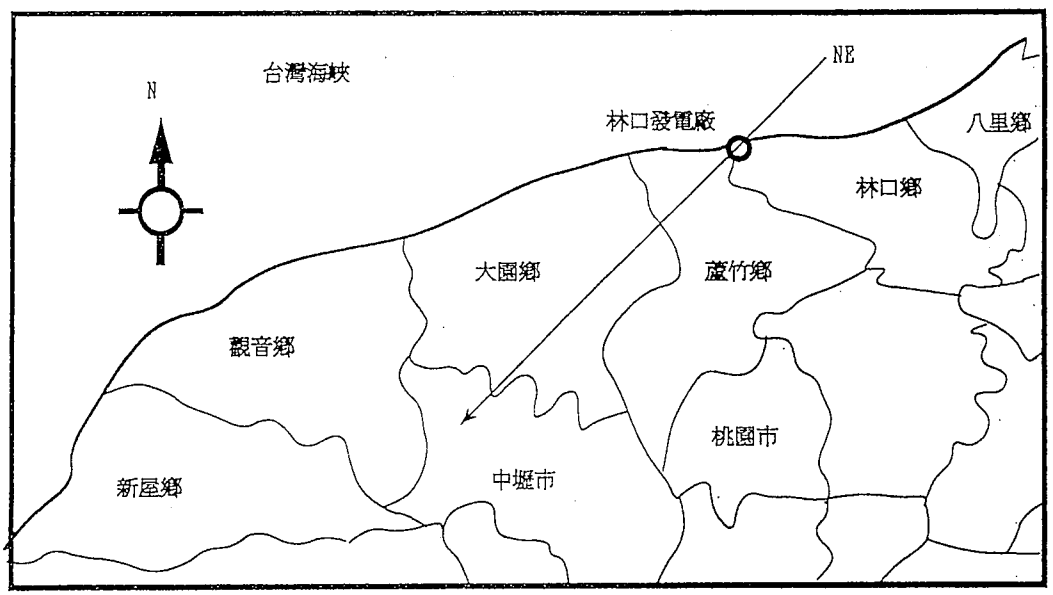


圖 1 北桃沿海六鄉與林口電廠相關位置

二、問題研究與方法論

回顧北桃不明公害的歷史演進與相關研究，共可歸納五項待克服的問題。

1. 損害可由單一因素形成，或多種因素形成，過去對北桃公害問題的研究，假設公害由單一因子造成，再探討該因子的影響程度而獲致結論。由於不同的研究所考慮的影響因子不同，故獲得不同的結論，公害問題至今仍無明確結論，這是過去研究上的缺失；
2. 防風林的損害量可由過去調查的面積資料得知，但是稻作的損害量則需由預期產量減去實際收獲量而求得，預期產量不僅是經驗上的估計，而且也會隨耕作者的意願和耕作技術的發展而改變，這種不確定性將會影響稻作損害量推估的可信度。
3. 過去的文獻或資料不全俱完整性，除缺少QA/QC的過程，且不同的文獻或資料係基於不同的研究或使用目的，故使用這些文獻資料時，需再考慮其適用性。
4. 爲能提供決策的參考，非確定性關係須獲了解，定量關係亦亟待確認。
5. 主要被關心的事件係發生於過去，而非現在，許多因子的歷史資料不易取得。

對問題一，本研究考慮多種因子對損害的貢獻，並藉文獻回顧與廣域專家的綜合研討，儘可能周延這些影響因素的廣度。由此，我們對北桃不明公害的問題建立了如圖2研究系統。圖2.是一個以環境因子及水稻受害程度爲因果的研究系統。這個系統基於並符合長久以來北桃不明公害對環境因子應爲水稻的減產負責的疑問。然就微觀上，環境因子對防風林或水稻的影響係透過一組獨立機制的作用而成，我們稱爲危害因子。一個環境因子可能會有數個危害因子或數個環境因子同時會有某種危害因子。故圖2.中之路徑A是一個二維矩陣。

直接利用環境因子與防風林及稻作損害的相關性來推論二者的因果關係不易了解其發生的機制，且容易獲致錯誤的推論，因爲高相關性可能是一巧合的表象。例如分析林口電廠排硫量與北桃沿海稻作減量的時序相關可發現二者存在高度的相關，但實驗卻可証實大氣的二氧化硫並非致害主因；又如該區的東北季風也與稻作減產存在顯著相關，但實驗証實鹽沫才是危害因子。用環境因子所包括危害因子來作相關性分析，則可適度也避免這種錯誤，這是我們以圖2.作階層分析的理由。

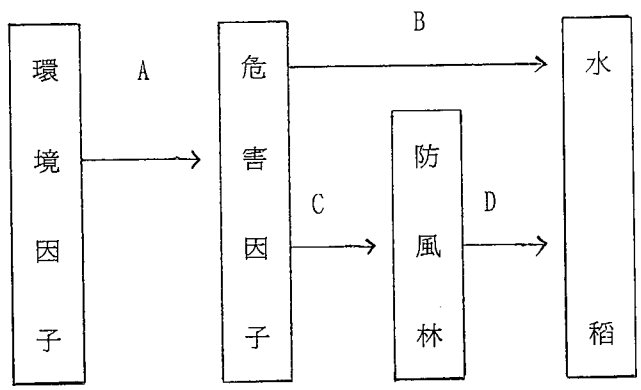


圖 2　北桃不明公害的研究系統

對問題二，我們認爲統計的方法已足用於定性關係之探討。利用過去無嚴重天災與人爲污染時段的稻作實收量迴歸成預期產量曲線，以代表相同耕作意願與耕作技術發展下的稻作產量。將預期產量曲線外插推估爾後數年內應有的稻作產量，再將預期產量減去實收量即得稻產偏差量，其中包括自然環境和人爲污染的影響。此過程的爭論點在於迴歸方程式的選擇。既然我們只求定性問題的探討，只要符合下列原則的函數關係都可採用：

⑴簡單的函數形式，而且迴歸的相關性良好。

⑵被推估的年份如果沒有嚴重的天災或人爲污染影響，則實收量應能充份接近預期產量。

對問題三，本研究所有的文獻回顧及假設之建立都採下列原則：

⑴對於同性質的記錄或調查資料，如防風林面積或稻穀產量，蒐集不同的來源之資料加以比較，對其相異之處追溯其原始資料獲得方式，整理方法，並評估其可信度後依本研究之用途擇取最爲正確的部份；

⑵指述文獻之結論，但不以該文獻結論爲本研究之結論；

⑶對文獻中的推論，本研究對其推論的正確性予以評論。

對問題四，本研究的定性分析分法是建立環境因子、危害因子、稻及木麻黃的相關性，包括經驗或科學的證據與認知，相關係數，趨勢比對等三種，皆爲常見的方式。但相關性不代表因果關係，所以相關性分析的結論在根本上都是一種假說。不同的相關分析法對各假說的正確性有不同的支持程度。例如以植物病理學的鑑定法則獲得之證據，可充份支持假說成立。此鑑定法則基本上由著名的柯霍瓦準則(Koch's Postulates)加以修正而來，包括四個條文：

⑴植物受害後會呈現一定的病徵，而病變的發生與可疑污染物或加害因子間存有流行病學上的相關性，包括地緣相關，時間序列相關；

⑵自受害植物體內可檢出可疑之污染物或加害因子，但若科學證明該等因子與植物作用後即消失者例外；

⑶人爲以污染物或加害因子處理該植物，可產生與(1)完全相同之病徵；

⑷在人爲處理病變的植物體內可以再檢出與(2)相同之污染物或加害因子。

如果是以統計相關或趨勢比對，則對假說的支持程度與資料的多寡及詮釋方法有關，不若鑑定法則之嚴密。因此要全面確認假說的成立，則有賴一個完整的定量分析系統，這個系統的精神在於科學研究所要求的再現性，藉目前或未來觀測資料對模式健全性的驗証，我們可以利用模式和過去的觀測或紀錄資料模擬出過去不同危害因子的影響程度，稍後我們將介紹此系統。

對於問題5，並非任意需求的歷史紀錄都可取得，例如我們僅能取得桃園縣農業氣象災害紀錄，但各鄉的詳細受害情形卻無法獲知，這不僅減弱定性分析對各項假說的支持程度，而且也限制了定量系統的發展空間。

三、防風林面積消長及危害因子

1. 防風林面積的消長紀錄

對早期(民國45年)防風林面積的估計，有不同的資料來源(Lee 1984; Sheng 1961; 農林航測所 1986)，且估計值互有差異。經比較，本研究採用農林航測所航照圖之估計值(台灣光復後每十年一次航測)。綜合過去的紀錄，北桃沿海防風林在二次大戰後共歷經四次顯著的變化，其較可能原因與面積更動如下：

⑴民國45年大面積海岸砂坵造林成功達956.57公頃；

⑵民國54年大量海岸林解除爲農地故減爲878.82公頃(新屋鄉以100公頃計)；

⑶民國63年艾爾希颱風破壞林帶，面積僅剩534.52公頃；

⑷民國73年因復舊造林積極展開，面積增爲736.07公頃。

除這四次以外之時期，有無面積的逐漸變化或林相密度逐漸減低的現象，則沒有較嚴密的調查紀錄，因此在兩次防風林面積變化期間，林相是否已有明顯損害則不得

而知，因而無法廣度地分析所有影響防風林面積的因子及其相對的重要性，上述相伴歷次面積變化時的原因，僅是文獻記載上較爲顯著的原因之一。

2.影響防風林消長的危害因子

由於防風林面積正確而可考者僅四筆，故統計子相關法及趨勢比對法皆不適用，只能由病理學的研究及歷次面積變化時的證據來探討。

⑴鹽沫：林(Lin 1979)調查北桃沿海木麻黃之病徵並調查發現海風中含有大量鹽份，初步認爲該病徵係由鹽沫造成。孫(Sun *et al.* 1992)調查民國80年10月雲林、彰化疑似鹽沫上陸(Sun *et al.* 1992)認爲由外圍颱風引起之爲害，也發現木麻黃有相同病徵，故鹽沫引起木麻黃病變之病徵已有流行病學上之相關係。

孫 (1982) 採取當地防風林受害葉片加以分析並與健康者比較發現前者含氯量高出後者10倍以上。曾 (1990) 調查田間木麻黃之氯鈉累積情形，並在實驗室進行人工海鹽模擬試驗，證實田間植物氯鈉之累積趨勢與室內模擬者相符，而且田間病徵與人工模病徵亦同。此三份報告合併後已完成柯霍氏準則之驗證，因此鹽沫對木麻黃焦枯之假說已獲充份證實。

國外有關鹽沫危害林木病徵的研究，包括 McCune *et al.* (1977) 研究海水冷卻塔噴出之鹽霧得知 120 mg/m^3 以上的鹽可以開始危害 Dogwood 林木，Bernstein (1975) 的綜合研究指出木本植物氯累積超過0.5%，鈉累積超過0.2%以上會開始危害，並證明氯會造成葉片之肉質化。Boyce (1954)以 NaCl, Na_2SO_4, K_2SO_4 等人工鹽沫處理植物，發現氯最易達到致害程度，且歸納其病徵爲緣枯、尖枯、腫大及肉質化是典型的鹽沫病徵。這些現象皆與北桃沿海防風林受害病徵類似。

⑵二氧化硫：方(Fang *et al.* 1976)以人工二氧化硫對木麻黃熏氣實驗，得知1.68 ppm SO_2 三日可致葉枯，0.45 ppm SO_2 需十四日始致葉梢灰白、老葉枯黃，以 0.13 ppm 熏氣三十日則無病徵。對當地大氣中SO_2的監測值，方及陳(Fang *et al.* 1976)於林口電廠下風區之海湖、沙崙、永安測得平均濃度爲0.022 ppm, 0.015 ppm, 0.012 ppm，林 (Lin, 1979) 在民國67年5月至68年1月之測值多在數ppb之間，孫(Sun 1982)於民國70年3～4月測得平均濃度爲0.017 ppm及0.023 ppm，皆遠小於實驗所採用之濃度範圍。

故以試驗高濃度SO_2與短期曝露所得之結果直接推論當地低濃度與長期暴露條件下之結果未被完全接受(Chi Tsun 1979)，但若比較當地病徵，即葉緣、葉尖之枯萎、與一般SO_2病徵(Jacobson *et al.* 1970; Sun 1984 之圖鑑)兩者截然不同，可爲此推論的另一佐證。綜合兩項證據可初步推論SO_2並非主要加害因子。

⑶暴風雨：暴風雨對防風林的直接破壞方式包括强風吹襲及豪雨流失。航照證據顯示强烈暴風雨的直接破壞是造成防風林損害的主因之一。由中央氣象局資料，民國58年9月强烈颱風艾爾希由宜蘭登陸，自新竹出海，瞬間最大風速50 m/s，海岸林受害面達450公頃，佔51.2%，從民國59年4月及5月兩次的航照判讀上可見如下特點：

- 整個桃園縣海岸林相鬱閉嚴重破裂，呈現廣大面積的受害；
- 海岸砂丘改變，觀音鄉塘尾原河道海口的封閉致水流入海岸林呈沼澤地；
- 林帶外緣消失成砂坵或呈大面積帶狀枯立木，中內層稍佳，但亦受害嚴重。原森林內之隱敝建物因林帶鬱閉破裂，而由航照上清晰可見。

以上特點與民國75年韋恩颱風破壞雲林縣防風林的航照判讀結果頗多相似。颱風以外的暴風雨對木麻黃的直接破壞尚無報導。

⑷土壤鹽度：柳及程(Liu *et al.* 1984)調查當地土壤鹽份，發現土壤鹽份在東北季風期高於非季風期，林緣高於內陸，表層土高於深層土，但皆低於4 mmho/cm ，雖有所累積，但不致危害防風林。

⑸病蟲害：林(Lin 1979)研究海岸防風林根組織之線蟲共發現二種寄生性線蟲，二種非寄生性線蟲，該研究並指出在台灣環境中，它們對木麻黃的危害尚無研究報告可資考查。雖然如此，作者仍推論該區防風林受害與線蟲無關。本研究認爲此種推論係按此類線蟲對其他植物影響的研究經驗，仍需以實驗求證。

⑹土地利用形式的改變：如前述四個時期防風林的面積改變，其中有三次歸因於土地利用改變，包括造林及林地解除爲農地。依據徐鼎所撰「石門水庫」所載，早期爲安置石門水庫淹沒區居民，經選擇區內海岸林地砍伐作爲移民新村，由民國47年至52年共移民278戶，每戶配建地140坪及約一公頃的海埔新生地（即海岸林地），致防風林面積降爲878.82。由民國54年航照圖之判讀，此時除由林地解除開發爲農地外，各耕地防風林生長分佈，仍維持早期規模。但民國63年之航照圖顯示，各耕地防風林已有明顯破壞，部份更因農地重劃而砍除。由此顯見，土地利用形式對防風林面積有決定性的影響。

四、稻作產量的變化紀錄及其危害因子

1.北桃沿海六鄉之稻作產量

本研究所收集的稻作產量資料共有兩個來源：一是中央圖書館所存之台北縣統計要覽及桃園縣統計要覽(Taipei 1951-1990, Taoyuan 1951-1990)，內容爲各鄉的單位面積稻穀產量，另一來源是台灣省糧食局提供之「桃園縣稻米推定實收量」及「台北縣稻米推定實數量」(TPG 1951-1900)，內容包括收獲面積，無收獲面積，單位收獲面積量。本計畫以稻穀產量爲基本分析數據，故以統計要覽的資料爲主，稻產的收獲面積及無收獲面積則取用糧食局所提供之資料。由於無收獲面積遠小於收獲面積（1%以下），故耕地面積幾等於收獲面積，據此，以下均以〝耕地面積〞或〝稻產面積〞代表收獲面積，且以單位面積產量代表單位收獲面積之稻穀產量。

稻作總產量爲稻作面積與單位面積產量的乘積，因之，如稻作面積減低，總產量則相對減低。圖3及圖4爲北桃沿海六鄉一期作及二期作歷年的單位面積產量演變情況。此二圖顯示此六鄉的單位面積產量在基本上是呈增加的趨勢，但是若只看總產量的

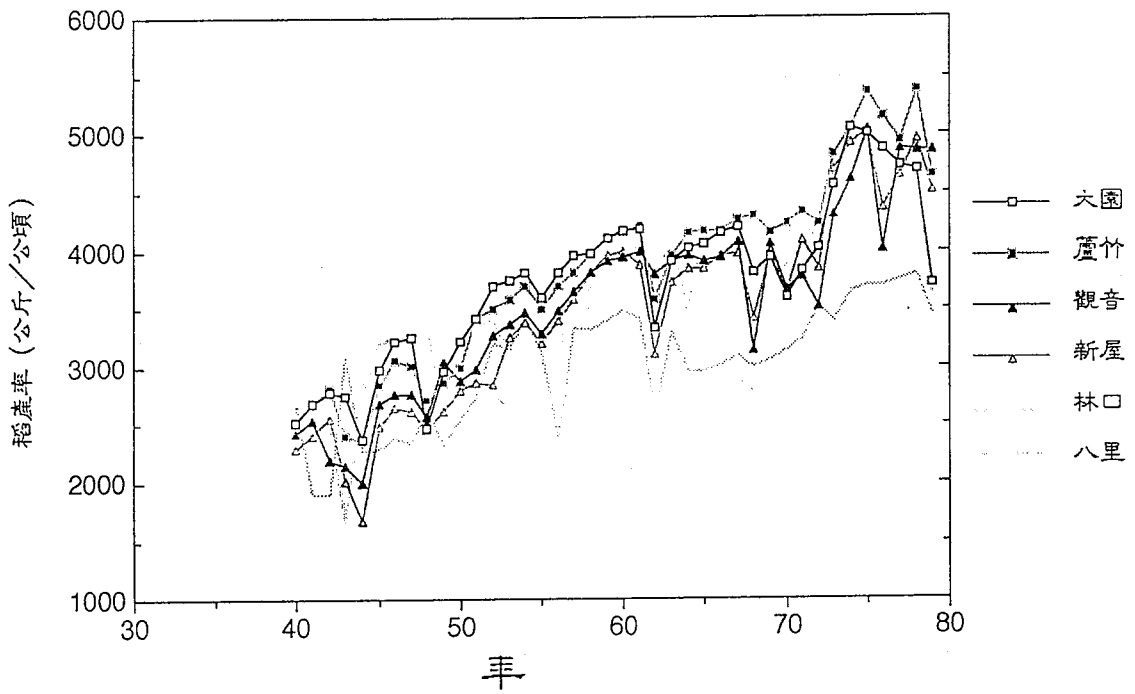


圖 3　北桃沿海地區六鄉一期稻作產量年平均值

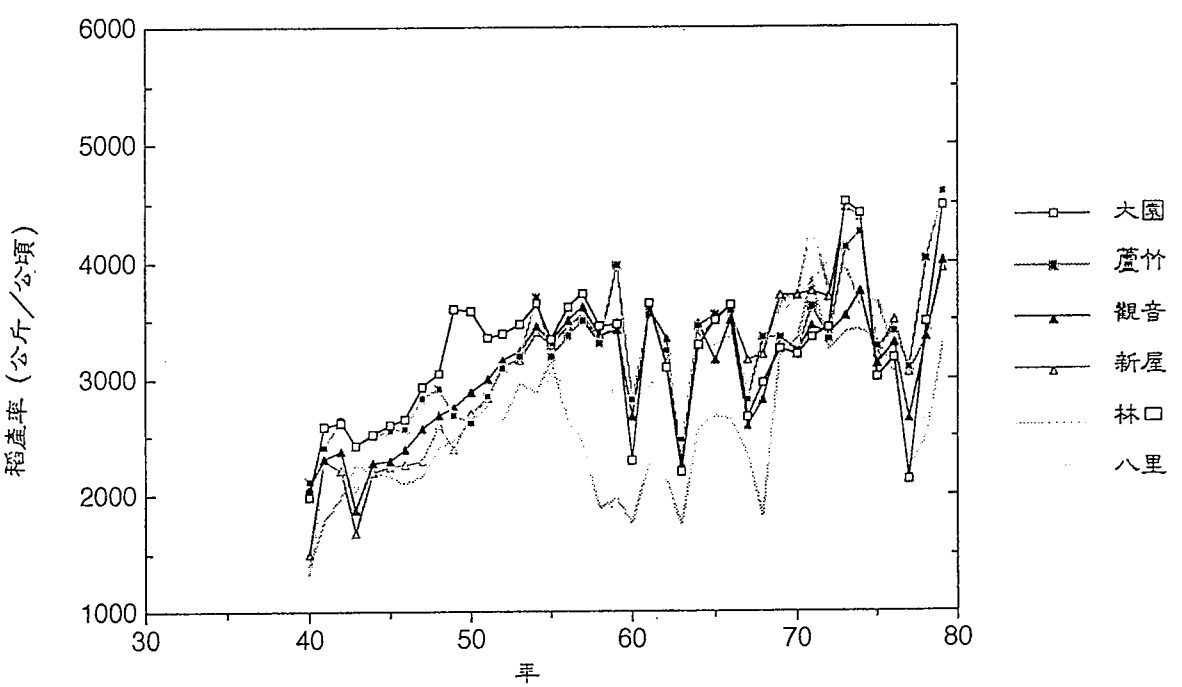


圖 4　北桃沿海地區六鄉二期稻作產量年平均值

演變，則可發現最近20年有强烈減低的現象，其主要原因是耕種面積減少所致，如圖5及6，由此二圖可看出桃園縣沿海四鄉的耕地面積在民國70年以後則有快速減少的趨勢（其中大園鄉之耕地減少始於民國65年），至民國79年蘆竹、大園、觀音之耕地面積減少一半，新屋減少五分之一，八里鄉、林口鄉則僅餘五分之一以下。在二期作面積，八里、林口兩鄉各僅有40餘公頃。影響稻產面積的因素只有片面的報導迄今尚未有全面的文獻探討，本研究也沒有收集到任何可引用的有關影響稻產面積的資料，所以此部份成因，不在本文中繼續討論，而且根據糧食局的資料，北桃沿海之鄉四十年內的收穫面積完全等於耕作面積，顯示本文下所考慮的各種危害因子如空氣污染與颱風、水害、旱害、病蟲害、農業災害等，並未直接影響耕地面積，所以爾後所引用之稻產資料均爲單位面積產量。圖3與圖4顯示林口鄉的一期作及二期作單位面積產量較其他五鄉爲低，而八里鄉與桃園沿海四鄉之單位面積產量較爲接近。因爾後本計畫所引用的農業災害資料並無各鄉之災情，而僅有桃園縣的災情報導，故我們引用桃園縣之單位面積產量資料之時序變化與桃園縣沿海四鄉的單位面積產量的時序變化加以比較以了解二者是否有相似的變化趨勢。其比較結果如圖7及8，二者之變化趨勢有相當良好的一致性，此外，我們也比較桃園縣稻產的時序變化與沿海各鄉的時序變化的相關性，結果也發現非常良好的一致性，一期稻的相關係數在0.89～0.95之間，二期稻的相關係數在0.69～0. 87之間，所以在爾後的分析中，可以直接引用桃園縣沿海四鄉單位面積產量或單位面積與桃園縣災情比較而不致有錯誤的推論。

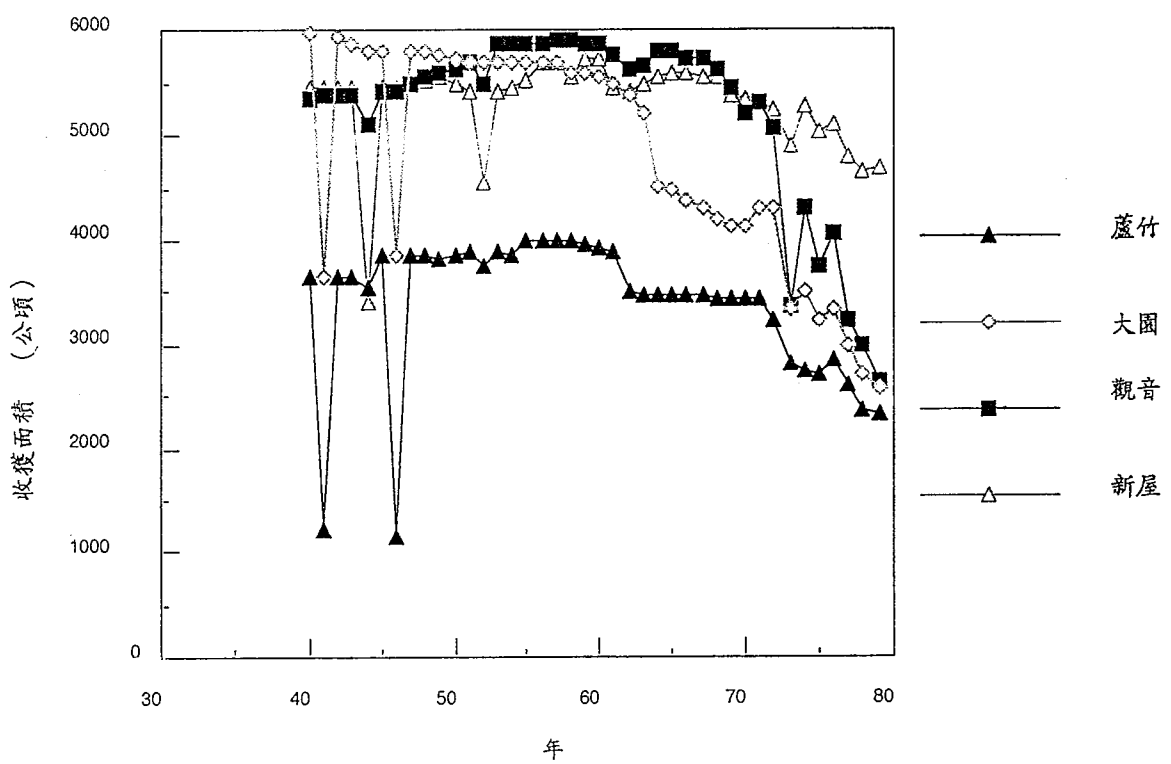


圖5　桃園縣沿海四鄉一期稻產面積演變情形

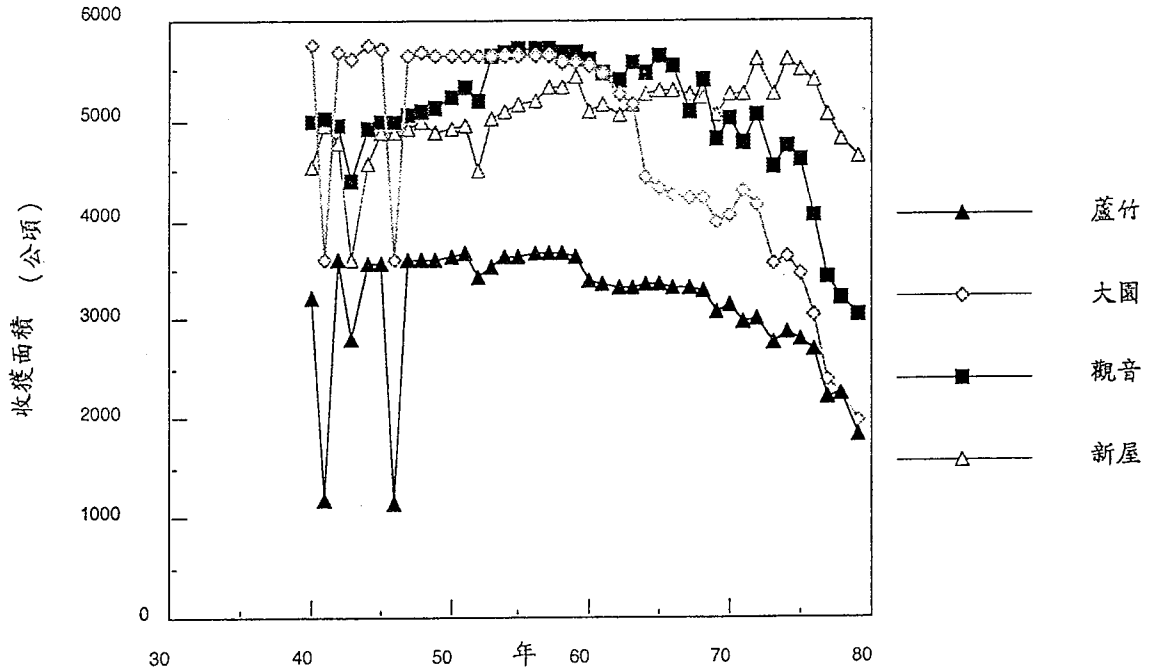


圖 6 桃園縣沿海四鄉一期稻產面積演變情形

雖然林口鄉與八里鄉也有單位面積產量之資料，但是我們不能引用桃園縣的災情資料與此二鄉或北桃沿海六鄉的平均產量相互比較，因爲此二鄉之收獲面積與桃園沿海四鄉差異甚大。桃園縣沿海各鄉之收獲面積約爲林口鄉或八里鄉之6～100倍，例如在民國50～60 年間，觀音鄉之收獲面積達6000公頃，而林口鄉僅約500公頃，而且民國70年以後林口鄉的收獲面積降低了5倍之多，到民國79年一期作只餘75公頃，二期作只餘43公頃。

3. 稻產趨勢及變異性分析

依前敘〝問題研究與方法論〞對問題二的討論，本研究選擇民國 40～79 年稻穀產量紀錄中的前 20年作爲迴歸的基礎資料，並以對數曲線(y=a*log(x)+b)迴歸曲線形式。原因如下：

⑴由民國40～59年間除民國40年、43年、58年外桃園縣農業災害的次數和規模都很小（PADF 1951～1991）；

⑵因爲北桃不明公害的爭論在於林口電廠商轉後可能產生一些新的，或許是未知的影響，因此本研究考慮以林口電廠商轉前的預期產量曲線外插至商轉以後的年份，以區別這個危害因子的存在。林口電廠於民國58年開始商轉，我們假設民國59年以前這個危害因子尚未發生效應。

⑶對數曲線的迴歸的相關性良好，且符合稻產量有限成長的觀念。

民國60年～民國79年間沒有顯著農業災害的年份，稻作實收量都能充份接近預期產量曲線，顯示我們採用的方法合理地接近實際現象，並非高估。

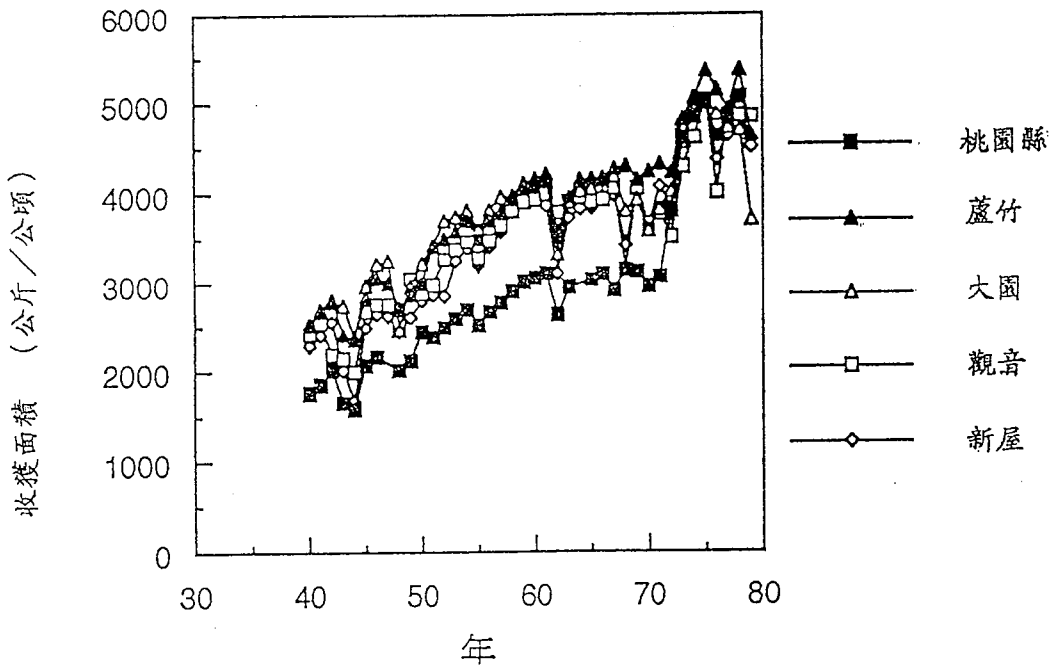


圖 7 桃園縣與沿海四鄉之一期稻作產量年平均值

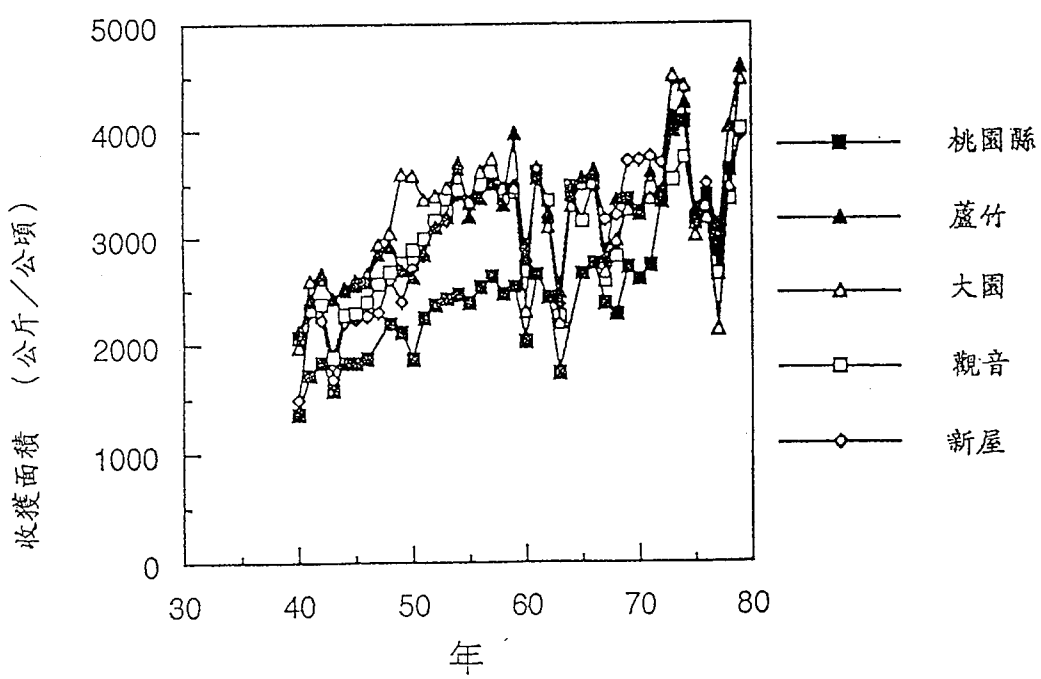


圖 8 桃園縣與沿海四鄉之二期稻作產量年平均值

我們將實際產量減去預期產量稱爲偏差量。圖5及圖7爲沿海六鄉一期作產量變化及其偏差量，圖6及圖8爲二期作產量變化及其偏差量。由此四圖可得下列重要現象：

⑴民國60年以後八里鄉第一、二期作均無減產現象；林口鄉一期作有減產現象，但二期作則無減產現象；桃園縣四鄉第一、二期作均有減產現象；

⑵雖然從圖5中可見民國六十年以後林口鄉的一期作明顯低於其他五個鄉，但其稻產偏差特性卻與桃園縣四鄉相同，此現象說明林口鄉較低的產量與其減產的程度並無明顯關係。

⑶本研究也計算各鄉稻產偏差量的相關係數（表1及表2），以了解各鄉間影響稻產因素的相似性。我們發現，在前20年間僅桃園縣四鄉間的一期作與新屋與觀音的二期作有較高的相關性。在後20年，一期作仍維持前20年的相關性，但二期作的相關性則有明顯的改變，八里鄉與林口鄉、八里鄉與新屋鄉、及桃園縣四鄉間均有較高的相關性，顯示較前20年，此時期環境因子有顯著的改變，並影響此區的稻作產量。

表 1　民國40～59年由"最適曲線投影"所得沿海六鄉鎮稻產率偏差量間之相關係數

	八里	林口	蘆竹	大園	觀音	新屋	
八理		0.33(-)	0.28	0.03	0.21	0.19	
林口	0.35		0.08	0.18	0.10	0.02	
蘆竹	0.10	0.18		0.84	0.74	0.86	一期作
大園	0.32	0.50	0.15(-)		0.64	0.66	
觀音	0.06	0.17	0.32	0.42		0.79	
新屋	0.41	0.18	0.48	0.26	0.81		

二期作

表 2　民國40～59年由"最適曲線投影"所得沿海六鄉鎮稻產率偏差量間之相關係數

r	八里	林口	蘆竹	大園	觀音	新屋	
八理		0.13	0.21	0.43	0.11	0.10	
林口	0.70		0.64	0.69	0.42	0.65	
蘆竹	0.27	0.31		0.80	0.47	0.81	一期作
大園	0.49	0.47	0.92		0.50	0.77	
觀音	0.49	0.33	0.80	0.83		0.76	
新屋	0.69	0.30	0.73	0.87	0.83		

二期作

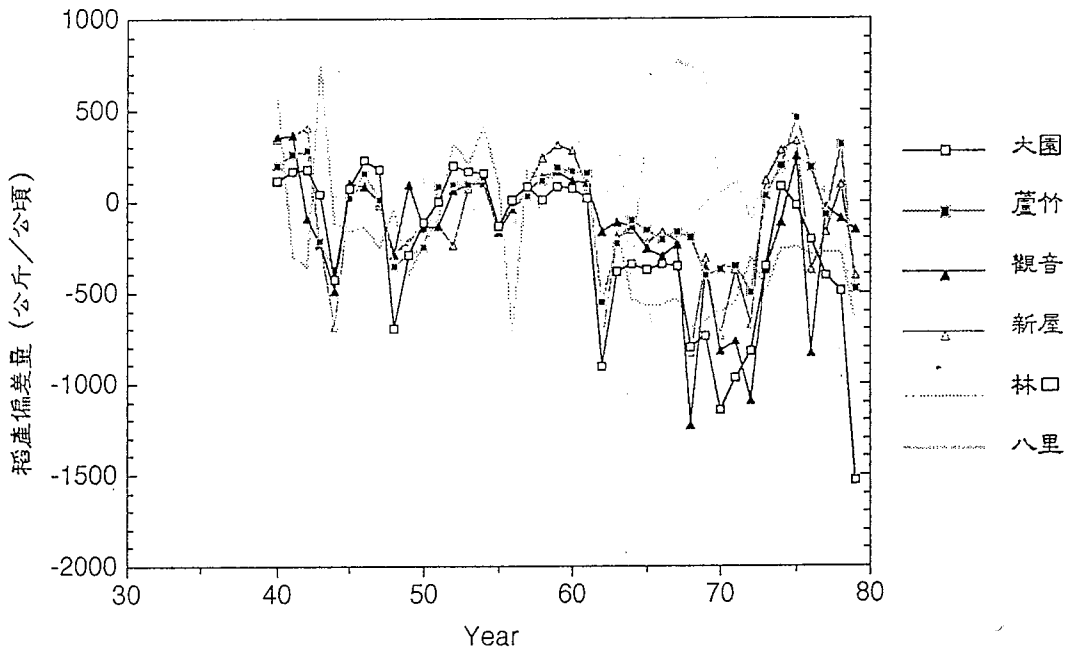


圖 9　北桃沿海地區六鄉由"最適曲線投影"所得一期稻作之年偏差量

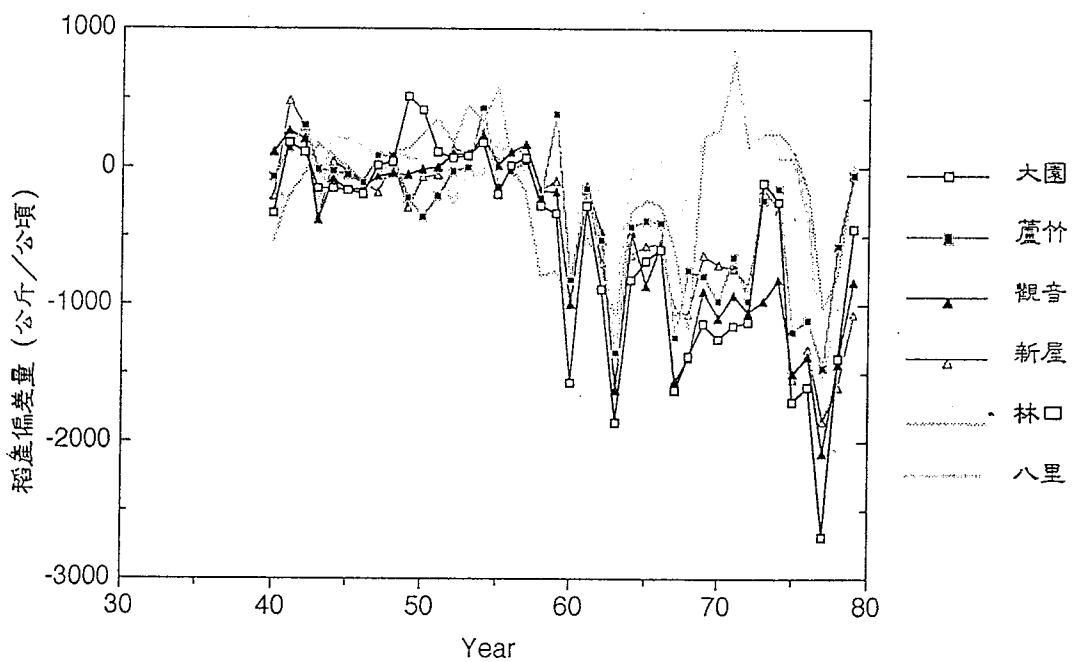


圖 10　北桃沿海地區六鄉由"最適曲線投影"所得二期稻作之年偏差量

3.影響稻作產量的危害因子

⑴鹽沫：孫(Sun 1982)發現田間水稻枯萎長度與鹽沈降量、風速累計、及强風小時數呈高度正相關，但卻與SO_2、落塵量、降雨量不呈相關，又單獨以强風吹襲稻株並不產生病徵。故水稻病變係由鹽沫造成。孫(Sun *et al.* 1991)研究指出北桃沿海地區稻作受害病徵在葉上爲尖枯、並有黃綠二條界帶，在穀粒上爲尖枯並有褐色界帶，且受害稻葉中主要累積成份爲氯、鈉、硫、氟、實驗室以鹽沫處理水稻可以產生與田間完全相同的病徵。再分析此人工誘病稻葉可發現氯、鈉、硫、氟的再累積。此結果已符合柯霍氏準則所有條文，故鹽沫可爲害水稻的假說成立。

⑵二氧化硫：如(1)所述，田間水稻枯萎長度與SO_2無相關性，且孫(Sun *et al.* 1992) 指出以高濃度SO_2(0.5 ppm, 10小時)使水稻產生銹點斑及漂白條斑的病徵，與北桃沿海地區水稻尖枯的病徵迥然不同。Kats *et al.* (1985)在田間開頂式薰氣箱實驗指出0.05～0.2 ppm之SO_2不會對水稻產生病徵，薰氣27日甚至發現SO_2可助水稻成長，68日時僅0.2 ppm SO_2 影響株高，採收時僅0.2 ppm SO_2造成微量減產。以上證據皆初步顯示SO_2不是北桃沿海地區稻作致病之因子。（註：稻作播種至收獲僅3～4個月，故無需更長期的薰氣試驗）

桃園縣境內大氣二氧化硫的監測資料來源計有台電設於林口、蘆竹、大園等鄉之測站、桃園縣環保署中壢測站及一些短期研究的觀測值（詳前），但前者監測資料並未驗證其正確性故暫不採用。利用環保署中壢站測值（台灣地區污染防治總檢討，1985～1990）和桃園沿海四鄉的稻產偏差量做時序比對，發現二者並無相關性，但因不能確認中壢市和桃園縣沿海空氣品質的相關性，故不能時序比對的結果推論於沿海四鄉。由於缺乏可靠的長期觀測資料，故無法推論大氣二氧化硫與稻產偏差趨勢之關係。

⑶鹽沫與高濃度 SO_2 之加乘作用：孫(Sun *et al.* 1991)以0.27, 0.3 及 0.5 ppm之SO_2與240 mgCl-/m^2之鹽沫共同處理稻苗，發現SO_2並不會增加鹽沫之爲害能力，即不會增加枯萎長度，顯示二者無協力作用。

⑷土壤鹽份及酸雨：孫(Sun 1982)發現以砂網在田間濾除鹽沫即可保護水稻（相同的土壤及降雨條件），此結果可間接證實土壤鹽度及酸雨皆非致害因子。

⑸暴風雨、乾旱、及病虫害：有關北桃地區農業災害的報導僅有桃園縣的資料可用（PDAF 1951～1991），且無各鄉之報導。由紀錄顯示颱風、狂風、旱災、水災、均曾造成很大的稻作損失，但病虫害的影響較小。

我們將農業災害年總量和桃園縣沿海四鄉稻產偏差量的數據一併繪成線圖作時序變化之比較（圖11），結果發現民國72年以前的明顯減產現象都可以獲得合理解釋，但受災的程度與減產量並沒有成正比的關係，其原因之一是因爲我們所採用的受災資料是桃園縣的總災情，而減產量則僅是其沿海四鄉的平均，至於是否有受其他因素影響，由於沒有相關的研究文獻，故不作推論。對民國72年以後的明顯減量現象除民國75年的二期作外，都無法自圖11中找到對應的受災原因，特別是民國77

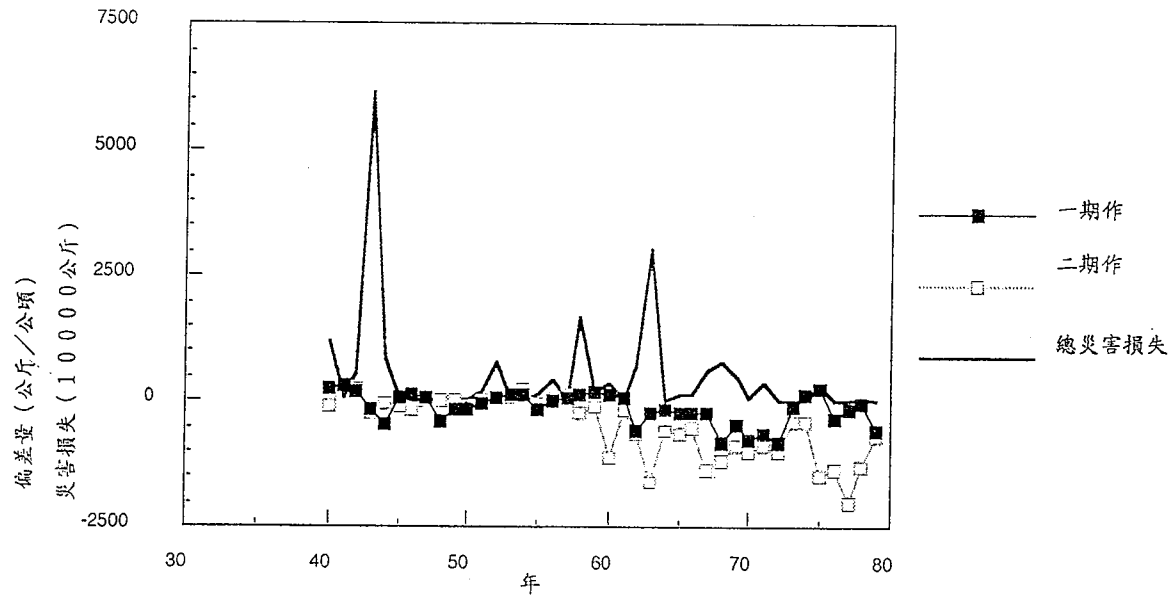


圖 11 桃園縣由"最適曲線頭影"所得之稻產率偏差量與其他因素所造成之農作物年損失的比較

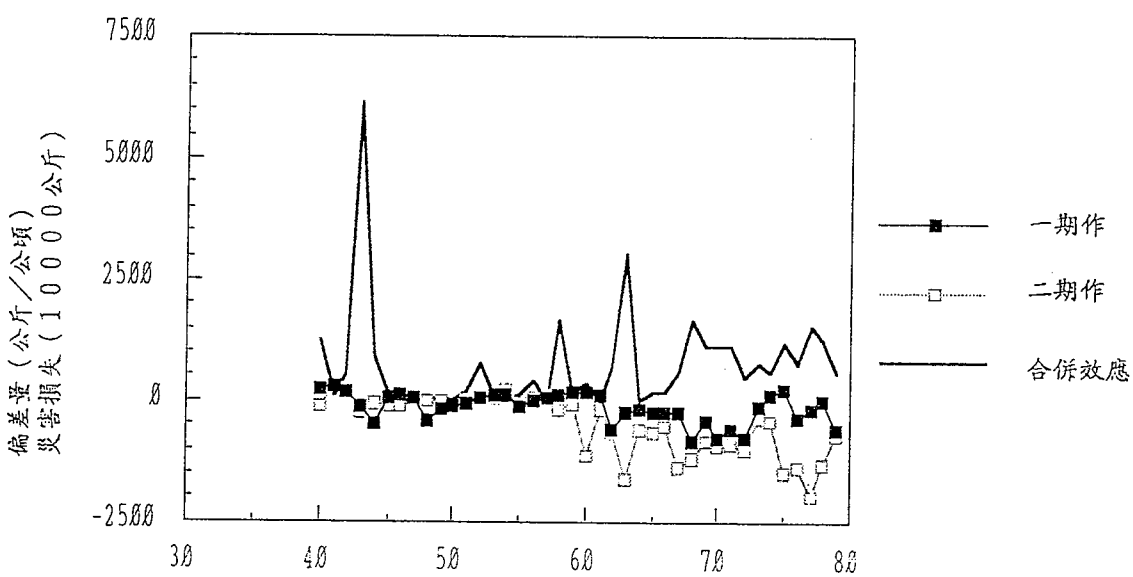


圖 12 桃園縣由"最適曲線頭影"所得之稻產率偏差量與所有因子共同影響所造成之農作物年損失的比較

年二期作的減產爲40年來最嚴重者，但該年並未有颱風、水害、狂風害、旱害及病虫害的紀錄。

上述的農業災害並未列入東北季風造成的損失，但前面已舉證强風的外力作用及其夾帶之鹽均會造成稻作減產。Boyce (1954)之研究指出一般風速需在5.5 m/s以上才會帶起大量鹽沫，因此本研究分析中正機場風速紀錄中68年～79年9月及10月中（北桃沿海稻作之結穗期）風速大於6 m/s的總時數與桃園縣沿海各鄉稻產的相關係數，在0.51～0.84之間（負相關）。由此結果提示我們需將東北季風的影響列於圖11的比較之中。雖然目前尚無法知道東北季風所造成之災害程度，但我們以民國68年以後發生6 m/s以上風速的最低小時數（9月及10月）爲受害程度的零值(CAA, 1979～1990)，將歷年的小時數乘以3倍以後再疊如於圖11的受災曲線上，以使東北季風的影響可以明顯地表示出來，這種顯示東北季風影響稻作產量的作法僅是爲示意上的方便，而並不代表實際的受災程度。其後與桃園縣沿海四鄉的平均減產量比較，其結果如圖12。由圖12可發現，民國72年後二期作的明顯減產現象也都可合理的解釋。因此我們推論颱風、雨害及狂風害、旱害、病虫害、及東北季風都是影響北桃沿海四鄉稻作減產的主要因子。

五、環境因子及危害因子的關係與推論

回顧四十餘年來北桃沿海環境的變遷，本研究發現造成防風林及稻作損害的主要環境因子包括颱風、季風、林口電廠、工業發展、地理位置等5項環境因子，每一項環境因子皆可能包含多項危害因子。這些危害因子有些已獲舉証，但仍有我們疑爲可能卻未被研究探討者，表3列出所有可能的危害因子，並按本文三、四之舉証標示其存在性。環境因子的變遷可能增加或減危害因子的效果，這種定性關係部份可藉理論、經驗判斷，但絕少知道二者的定量關係，部份甚而無法判斷作定性的判斷（環境因子對危害因子效果的增減），表4是本研究對兩者建立的關係矩陣，其中僅颱風、東北季風及地理位置及鹽沫量的關係有較多研究。孫(Sun 1982)調查得知鹽沫主要沈降於1～3公里之地區，但微滴可達24公里。郭(Kao 1992)、孫(Sun *et al.* 1992)均曾調查乾性颱風攜鹽沫上陸而使木麻黃損害的原因，但沒有調查或推估颱風所攜帶的鹽沫量。早期琉球大學幸喜善福等(Chen，1984)調查雲林、澎湖、苗栗、桃園海岸認爲桃園海岸尤以季風垂直之海岸線處，聚鹽量爲全省最高。孫(Sun *et al.* 1992) 調查西海岸鹽沫上陸沈降量之比較，發現北桃沿海鹽沫特多。農林航測所(IAFAS 1986)的航照調查資料顯示北桃沿海防風林以海岸線與季風垂直角度越大之位置受害愈重，砂丘也愈多，此爲地理位置特性造成鹽沫入侵特多之現象。

表 3 台北桃園沿海地區環境因子源對各種危害因子之影響效果

危害因子	環境因子				
	颱風	季風	林口電廠	工業發展	地理位置
暴風雨	+	+			+
鹽沫	+	+			+
乾早					
土壤鹽度	+	+			+
病蟲害					
空氣中的SO_2	−	?	+	+	?
空氣中O_3、NOx、VOC等	−	?	+	+	?
乾沈降(酸性前驅物)	−	?	+	+	?
酸性溼沈降(酸雨)	+	?	+	+	?
鹽沫及低濃度SO_2、O_3或					
或其他污染物之加成作用	?	?	+	?	?
鹽沫及高濃度SO2之加成作用	?	?	?	?	?
土地利用形式之改變				+	

註：〝+〞表增加該危害因子之效果，〝−〞表減低該危害因子之效果，
〝?〞表對危害因子發生之程度有影響，但無法由理論推測其影響效果。無標示部份表示無相關性或不知其相關程度。

表 4 不同危害因子對台北桃園沿海地區木麻黃及水稻損害之影響

危害因子	木麻黃	水稻
暴風雨	1	1
鹽沫	1	1
乾旱	3	5
土壤鹽度	5	5
病虫害	3	5
空氣中SO_2含量	5	5
空氣中O_3、NOx、VOC等	3	3
乾沈降(酸性前驅物)	3	4
酸性溼沈降(酸雨)	3	4
鹽沫及低濃度SO_2、O_3或其他污染物之加乘作用	3	3
鹽沫及高濃度SO_2之加乘作用	3	5
土地利用形式之改變	1	1

註：1.直接証據顯示有明顯影響
2.間接証據顯示有明顯影響
3.理論上具可能性，但無當地實驗資料
4.間接証據顯示無明顯影響
5.直接証據顯示無明顯影響

六、定量分析系統的發展

由表3及表4知，過去的研究成果的總和尚不足以對圖2的系統作定量分析，而需要進行更多的調查與分析。圖13爲本研究建議的定量分析系統，此系統由兩個內容包涵極爲廣泛的模式爲中樞，並以實地而完整的觀測資料配合應用。從此圖中可見，本文前面所回顧的文獻及收集的資料都僅屬於此系統中的環境資料區及植物生理資料區，這兩個資料區僅是一個定量分析系統的起點。在此一鑑定系統，我們利用這兩個資料區所包含的科學基礎來促進兩個中樞模式的健全性，資料區中欠缺的部份需由新的研究項目補充。此定量分析系統也需包括一個比往昔更完整而充實的觀測網，以追蹤圖2每一步驟間的連帶關係。這套新的資料也可以求証兩中樞模式的適用性及準確性。此系統中的兩個中樞模式，一爲預報性的空氣品質模式，另一爲植物生長模式，前者引用實地觀測的氣象及污染源的資料來預測該地區的空氣污染情況，包括二氧化硫、鹽沫、臭氧等在不同氣象條件下的演變。此演變資料將供給植物生長模式，以估計木麻黃的生長狀態及水稻的產量。

利用鑑定系統的兩個中樞模式，我們可以調整表4所提各類危害因子的量，如大氣中二氧化硫的濃度、防風林的面積等，模擬出相對的木麻黃損害程度與稻產偏差量。以不同的調整程度可以模擬不同的受災程度。藉此方法我們可以找出北桃沿海地區過去的災情是由那些危害因子所貢獻，並且了解它們的貢獻比例。

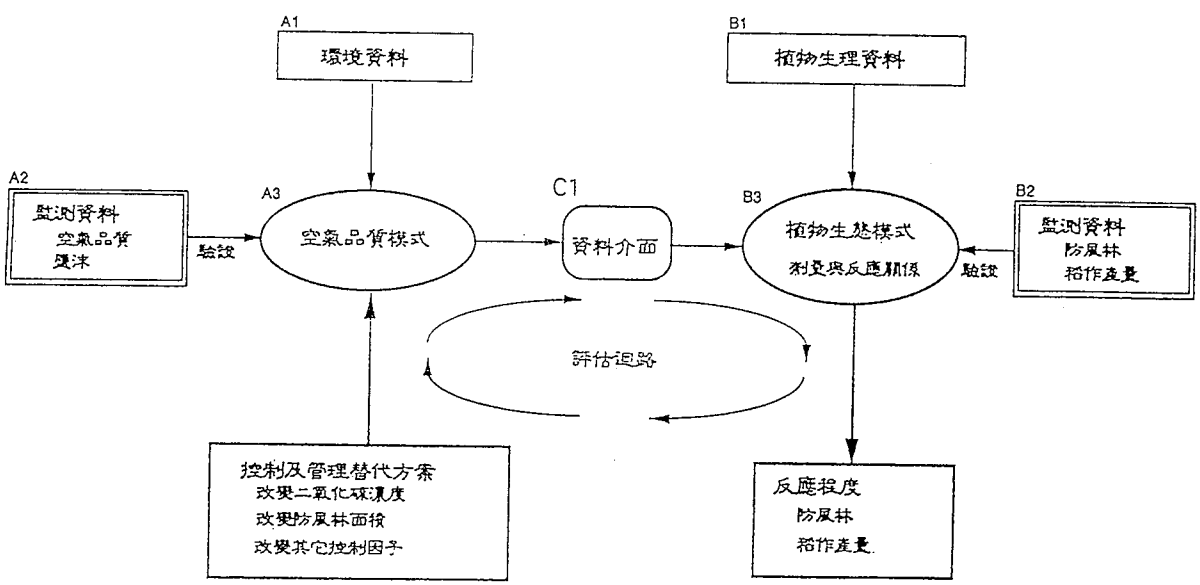


圖13 鑑定系統的組織與流程

七、結 論

綜合文獻之研析，本研究由圖2中選出獲証據充份支持的主要影響流程如下：

1.土地利用改變，減少耕種面積，致稻產總量減低。

2.颱風及東北季風直接導致大量鹽沫入侵稻產區，致稻作減產。

3.颱風破壞防風林，使木麻黃失去保護作用，導致鹽沫入侵而使稻作減產。

4.颱風、異常降水、乾旱直接侵害而致稻作減產。

至於林口電廠排放的二氧化硫對稻作及防風林的影響，由於缺乏低濃度二氧化硫對防風林長期影響的研究，且無長期之觀測資料比較稻產變化趨勢，故目前尚不能作完整的推論。

引用文獻

Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. Ann. Rev. phytopath. 13: 295-312.

Boyce, S.G. 1954. The salt spray community. Ecol Monogr. 24(1): 29-67.

CAA. 1979-1990. Aeronautical Climatological Data for The Chiang Kai Shek International Airport.(in Chinese). Civil Aeronautics Admiinistration Sungshan Airport, Taipei, Taiwan.

Chen, C.S. (translation). 1984. The investigation report of salt in the air in the coastal area of Taiwan. Taiwan Forestry 10(10): 11-35.

Chi Tsun, K. 1980. The damage investigation of plant and crops in the coastal area of Taoyuan county. Diaster Research Association. Japan.

EPA. 1985-1990. The final review of protection strategy on air pollution.(in Chinese). Environmental Protection Agency, Executive Yuan.

Fang, Y.K. and C.S. Chen. 1976. Effects of sulfur dioxide on windbreak vegetation.(in Chinese). Forest Department of National Chung-Hsing U. Research report. No.145. p.11.

Institution of Agriculture and Forest of Air Survey. 1986. Forestry Bureau. The investigation of damage for agriculture and forest in the coastal area of Taoyuan. (in Chinese). Department of Agriculture and Forestry, Taiwan Provincial Government.

Jacobson, J.S. and A.C. Hill. 1970. Recognition of air pollution injury to vegetation: A pictorial Atlas. Air pollut. Contl. Assn.

Kats, G., P.J. Dawson, A. Bytnerowitz, J.W. Wolf, C.R. Thompson and D.M. Olszyk. 1985. Effects of ozone or sulfur dioxide on growth and yield of rice. Agic. Ecosystems. Environment 14: 103-107.

Lee, Y.C. 1984. The investigation of coastal plant injury in Taoyuan county and the enforced strategy. (in Chinese). Taiwan Forestry 10:4-7.

Liao, S.L., S.H. Kao and S.C. Shu. 1991. The demostratic studies of injury of identification in serious damage areas (in Chinese). EPA-80-E3K1-90-1.

Lin, C.S. and K.C. Lin. 1978. The pollution of sulfur dioxide and effects on the growth of the plants in the northern Taiwan area. (in Chinese). Experimental Forest of N.T.U. Research report, No. 121. p.241-287.

Lin, C.S. 1978. Effects and the pollutiion of sulfur dioxide in the northern Taiwan area.(in Chinese). Experimental Forest of N.T.U. Research report, No. 120. p.241-288.

Lin, C.S. 1979. Effects of salinity and other ions on the growth of the plants in the coastal area of northwestern Taiwan.(in Chinese). Experimental Forest of N.T.U. Research report, No. 124. 211- 250.

Lin, C.S. 1980. Effects of salinity and other ions on the growth of the plants in the coastal area of northwestern Taiwan.(in Chinese). Experimental Forest of N.T.U. Research report.

Liu, C. and W.E. Cheng. 1984. The investigaton of the soil property for windbreak vegetation in the coastal area of Taoyuan.(in Chinese). Provincial forest research institute, Experiment report. No.411. p.22.

McCune, D.C., D.H. Silberman, R.H. Mandl, L.H. Weinstein, P.C. Freudenthal and P.A. Giardina. 1977. Studies on the effects of saline aerosols of cooling tower origin on plants. J. Air pollut. Contl. Assn. 27:319-324.

PDAF, 1951-1991. Taiwan Agricultural Yearbook. (in Chinese). Department of Agriculture and Forestry Taiwan Provincial Government.

Sheng, C.C. and H. Kang. 1961. The windbreak vegetation in Taiwan. (in Chinese). Agriculture revival committee. No.32

Shu, N. 1965. Shih Men Reservoir.

Sun, Y.C. 1982. The relationship between salt spray and rotten rice crop in coastal area. (in Chinese). Institute of Plant Disease of N.T.U. Ph.D. Thesis.

Sun, Y.C. 1984. The technology of identification: A pictorial atlas for the damage of air pollution. (in Chinese). EPA press, Taiwan.

Sun, Y.C. and H.C. Su. 1991. Studies of rotten paddy rice and forest in the coastal area of northwestern Taiwan, the pathology evidence of the damage of salt spray on paddy rice. (in Chinese).

Institute of Plant Protection Press. No.33. p.239-250.

Sun, Y.C. and T.Y. Chuang. 1992. The technologic studies of systematic expert evidence for environmental pollution damage on plant.(in Chinese). EPA. Taiwan.

Taipei C.G., 1951-1990. A statistics of comprehensive survey in Taipei.(in Chinese). Taipei County Government.

Taoyuan C.G., 1951-1990. A statistics of comprehensive survey in Taoyuan. (in Chinese). Taoyuan County Government.

TPG, 1951-1990. A comprehensive survey of food.(in Chinese). Food Bureau, Taiwan Provincial Government.

Tseng, S.C. 1990. The damage of salt spray on the physiology of vegetation. (in Chinese). Institute of Forestry N.T.U. master thesis. p.70.