

出國報告（出國類別：其他-研習）

赴荷蘭研習「因應氣候變遷對糧食安全
威脅及農業環境保護管理與減緩技術」
出國報告

服務機關：行政院農業委員會農業試驗所

姓名職稱：江志峰助理研究員、吳秉諭助理研究員

派赴國家：荷蘭

出國期間：101 年 6 月 1 日至 6 月 14 日

101 年 4 月 13 日至 6 月 15 日

目次

目次	I
摘要	II
第壹部分、因應全球氣候變遷對糧食安全威脅之國際農業科技合作研習報告書	IV
壹、前言	1
貳、本文	2
一、目的	2
二、過程	4
(一)文獻回顧	6
(二)系統設置與數據處理	7
(三)盆栽試驗之前置作業	9
(四)通量與脫氮潛勢測定	11
三、結果與繪圖	23
四、心得及建議	51
參、附錄	52
一、參考文獻	52
二、附圖	53
三、補充	123
第貳部分「因應氣候變遷的農業環境保護管理與減緩技術」荷蘭研習報告書	V
壹、前言	1
貳、目的	2
參、出國人員	3
肆、研習行程	4
伍、報告、心得與建議	5
陸、附圖與說明	10

摘要

我國與荷蘭國際合作協議備忘錄，提及建立本所與荷蘭瓦赫寧根大學合作，尤其是針對農業溫室氣體減量對策研究方面，荷蘭提供本所進行人員培訓與技術交流平台，其詳細研究主題可歸類為：（一）水、旱田溫室氣體排放與養份流失定量研究，瞭解作物品種、水份管理、耕犁、肥料、作物殘株之效應，並找出減量對策（二）臺灣土壤碳積存與溫室氣體減量間的定量關係研究，瞭解其過程及控制因子，並找出減量對策（三）水產養殖與堆、廐肥儲存及處理過程，溫室氣體排放與養份流失定量研究，瞭解各影響因子所造成效應，並找出減量對策（四）溫室氣體排放之模式研究，瞭解各種不同減量策略的效果。

本所今（101）年度國際合作科技計畫，以上述（一）、（二）項為研習主軸，分別由本所江志峰與吳秉諭兩位助理研究員分別執行：前者研習14日，聚焦於農田養分流失控制與定量研究，包括學習水、旱田營養鹽流失過程與控制因子，擬定減少養份流失之可行對策等；後者研習60日，重點於土壤管理措施對溫室氣體減排效應之研究，包括釐清作物品種、水份管理、耕犁措施與施肥堆肥等影響，並學習溫室氣體分析儀器之操作與田間即時監測系統設置方式等。

14 日研習摘要如後：氮肥是高度耗能、且是溫室氣體(Greenhouse gases)排放的巨大來源。此外，預測表明化石能源資源將在未來 50 到 100 年被耗盡。因此，氮肥價格將趨於增加，這可能提供合理使用氮素的誘因。考量兼顧我國糧食安全性和農業環境永續的發展，改善肥料利用效率，主要是氮肥利用效率(Nitrogen Use Efficiency, NUE)

的技術開發是此次研習目的，藉由荷蘭的作法和技術，將問題模式化作為我國對於農業生產環境維護政策的參考。研習期間參觀瓦赫寧根大學附屬農場，正進行提高馬鈴薯氮肥利用效率的田間試驗；過去為解決營養鹽損失問題，將畜牧糞尿循環再利用，並發展利用效率高的多管式糞尿注入式的農機具，現今普遍為荷蘭農民使用，與我國對畜牧糞尿採放流的策略而讓此營養鹽損失，並增加溫室氣體排放風險，兩國差異的作法是值得我們思考與檢討。

60日研習摘要如後：本次研習與（101）年度科技計畫「土壤管理措施對溫室氣體減量之研究」相互配合，藉由學習荷蘭學者專家對於溫室氣體分析儀（INNOVA 1412），在田間量測時之系統設置（開放空間量測、密閉罩法之間的差異與對應）、儀器參數（諸如訊號偵測、沖洗時間、接管長度、外接幫浦與連接方式等）、統計分析（學習數據分析與模式模擬優劣判別）與偵測限制（環境干擾因子與儀器本身量測時的限制）等相關課程，以建立對於農業溫室氣體排放量長期監測基礎，提供未來進一步探討最適農業生產與田間管理策略必要技術。

第壹部分

因應全球氣候變遷對糧食安全威脅之 國際農業科技合作研習報告書

壹、前言

本年度國際合作計畫，分別由農業試驗所助理研究員江志峰與助理研究員吳秉諭來執行：前者以14日時間，聚焦於農田養分流失控制與定量研究，包括學習水、旱田營養鹽流失過程與控制因子，擬定減少養份流失之可行對策等；後者研習60日時間，置重點於土壤管理措施對溫室氣體減排效應之研究，包括釐清作物品種、水份管理、耕犁措施與施肥堆肥等影響，並學習溫室氣體分析儀器之操作與田間即時監測系統設置方式等。

關於 60 日出國研習期程部分，將與本年度科技計畫「土壤管理措施對溫室氣體減量之研究」相互配合，藉由學習荷蘭學者專家對於溫室氣體分析儀(INNOVA 1412)，在田間量測時之系統設置（開放空間量測、密閉罩法之間的差異與對應）、儀器參數（諸如訊號偵測、沖洗時間、接管長度、外接幫浦與連接方式等）、統計分析（學習數據分析與模式模擬優劣判別）與偵測限制（環境干擾因子與儀器本身量測時的限制）等相關課程，以建立對於農業溫室氣體排放量長期監測之基礎，提供未來進一步探討最適農業生產與田間管理策略之必要技術。

關鍵字：密閉罩法(closed-chamber method)、氧化亞氮(nitrous oxide)、紅外光聲譜法田間氣體偵測儀(Photoacoustic Field Gas-Monitor)。

貳、本文

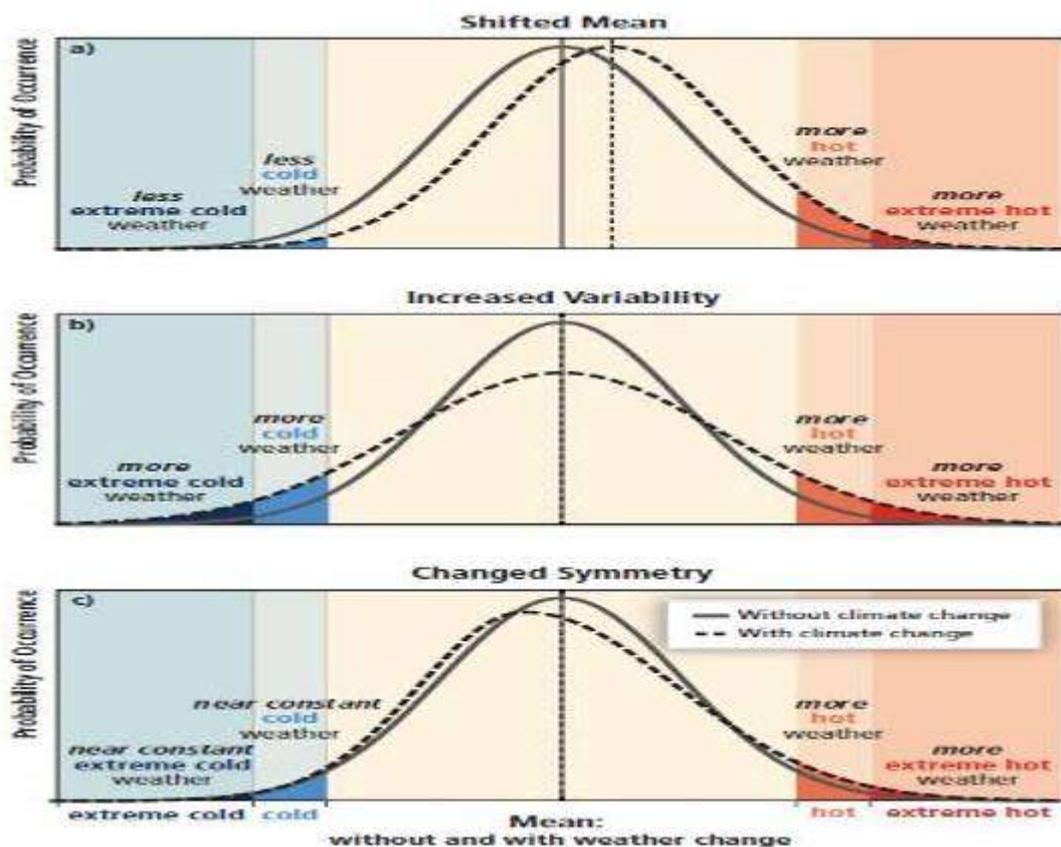
一、目的

根據聯合國糧食與農業組織對於 2012-2021 年的農業前景預測報告(OECD/FAO, 2012)，未來十年糧食平均價格將上漲 10-30%，又因為非洲與印度人口的快速增長、收入的增加與都市化的過程，將使對糧食的需求偏重脂肪與動物性蛋白；未來 40 年糧食生產至少須增加 60%，方能滿足全球人口需求。（此指廣義的糧食 4F：食物 Food，飼料 Feed，燃料 Fuel 與纖維 Fibre）。

若要增加全球糧食產量 60%，所面臨問題包括：全球可增加農地面積有限、製造生質燃料消耗部分糧食、土壤品質劣化、可利用水資源減少、氣候變遷與氣候異常等。基於以上預測分析與未來展望，OECD 與 FAO 認為：鼓勵較佳農藝管理措施、創造合適商業與技術調控機制、資助農業創新與研究，將是政策上可行的選項。

聯合國政府間氣候變遷委員會今年發布的特別報告－「極端氣候、天然災害之風險管理與氣候變遷調適方針(Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation)」(IPCC, 2012)中，指出人為的影響（增加大氣中溫室氣體濃度）可能導致全球尺度氣溫及降雨的改變，也可能是某些極端氣候事件的成因。

報告中亦指出變遷中的氣候系統，可能使某幾項氣象性質在頻率、強度、空間分布、影響期間與發生時機產生無法預測的變化，也就是氣候異常（極端氣候事件）的產生。以下圖一之機率分布曲線來說明，即是在面積不變的條件下，發生圖形平移（平均值改變）、峰值降低（兩側極端事件發生機率上升）、不對稱傾斜（單側極端事件發生機率上升）或三者均有的情況。



圖一、機率分布曲線與極端高低溫天候事件發生率示意圖 (IPCC, 2012)

當前面對氣候變遷的兩大策略為減緩(Mitigation)與調適(Adaptation)；IPCC 特別報告中，強調兩者的互補性，並建議兩者應同時進行，才能有效減少氣候變遷所帶來的衝擊。此次荷蘭研習重點在於學習通量測定技術，預計將應用於土壤、肥料、作物排放係數計算，與最適田間管理的建構作業上，本質上屬於「減緩」氣候變遷的一環。

此次研習以可攜式溫室氣體分析儀(LumaSense Technologies 公司製造之田間氣體監測儀 INNOVA 1312)，搭配密閉罩法來測定溫室氣體通量變化；藉由為期六週的盆栽試驗，針對不同草本植物品種、有無添加蚯蚓、不同氮肥施用量與不同土壤含水量等處理，觀測氧化亞氮通量趨勢上的變化，並建立初步資料庫，作為未來田間試驗之參考。

二、過程

我國與荷蘭國際合作協議備忘錄中，建立農業委員會農業試驗所與荷蘭瓦赫寧根大學間，對農業溫室氣體減量對策研究方面，提供人員培訓與技術交流之平台，詳細研究主題可歸類為下列幾項：水、旱田溫室氣體排放與養份流失定量研究，瞭解作物品種、水份管理、耕犁、肥料、作物殘株之效應，並找出減量對策；臺灣土壤碳積存與溫室氣體減量間的定量關係研究，瞭解其過程及控制因子，並找出減量對策；水產養殖與堆、廐肥儲存及處理過程，溫室氣體排放與養份流失定量研究，瞭解各影響因子所造成效應，並找出減量對策；溫室氣體排放之模式研究，瞭解各種不同減量策略的效果。此國際合作計畫之執行即依協議備忘錄中所述者進行。

此次出國研習前置作業最早於年初即開始進行，陸續與荷蘭合作單位－瓦赫寧根大學(Wageningen University)就研習課程安排、時程規畫、試驗設計與其他事項進行溝通，並於三月底四月初先行邀請對方研究人員(Dr. Velthof)來台參訪，並對各生產體系（水田、旱田、果園、濕地、坡地）溫室氣體通量測定提出建議，作為後續相關計畫執行之參考。

因糧食安全與氣候變遷相關研究眾多，為求有效率地進行此次研習，經與荷方溝通與內部討論後，遂將出國成員之學習重點進行分工：江志峰助理研究員著重模式運算與水稻田氮肥損失、利用效率之評估(2012/6/1-6/14)；而吳秉諭助理研究員則著重在以盆栽試驗實際測定亞化氧氮通量，觀測不同因子間的影響，並建立初步資料庫，以作為未來田間試驗之參考(2012/4/13-6/15)。

吳秉諭助理研究員的研習部分可參閱表一，主要由 Alterra 研究員與 Wageningen 大學教授 (Prof. Oenema、Dr. Velthof、Prof. Jan Willam 等人) 共同進行指導，並與西班牙博士生 Diego Abalos 共同進行溫室盆栽通量測定相關試驗；依照時間先後與學習重點，大致可分為：文獻回顧、系統設置與數據處理、盆栽試驗前置作業、通量與脫氮潛勢測定等，以下依序進行說明。

表一、研習時程與試驗進度一覽表

Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
				13-Apr-12	14-Apr-12	15-Apr-12
				(Depart)	(Arrive)	
16-Apr-12	17-Apr-12	18-Apr-12	19-Apr-12	20-Apr-12	21-Apr-12	22-Apr-12
				W	W	
23-Apr-12	24-Apr-12	25-Apr-12	26-Apr-12	27-Apr-12	28-Apr-12	29-Apr-12
W	W	W		W,E3	W	
30-Apr-12	1-May-12	2-May-12	3-May-12	4-May-12	5-May-12	6-May-12
W,E2	E1,C1	U,E0			W	W
7-May-12	8-May-12	9-May-12	10-May-12	11-May-12	12-May-12	13-May-12
R1		W		W		
14-May-12	15-May-12	16-May-12	17-May-12	18-May-12	19-May-12	20-May-12
W		W		W		
21-May-12	22-May-12	23-May-12	24-May-12	25-May-12	26-May-12	27-May-12
W	C2	W		W,P	P	W
28-May-12	29-May-12	30-May-12	31-May-12	1-Jun-12	2-Jun-12	3-Jun-12
R2				W		
4-Jun-12	5-Jun-12	6-Jun-12	7-Jun-12	8-Jun-12	9-Jun-12	10-Jun-12
W		W		W		
11-Jun-12	12-Jun-12	13-Jun-12	14-Jun-12	15-Jun-12		
W		C3	(Depart)	(Arrive)		

*說明：前兩週主要為文獻研讀（綠色），後六週主要為盆栽試驗與通量量測（藍色）；次要項目包括盆栽加水秤重(W)、採集蚯蚓(E3)並分離培養(E2)秤重(E1)添加(E0)、剪裁並採集植體(C1-C3)、添加人工尿液(U)、降雨模擬(R1-R2)、脫氮潛勢測定(P1-P2)。

(一) 文獻回顧

主要參考文獻為「草原管理措施與氧化亞氮排放」(Nitrous oxide emission from intensively managed grassland)一書(Velthof, 1997)。首先是方法論的部分，密閉罩法與微氣象學方法(EC\REA)的差異，在於密閉罩法可能干擾 N₂O 由土壤釋出的過程，且有較大的空間與時間變異性；但是密閉罩法不需要大面積同質性試驗田，也不需要較小的空氣擾動或穩定大氣狀況，甚至在通量量測的偵測極限(<20ugNm⁻²hr⁻¹)上，優於微氣象學儀器(>50 μgNm⁻²hr⁻¹)；因其易於組裝攜帶與多點量測的特性，故被建議使用於不同管理處理下的通量量測與比較研究上。

其次在 Velthof 教授的論文(Velthof, 1997)中，論述關於通量量測空間與時間變異性大的問題，其中空間部分可由增加密閉罩的個數與密度，由量測時間內的測值平均進行估算；時間變異性的部分，則必須進行長期且密集連續監測，以求出較可信的 N₂O 通量與氮損失數據。但實際上兩者可能因時間金錢與人力的限制難以達成；論文中僅以三種施肥處理、四種土壤，各六重複方式進行，而在兩年的量測時期，以每週（包括非生長季）量測的方式，求得全年通量與氮肥損失之數據。

文獻(Velthof, 1997)中使用聚四氟乙烯(PTFE, polytetrafluoroethylene)亦即鐵氟龍作為連接管材質，連接管內徑為 0.3 公分，長度小於 10 公尺，並使用鋁箔隔熱避免溫度壓力改變，造成氣體量測的干擾。但筆者研習實驗時所使用密閉罩的材質，以 PVC 與 PE 為主，連接管材質也是 PP 或 PE，密閉罩與盆栽底座之間氣密性不好，僅是簡單蓋上而已，所使用的密閉罩雖不透光，但連接管部分亦無使用鋁箔；推測應是經過長期試驗後，對於田間操作實務層面所進行的修正。

而文獻(Velthof, 1997)中亦指出罩子形狀與通量量測無關，惟罩內空間與底部面積比值則會影響儀器之氣體進樣效率。藉由延長密閉罩使用時間或縮小密閉罩的體積對底部面積比值，可以提升在低通量測值時的準確度，但也因為系統內產生較大之空氣擾動，可能影響通量測定的精密度。另外若能降低其他氣體（如 CO₂、H₂O 等）干擾，或增加量測次數與頻率等，亦可增加 N₂O 通量測定之準確度。

(二) 系統設置與數據處理

荷方所使用的田間溫室氣體分析儀(INNOVA-1312)屬於較舊之機型，惟基本操作與筆者服務單位所購買之較新機型(INNOVA-1412)類似，參數設置部分包括：氣體進樣時間與連接管、腔室沖洗設定為自動、50 公尺長，針對水氣與其他氣體部分進行補償與校正，氣體偵測時間預設 5 秒鐘一筆…等；其他諸如密閉罩、底座、連接管的材質，或是連接管長度與遮光鍋熱與否等因子，已於上一節中討論，此處不再贅述。

關於兩次量測間氣體殘留造成誤差的校正，荷方建議從縮短連接管管長以及縮小連接管管徑，以及數據校正兩方面著手。數據校正使用的原理為氣體擴散、稀釋公式，每日通量計算上使用理想氣體方程式，累積通量計算方面則是以梯形面積公式求值。茲將計算方式說明如下：

(1) 假設 1 號密閉罩頂空容積為 V_1 ，氣體濃度測值為 M_1 ，2 號密閉罩頂空容積為 V_2 ，氣體濃度測值為 M_2' 、真值為 M_2 ，儀器主機偵測腔室（可由儀器規格表查得，或由氣體流量計測得）與連接管內部總容積為 V_0 。

(2) 當量測完 1 號密閉罩後， V_0 內部殘留 M_1 濃度氣體，再量測 2 號密閉罩時造成干擾與誤差，須對 M_2' 測值進行校正。

(3) 根據質量守恆定律，氣體擴散、稀釋前後分子數（莫耳數）總和不變列出算式： $M_2'(V_0 + V_2) = M_1V_0 + M_2V_2$ ，移項整理後得： $M_2 = [M_2'(V_0 + V_2) - M_1V_0] / V_2$ 。

在每日通量計算上，經過氣體殘留校正與空白校正（扣去空氣背景值）的濃度數據，須再經由氣體體積、濃度、莫耳體積、莫耳數、原子量、量測時間與密閉罩底面積等計算得到，說明如下：

(1) 假設氣體濃度測值為 M' 、真值為 M 、背景值為 M_0 ，密閉罩（密閉罩頂空容積為 V 公升）蓋上後經過 30 分鐘的濃度增加量為 ΔM ，則 $\Delta M = M - M_0$ ；此處 ΔM 以 ppb 為單位進行後續計算。

(2) 在 30 分鐘內待測氣體所增加體積 ΔV 可表為 $\Delta M \times 10^{-9} \times V$ （公升）；所增加莫耳(mol)數 Δn 則為 $(\Delta M \times 10^{-9} \times V) /$ （一莫耳氣體所佔體積(L)）。

(3)一莫耳氣體所佔體積可用理想氣體方程式 $PV = nRT$ 進行概算，其中 P 為大氣壓(atm)、V 為體積(L)、n 為莫耳數(mol)、R 以 $0.08206 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 代入、T 為凱氏溫度(K)；本篇報告以在荷蘭六週平均溫度 $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (288.15 K) 與 1 mol 、 1 atm 等條件計算，得到一莫耳氣體體積約為 23.65 公升。

(4) 在 30 分鐘內待測氣體所增加氮重 $\Delta N(10^{-3} \mu\text{g N})$ ，可用所增加莫耳數 Δn 乘上 N_2O 中 N 的原子量 28.0134 計算。

(5)最後再將所增加氮重除以 1000 (換算成 $\mu\text{g N}$)、除以量測時間 (換算成每小時通量)、除以密閉罩底面積(m^2)，將單位表示為「 $\mu\text{g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$ 」後即是所求。

在累積通量計算方面，可用每日通量值對時間作圖，並以折線圖下方面積累加後求值。例如施用肥料當日 (第零日) 與隔日 (第一日) 的累積通量，可由第一日測值與背景值平均後，乘上肥料施用後至儀器量測之時間間隔；第一日與第二日間的累積通量，則依照上述方法計算後再加上之前的累積通量值，以此類推並計算全生長季 (此處為六週) 的累積通量值。

另外值得一提的，是荷方在氣體的進樣孔處設有額外的防水防塵濾片，與鹼石灰管柱 (Soda lime，主要成分：氫氧化鈣、氫氧化鈉、氫氧化鉀)，而在文獻(Velthof, 1997)中，也提及使用 Soda lime 與硫酸鈣鎂去除二氧化碳與水氣。因氧化亞氮為分析目標時，二氧化碳與水氣都會對紅外線為主的偵測原理造成干擾，為了避免每次量測背景條件不一，或過份依賴軟體的補償校正機制，藉由減低二氧化碳與水氣濃度(分壓)的方式，提升氧化亞氮的測量準確度；而額外的防水防塵濾片，除可避免水珠或沙塵進入儀器，亦可減低原廠所附內部濾片的耗損率。

最後是儀器校正部分，因荷方都送回丹麥原廠進行檢修校正，無法提供校正程序及操作示範作為參考。目前已聯繫臺灣代理廠商，並取得校正程序參考文件，證實可由內建程式搭配標準氣體鋼瓶自行操作；預計經由採購與招標程序，於 101 年年底前完成實驗室自行校正儀器標準作業程序之建立。

(三) 盆栽試驗之前置作業

筆者在荷蘭研習期間，是與一位西班牙博士生(Diego Abalos)，從事溫室盆栽(添加氮肥量測氧化亞氮通量)之試驗；茲將試驗設計說明如下：

供試作物為四種草本植物，以一至四種作物依亂數排列方式種植於盆栽中，土壤約七公斤，風乾後加水約 80 克調整至田間含水量，各種植方式再分為添加尿素與控制組，各五重複，分成五區各擺放於溫室不同位置，並於每週以亂數方式交換各區與區內盆栽擺放位置，以消除不同溫室環境(噴霧與日照)的誤差。另外先進行添加尿素量的預先試驗(檢視是否造成肥傷)，之後再開始對 40 個盆栽添加尿素，並同時開始以密閉罩法連續量測至少六週的氧化亞氮通量。

溫室盆栽試驗，使用四種草本植物品種：*Lolium perenne* L.(Lp)、*Festuca arundinacea* L.(Fa)、*Phleum pratense* L.(Php)、*Poa trivialis* L.(Pt)作為供試作物，以及兩種蚯蚓品種 *Caligenisa* 與 *Rubellus* 作為供試動物，依照無作物(10 盆)、單一作物(40 盆)、兩種作物(60 盆)、四種作物(30 盆)等方式，每盆栽植 20 株幼苗，並再區分為人工尿液添加與否以及蚯蚓添加與否等五重複處理(表二)。設計的原因在於利用兩種深根植物與兩種淺根植物，以及棲息於深層土壤以及淺層土壤的蚯蚓品種，檢視動植物的存在與活動對於氧化亞氮排放量的影響；理論上氧化亞氮的釋放量受到土壤中硝酸態氮與銨態氮含量，可礦化有機碳與土壤水分含量影響，目前預期存在多品種的系統，其氮肥轉化效率與氧化亞氮釋放量均會較高。

在氧化亞氮的通量量測上，Jan Willem Vangroenigen 教授預測投入氮肥後應存在三個通量增加的時間點，也就是在通量對時間做圖中，應可看出三個峰值的存在：第一個峰值應在三日內出現(化學作用機制)，第二個峰值在七日前後(微生物作用機制 Nitrification)，第三個峰值約在 21 日左右(微生物作用機制 Denitrification)；也因此試驗開始一週內預計每日量測盆栽封閉 30 分鐘的濃度變化並計算通量，第二週預計改為兩日量測一次的方式，第三週則量測兩至三次；之後再重複同樣這個循環，得到總計六週的通量量測數據，與兩個週期的通量峰值圖。

表二、盆栽試驗設計與各組處理一覽表

[控制組]

No.001-010 僅有土壤

[單一作物]

No.011-020 多年生黑麥草 *Lolium perenne* L.

No.021-030 葦狀羊茅 *Festuca arundinacea* L.

No.031-040 貓尾草 *Phleum pratense* L.

No.041-050 粗莖早熟禾 *Poa trivialis* L.

[兩種作物]

No.051-060 Lp+Fa ; No.061-070 Lp+Php

No.071-080 Lp+Pt ; No.081-090 Fa+Php

No.091-100 Fa+Pt ; No.101-110 Php+Pt

[四種作物與蚯蚓組（均不施肥）]

No.111-120 Lp+Fa+Php+Pt（無／有施肥）

No.121-125 暗色阿波蚓(*Aporrectodea caliginosa*) *4

No.126-130 紅蚯蚓(*Lumbricus rubellus*)*7

No.131-135 混合(4+7)； No.136-140 無蚯蚓

(四) 通量與脫氮潛勢測定

本試驗乃在為期六週時間中，針對不同草本植物品種、有無添加蚯蚓、不同氮肥施用量與不同土壤含水量等，以盆栽搭配密閉罩法量測不同處理下之氧化亞氮通量。

所選用供試作物為：多年生黑麥草[Lolium perenne L. (LP)]、葦狀羊茅[Festuca arundinacea L. (Fa)]、貓尾草[Phleum pratense L.(Php)]、粗莖早熟禾[Poa trivialis L. (Pt)]四種草本植物。因四者在外觀型態上難以判別，故以商用種子育苗後，選取根長度 10 cm 以上植株，放入盆栽預先種植三週，待地上部高度至 20 cm 以上後，統一裁減至 3-4 cm，等待氮肥添加。

所選用兩種蚯蚓品種為暗色阿波蚓(Aporrectodea caliginosa)與紅蚯蚓(Lumbricus rubellus)，兩者皆為當地校園常見品種。自土壤中搜集後，經過挑選、計數、秤重、隔離等程序後，於盆栽植株統一裁減後加入。

氮肥以人工尿液(包括 urea, hippuric acid, allantoin, uric acid, creatinine, KHCO₃, KCl, CaCl₂ • 2H₂O, MgCl • 5H₂O, Na₂SO₄等)型式施用，為模擬草原牛隻糞尿投入對草本作物影響，施用量初步設定為 400 kg N/ ha 與 800 kg N/ ha 兩種；預先試驗結果顯示，前者約有 75%植株存活，後者植株則在 48 小時內全部枯死，故以 0 與 400 kg N/ha 作為此次盆栽試驗施用量。

盆栽作物依照單一品種、兩個與四個品種混合種植（每盆 20 個植株，栽植位置固定但兩種以上品種則亂數排列），24 種組合方式、五重複總共 120 盆。另外蚯蚓處理組則分為無蚯蚓、單一品種（每盆 7 隻暗色阿波蚓或 4 隻紅蚯蚓）與兩種混合方式（共 11 隻）進行；須注意的是蚯蚓處理組均不添加人工尿液，皆為四種草本植物混合栽植，4 種組合方式、五重複總共 20 盆。

盆栽高度約 30 cm、內徑 19 cm，填入約 7 kg 風乾土，調整土壤水分含量至 60% 水分充滿孔隙率[WFPS(%)=(重量含水量×總體密度/總孔隙率)100%]，並在盆栽中央插入內徑 5 cm 之 PVC 管，避免在水分添加過程中造成表面土壤擾動。每 2-3 天以秤重方式添加水份至 60%WFPS，並在為期六週的盆栽試驗中，進行兩次降雨模擬（各添加超

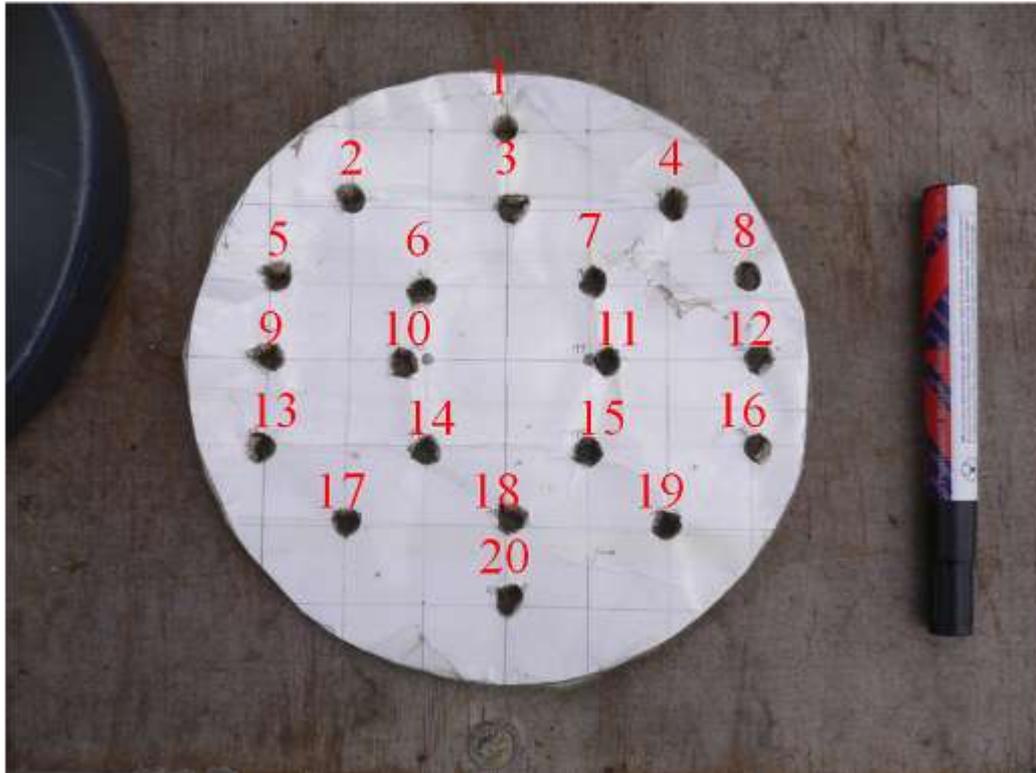
過 60%WFPS 標準 180 與 300mL 之 R. O. 水)、以及一次乾旱模擬 (約第三週結束、3-4 天不加水), 以檢視水分含量對氧化亞氮通量之影響。

通量測定使用上徑 19 cm、下徑 20 cm、高度 12 cm 之 PP 材質密閉罩置於盆栽頂端 (罩頂至土壤表面之頂空容積約為 3.12 L), 於作物統一剪裁、施用人工尿液與添加兩種蚯蚓處理後, 以紅外線光聲光譜法、可攜式溫室氣體分析儀 (LumaSense Tech. Ltd. 所製造之 INNOVA-1312) 進行 140 個盆栽之氧化亞氮通量測定。

測定系統由 INNOVA-1312、兩條 1-2 m 的 PE 塑膠連接管、含有 Soda lime 之去除 CO₂ 軟管、密閉罩與盆栽等單元組成; 儀器參數包括設定連接管長 60 m 自動沖洗, 偵測 N₂O、CO₂ 與 H₂O 濃度, 單一密閉罩量測約 1.5 min 等。通常以五個密閉罩為一組一次蓋上、蓋上四組密閉罩並等待 30 min 的方式, 依序進行 20 個密閉罩的量測。全部將 140 個盆栽與空白組量測完畢約須 6-7 hr, 另外通常於量測完畢後才進行秤重加水之程序。六週內總計量測氧化亞氮通量共 30 日。

脫氮潛勢部分在外徑 15 cm、高 10 cm 的密閉盒中, 放入 20 g 土壤後, 由頂端橡膠塞以氣密針頭充填氮氣 5 min 後, 再注入 C₂H₂ 氣體 15 mL, 於攝氏 20 度控溫室內, 孵育 24 與 48 小時, 之後以 INNOVA-1312 (含 C₂H₂ 測定濾光片) 量測氧化亞氮通量與乙炔濃度, 計算土壤脫氮潛勢。

其他試驗 (未參與、僅部分參與或未全部親自操作) 則包括: 土壤採樣與基本性質分析、植體採樣烘乾磨碎與秤重、蚯蚓秤重與烘乾磨碎等試驗後分析。



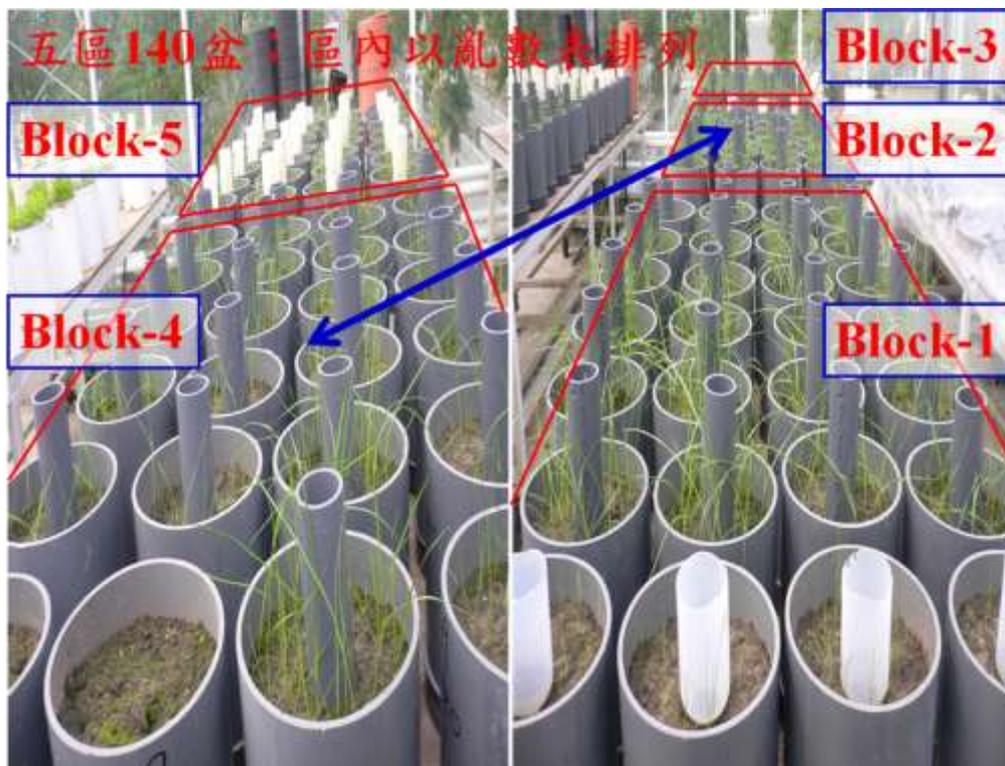
圖二、盆栽作物栽植位置示意圖



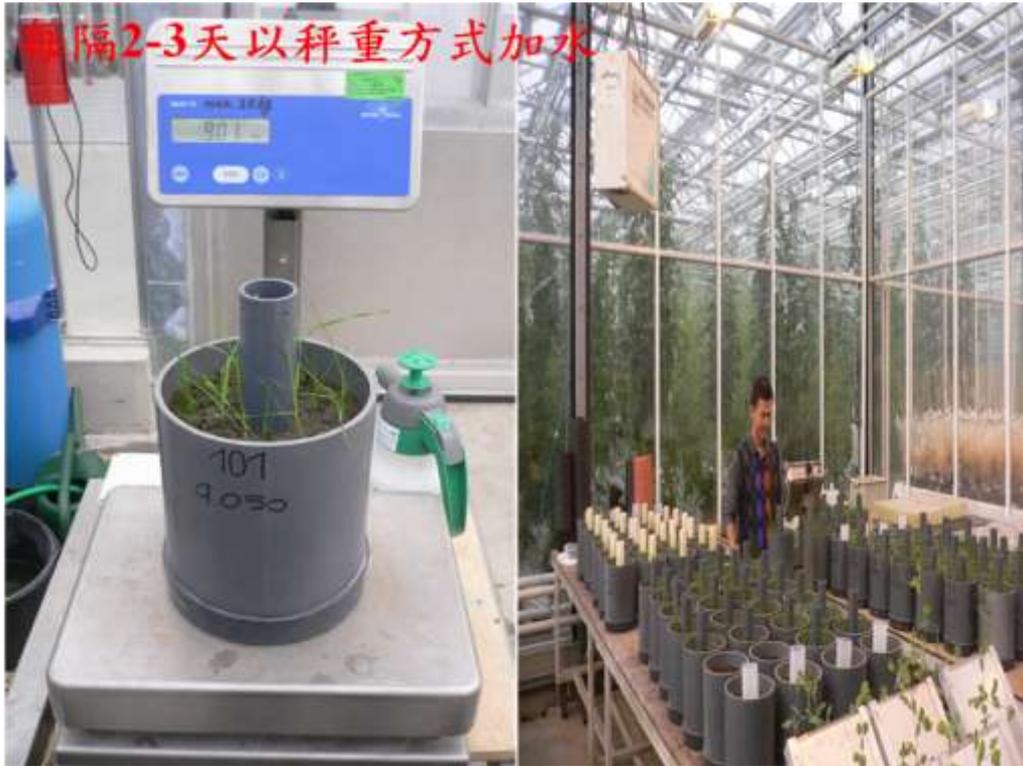
圖三、盆栽與各項基本參數圖



圖四、盆栽與中央加水管柱



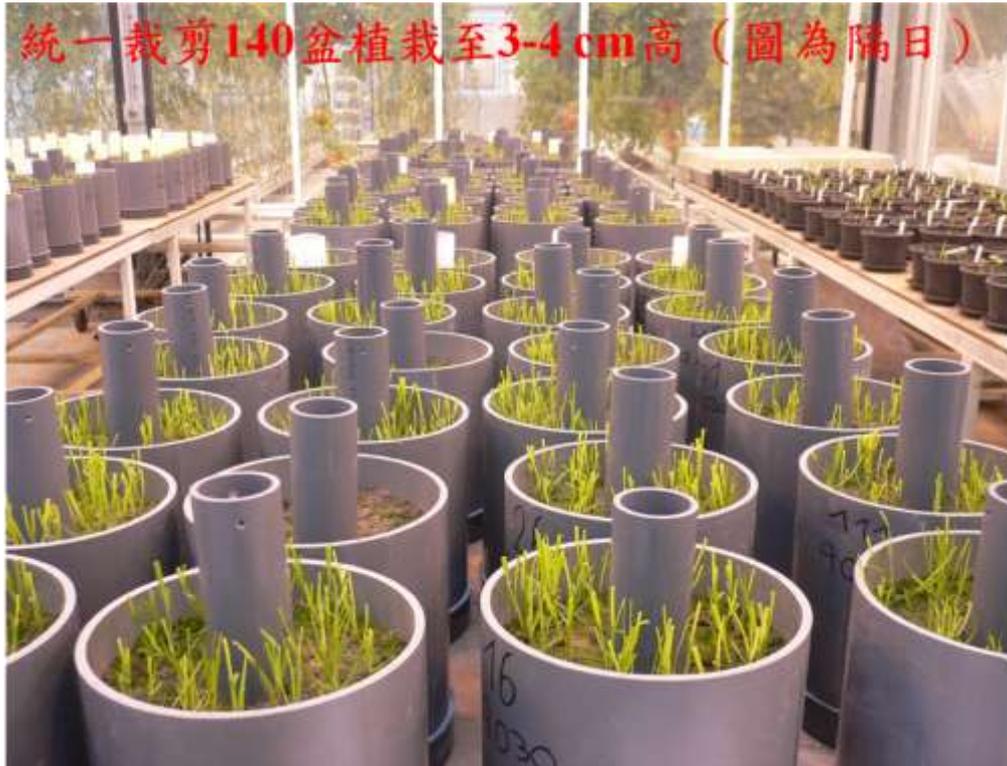
圖五、擺設相對位置與五重複分區



圖六、加水秤重示意圖



圖七、統一剪裁前生長情形



圖八、統一剪裁後生長情形



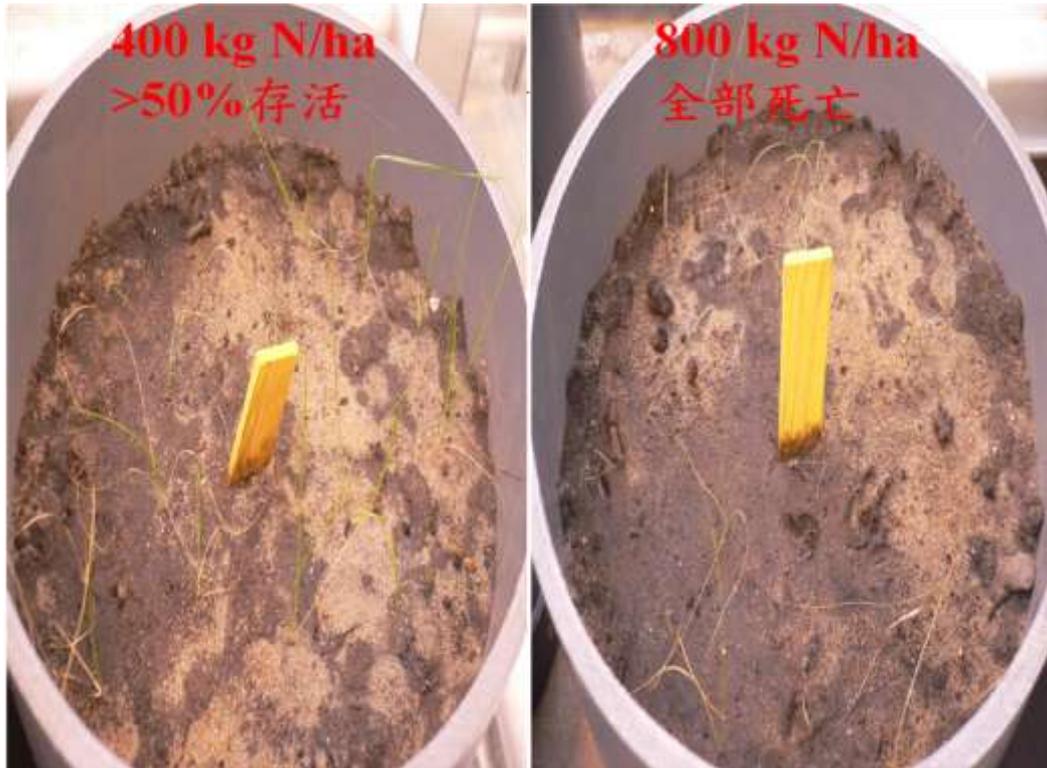
圖九、試驗蚯蚓前置處理 (收集)



圖十、試驗蚯蚓前置處理（培養）



圖十一、試驗蚯蚓前置處理（隔離）



圖十二、氮肥（人工尿液）投入量預先試驗



圖十三、配製與施用人工尿液



圖十四、作物生長情形檢視與儀器操作練習



圖十五、系統設置示意圖（儀器主機、鹼石灰管柱、連接管與密閉罩）



圖十六、以土鑽採集土壤樣本並回填石英砂



圖十七、脫氮潛勢測定示意圖



圖十八、脫氮潛勢測定使用電石產生乙炔氣體



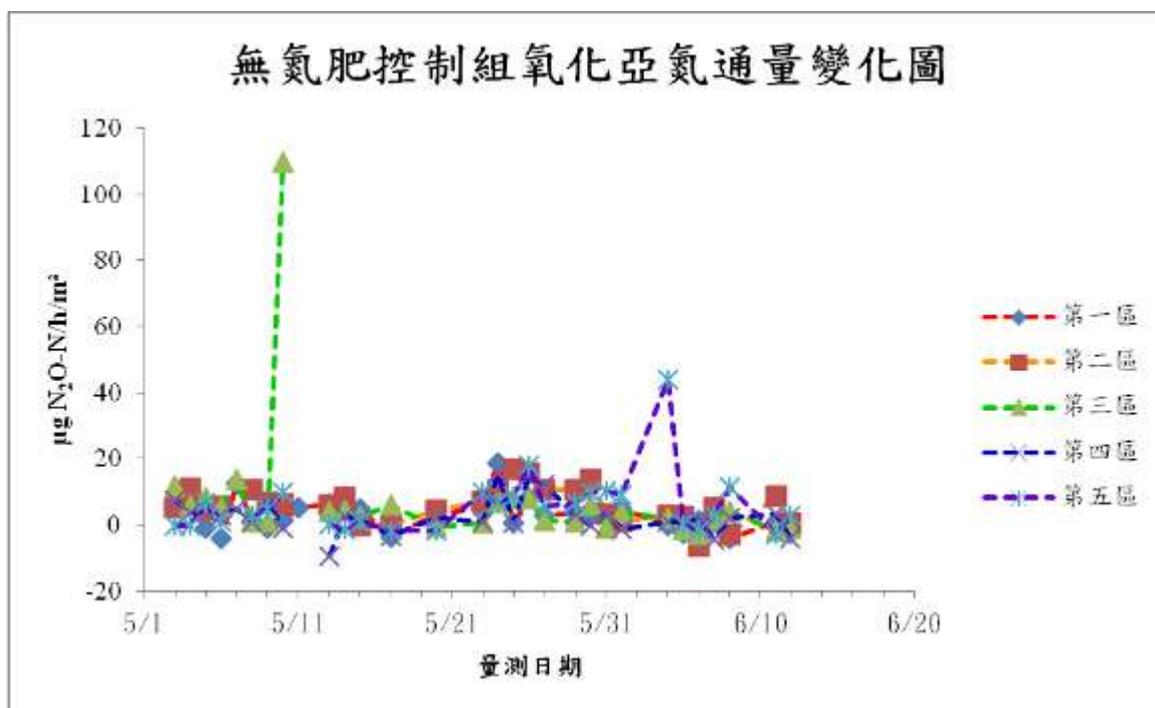
圖十九、脫氮潛勢經過 24 與 48 小時測量 N_2O 濃度



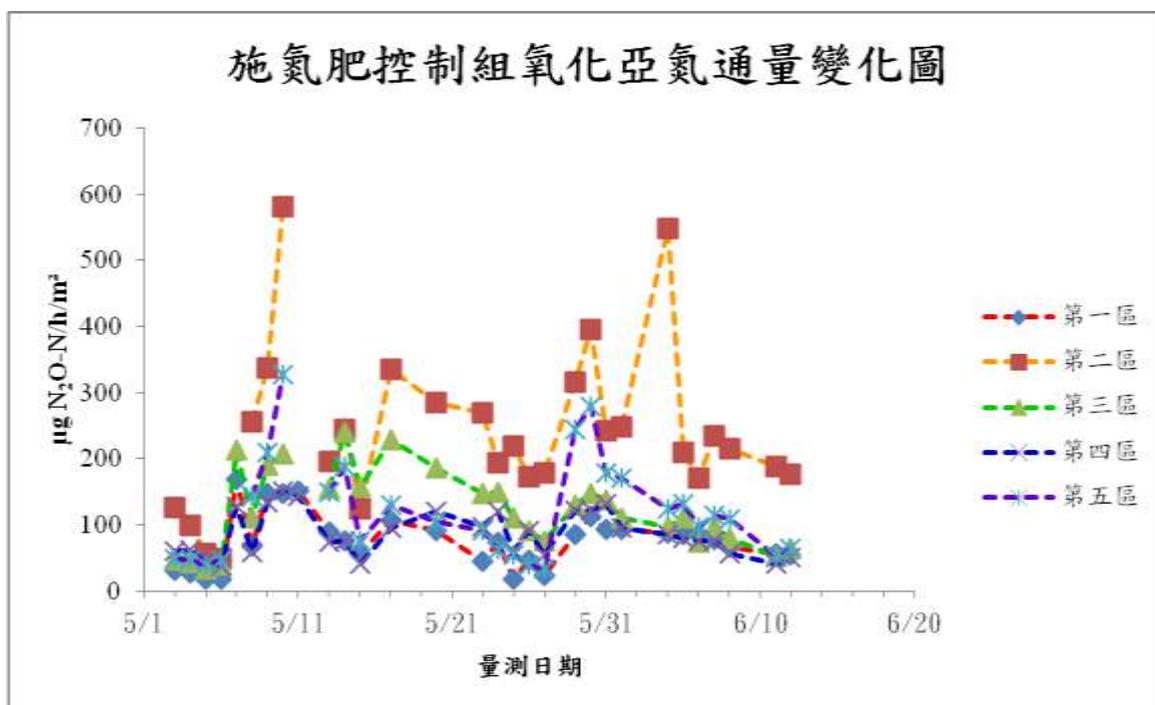
圖二十、荷方建議田間量測使用蓄電池搭配變壓整流器（避免發電機油氣干擾）

三、結果與繪圖

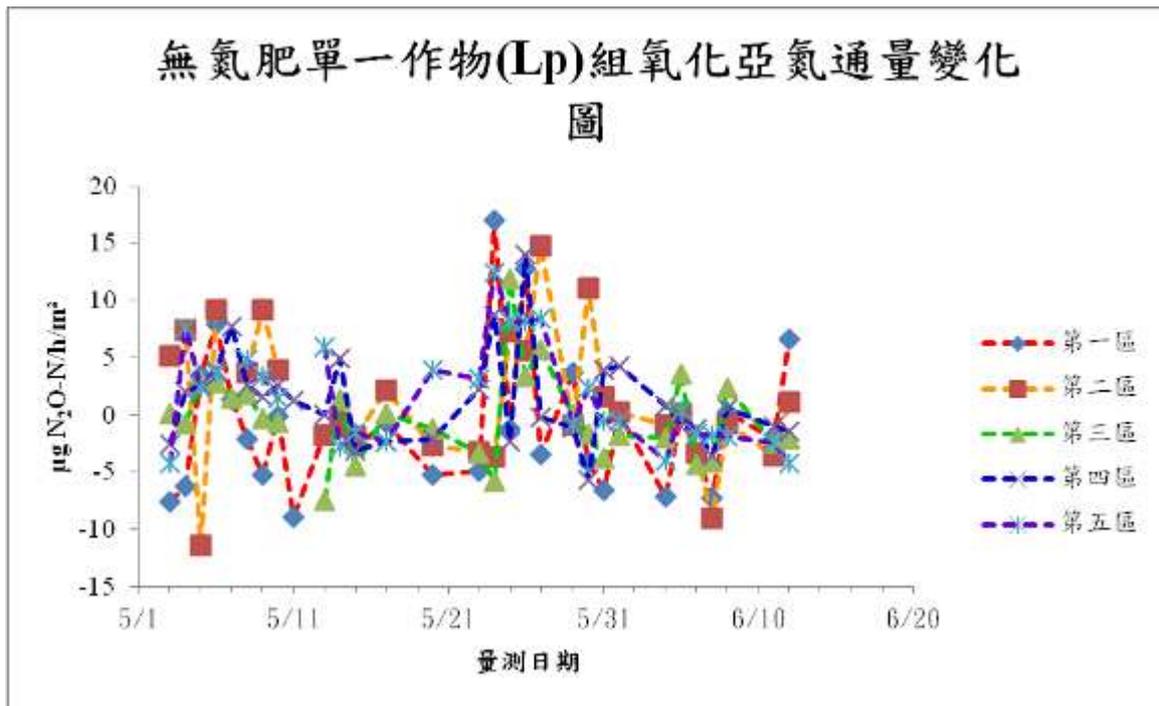
(一) 各處理通量變化趨勢圖



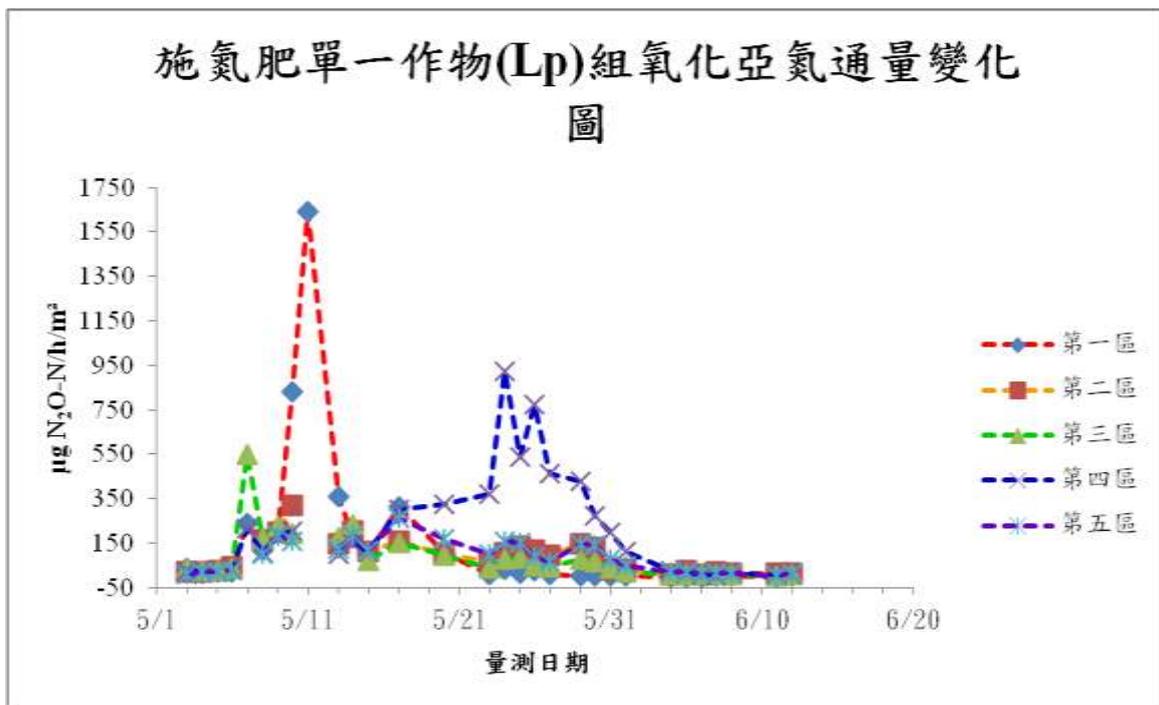
圖二十一、無氮肥控制組氧化亞氮通量變化圖



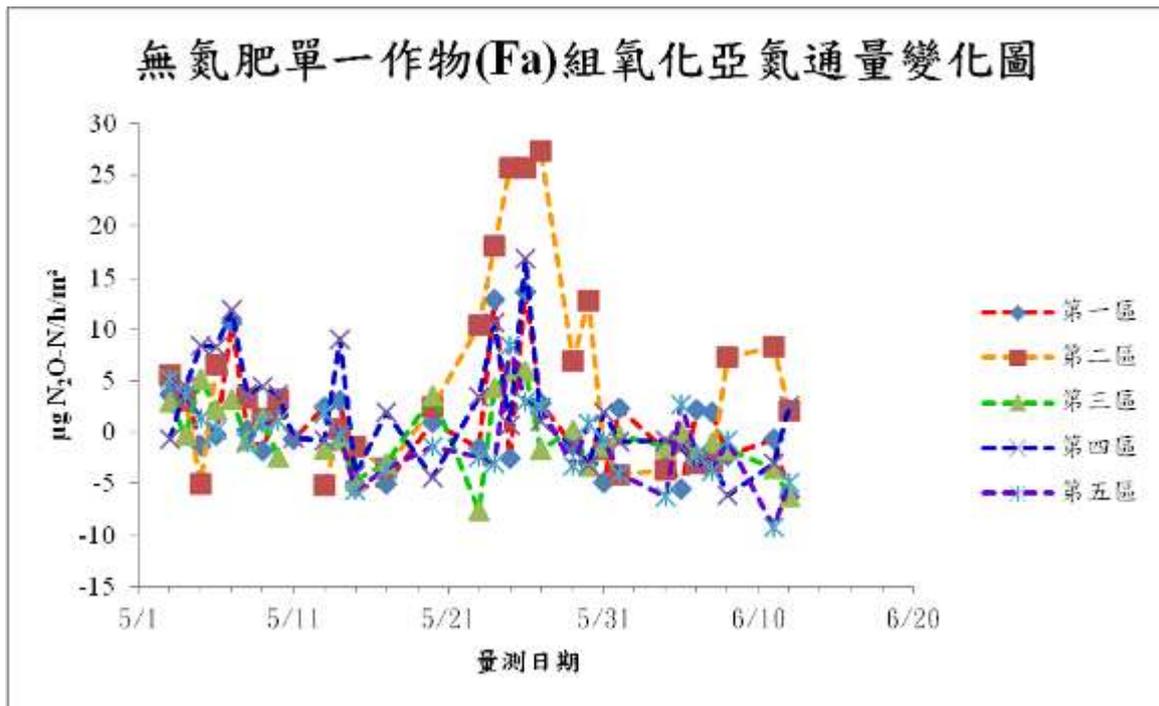
圖二十二、施氮肥控制組氧化亞氮通量變化圖



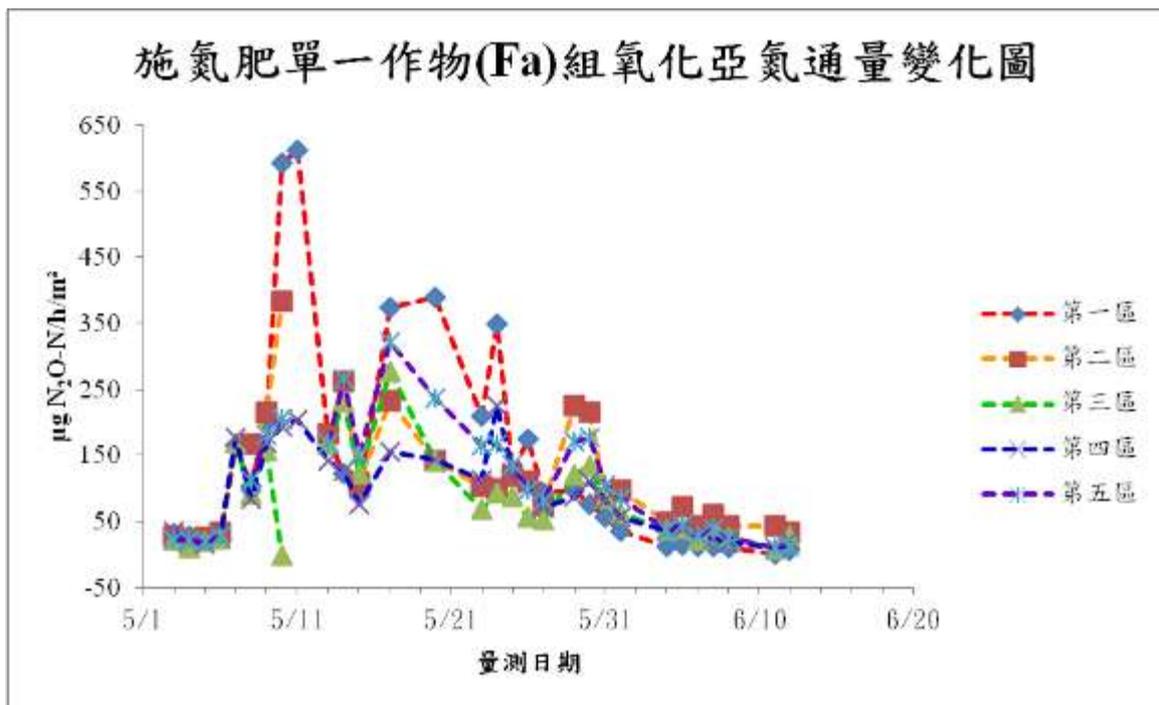
圖二十三、無氮肥單一作物組(Lp)氧化亞氮通量變化圖



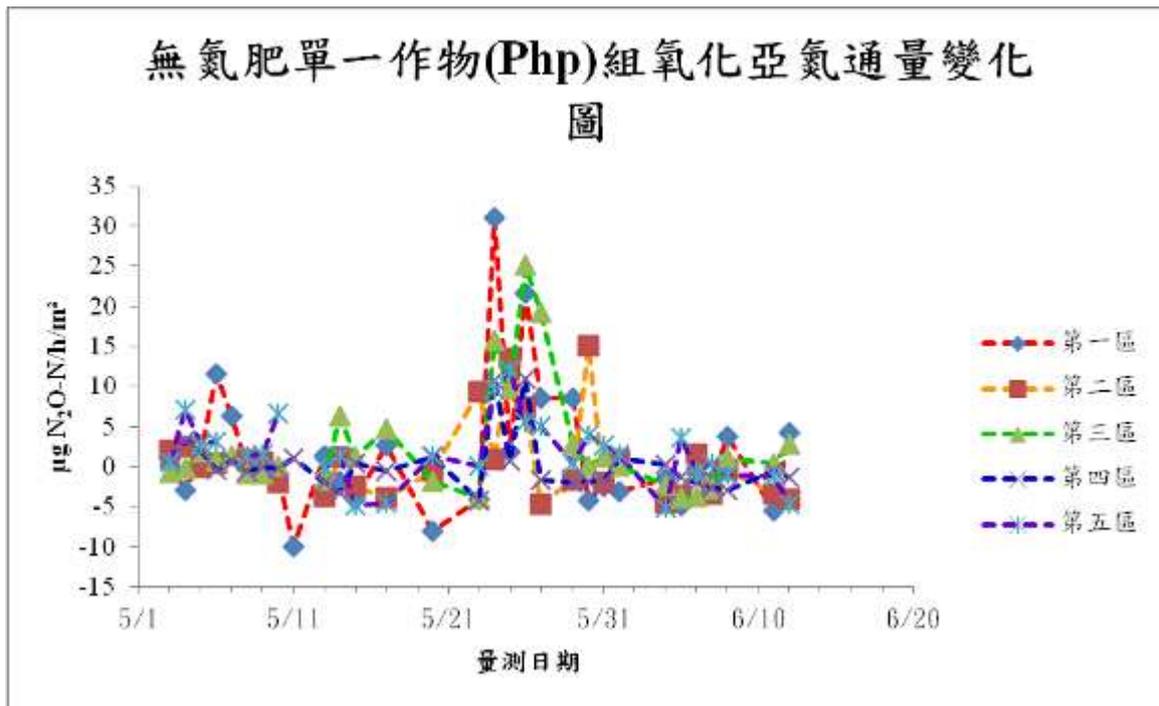
圖二十四、施氮肥單一作物組(Lp)氧化亞氮通量變化圖



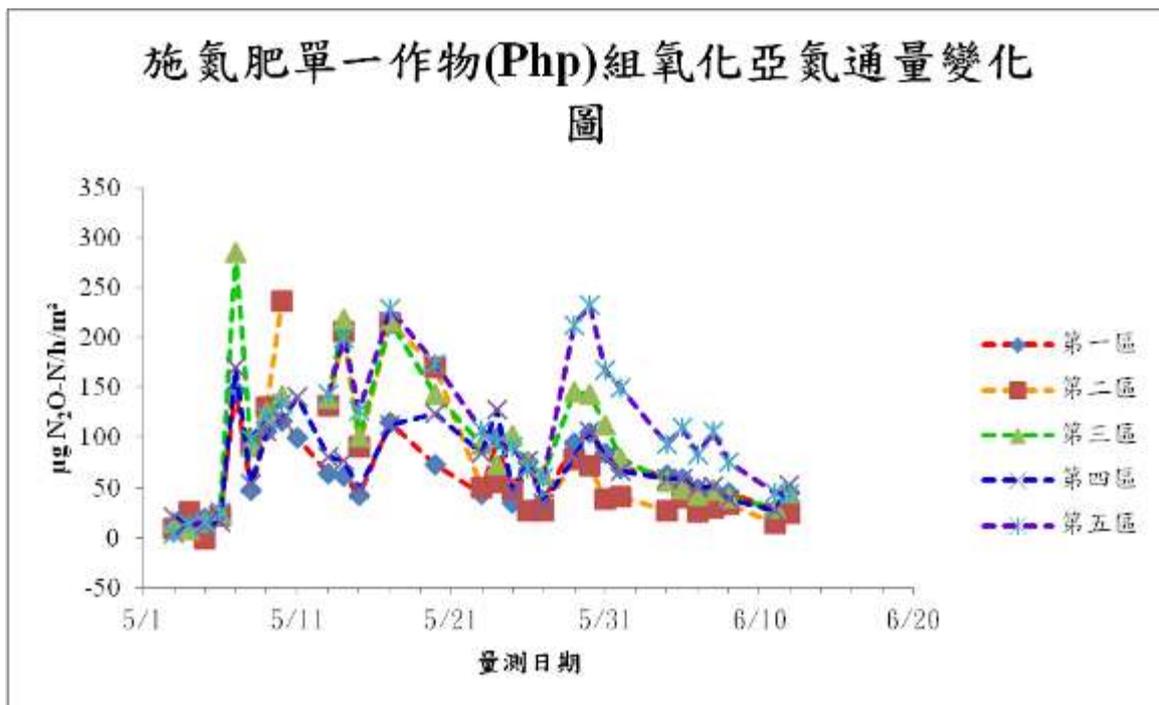
圖二十五、無氮肥單一作物組(Fa)氧化亞氮通量變化圖



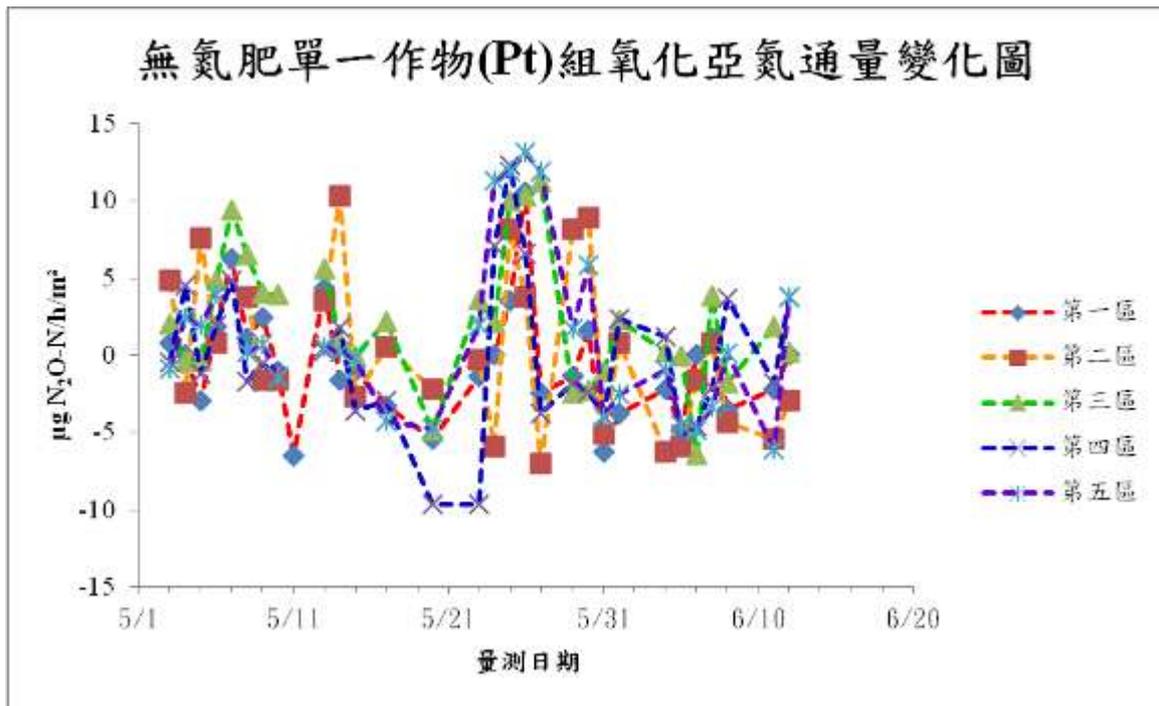
圖二十六、施氮肥單一作物組(Fa)氧化亞氮通量變化圖



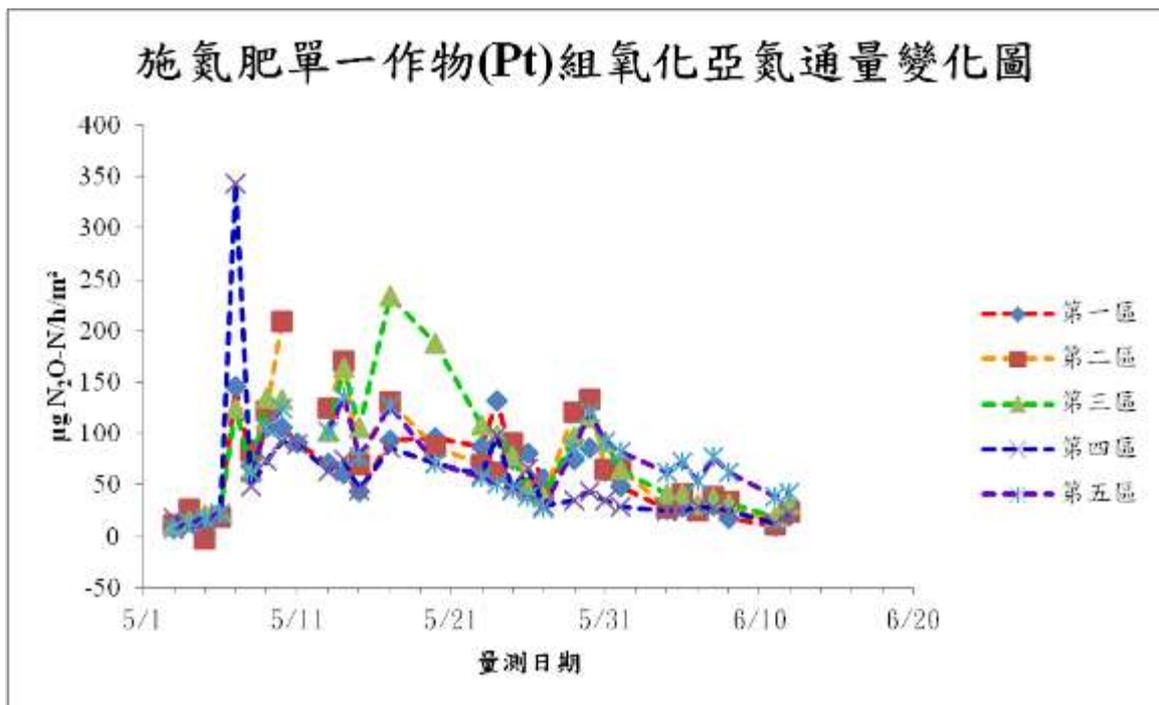
圖二十七、無氮肥單一作物組(Php)氧化亞氮通量變化圖



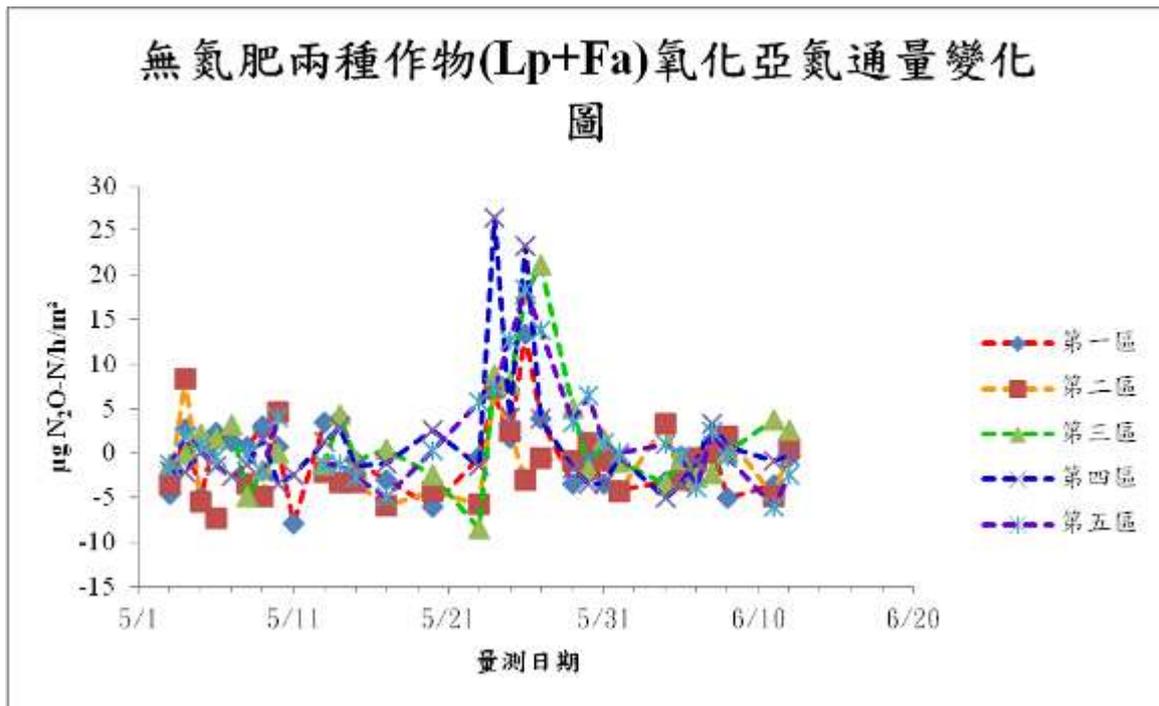
圖二十八、施氮肥單一作物組(Php)氧化亞氮通量變化圖



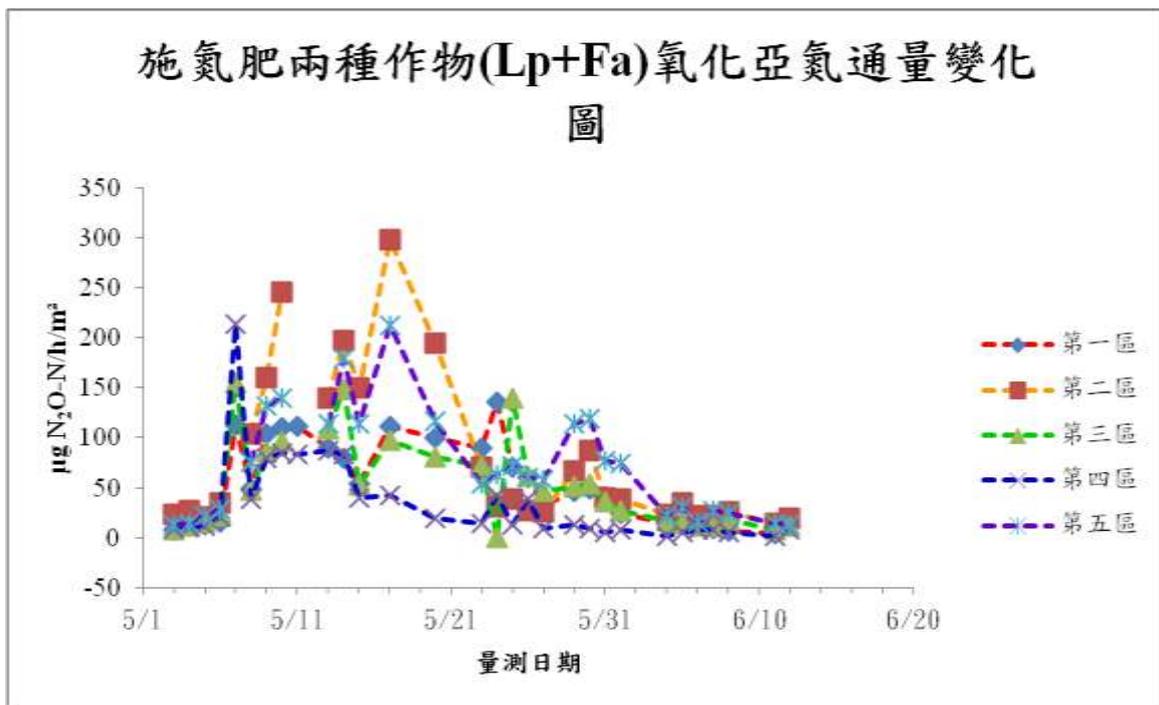
圖二十九、無氮肥單一作物組(Pt)氧化亞氮通量變化圖



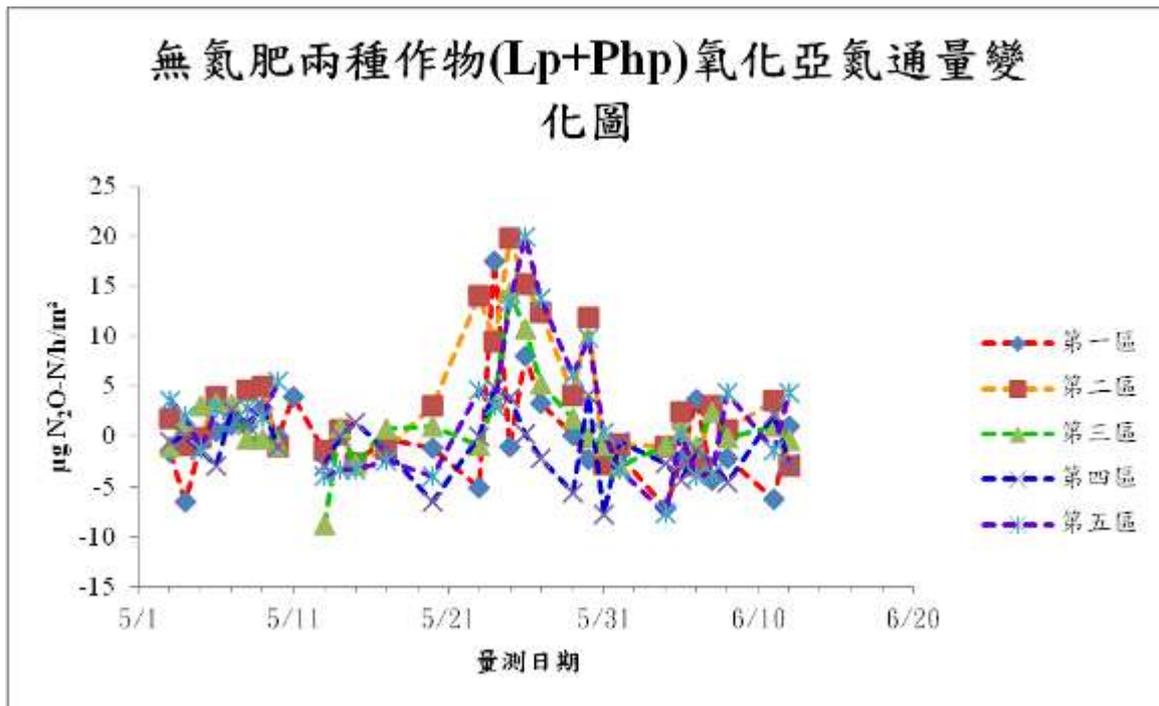
圖三十、施氮肥單一作物組(Pt)氧化亞氮通量變化圖



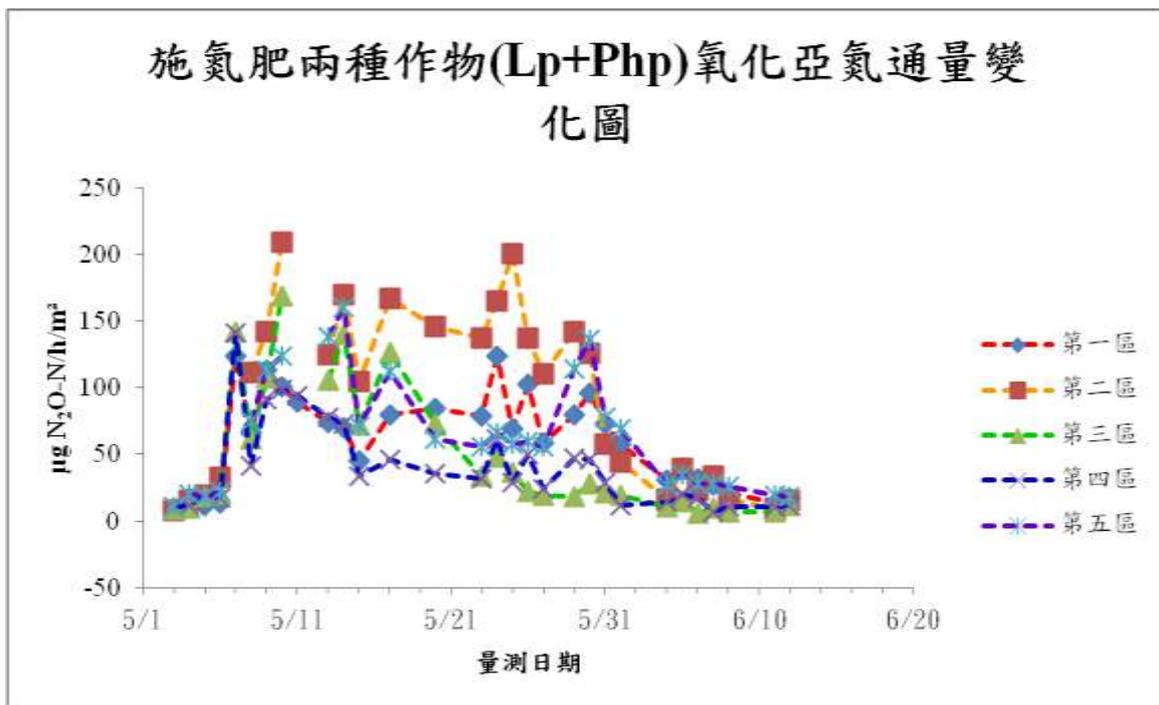
圖三十一、無氮肥兩種作物組(Lp+Fa)氧化亞氮通量變化圖



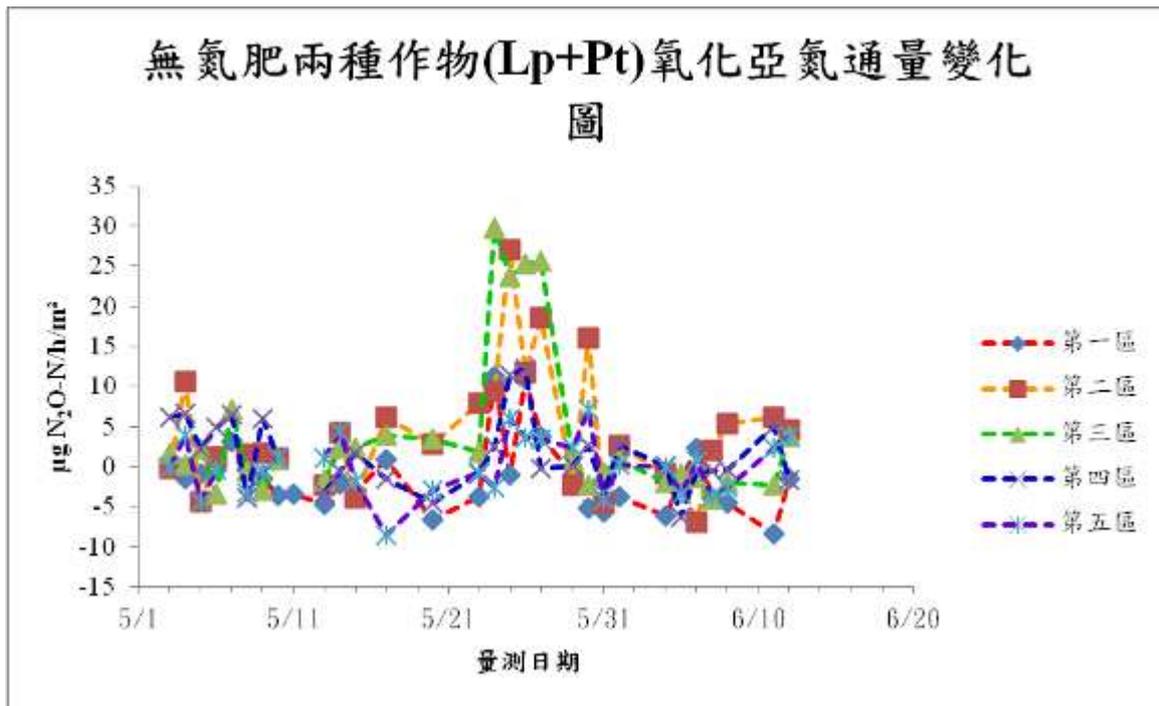
圖三十二、施氮肥兩種作物組(Lp+Fa)氧化亞氮通量變化圖



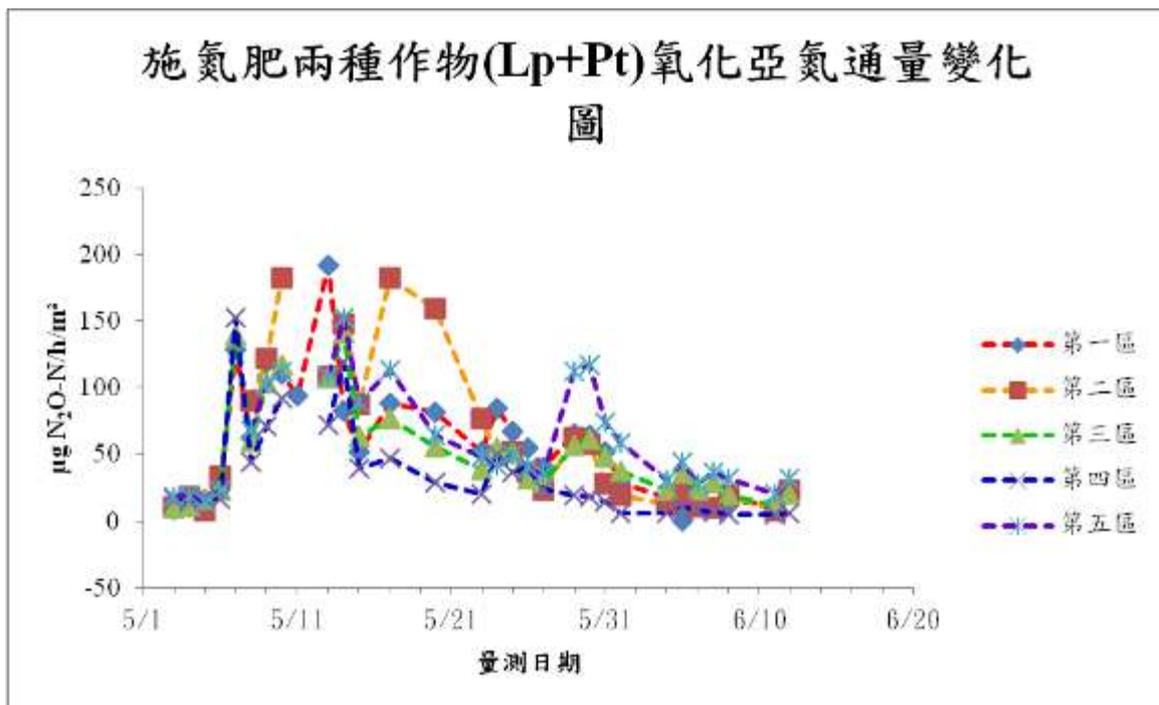
圖三十三、無氮肥兩種作物組(Lp+Php)氧化亞氮通量變化圖



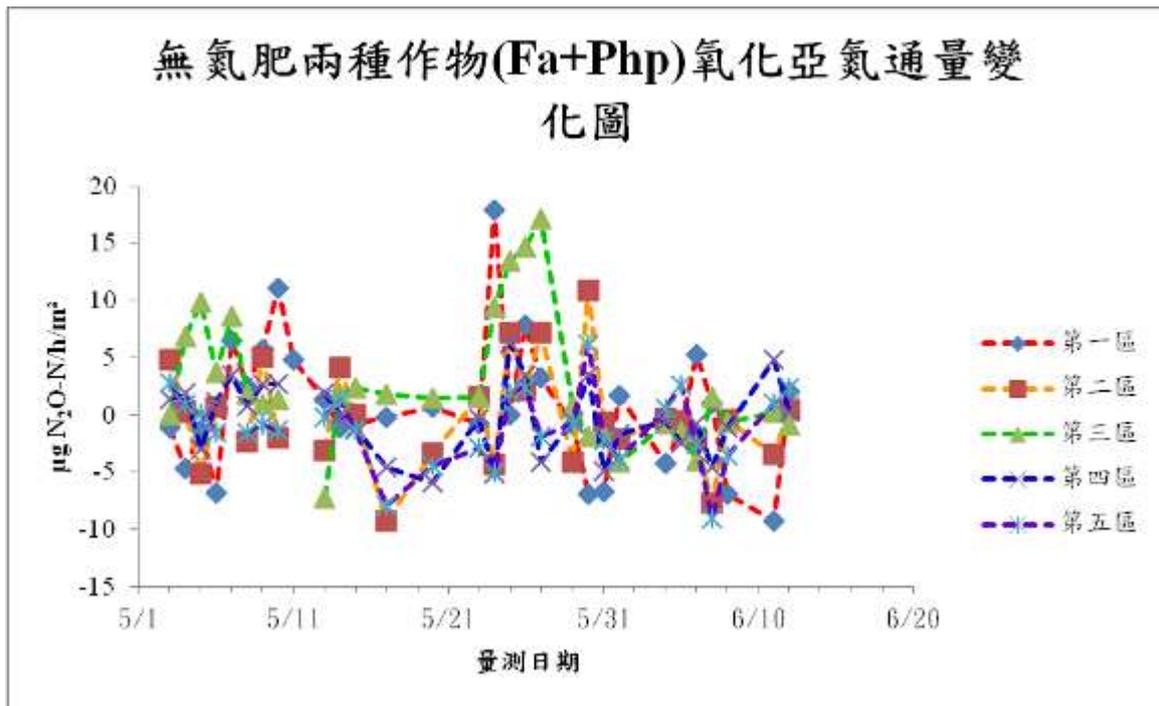
圖三十四、施氮肥兩種作物組(Lp+Php)氧化亞氮通量變化圖



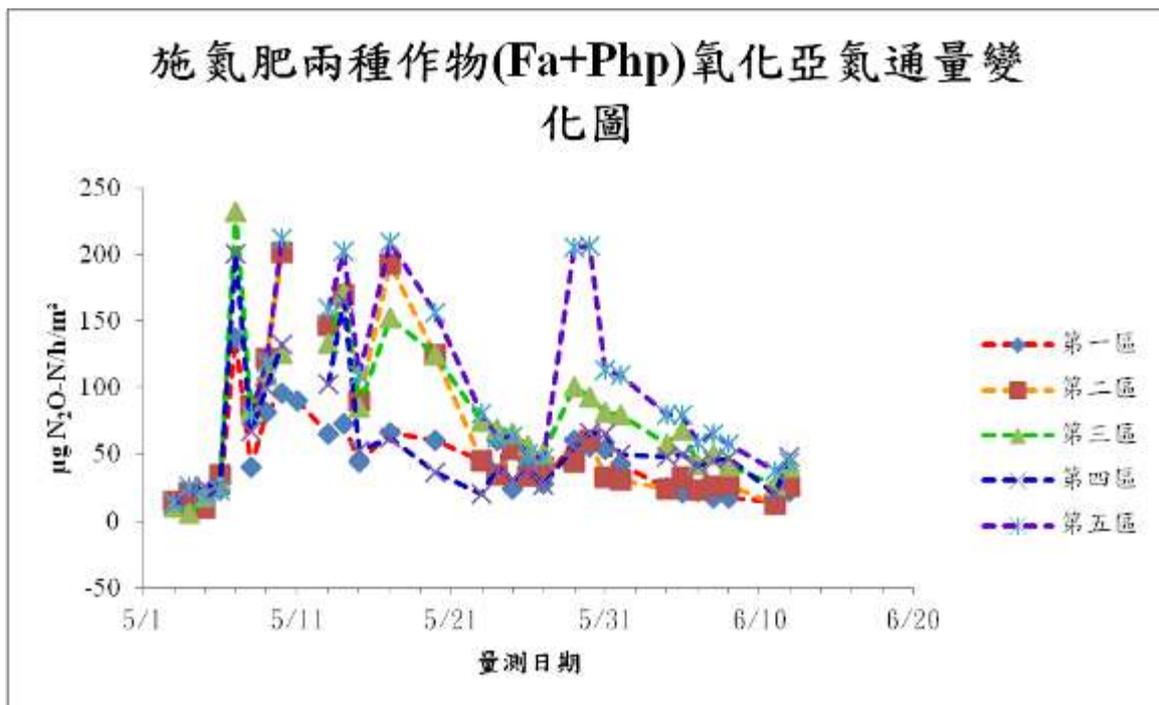
圖三十五、無氮肥兩種作物組(Lp+Pt)氧化亞氮通量變化圖



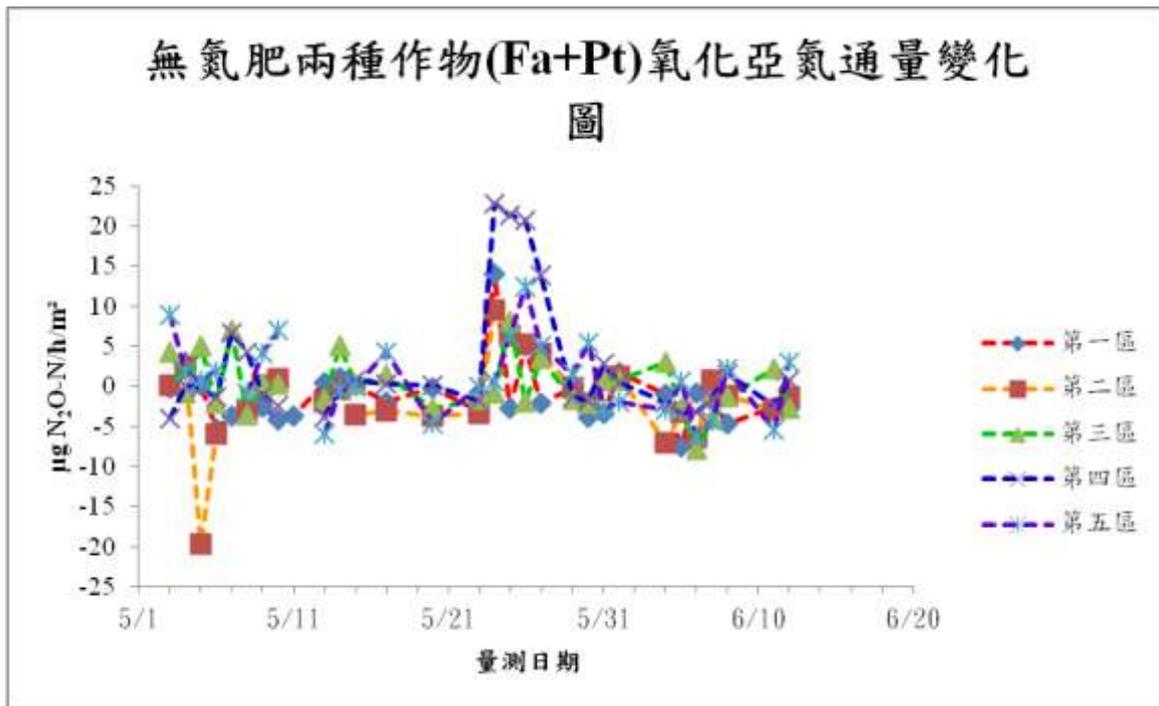
圖三十六、施氮肥兩種作物組(Lp+Pt)氧化亞氮通量變化圖



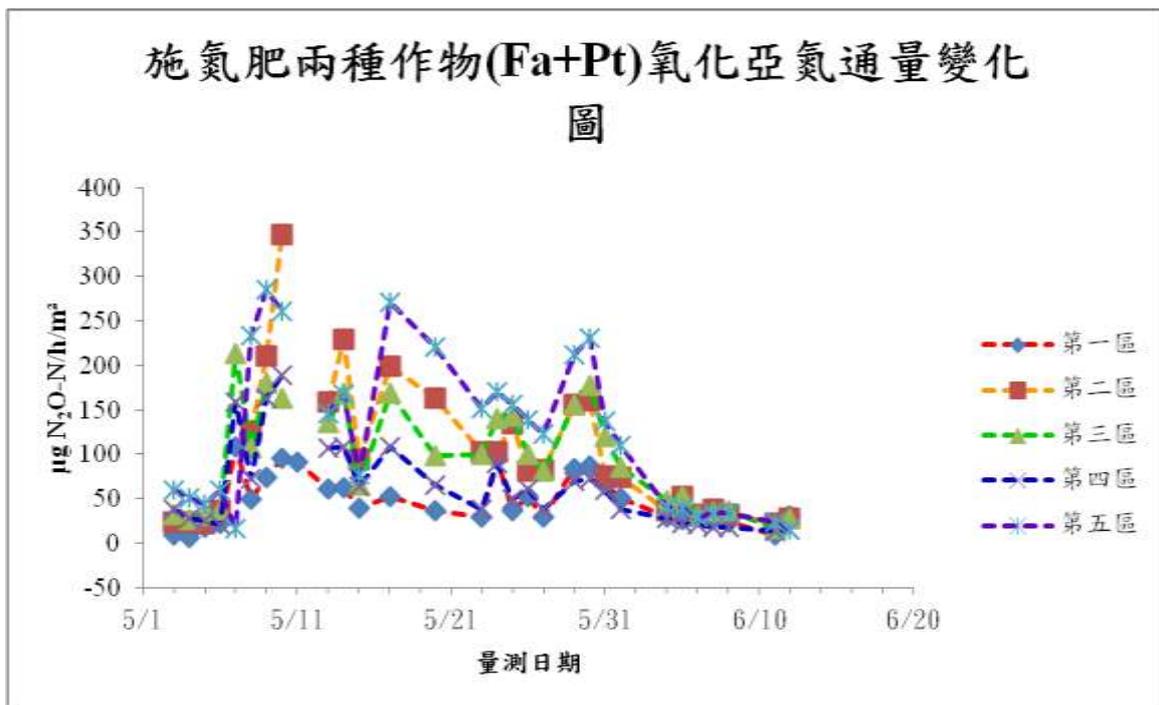
圖三十七、無氮肥兩種作物組(Fa+Php)氧化亞氮通量變化圖



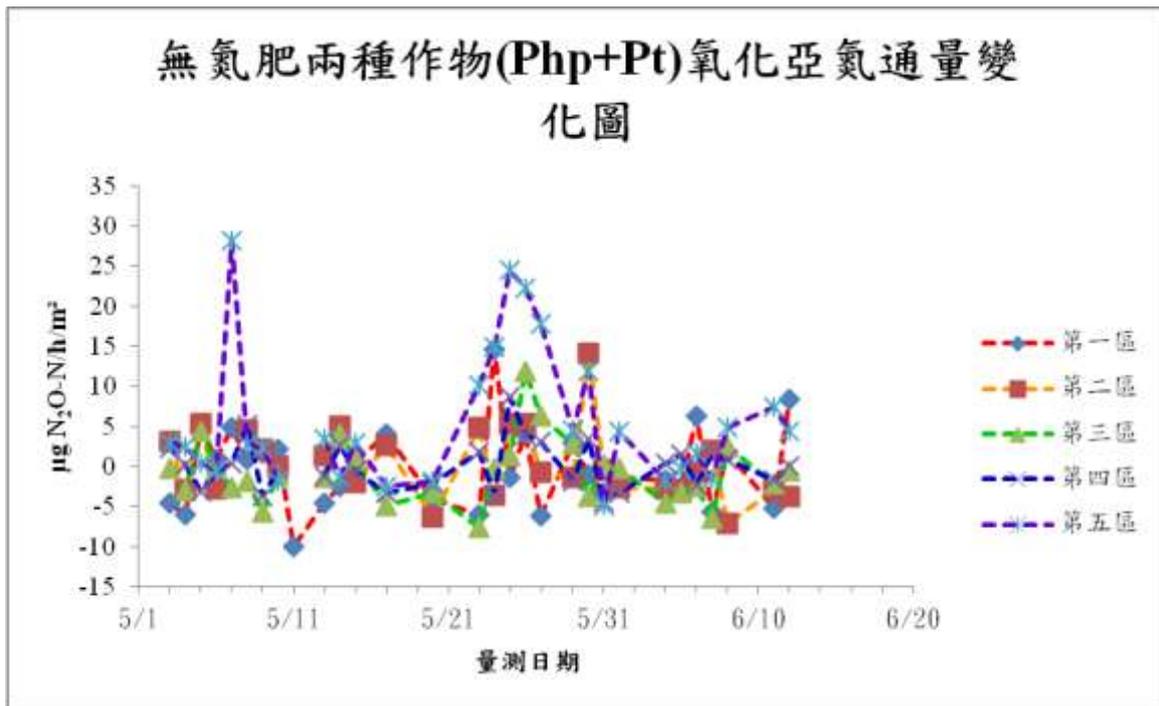
圖三十八、施氮肥兩種作物組(Fa+Php)氧化亞氮通量變化圖



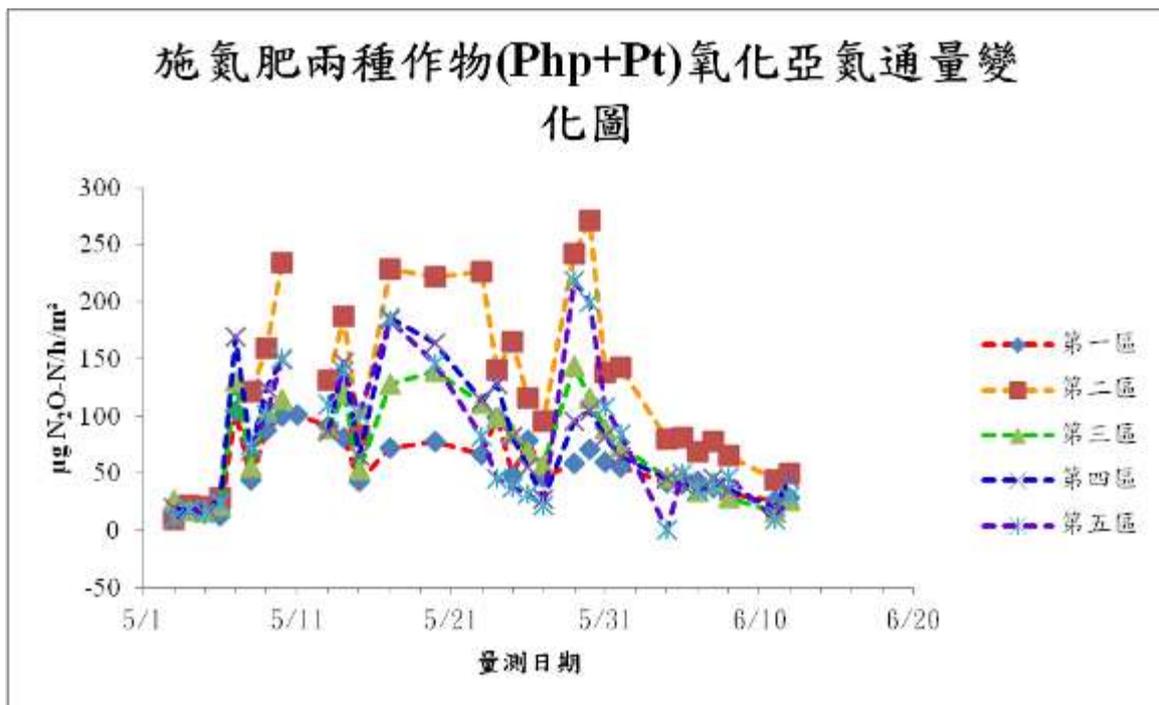
圖三十九、無氮肥兩種作物組(Fa+Pt)氧化亞氮通量變化圖



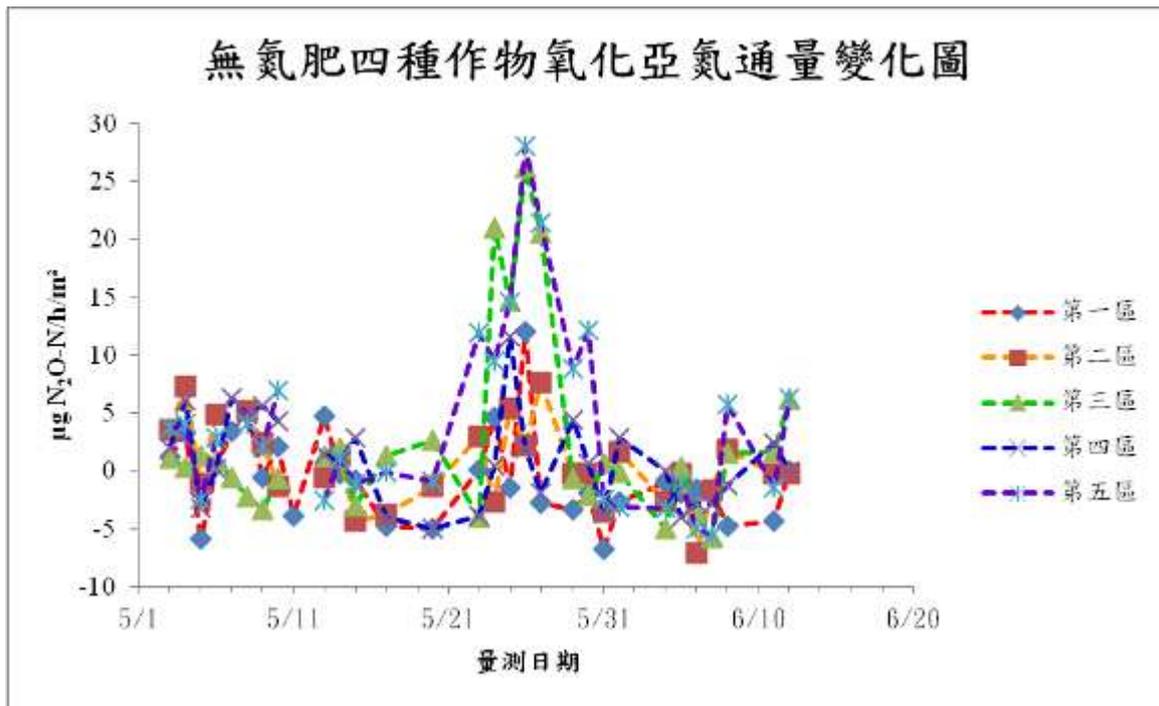
圖四十、施氮肥兩種作物組(Fa+Pt)氧化亞氮通量變化圖



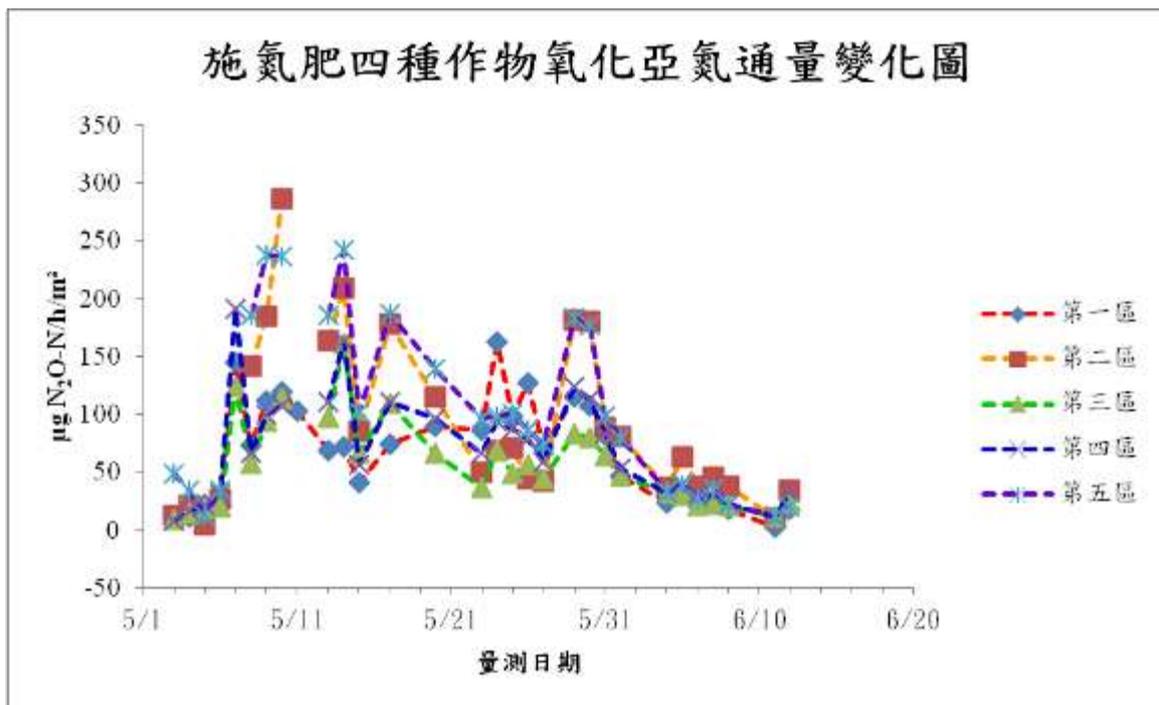
圖四十一、無氮肥兩種作物組(Php+Pt)氧化亞氮通量變化圖



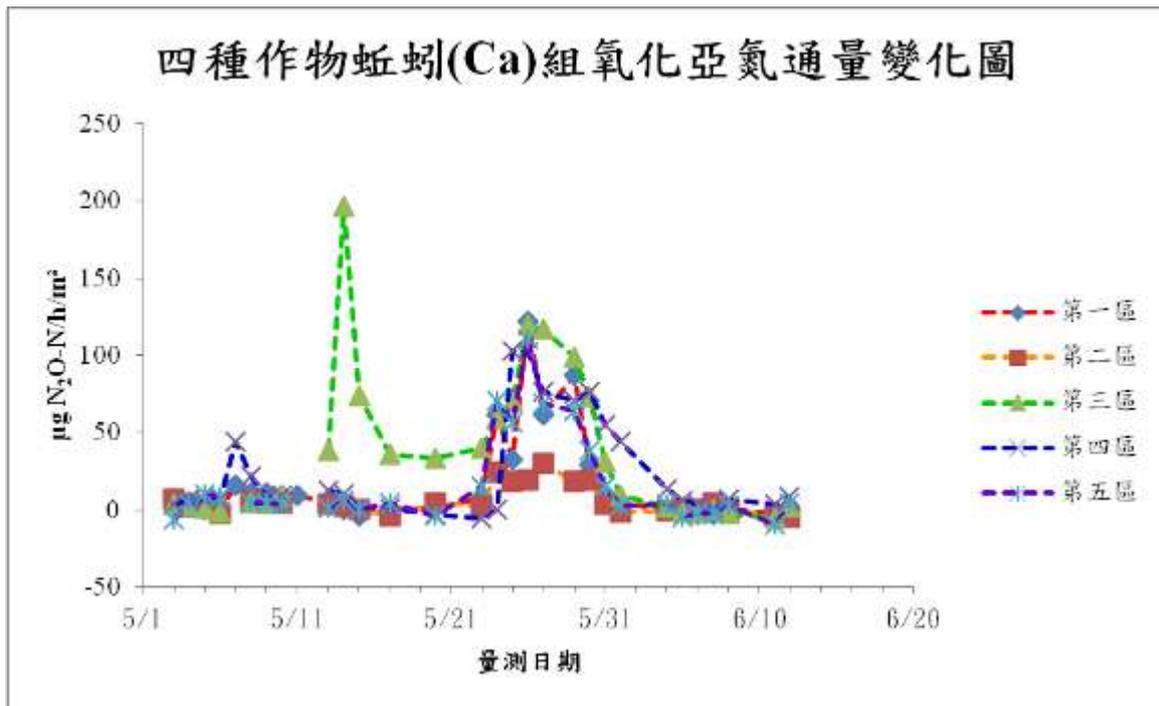
圖四十二、施氮肥兩種作物組(Php+Pt)氧化亞氮通量變化圖



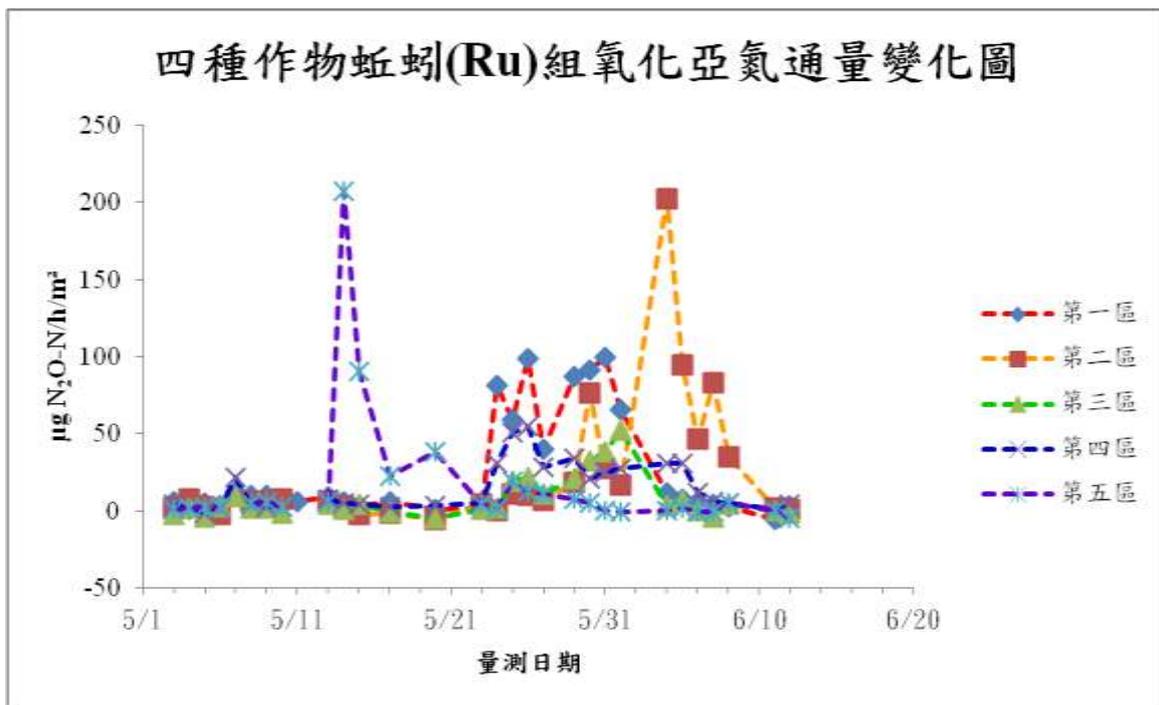
圖四十三、無氮肥四種作物組氧化亞氮通量變化圖



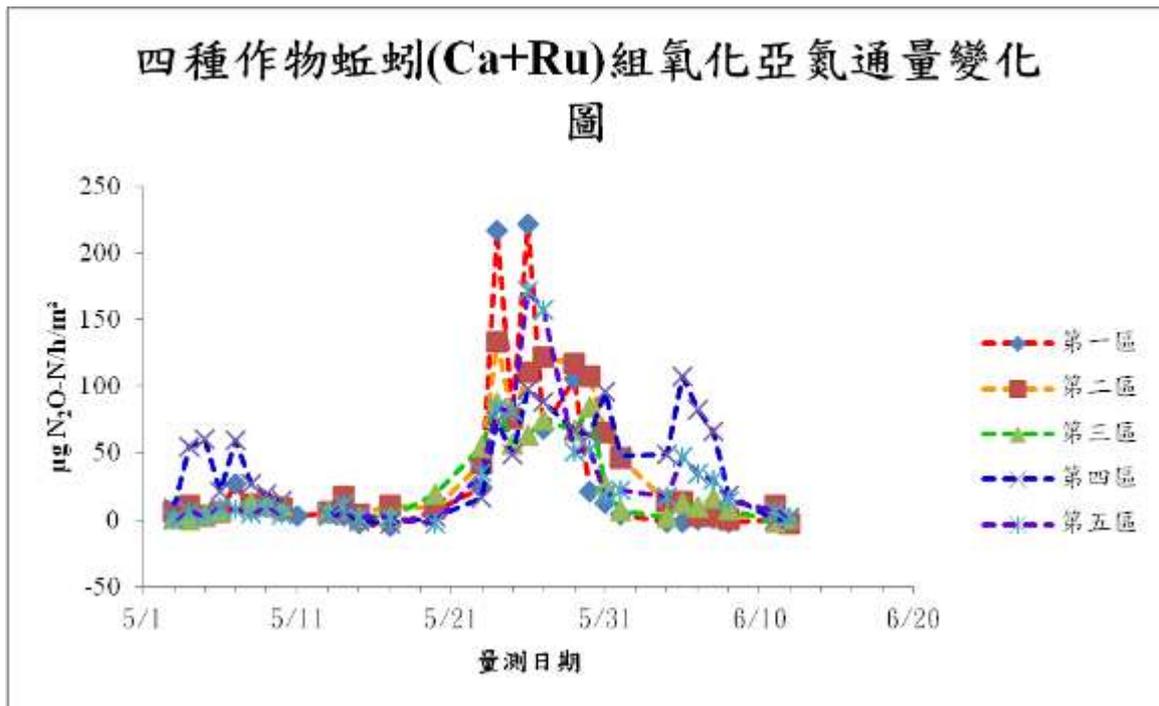
圖四十四、施氮肥四種作物組氧化亞氮通量變化圖



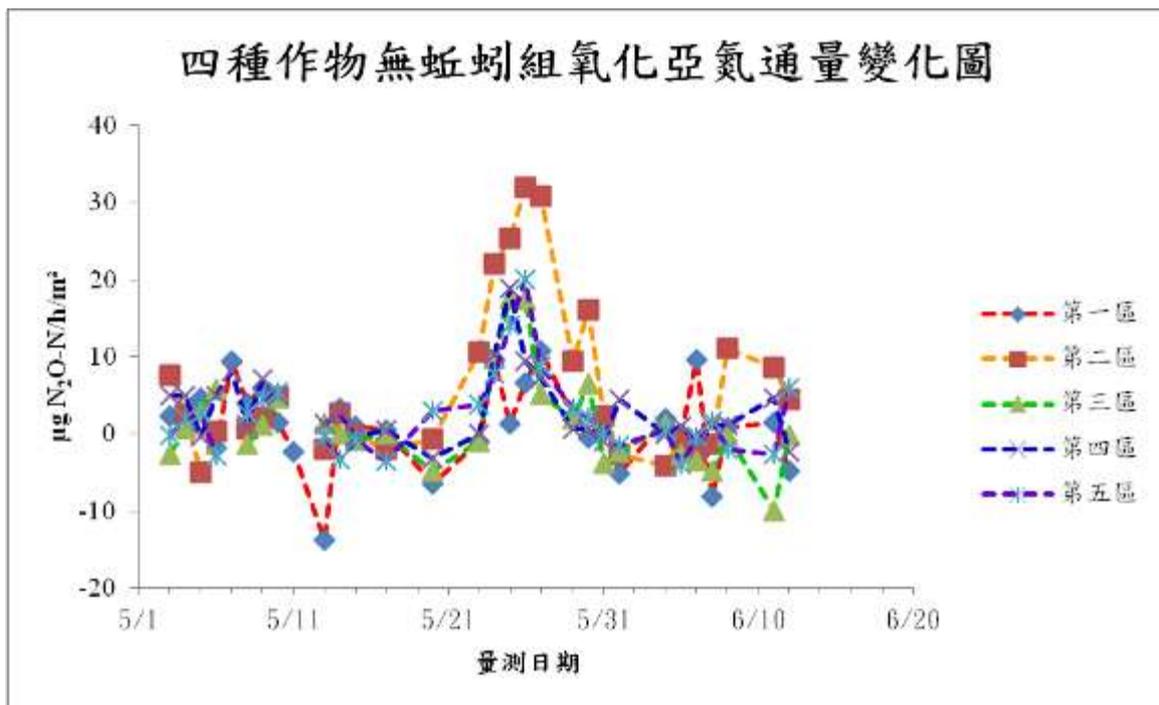
圖四十五、四種作物蚯蚓(Ca)組氧化亞氮通量變化圖



圖四十六、四種作物蚯蚓(Ru)組氧化亞氮通量變化圖

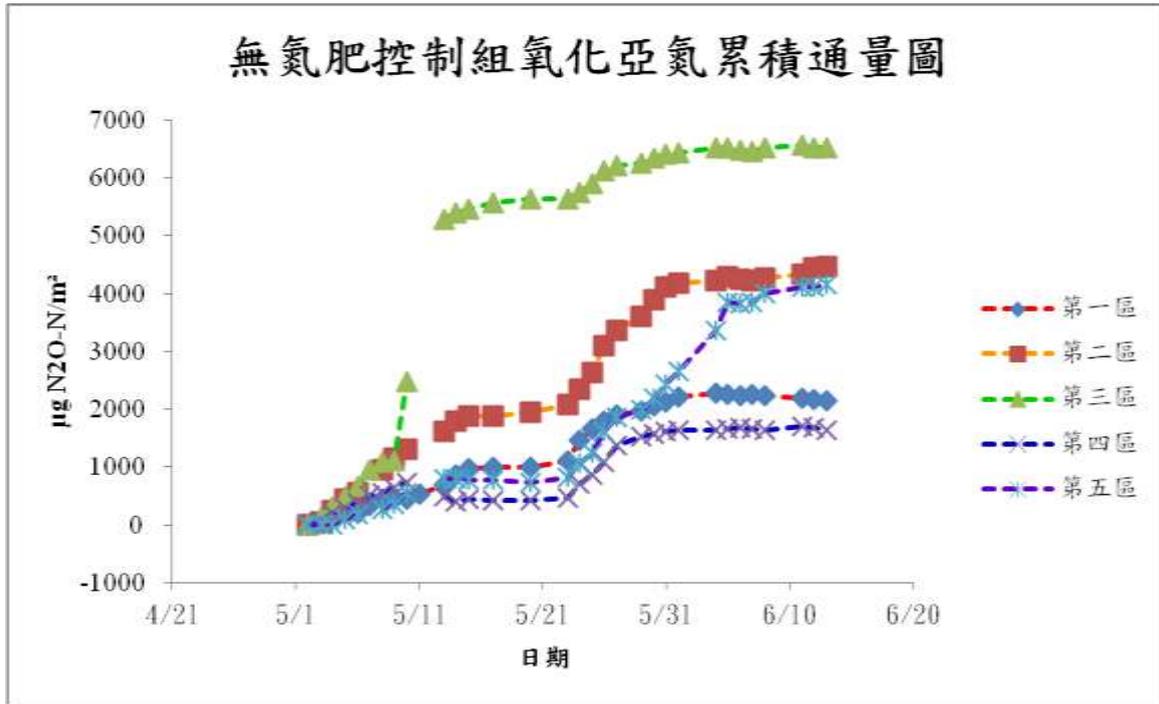


圖四十七、四種作物蚯蚓(Ca+Ru)組氧化亞氮通量變化圖

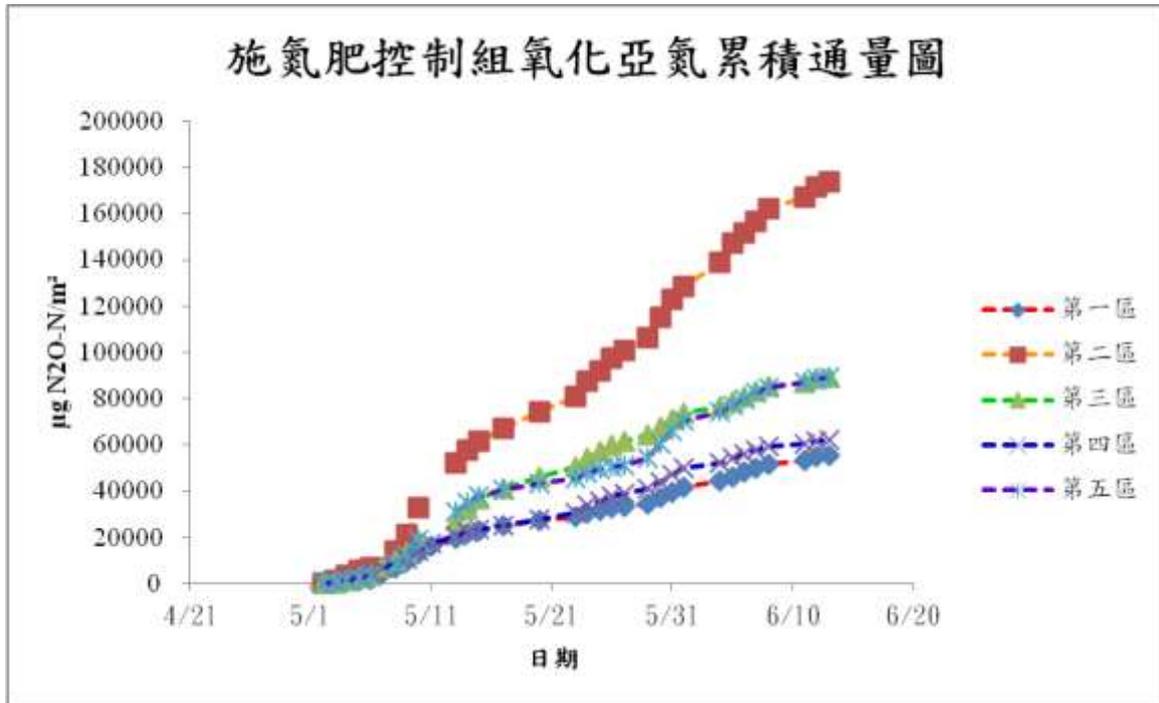


圖四十八、四種作物無蚯蚓組氧化亞氮通量變化圖

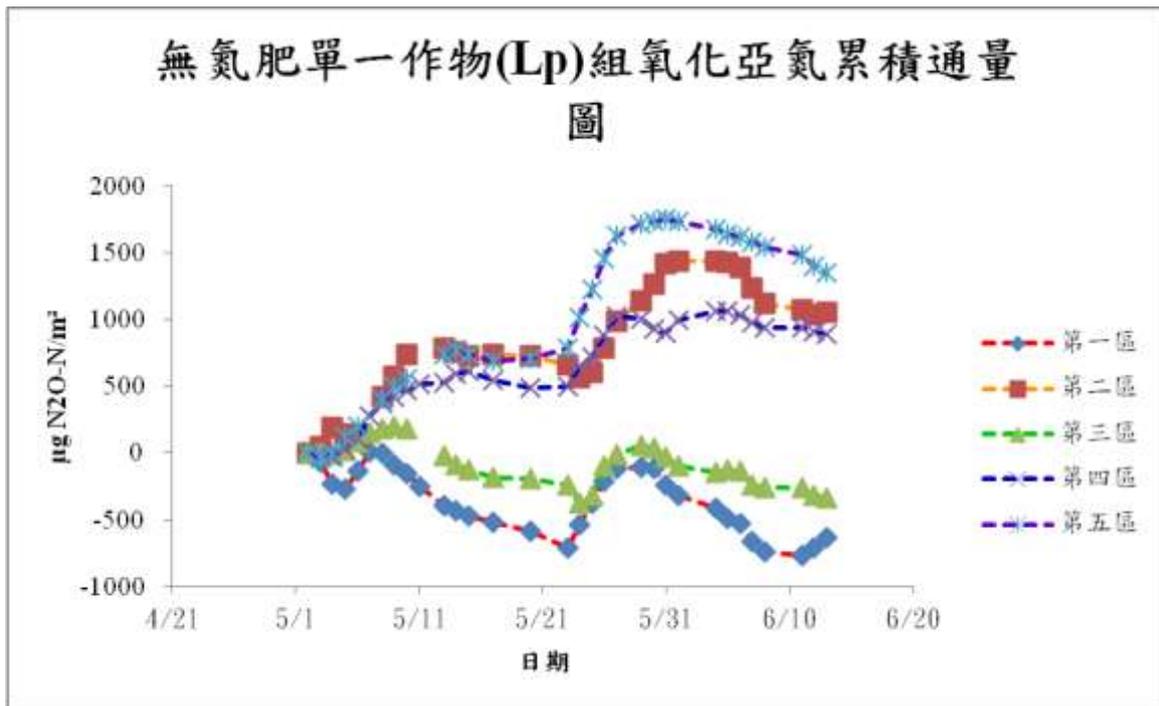
(二) 各處理六週累積通量圖



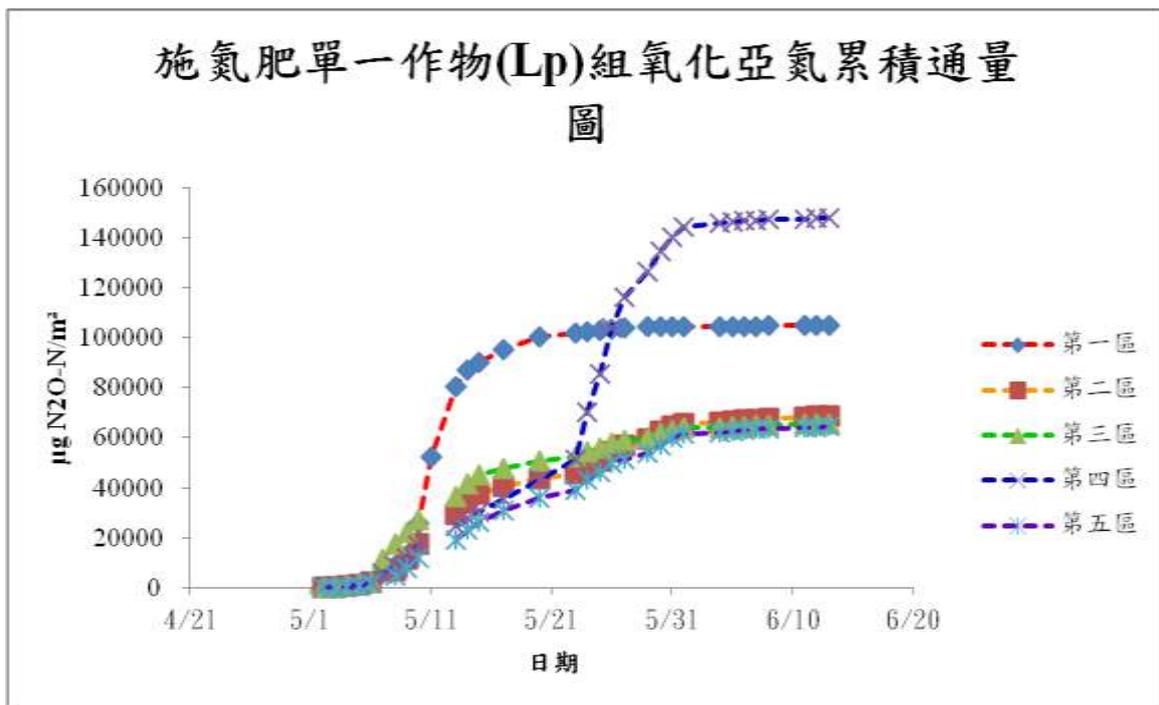
圖四十九、無氮肥控制組氧化亞氮累積通量圖



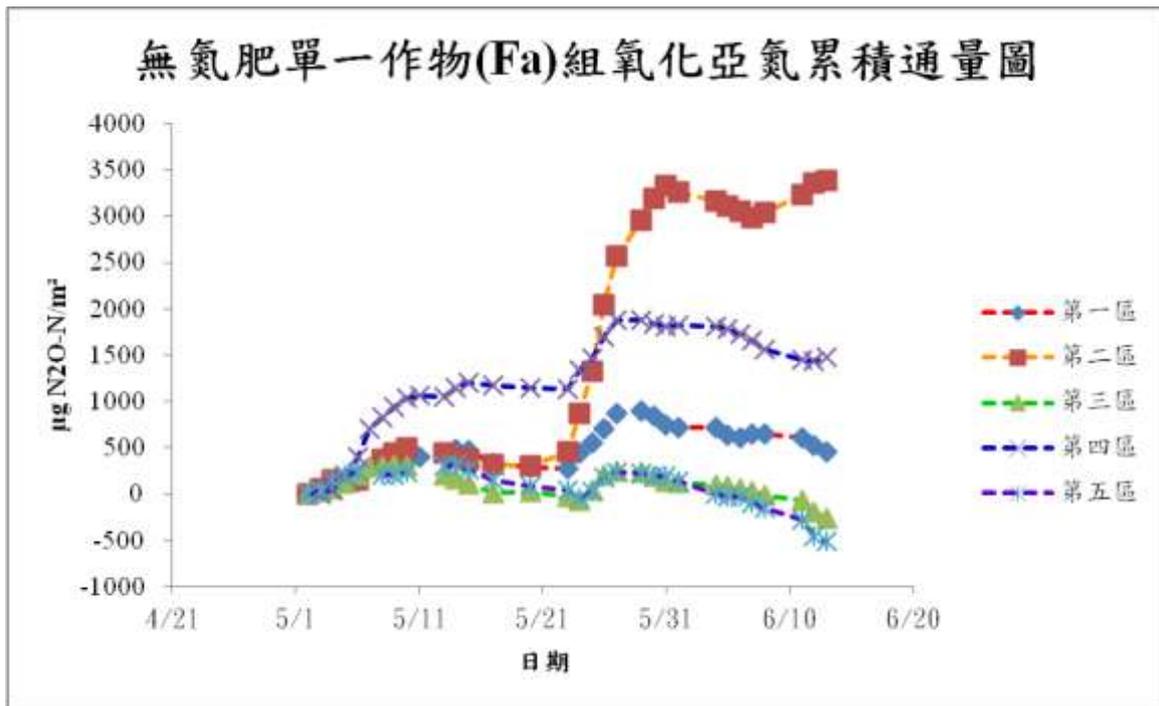
圖五十、施氮肥控制組氧化亞氮累積通量圖



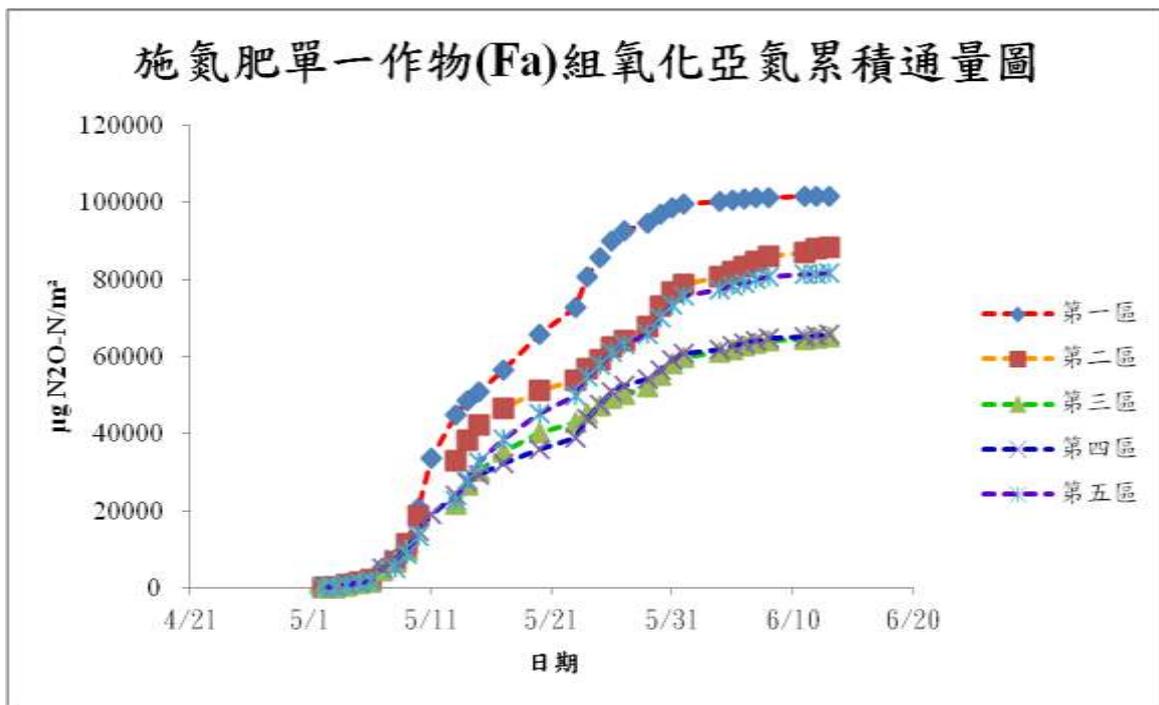
圖五十一、無氮肥單一作物(Lp)組氧化亞氮累積通量圖



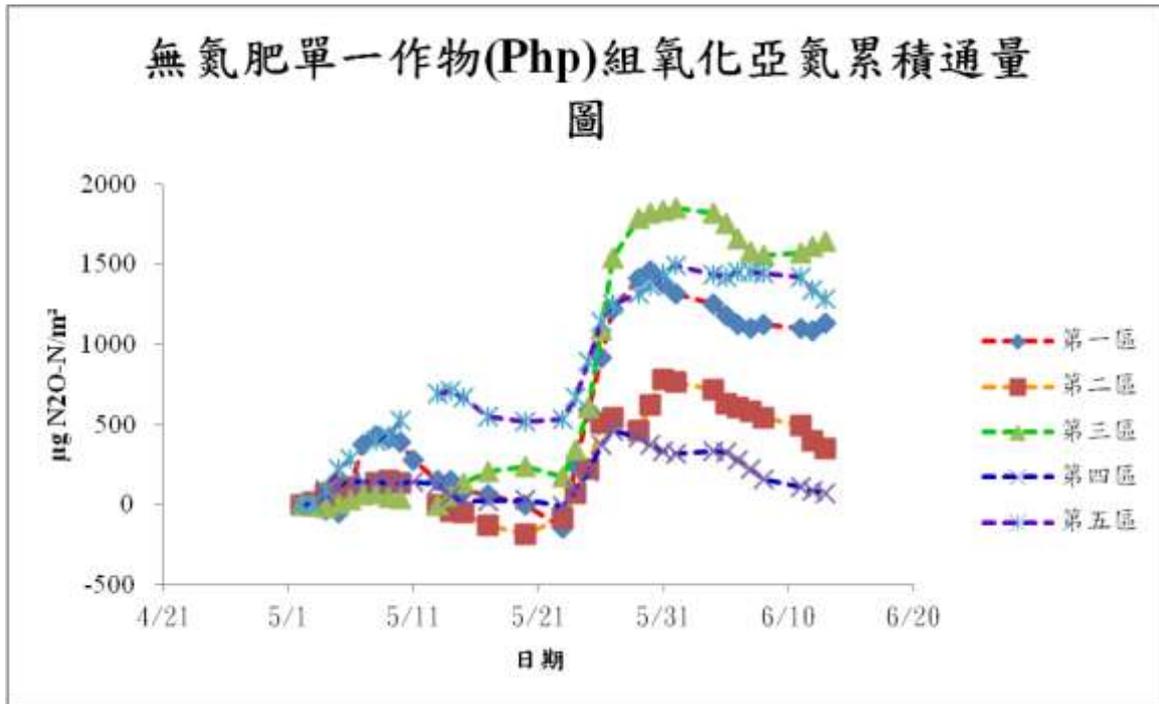
圖五十二、施氮肥單一作物(Lp)組氧化亞氮累積通量圖



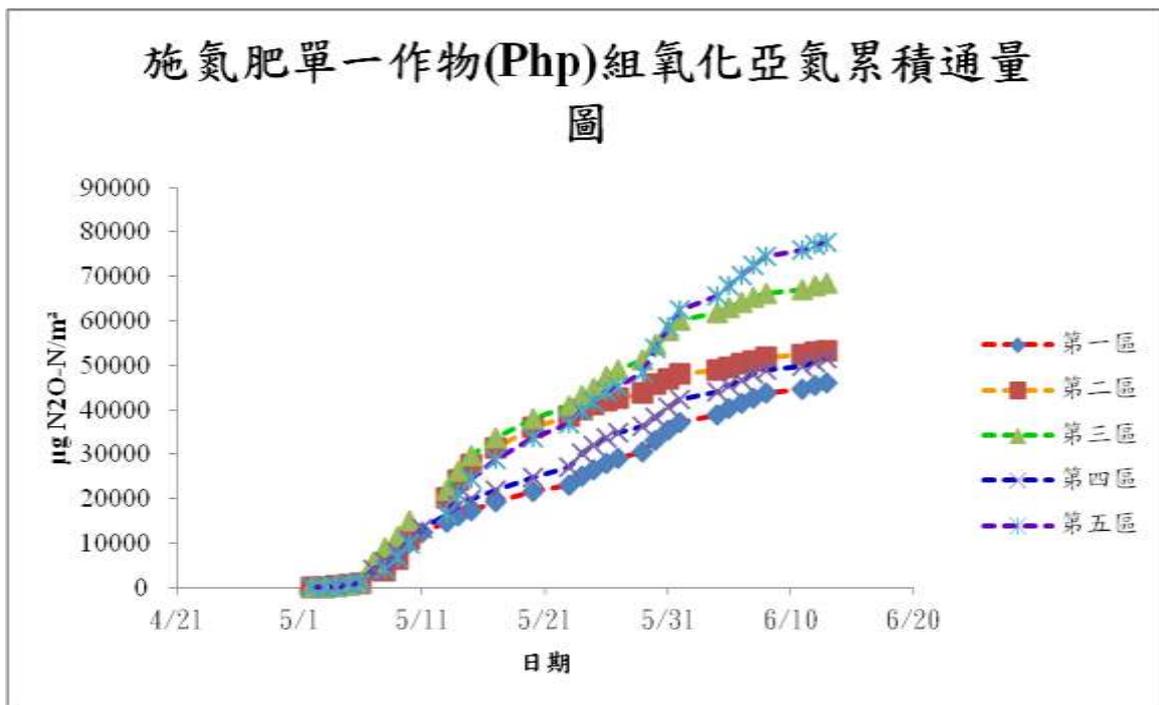
圖五十三、無氮肥單一作物(Fa)組氧化亞氮累積通量圖



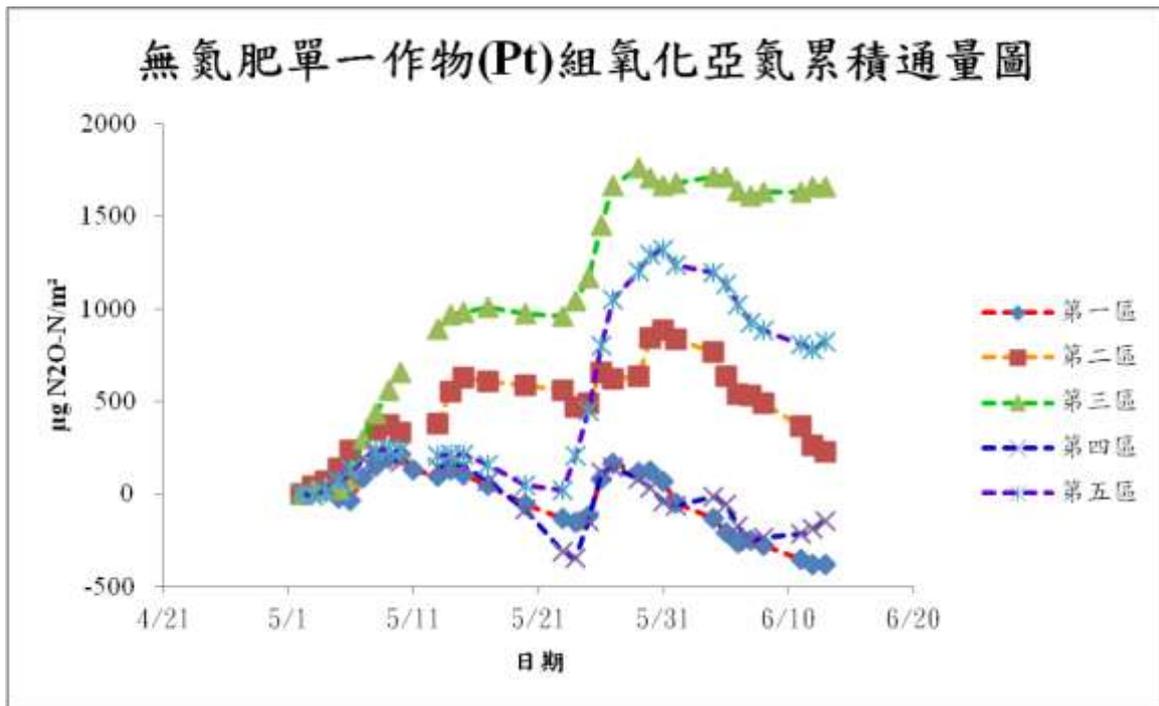
圖五十四、施氮肥單一作物(Fa)組氧化亞氮累積通量圖



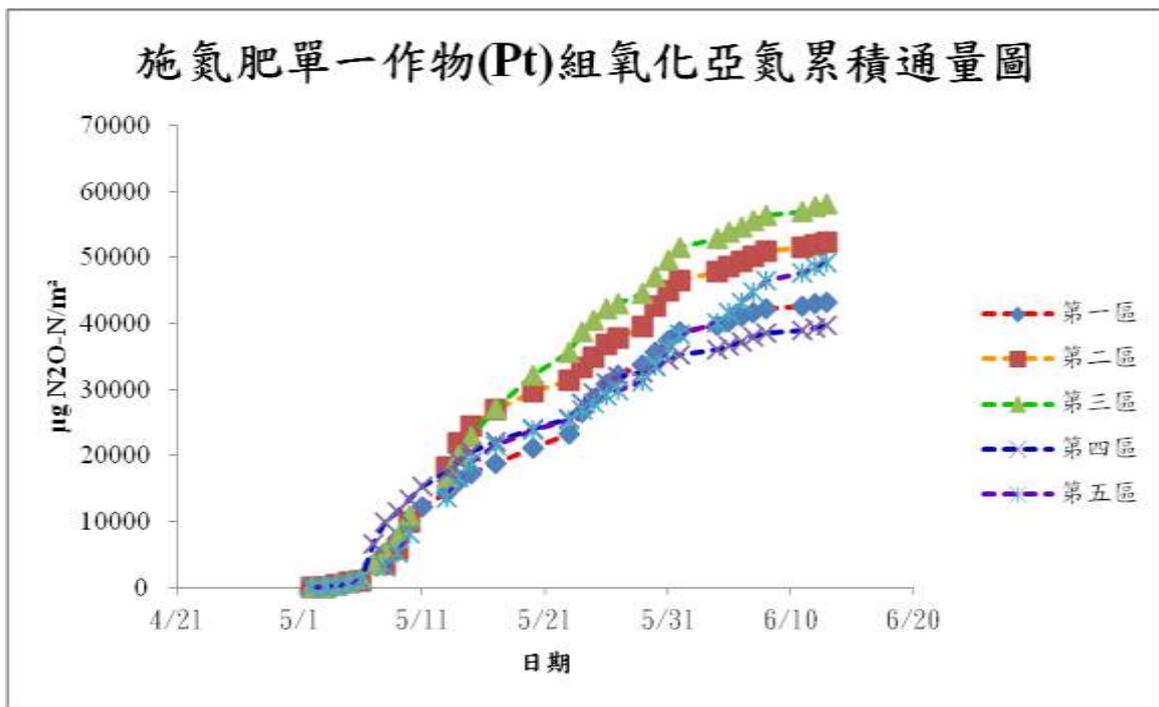
圖五十五、無氮肥單一作物(Php)組氧化亞氮累積通量圖



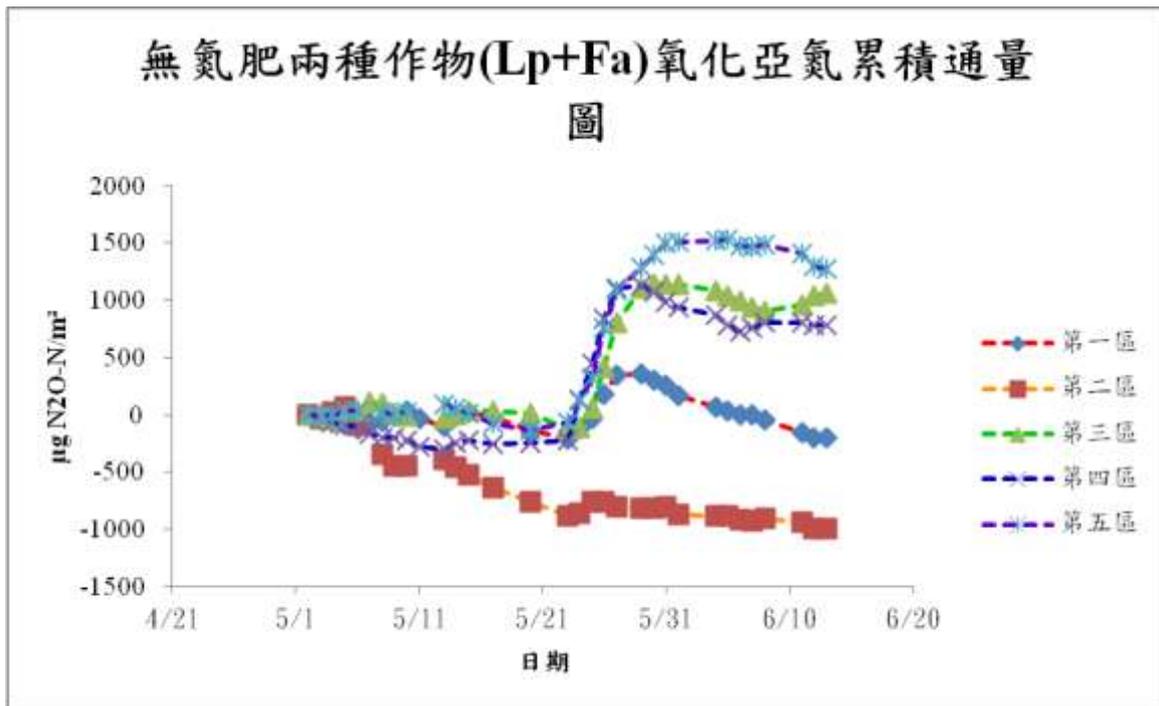
圖五十六、施氮肥單一作物(Php)組氧化亞氮累積通量圖



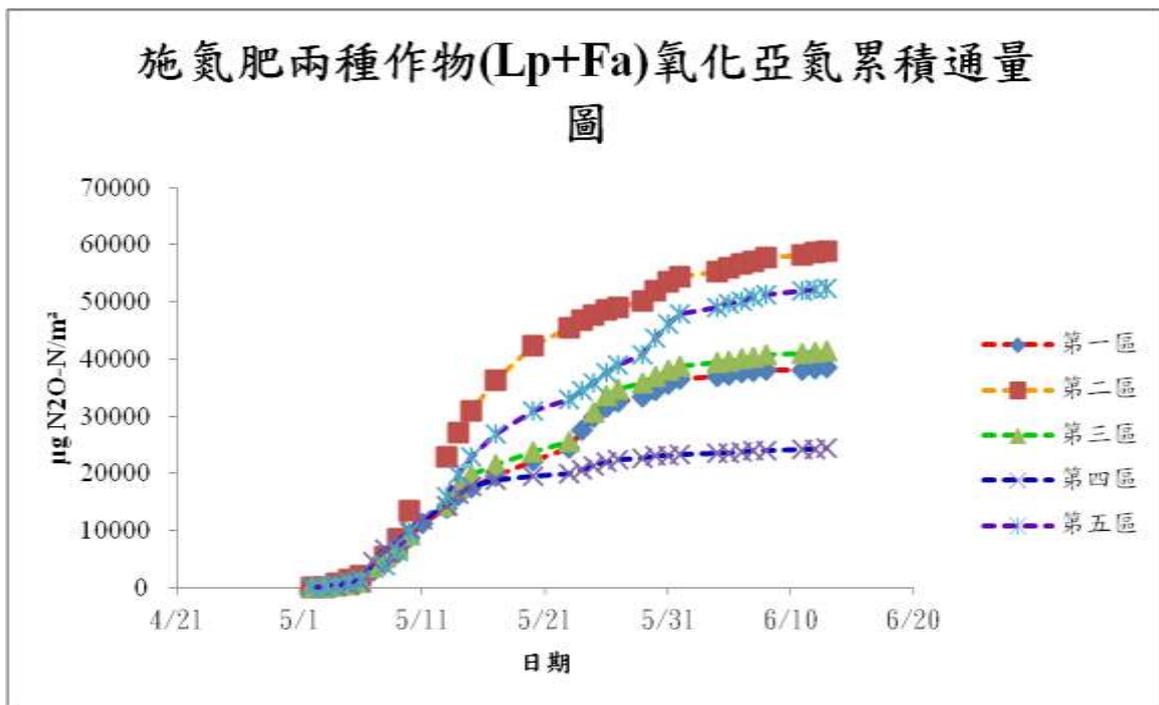
圖五十七、無氮肥單一作物(Pt)組氧化亞氮累積通量圖



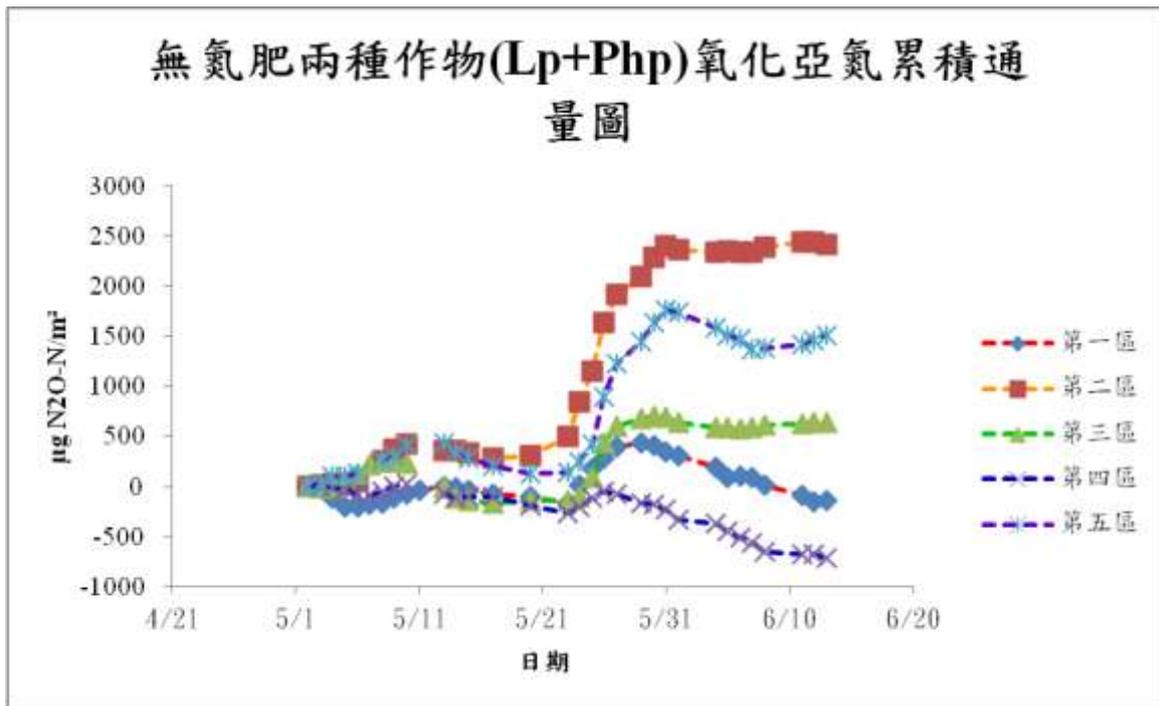
圖五十八、施氮肥單一作物(Pt)組氧化亞氮累積通量圖



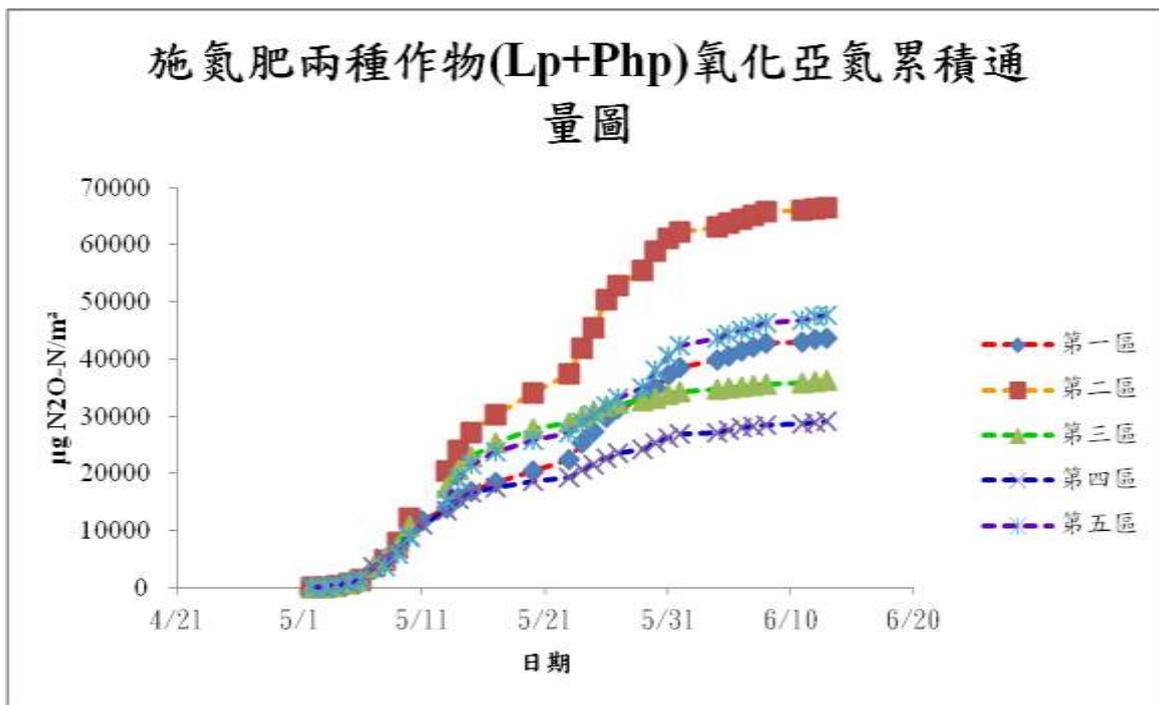
圖五十九、無氮肥兩種作物(Lp+Fa)組氧化亞氮累積通量圖



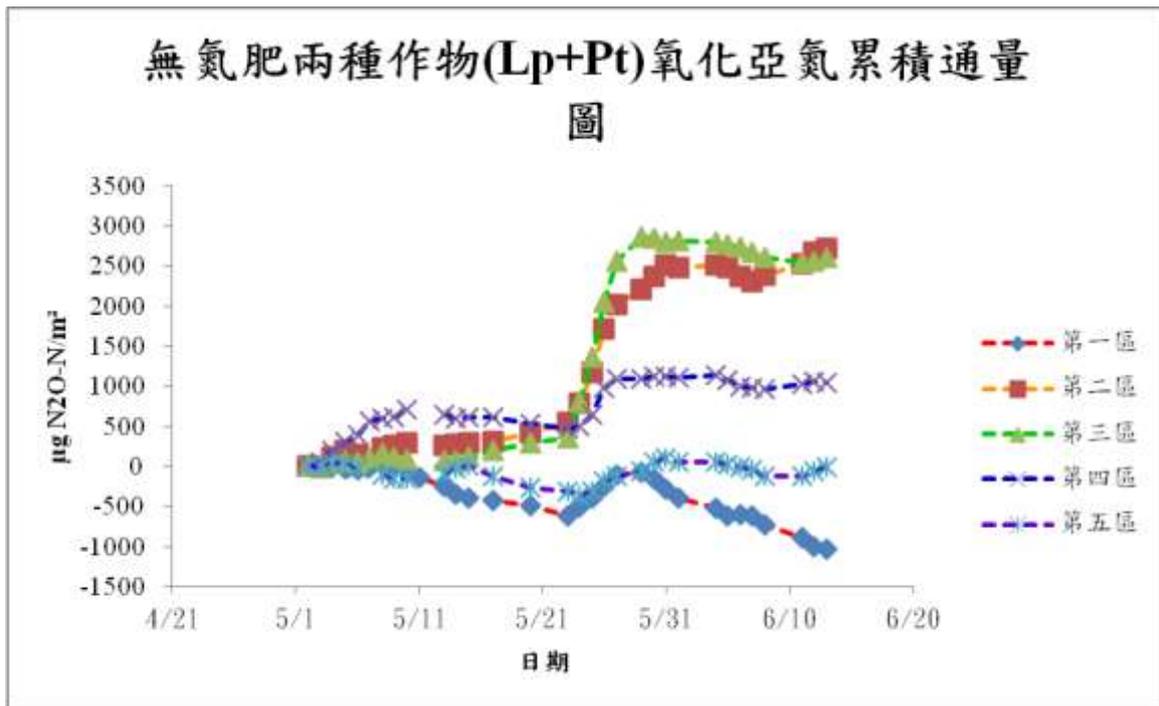
圖六十、施氮肥兩種作物(Lp+Fa)組氧化亞氮累積通量圖



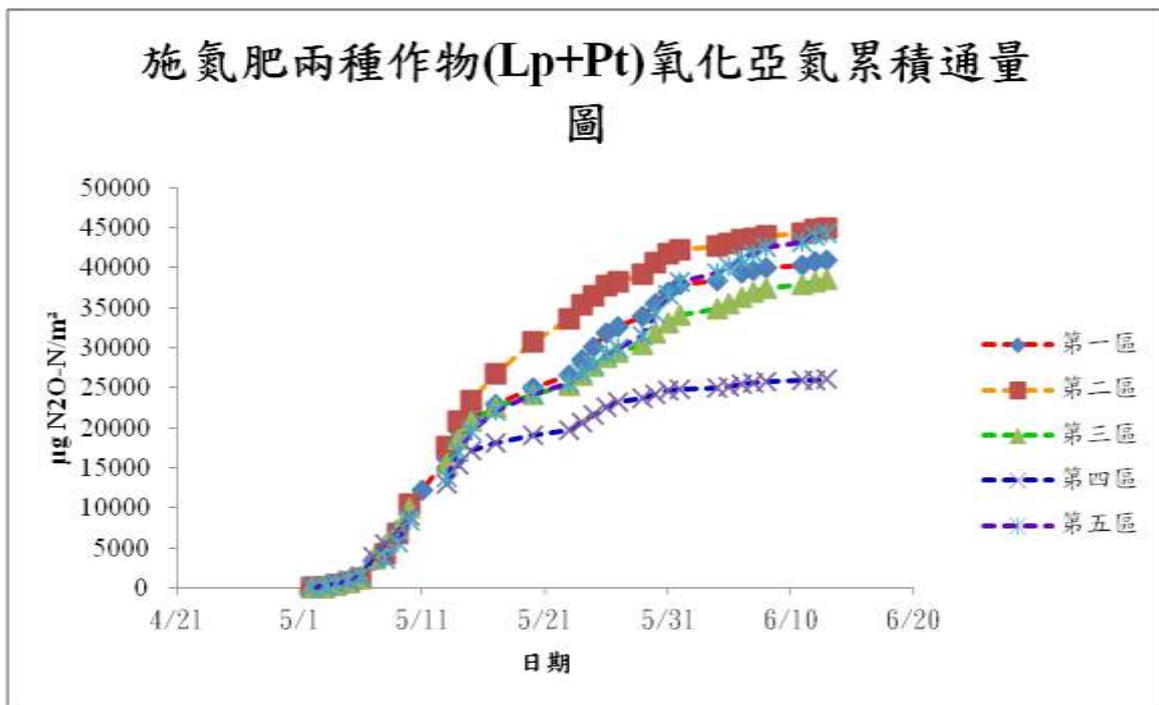
圖六十一、無氮肥兩種作物(Lp+Php)組氧化亞氮累積通量圖



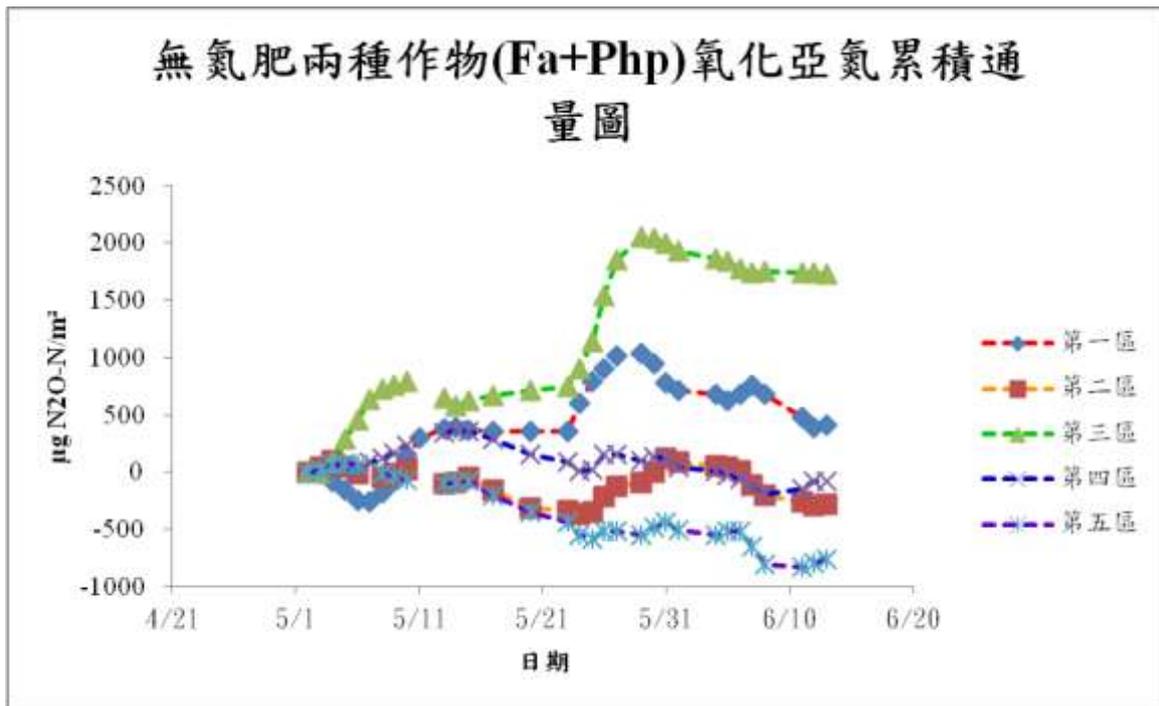
圖六十二、施氮肥兩種作物(Lp+Php)組氧化亞氮累積通量圖



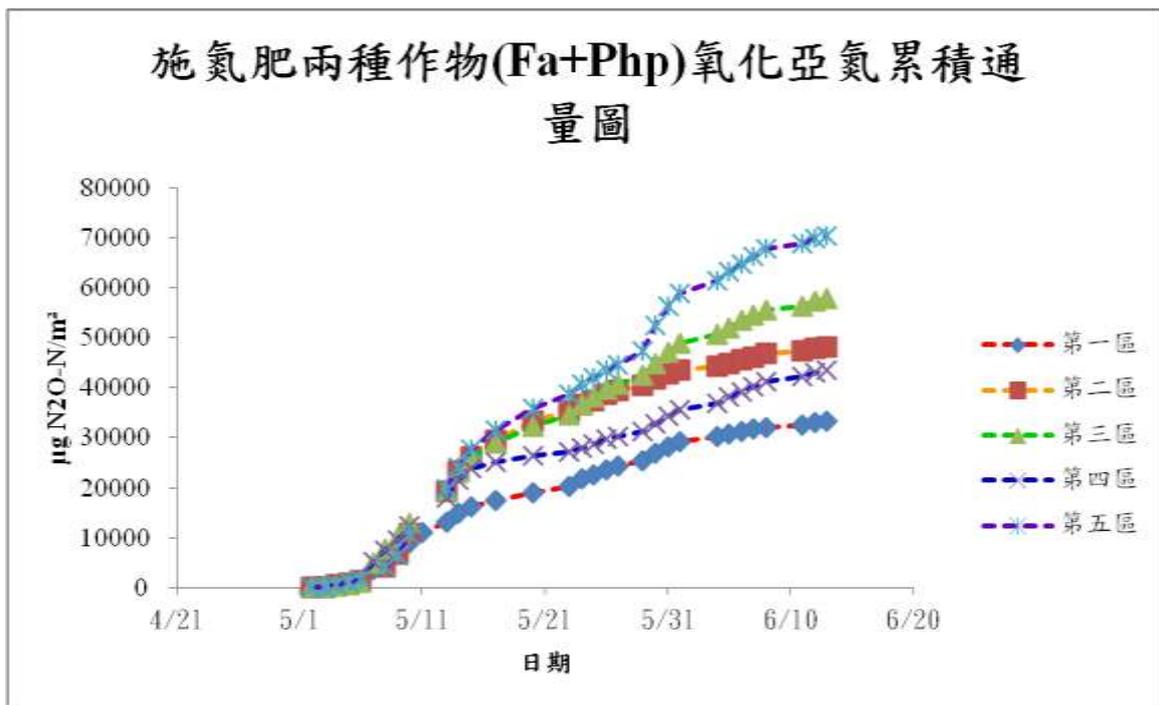
圖六十三、無氮肥兩種作物(Lp+Pt)組氧化亞氮累積通量圖



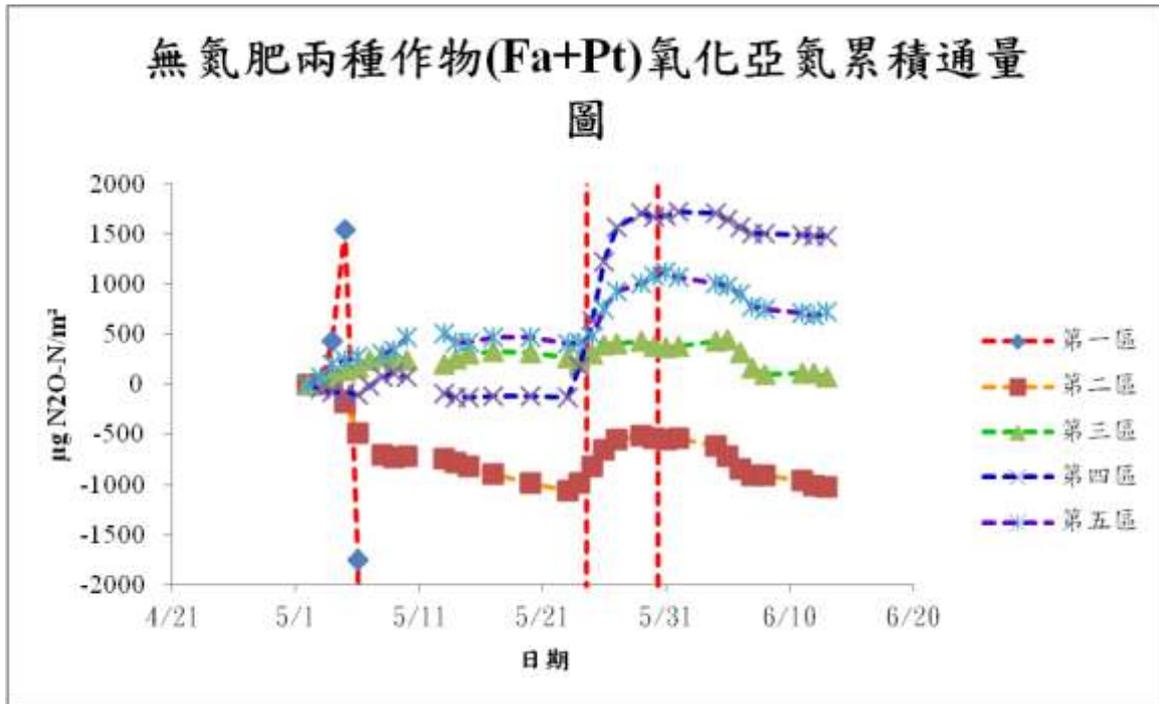
圖六十四、施氮肥兩種作物(Lp+Pt)組氧化亞氮累積通量圖



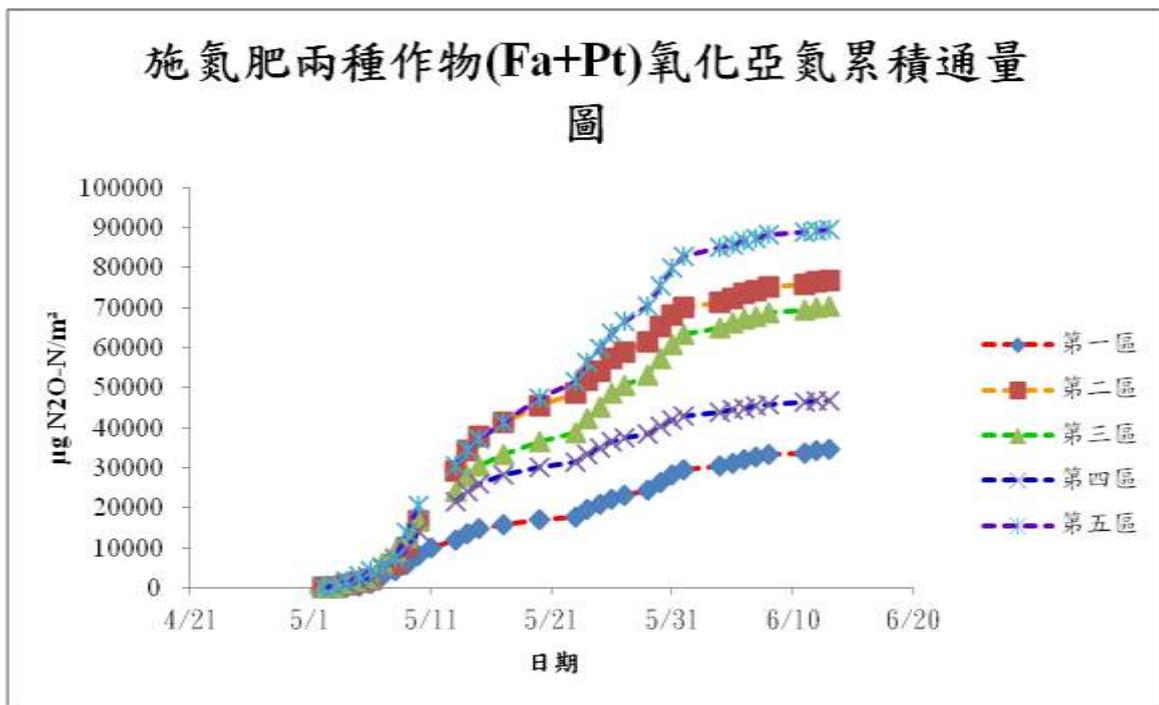
圖六十五、無氮肥兩種作物(Fa+Php)組氧化亞氮累積通量圖



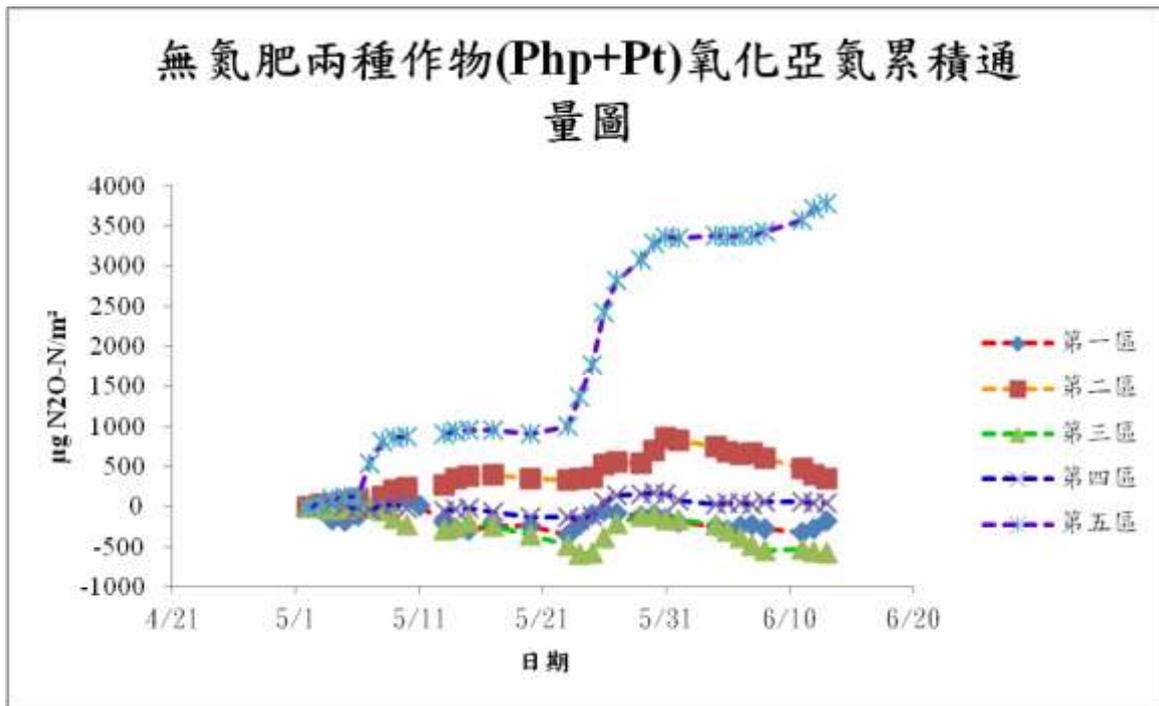
圖六十六、施氮肥兩種作物(Fa+Php)組氧化亞氮累積通量圖



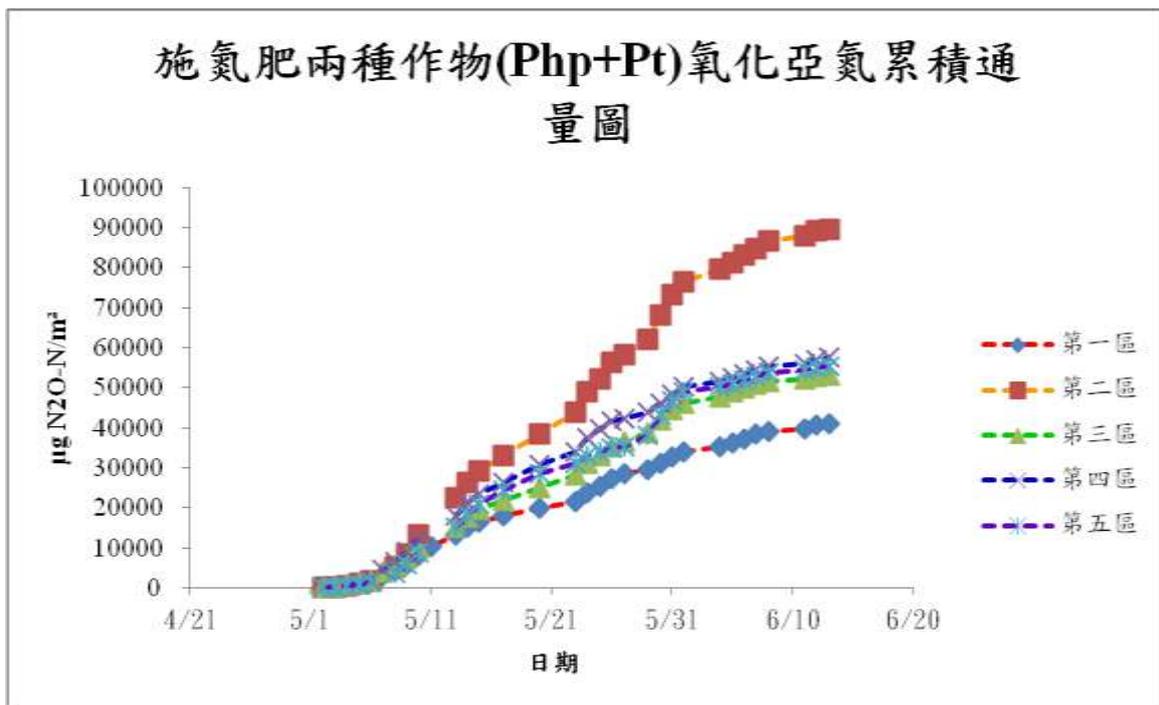
圖六十七、無氮肥兩種作物(Fa+Pt)組氧化亞氮累積通量圖



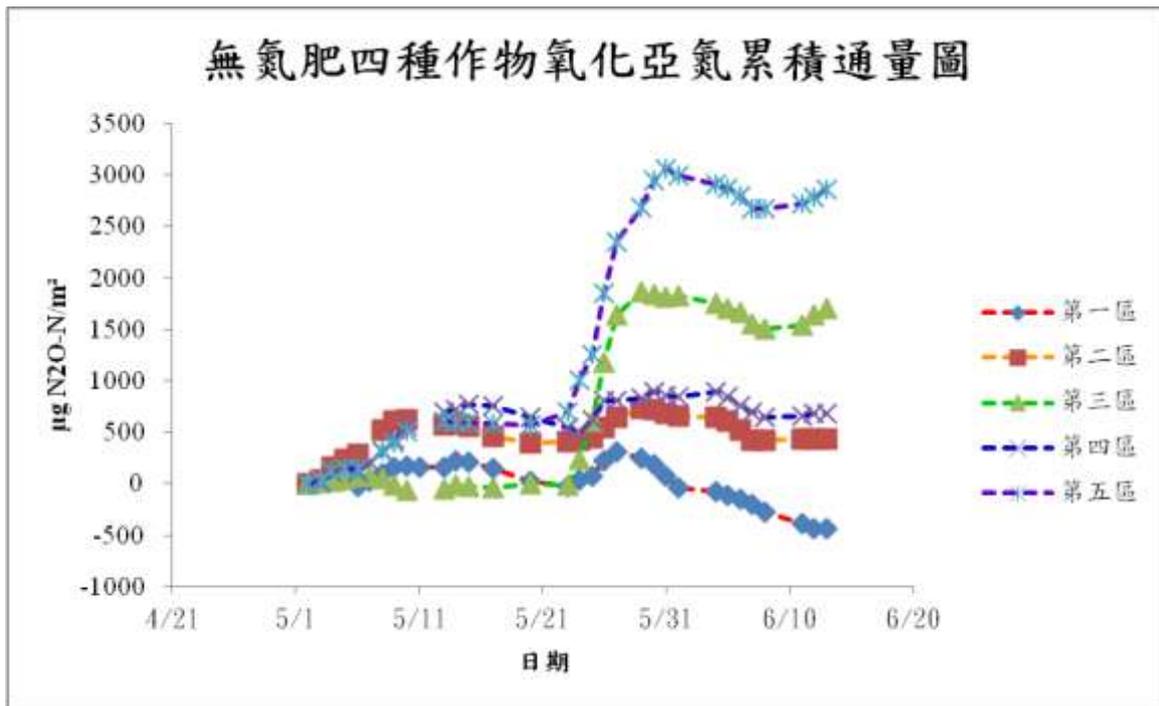
圖六十八、施氮肥兩種作物(Fa+Pt)組氧化亞氮累積通量圖



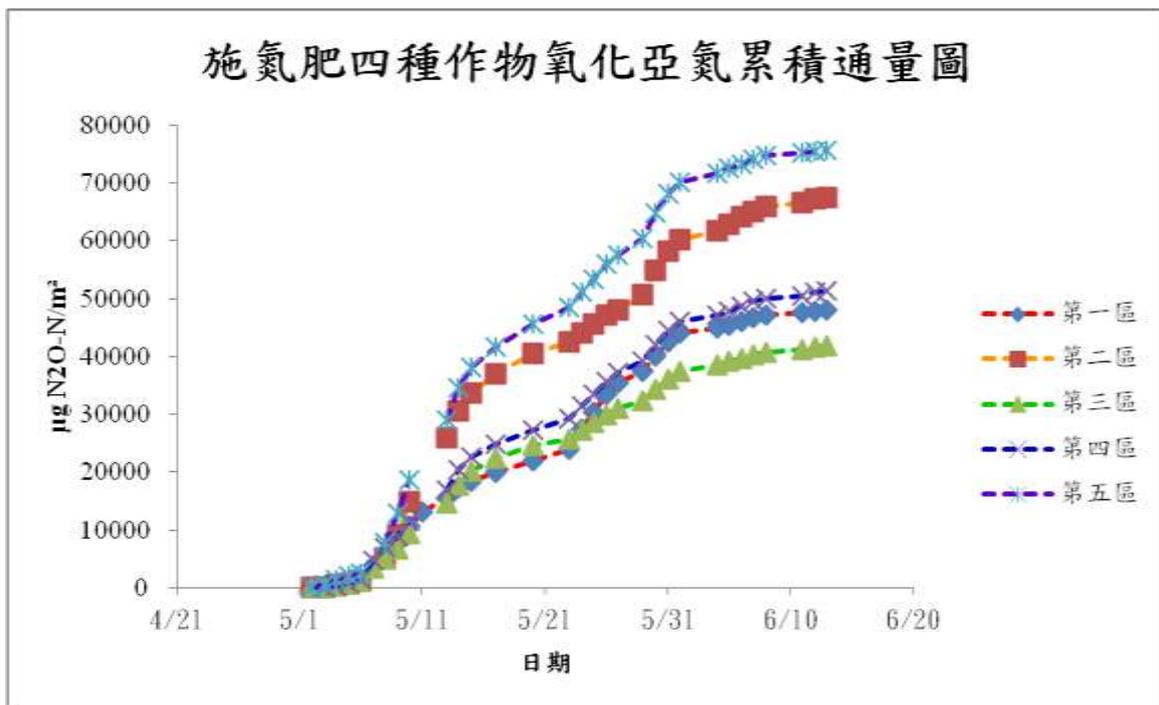
圖六十九、無氮肥兩種作物(Php+Pt)組氧化亞氮累積通量圖



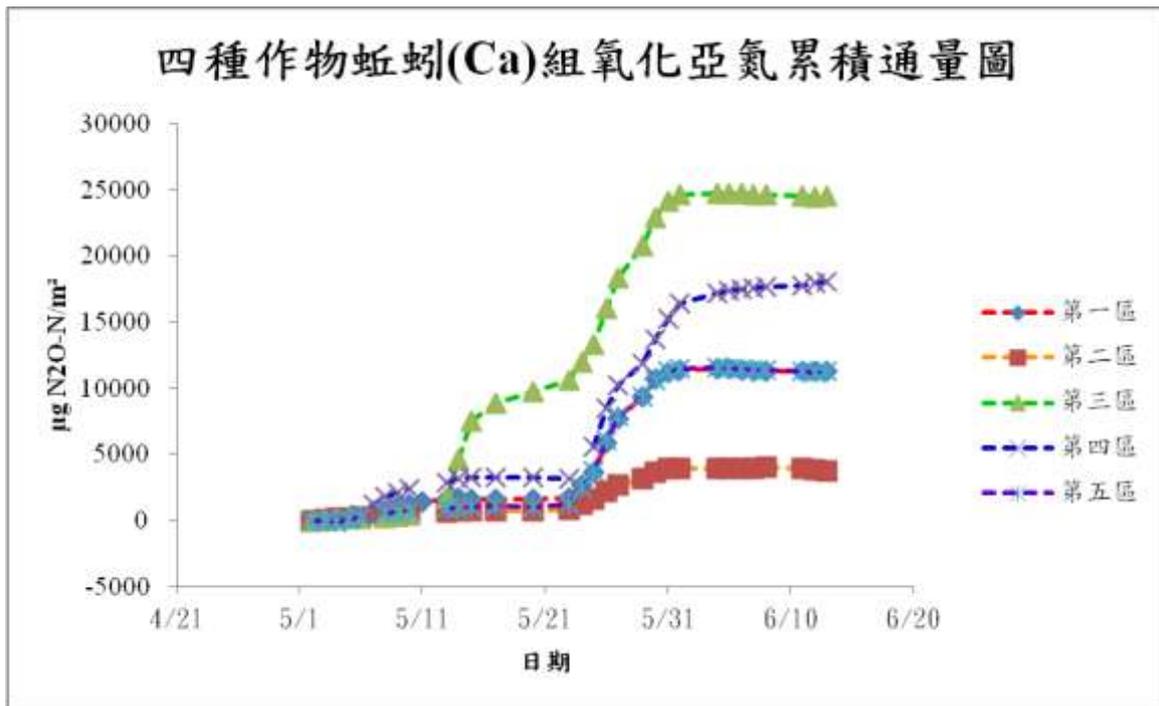
圖七十、施氮肥兩種作物(Php+Pt)組氧化亞氮累積通量圖



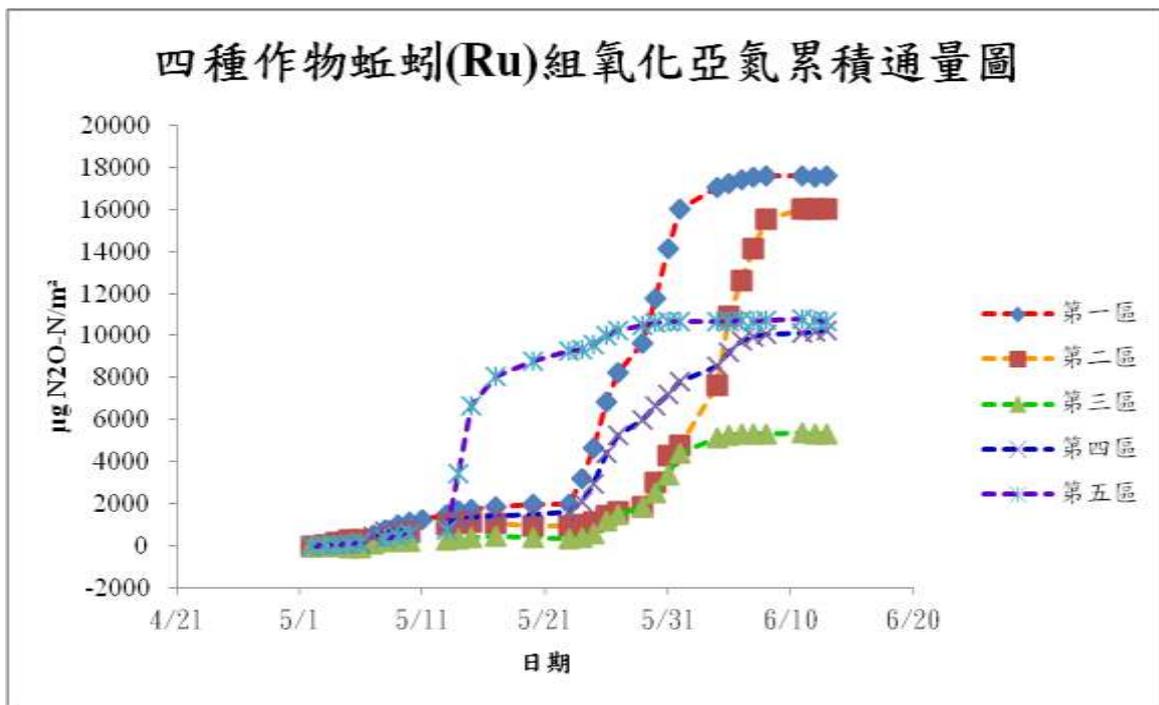
圖七十一、無氮肥四種作物組氧化亞氮累積通量圖



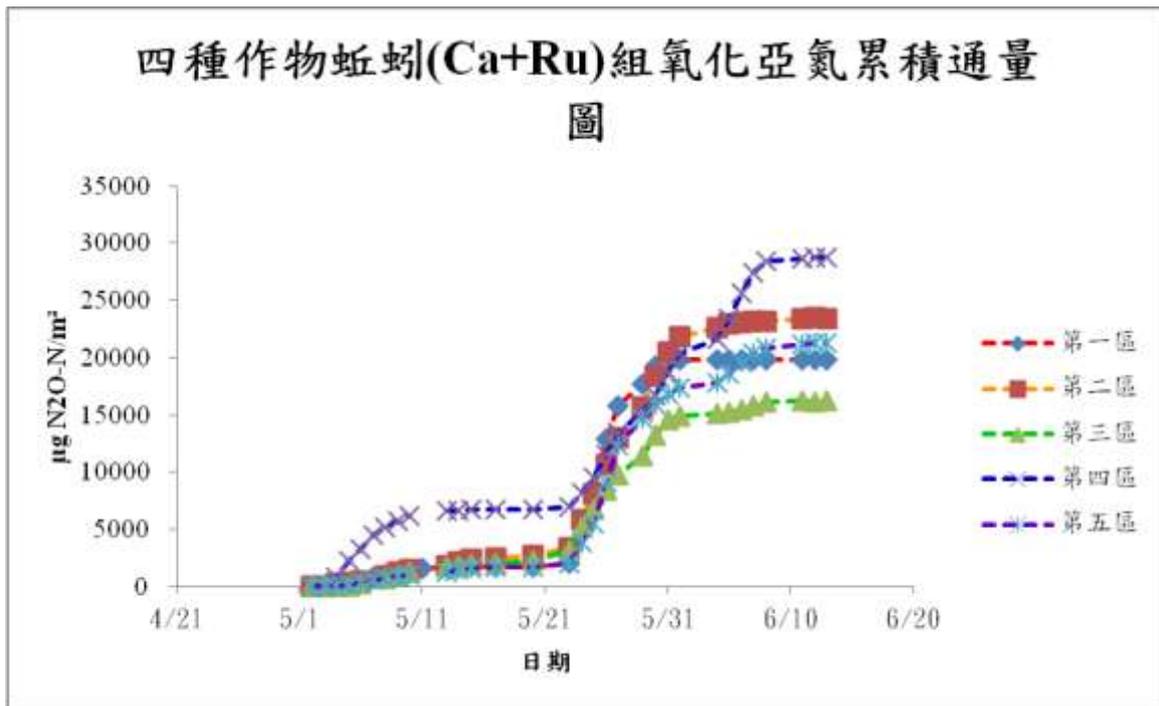
圖七十二、施氮肥四種作物組氧化亞氮累積通量圖



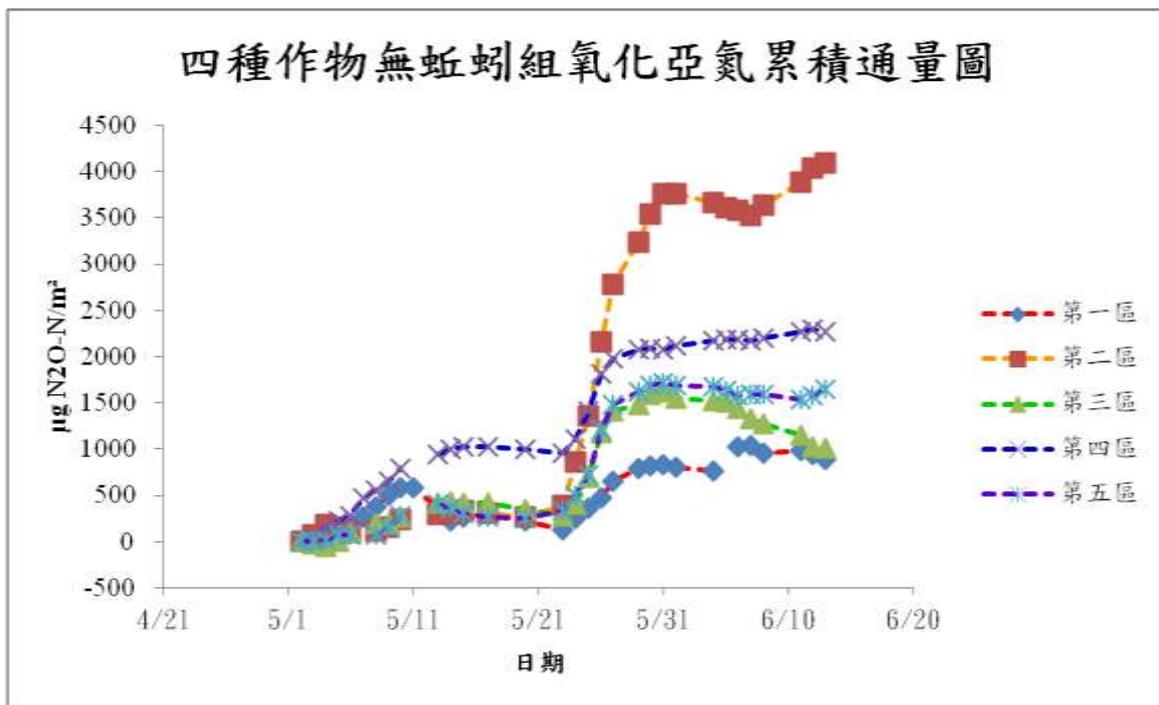
圖七十三、四種作物蚯蚓(Ca)組氧化亞氮累積通量圖



圖七十四、四種作物蚯蚓(Ru)組氧化亞氮累積通量圖



圖七十五、四種作物蚯蚓(Ca+Ru)組氧化亞氮累積通量圖



圖七十六、四種作物無蚯蚓組氧化亞氮累積通量圖

四、心得及建議

經過與荷方專家討論，關於後續溫室氣體田間監測試驗有幾點建議說明如下：

(一) 減少土壤擾動

減少檢測人員對採樣區域土壤的擾動，藉此縮小因產生氣泡帶來的干擾。尤其是採樣罩底座應能固定且長時間置放於田間，避免每次都拔起來又再插下去，以此確保採樣點固定並減少氣泡效應。

(二) 減少氣體干擾

檢視氧化亞氮與水氣及二氧化碳的關聯性，參考文獻中所述以及荷蘭實務經驗，應於於氣體進樣孔外加裝一段軟管內含鹼石灰(將測值 CO₂ 濃度降低至 100 ppm 以下)，另外經由預先試驗測試軟管裝置與否對氧化亞氮數值之影響；另外是用無水硫酸鈣或鎂管柱如法炮製，檢視水氣高低對氧化亞氮測值的影響。

(三) 縮短連接管長

連接管越長需要的進樣時間也越長，此次研習是用一公尺管長兩條，沖洗時間設定在自動 60 米；考量到儀器避免碰水情況，應盡可能縮減不必要的管長。另外若是發現管內積水，最好是直接更換新管，在有水的狀況下量測恐造成儀器損壞。

(四) 記錄環境參數

在計算通量上，需要量測時氣溫(至少是日間平均氣溫)，還有密閉罩容積與底面積，容積的計算可由土壤或浸水的水面，量測至罩頂高度再乘以底面積得到，其他氣象參數可與當地農業氣象站查詢當日之天候資料，或以其他氣候學儀器量測。

對於未來溫室氣體相關執行計畫目標，預計將分為三個階段來執行：

- (一) 短程－優先計算有機、化學肥料型式或施用量相對應之排放係數；
- (二) 中程－建置不同作物種類、水分或耕犁管理措施與排放當量資料庫；
- (三) 長程－研擬並推廣最適農業生產管理措施，以建立永續農業生產環境。

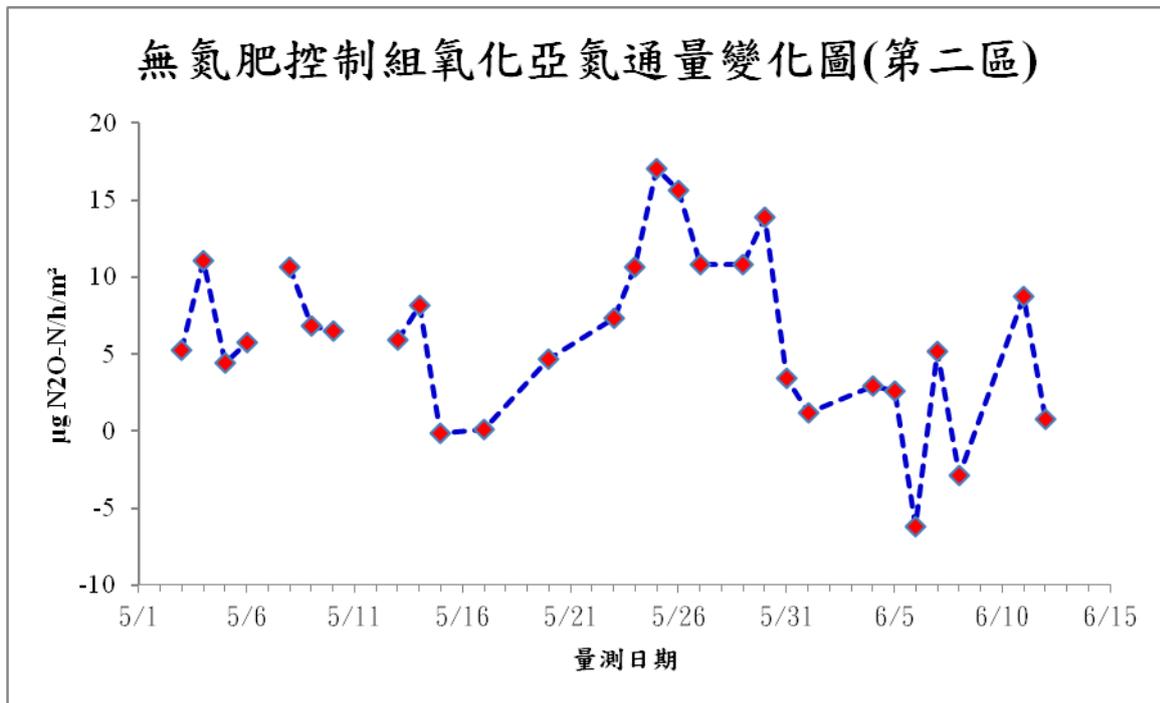
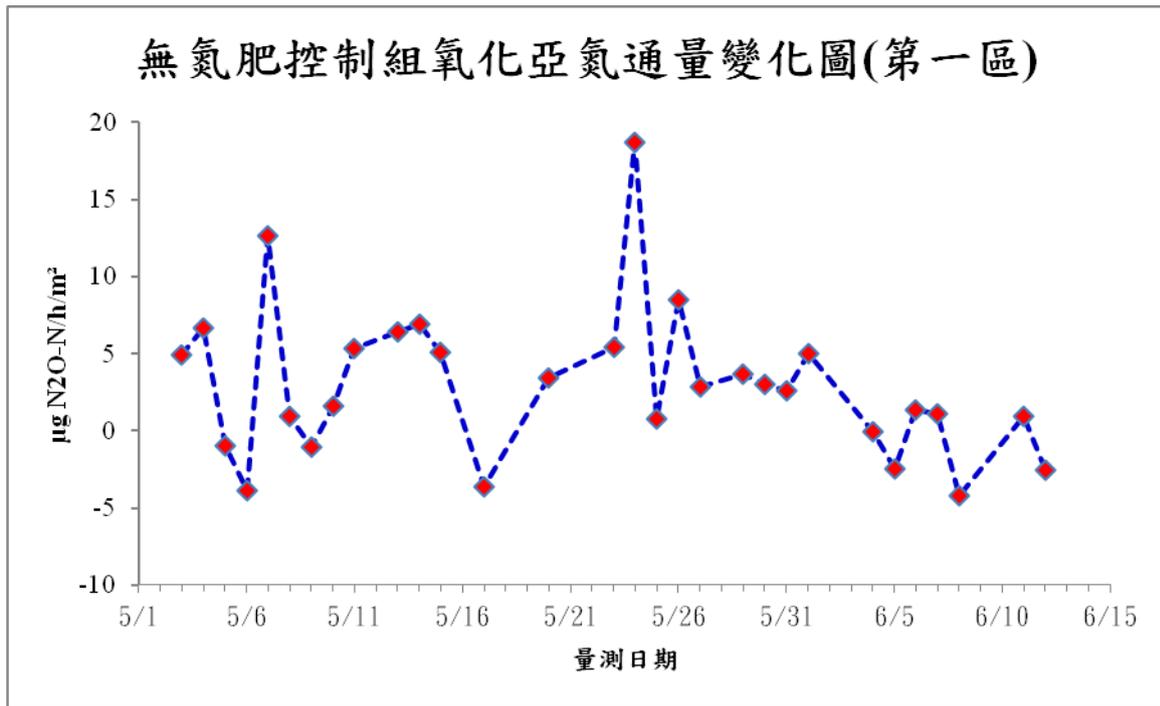
上述階段亦與國際上對於溫室氣體相關管理措施之進程相呼應(碳足跡、碳交易、減緩與調適措施)，期許最終能協助全人類社群度過氣候變遷所帶來的各種難關。

參、附錄

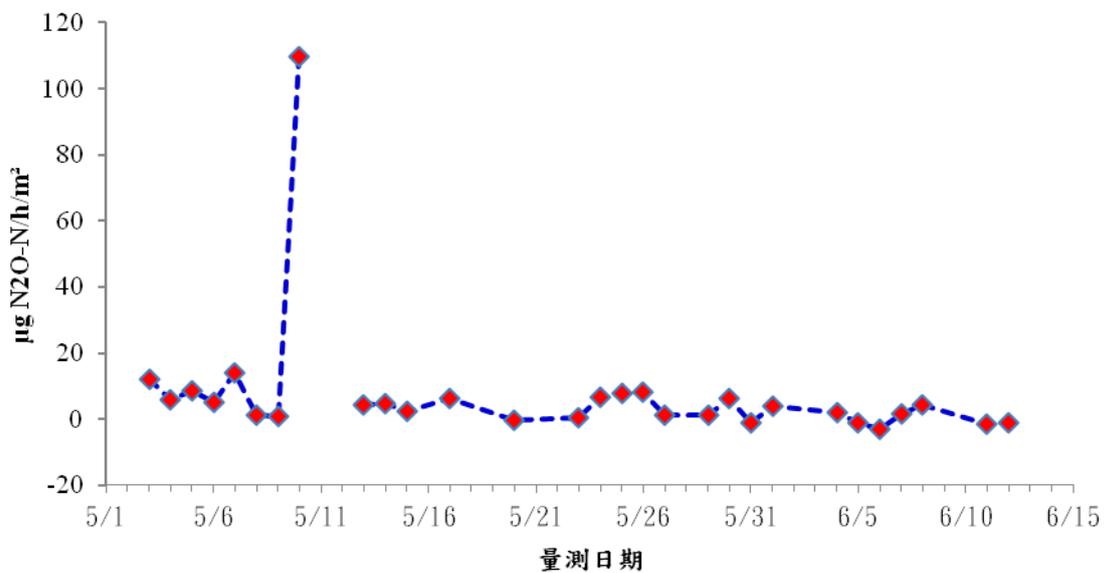
一、參考文獻

- OECD/FAO (2012), *OECD-FAO Agricultural Outlook 2012-2021*, OECD Publishing and FAO.
- IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- Velthof, G. L. 1997. Nitrous oxide emission from intensively managed grassland. Doctoral thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 195pp.

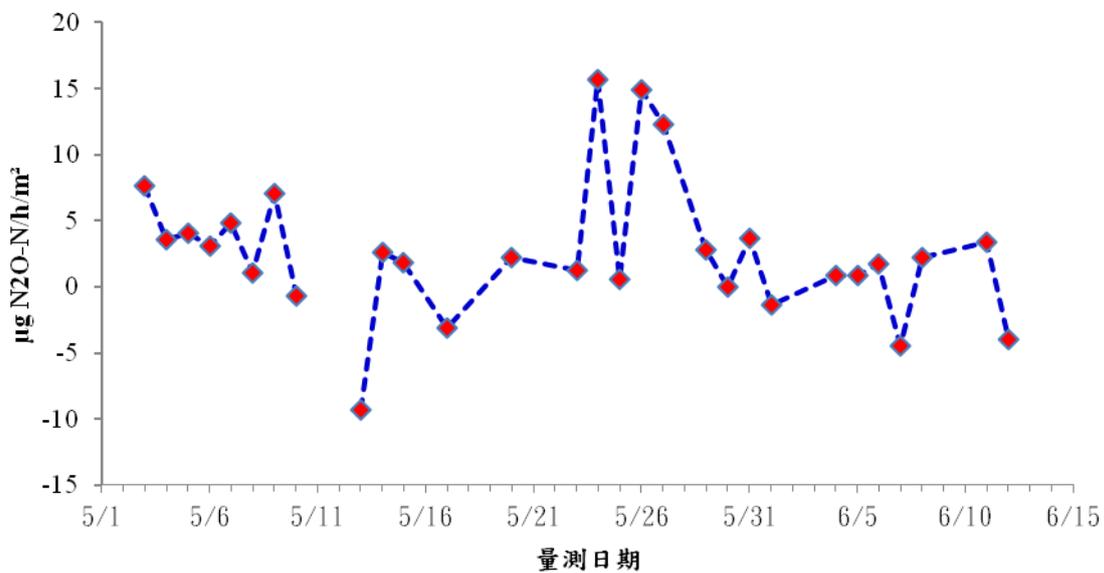
二、附圖



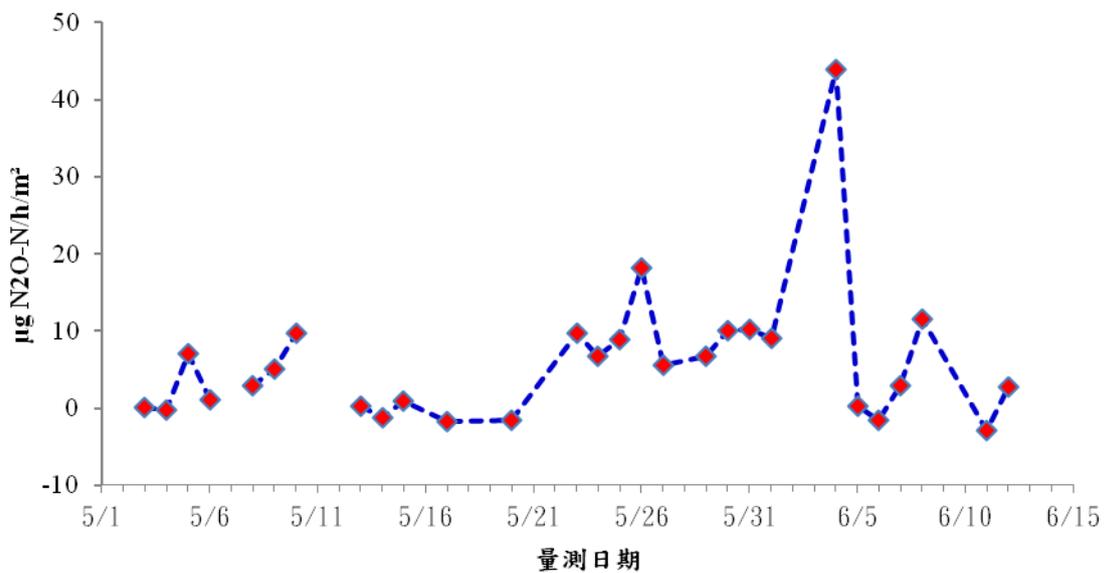
無氮肥控制組氧化亞氮通量變化圖(第三區)



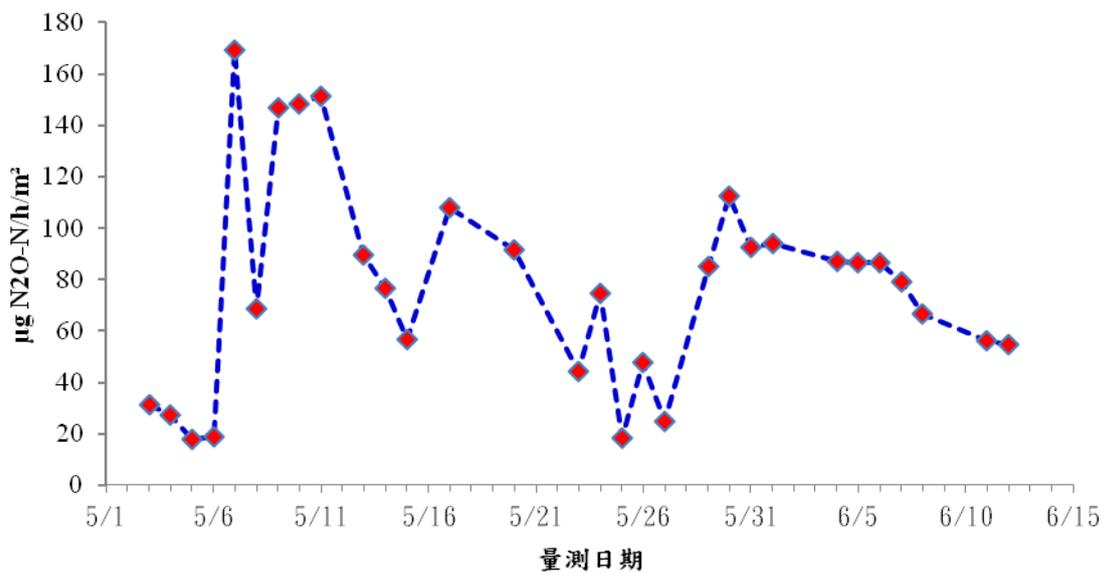
無氮肥控制組氧化亞氮通量變化圖(第四區)



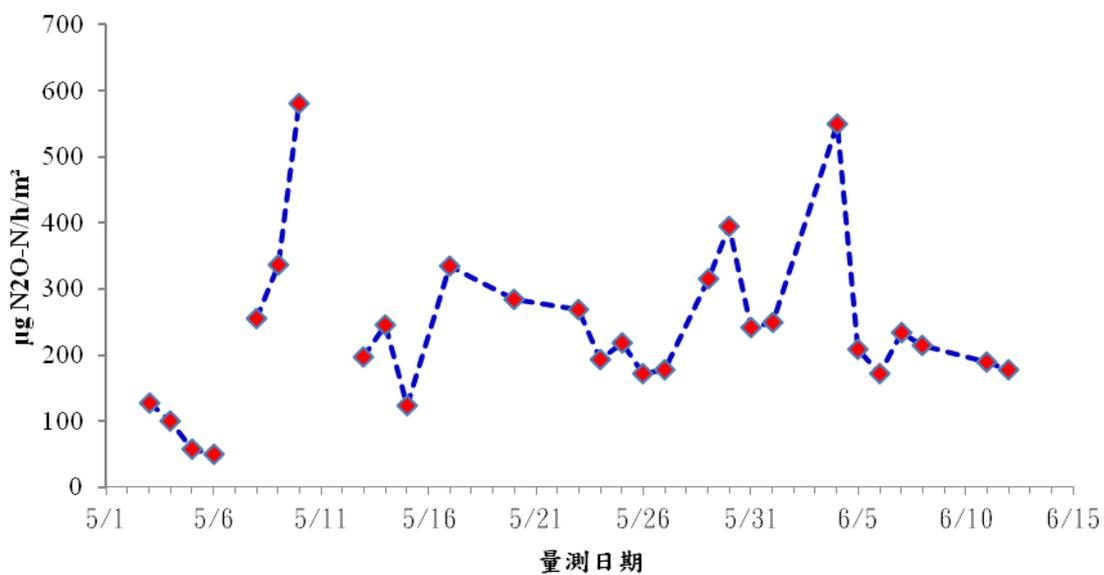
無氮肥控制組氧化亞氮通量變化圖(第五區)



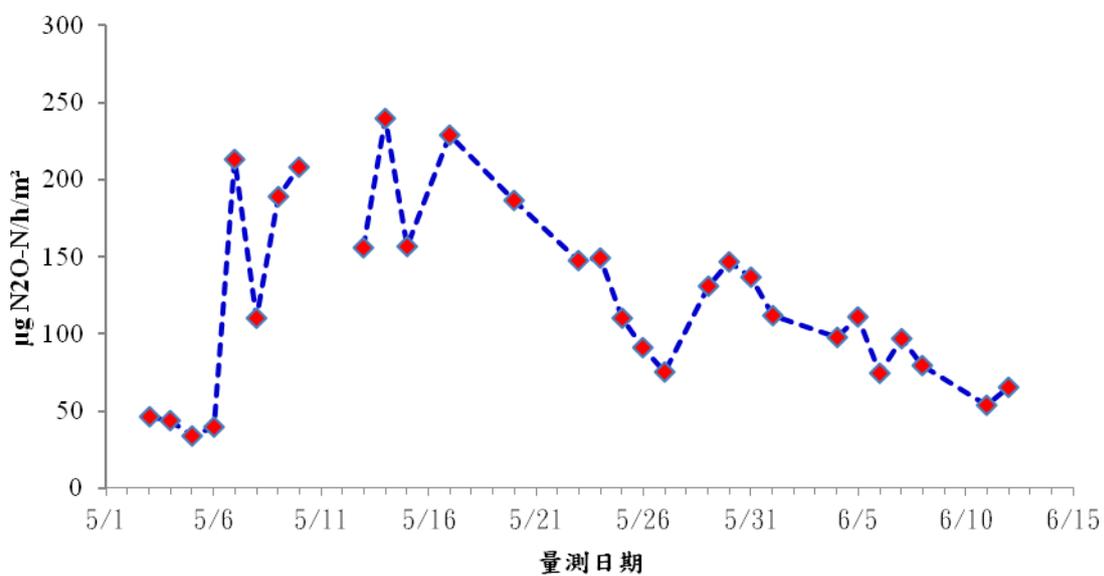
施氮肥控制組氧化亞氮通量變化圖(第一區)



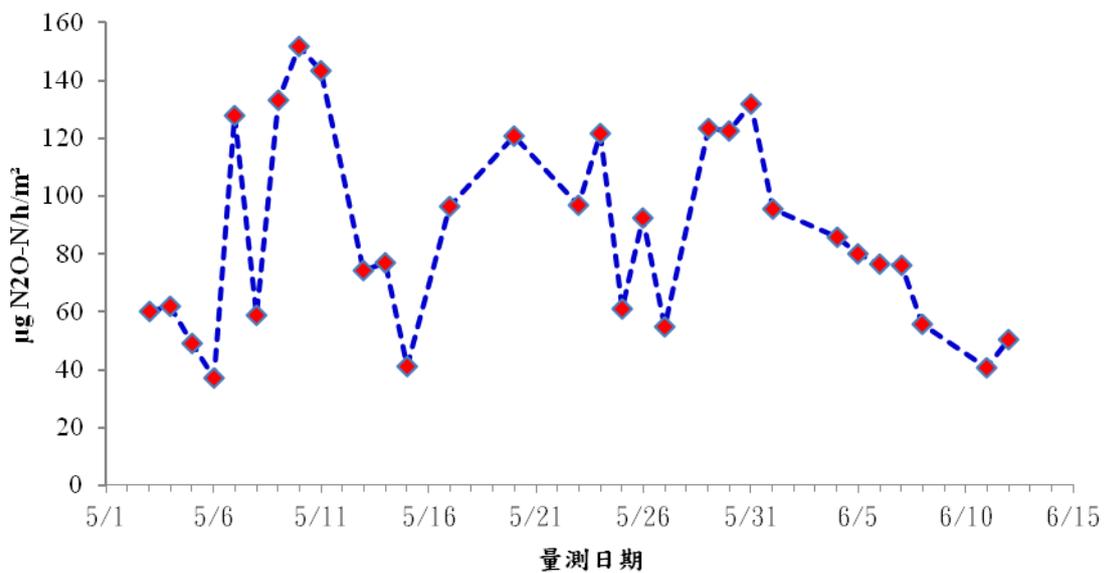
施氮肥控制組氧化亞氮通量變化圖(第二區)



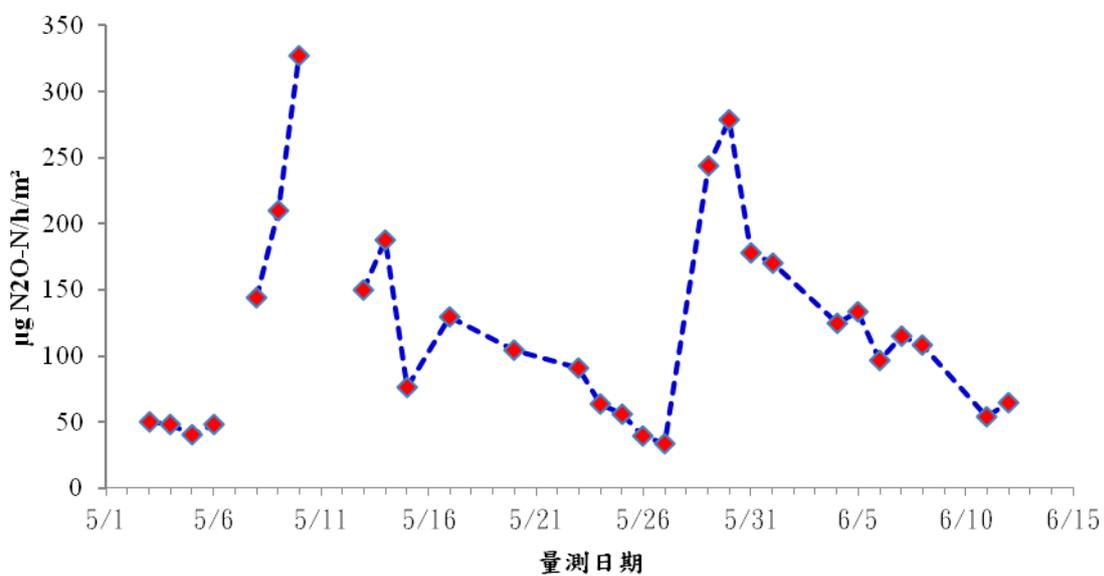
施氮肥控制組氧化亞氮通量變化圖(第三區)



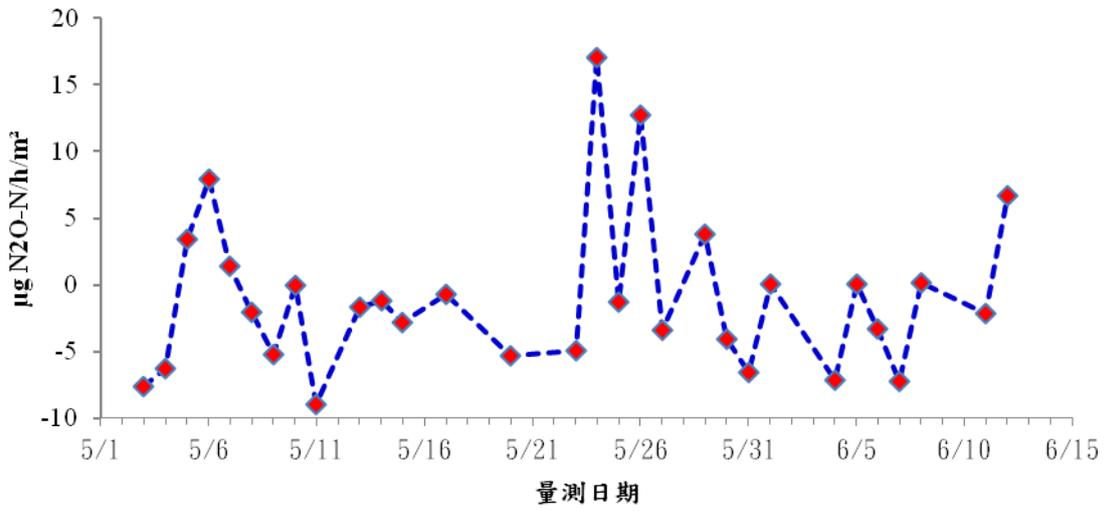
施氮肥控制組氧化亞氮通量變化圖(第四區)



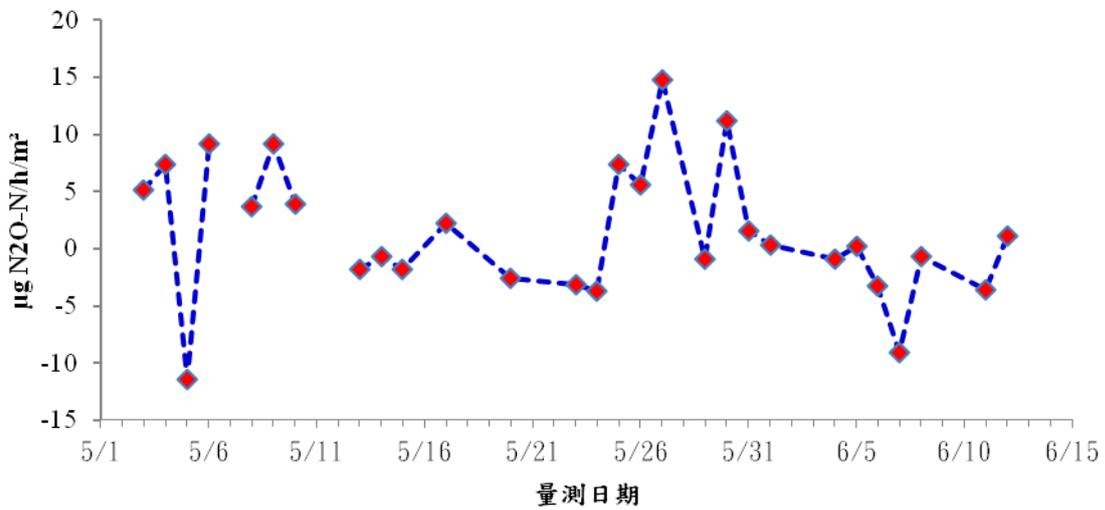
施氮肥控制組氧化亞氮通量變化圖(第五區)



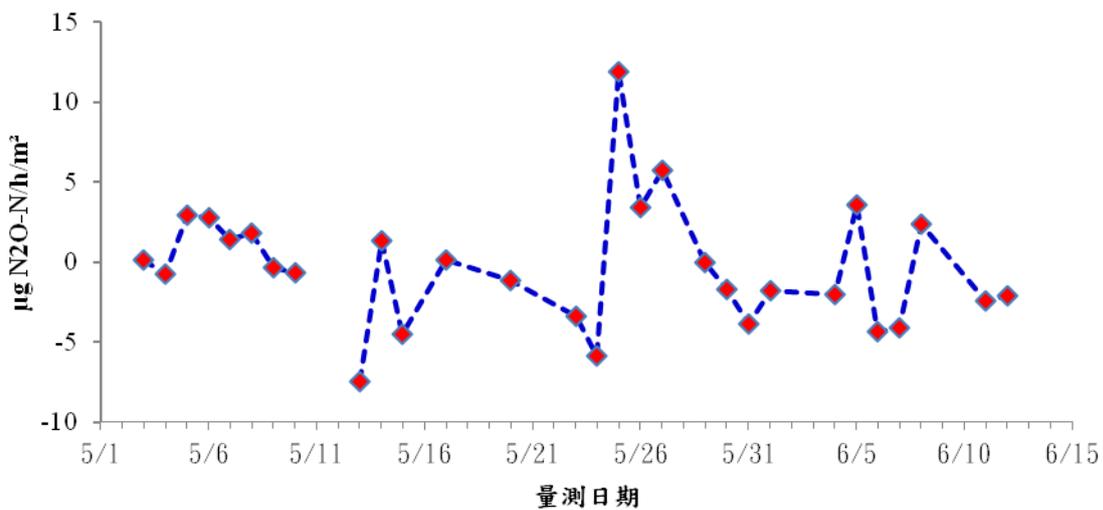
無氮肥單一作物(Lp)組氧化亞氮通量變化圖(第一區)



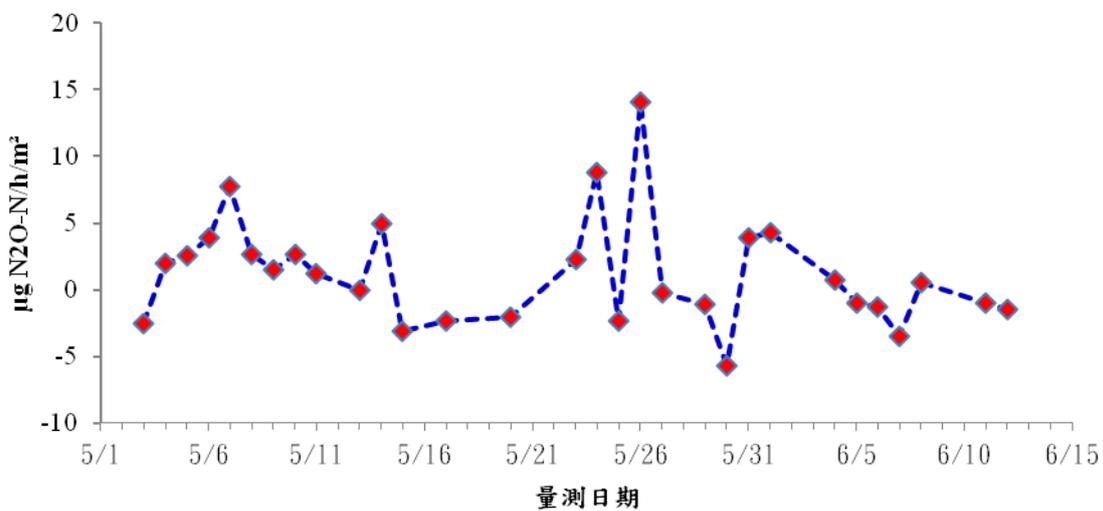
無氮肥單一作物(Lp)組氧化亞氮通量變化圖(第二區)



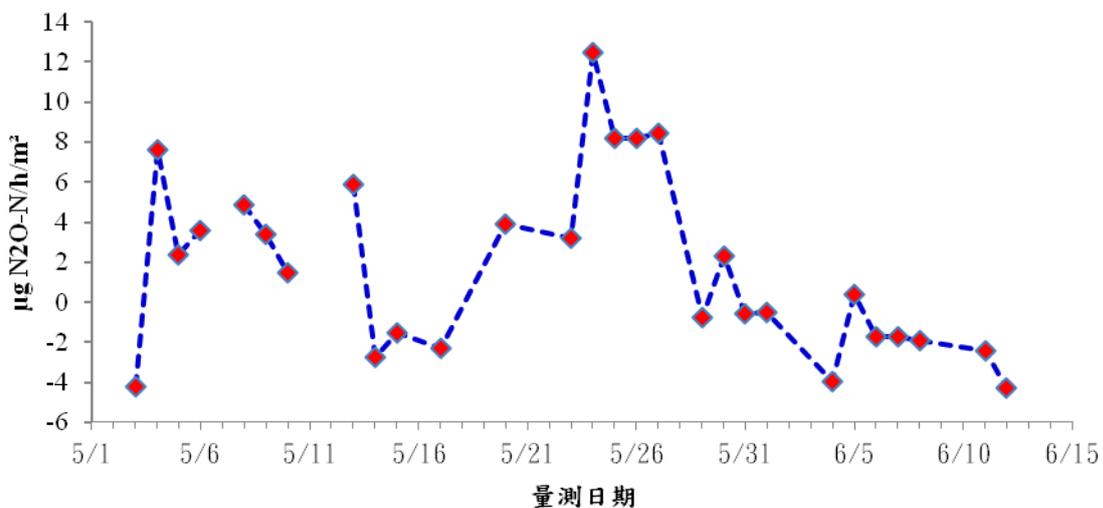
無氮肥單一作物(Lp)組氧化亞氮通量變化圖(第三區)



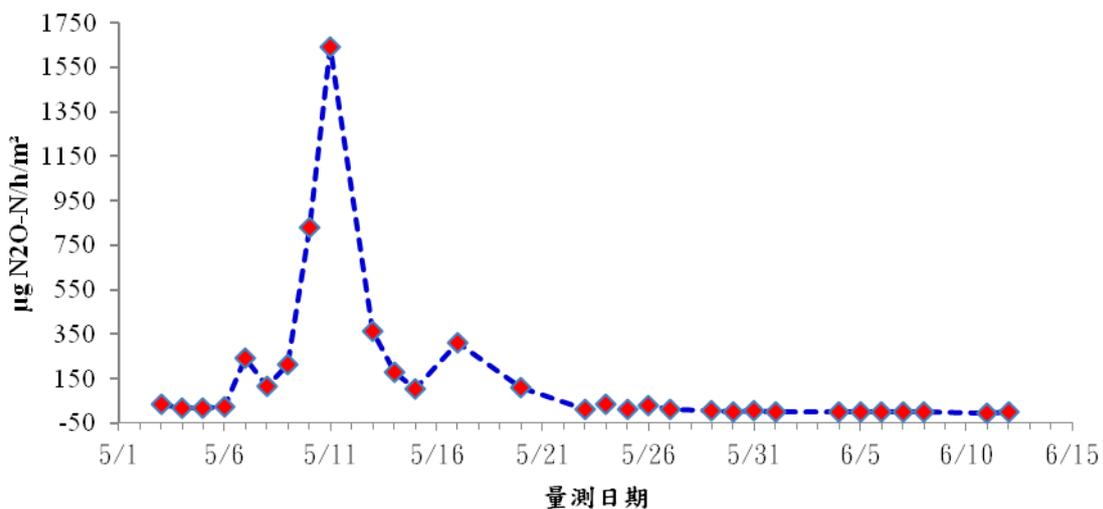
無氮肥單一作物(Lp)組氧化亞氮通量變化圖(第四區)



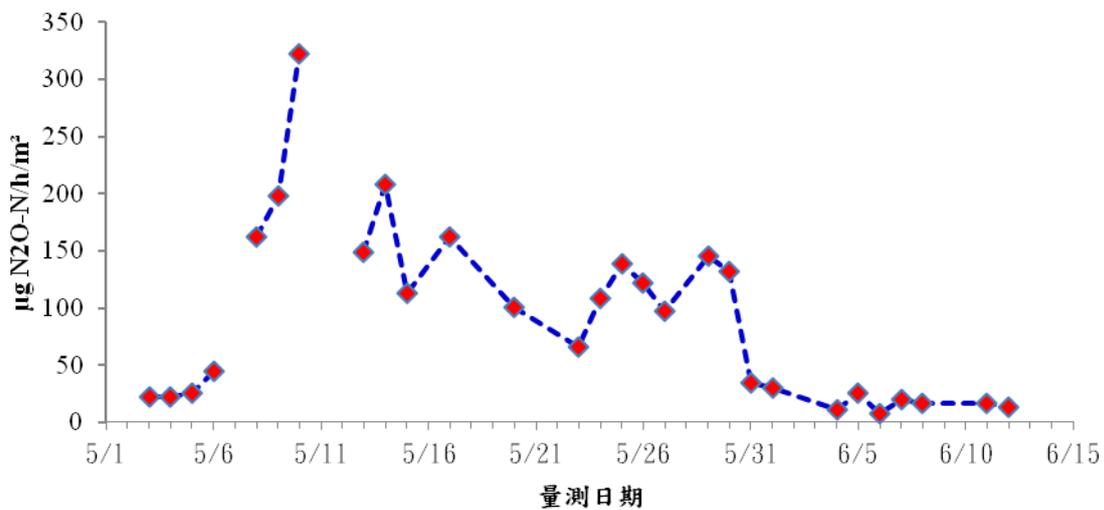
無氮肥單一作物(Lp)組氧化亞氮通量變化圖(第五區)



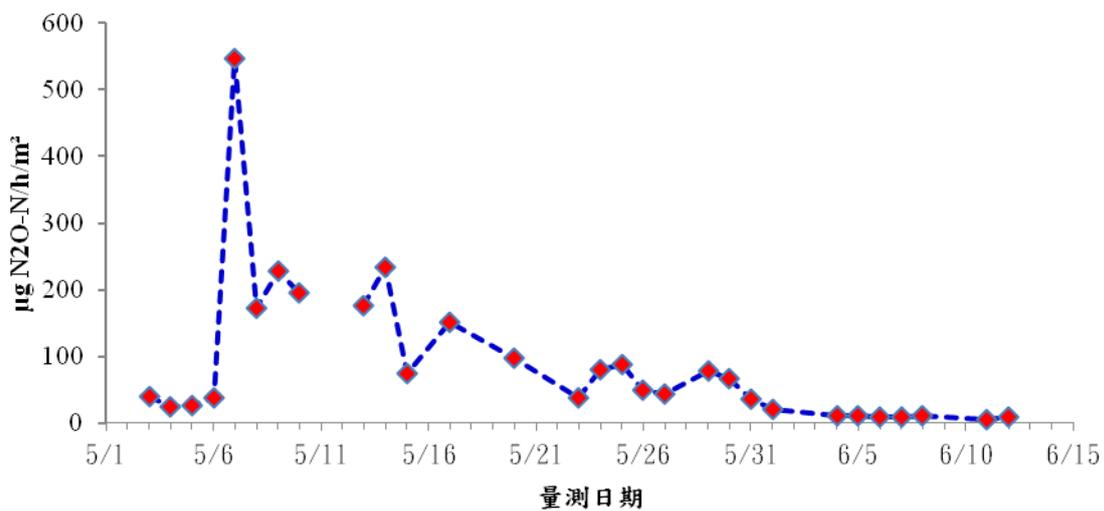
施氮肥單一作物(Lp)組氧化亞氮通量變化圖(第一區)



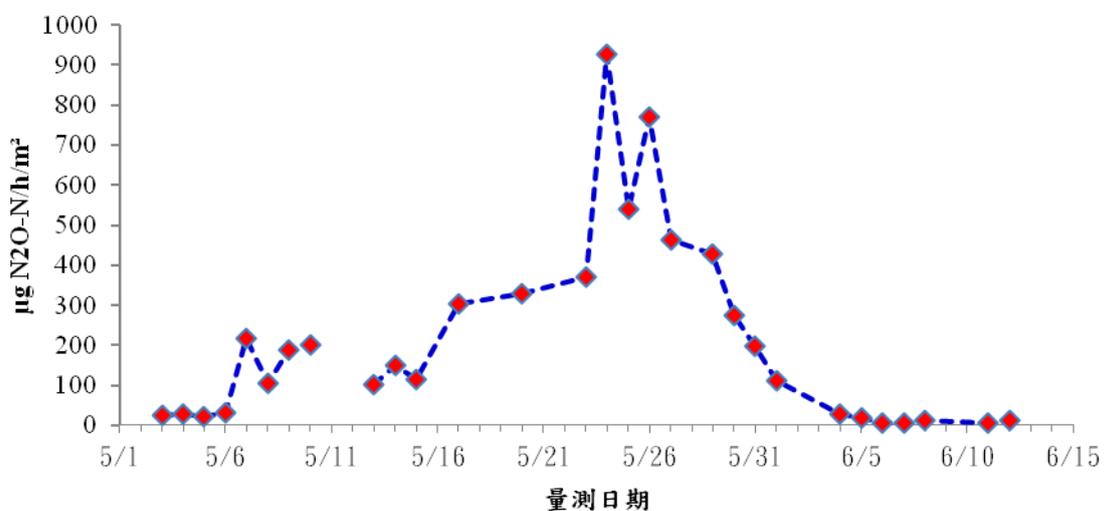
施氮肥單一作物(Lp)組氧化亞氮通量變化圖(第二區)



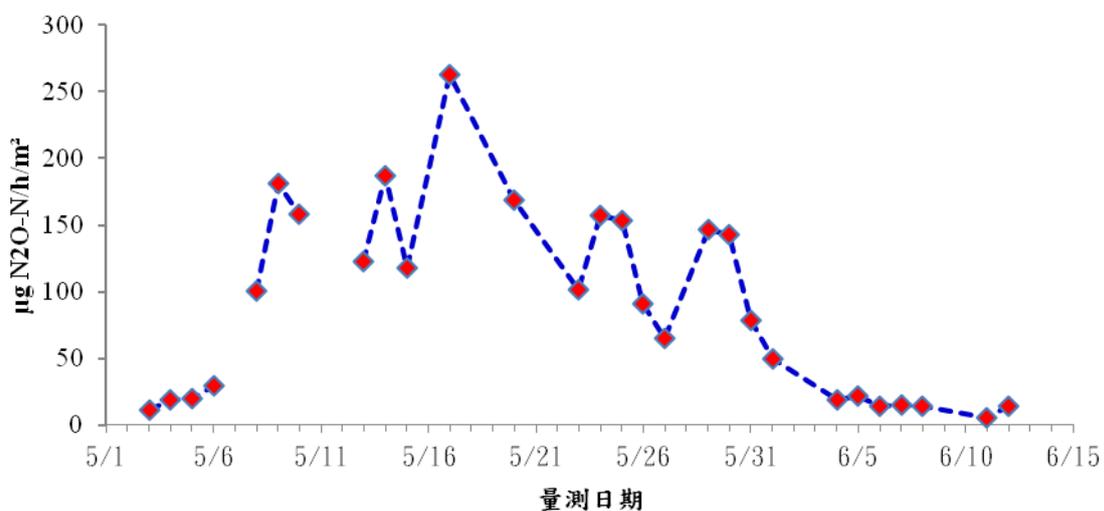
施氮肥單一作物(Lp)組氧化亞氮通量變化圖(第三區)



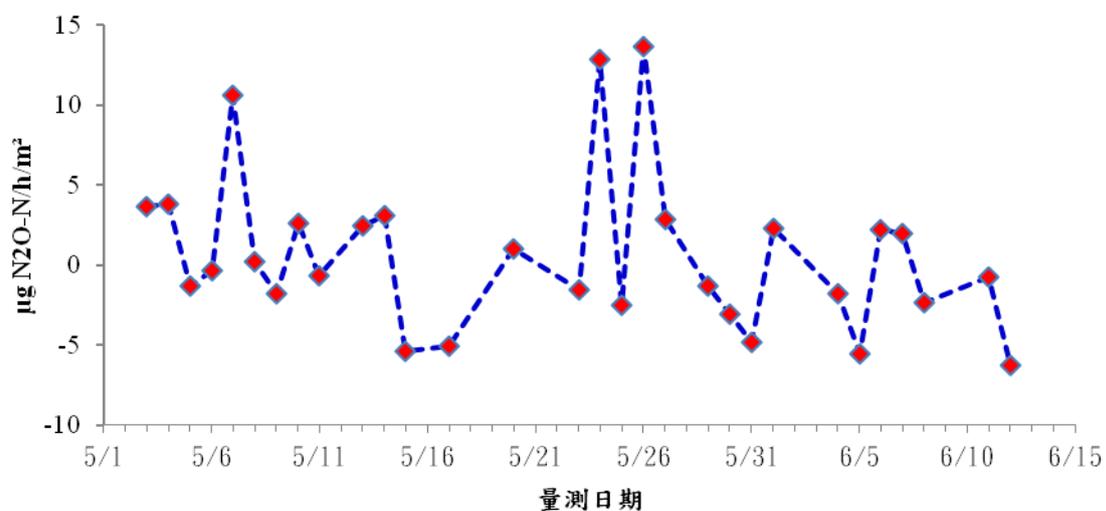
施氮肥單一作物(Lp)組氧化亞氮通量變化圖(第四區)



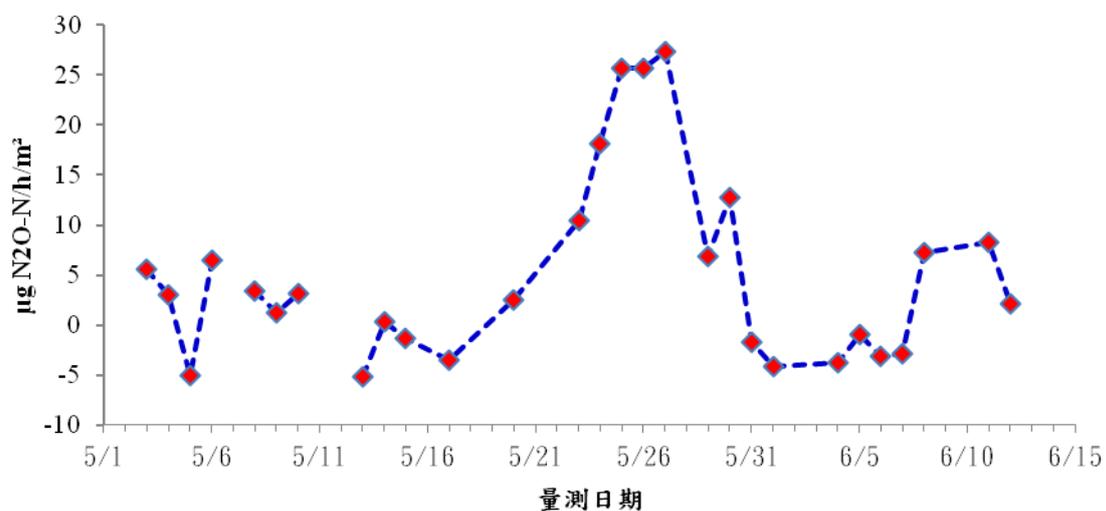
施氮肥單一作物(Lp)組氧化亞氮通量變化圖(第五區)



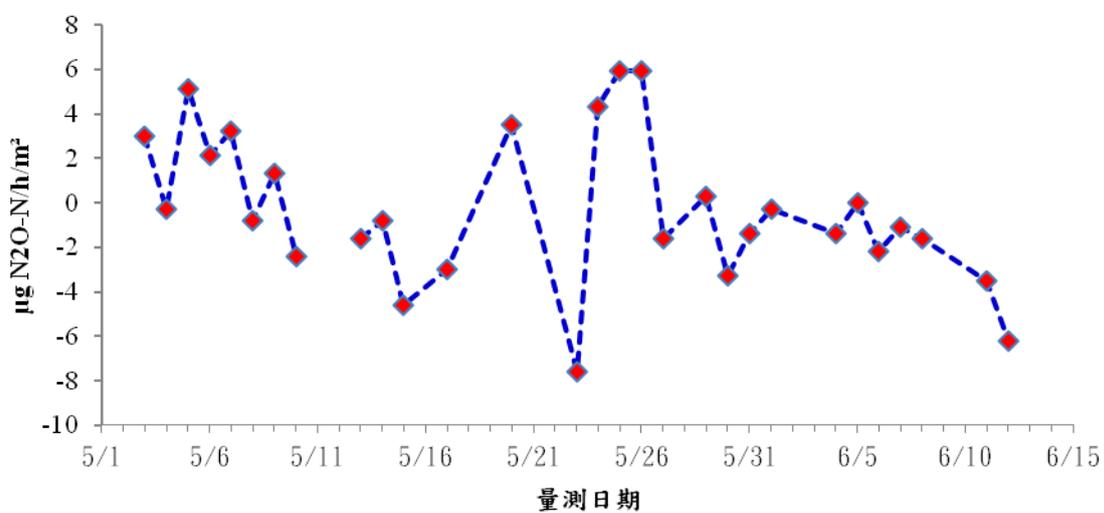
無氮肥單一作物(Fa)組氧化亞氮通量變化圖
(第一區)



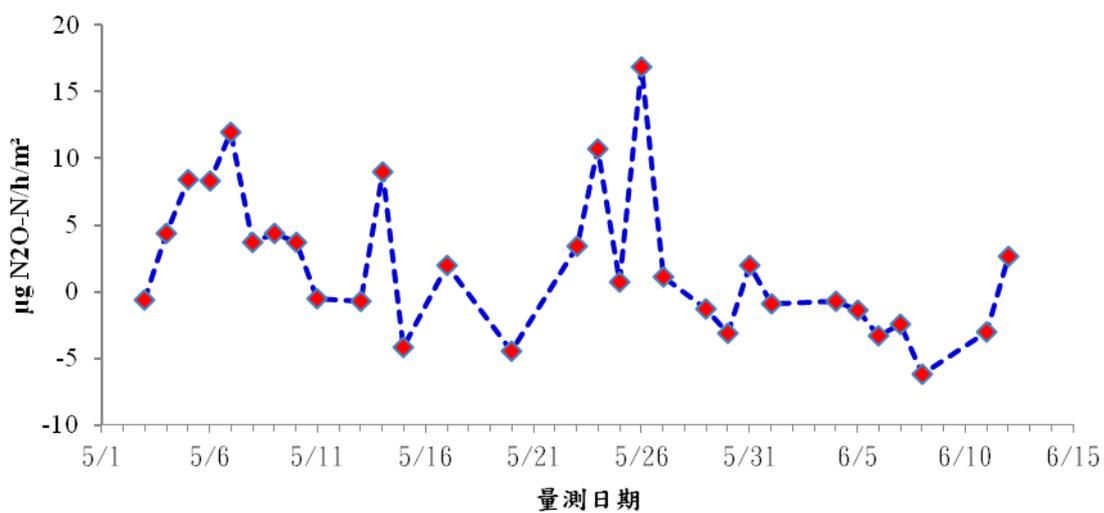
無氮肥單一作物(Fa)組氧化亞氮通量變化圖
(第二區)



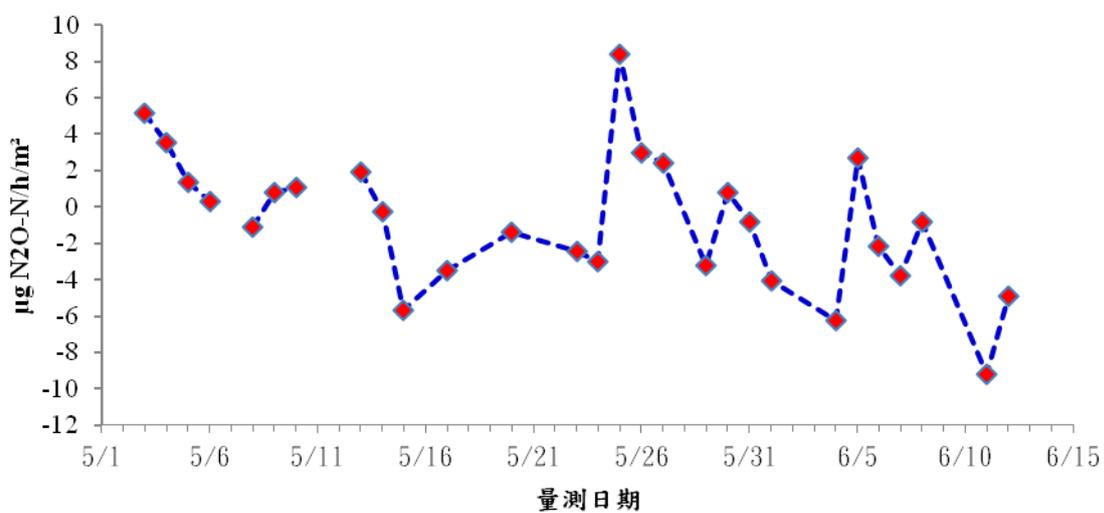
無氮肥單一作物(Fa)組氧化亞氮通量變化圖
(第三區)



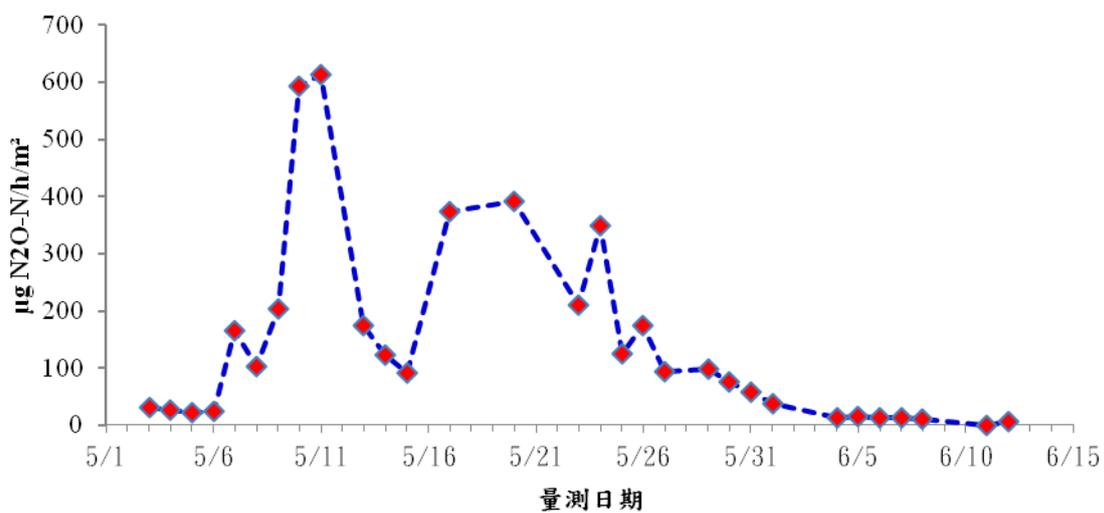
無氮肥單一作物(Fa)組氧化亞氮通量變化圖
(第四區)



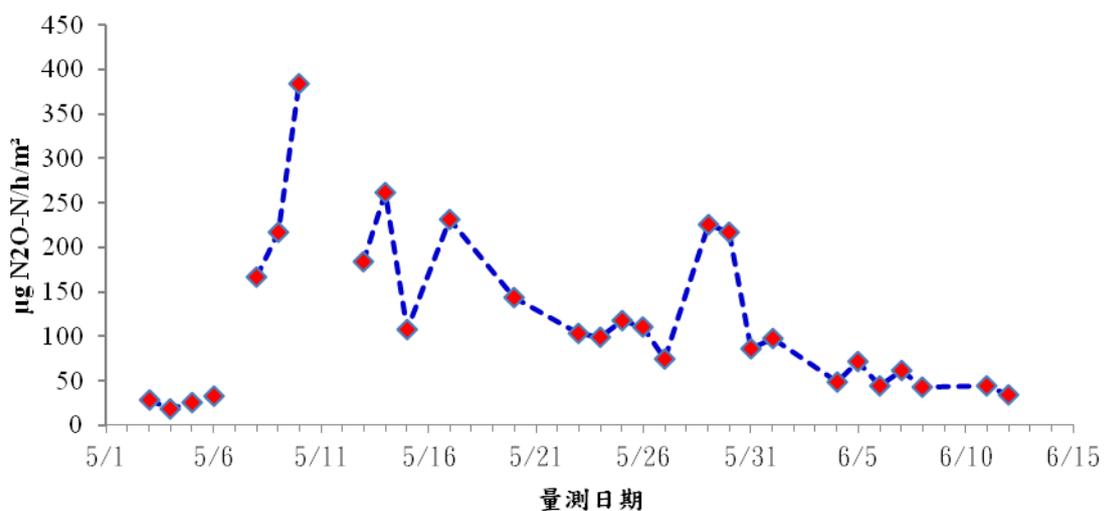
無氮肥單一作物(Fa)組氧化亞氮通量變化圖
(第五區)



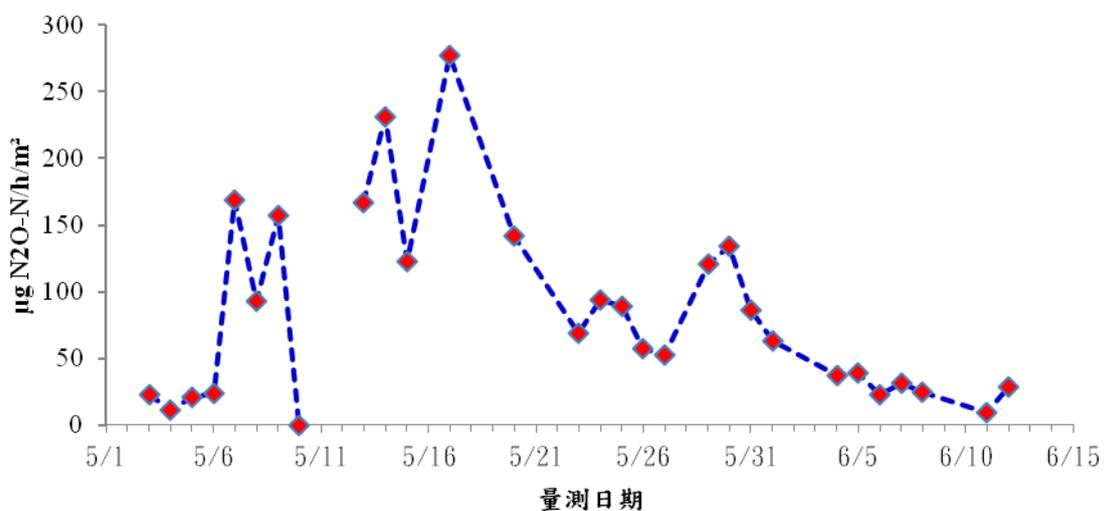
施氮肥單一作物(Fa)組氧化亞氮通量變化圖
(第一區)



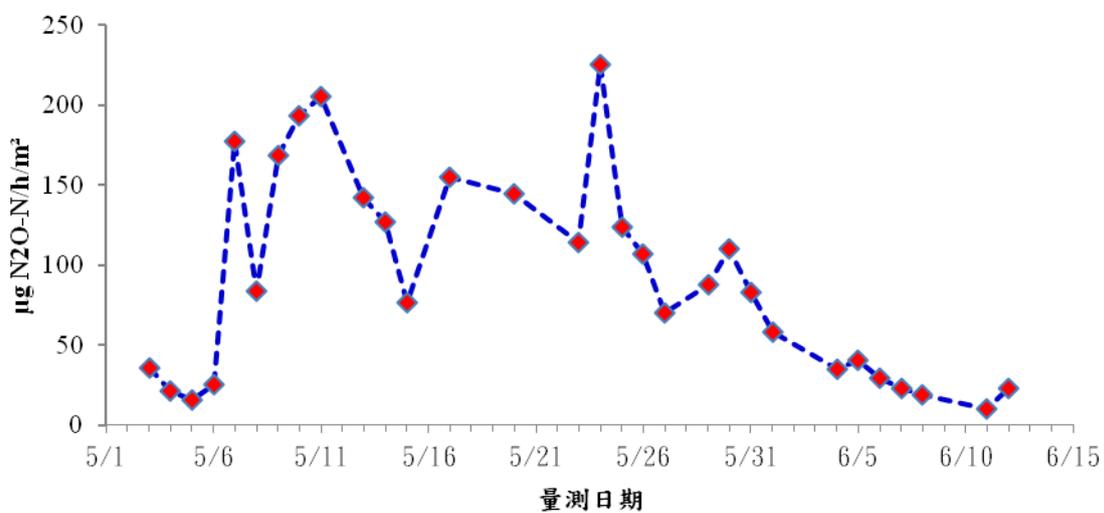
施氮肥單一作物(Fa)組氧化亞氮通量變化圖
(第二區)



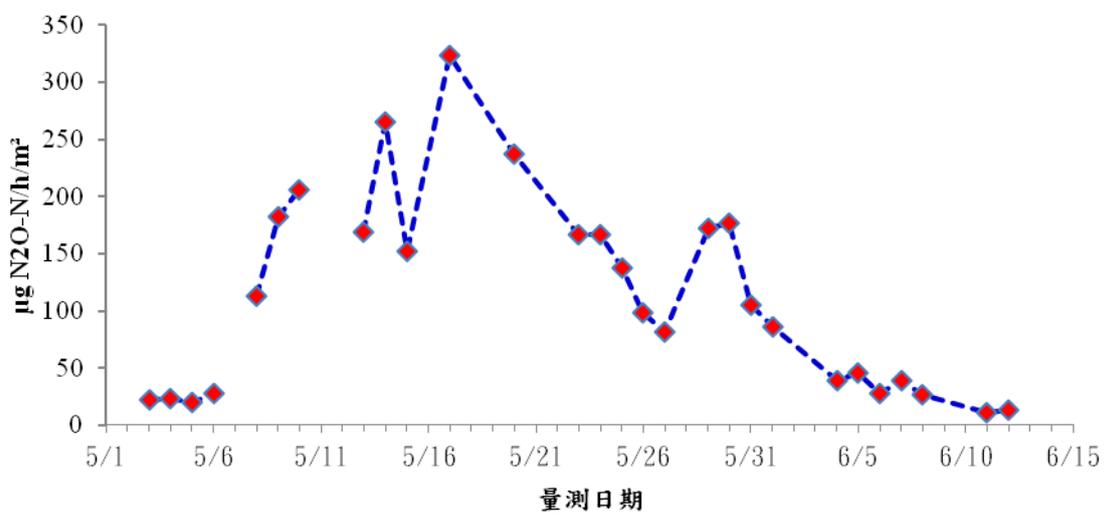
施氮肥單一作物(Fa)組氧化亞氮通量變化圖
(第三區)



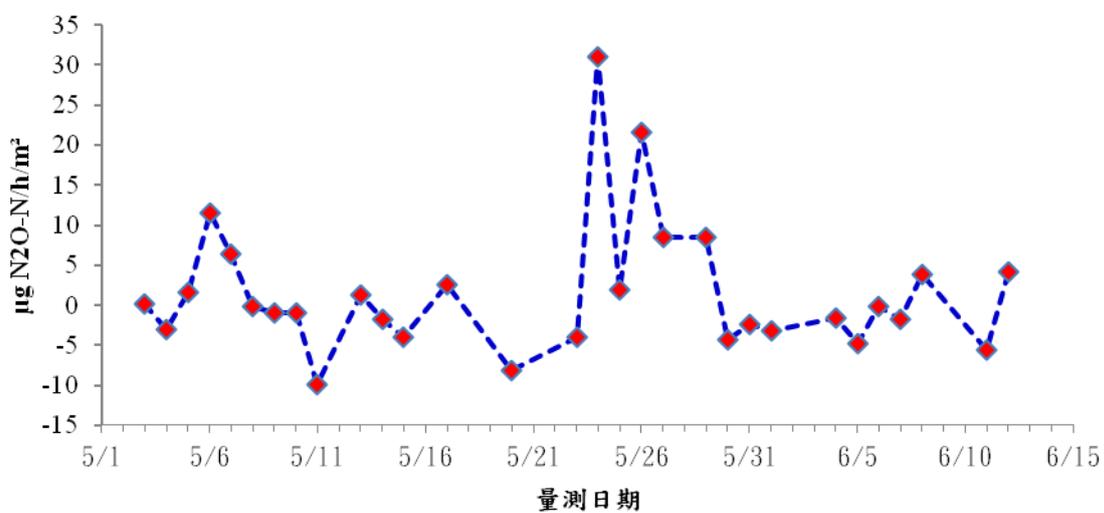
施氮肥單一作物(Fa)組氧化亞氮通量變化圖
(第四區)



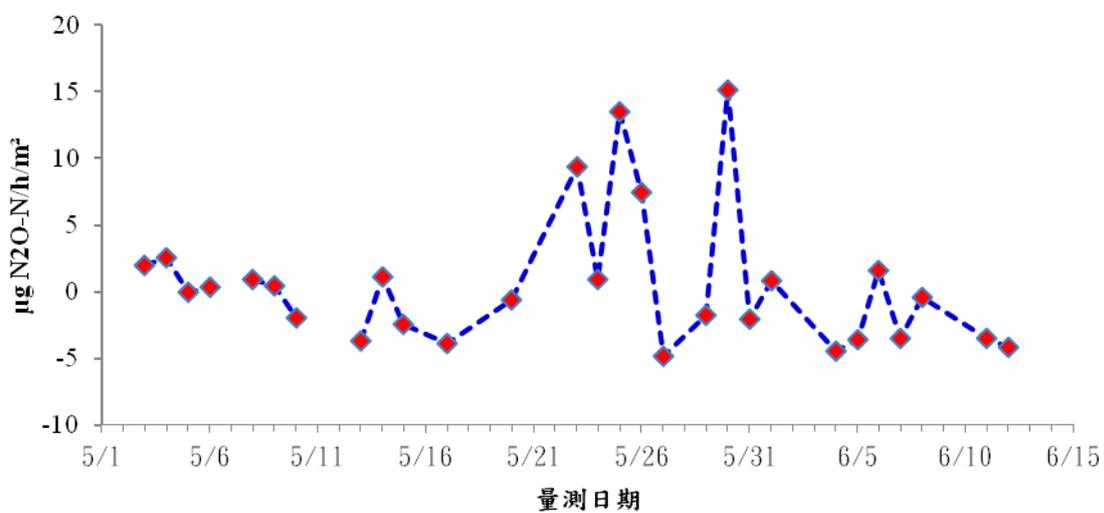
施氮肥單一作物(Fa)組氧化亞氮通量變化圖
(第五區)



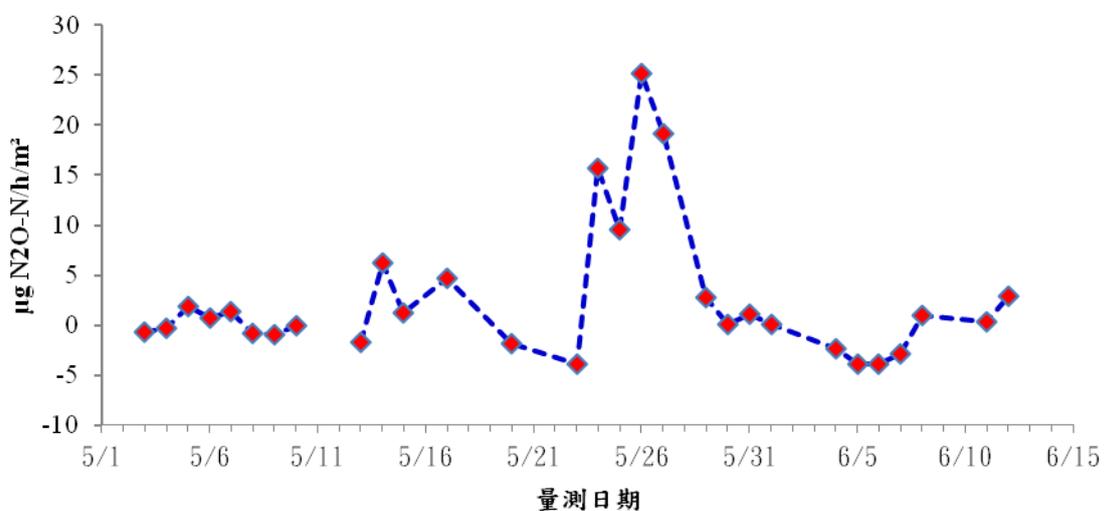
無氮肥單一作物(Php)組氧化亞氮通量變化圖(第一區)



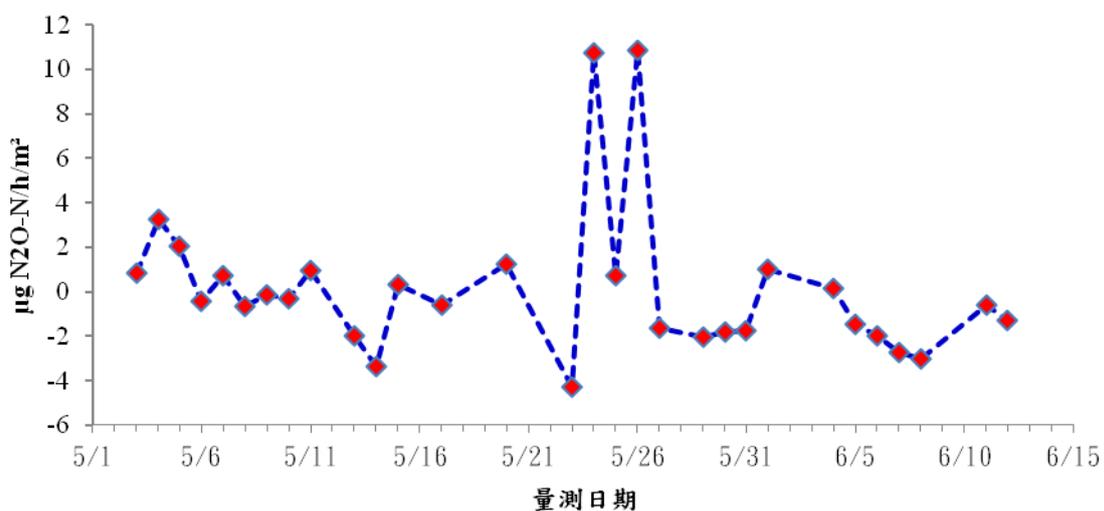
無氮肥單一作物(Php)組氧化亞氮通量變化圖(第二區)



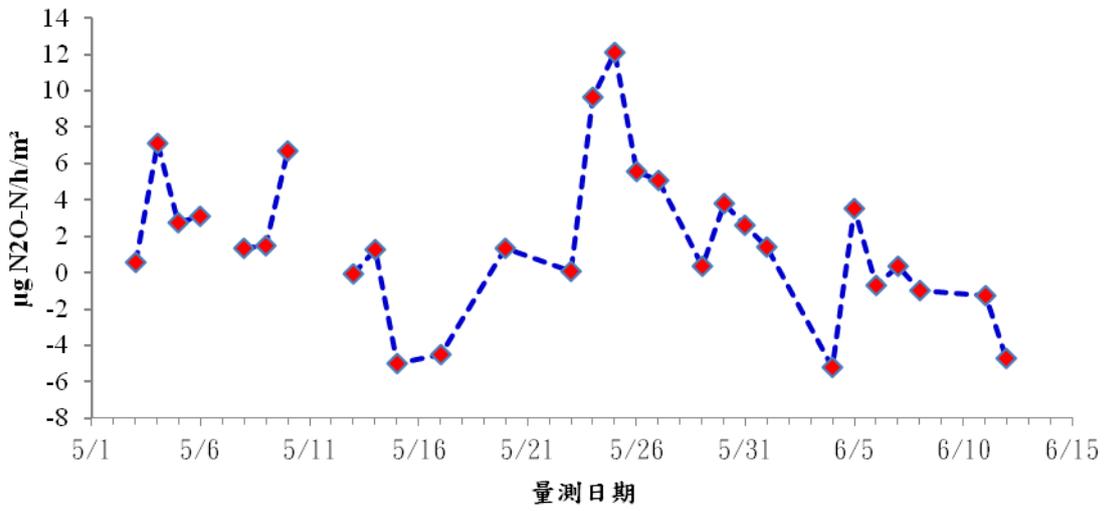
無氮肥單一作物(Php)組氧化亞氮通量變化圖(第三區)



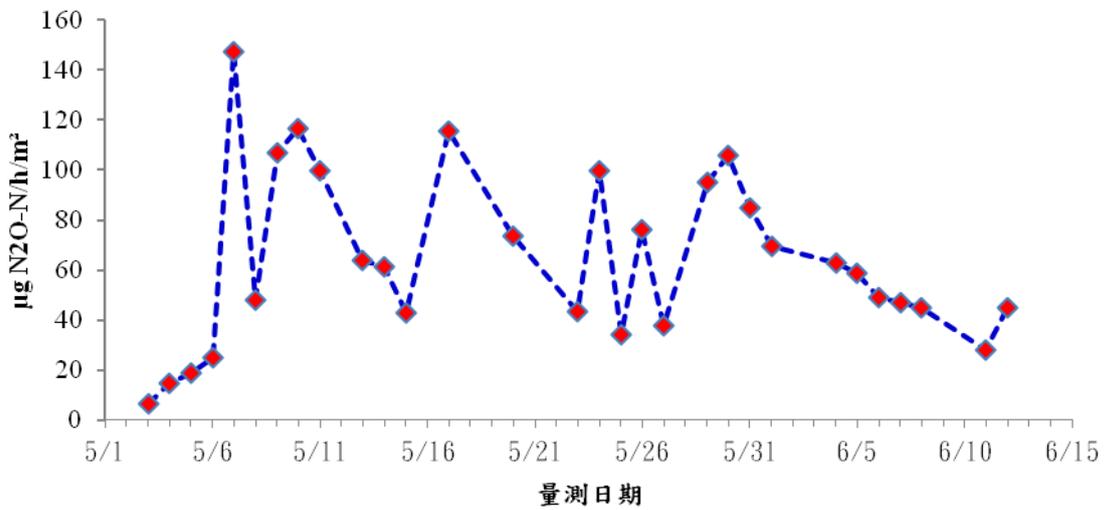
無氮肥單一作物(Php)組氧化亞氮通量變化圖(第四區)



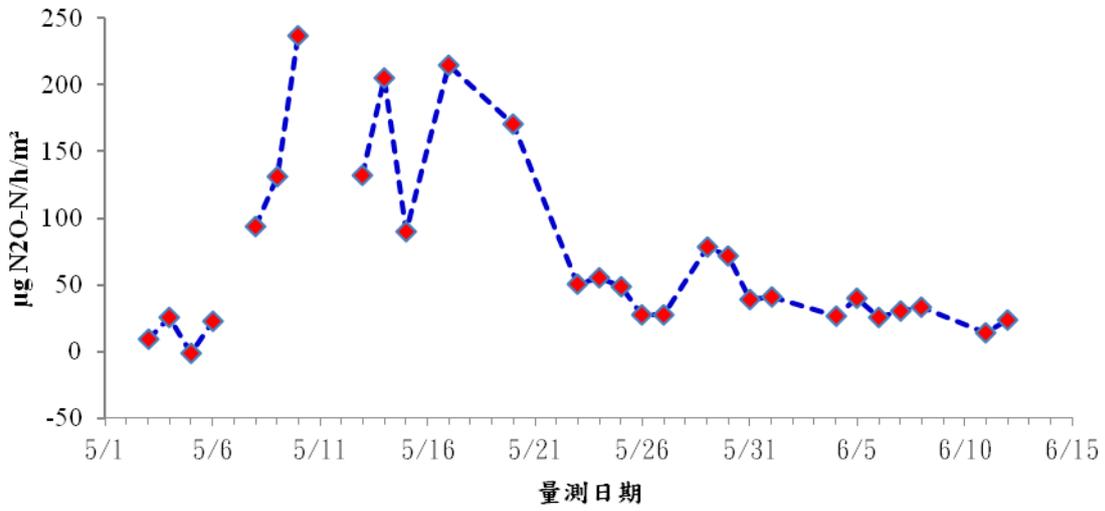
無氮肥單一作物(Php)組氧化亞氮通量變化圖(第五區)



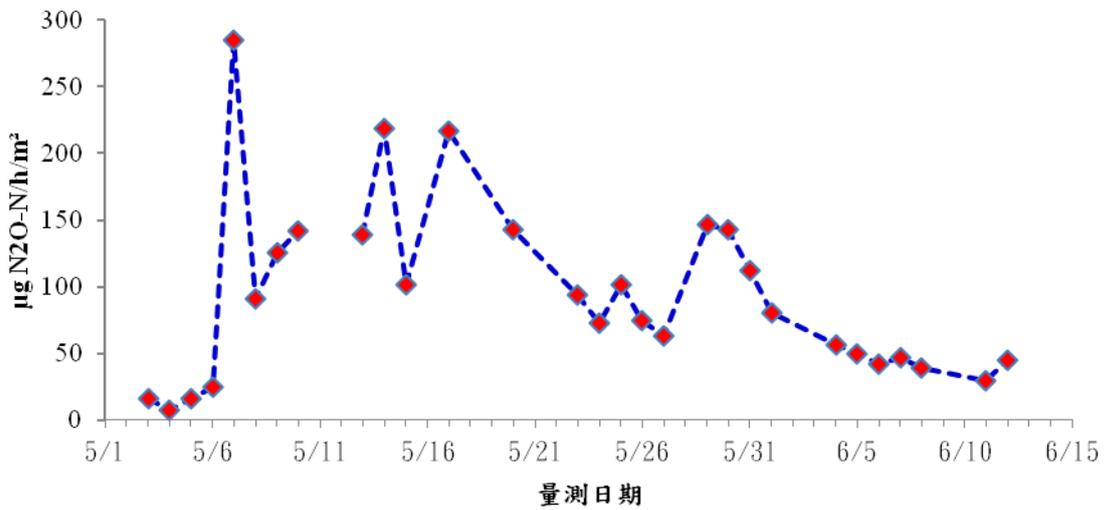
施氮肥單一作物(Php)組氧化亞氮通量變化圖(第一區)



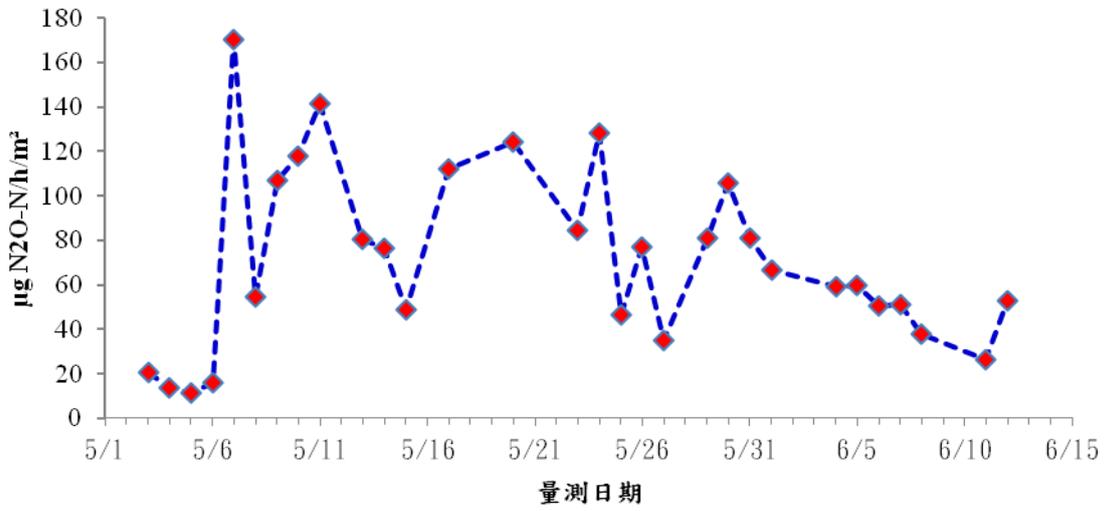
施氮肥單一作物(Php)組氧化亞氮通量變化圖(第二區)



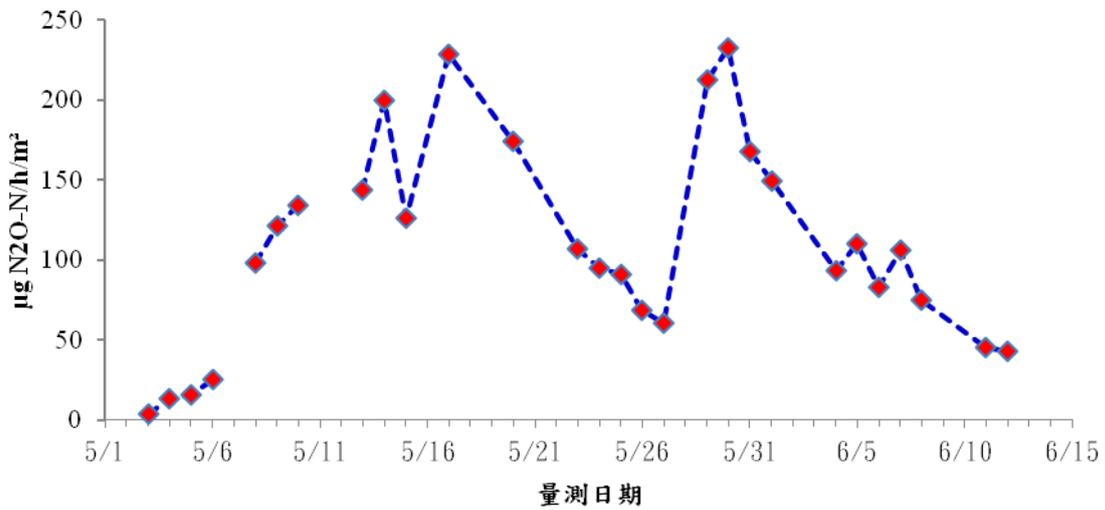
施氮肥單一作物(Php)組氧化亞氮通量變化圖(第三區)



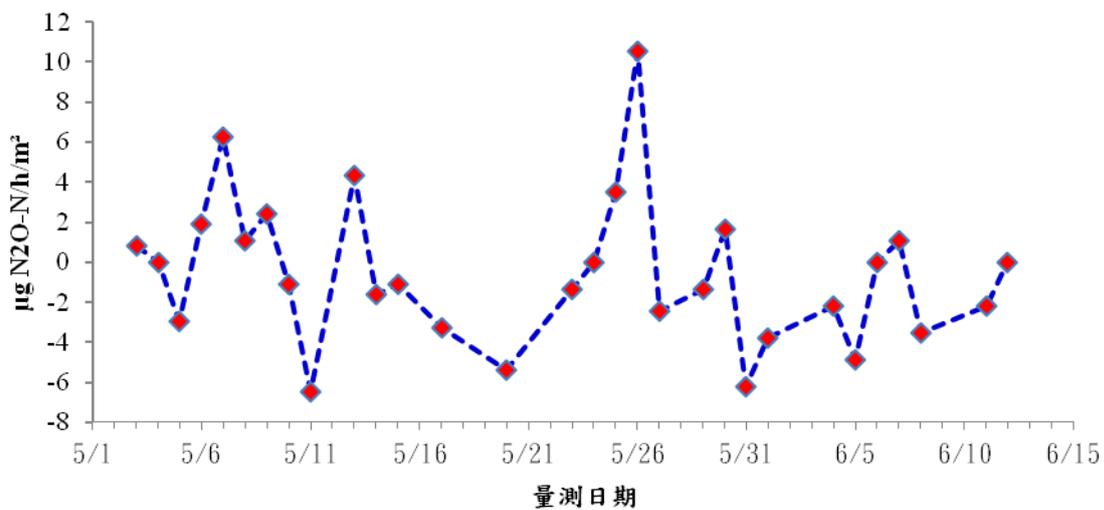
施氮肥單一作物(Php)組氧化亞氮通量變化圖(第四區)



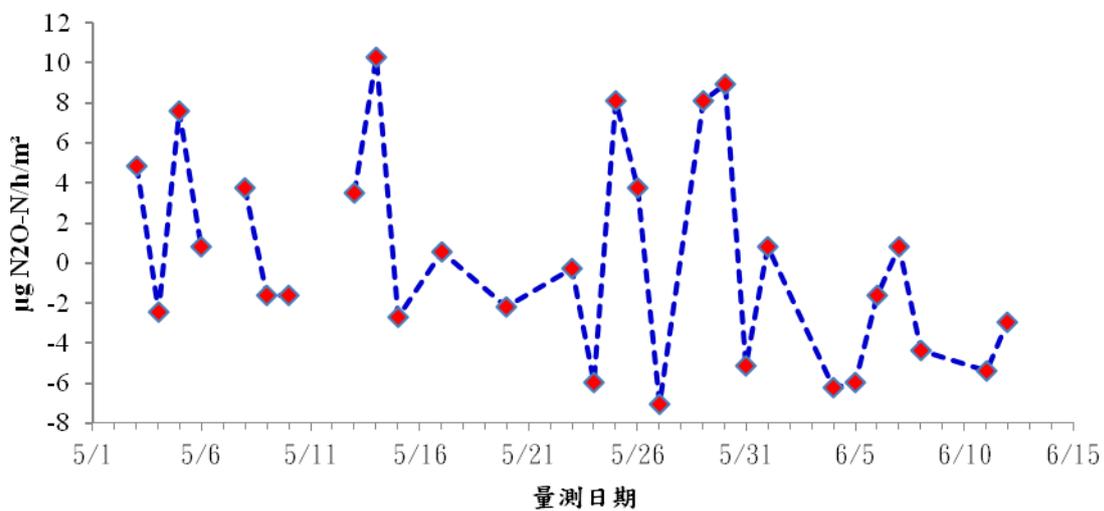
施氮肥單一作物(Php)組氧化亞氮通量變化圖(第五區)



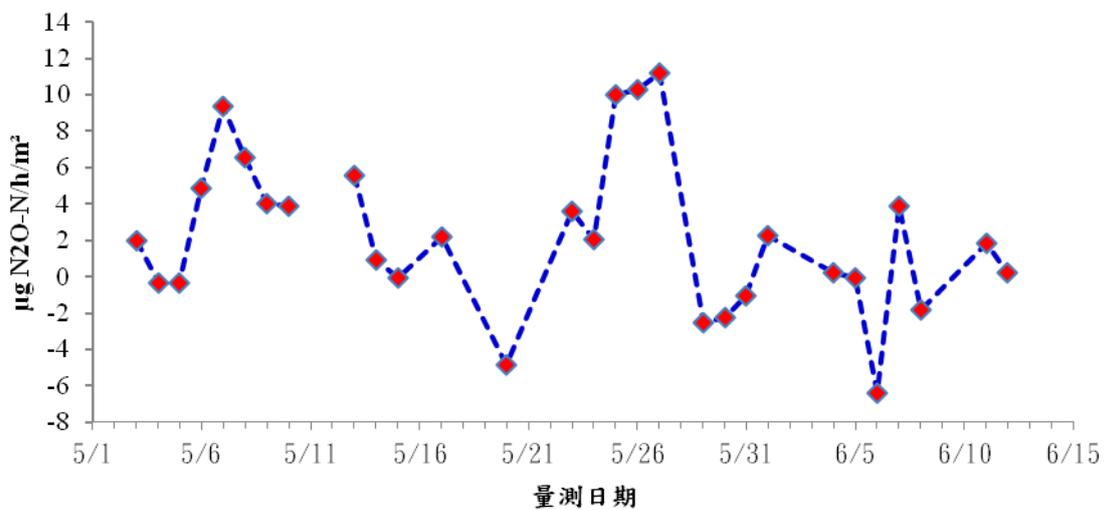
無氮肥單一作物(Pt)組氧化亞氮通量變化圖
(第一區)



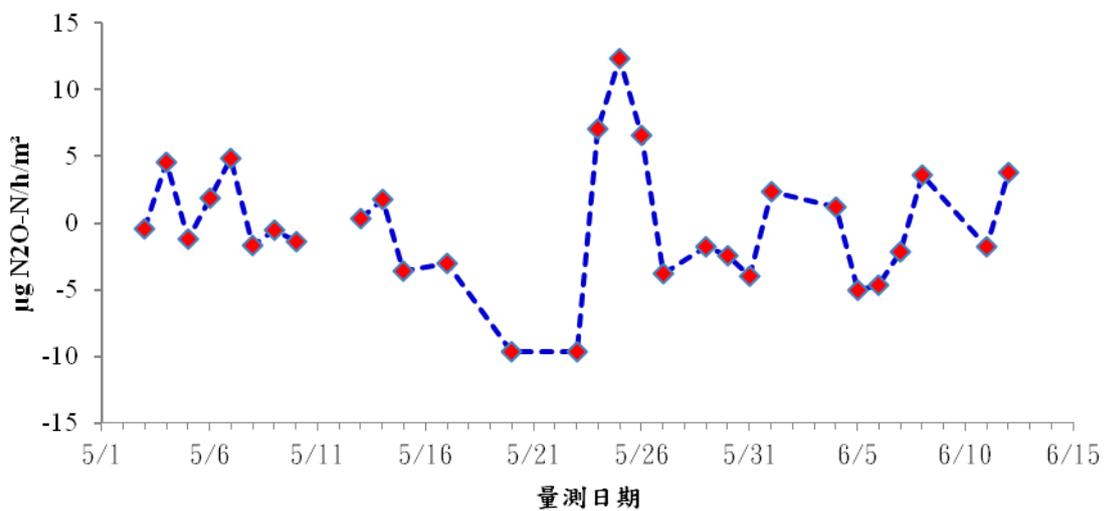
無氮肥單一作物(Pt)組氧化亞氮通量變化圖
(第二區)



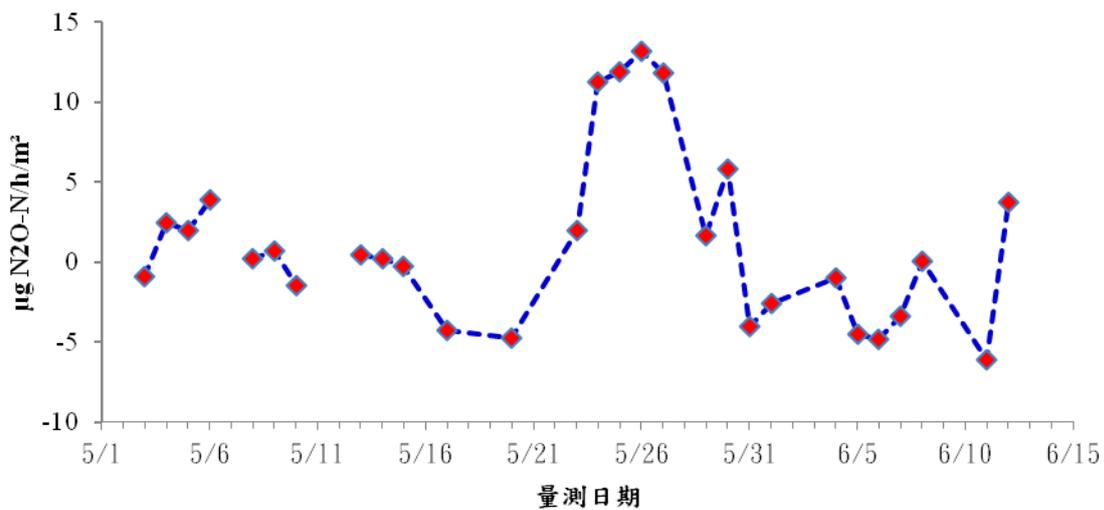
無氮肥單一作物(Pt)組氧化亞氮通量變化圖
(第三區)



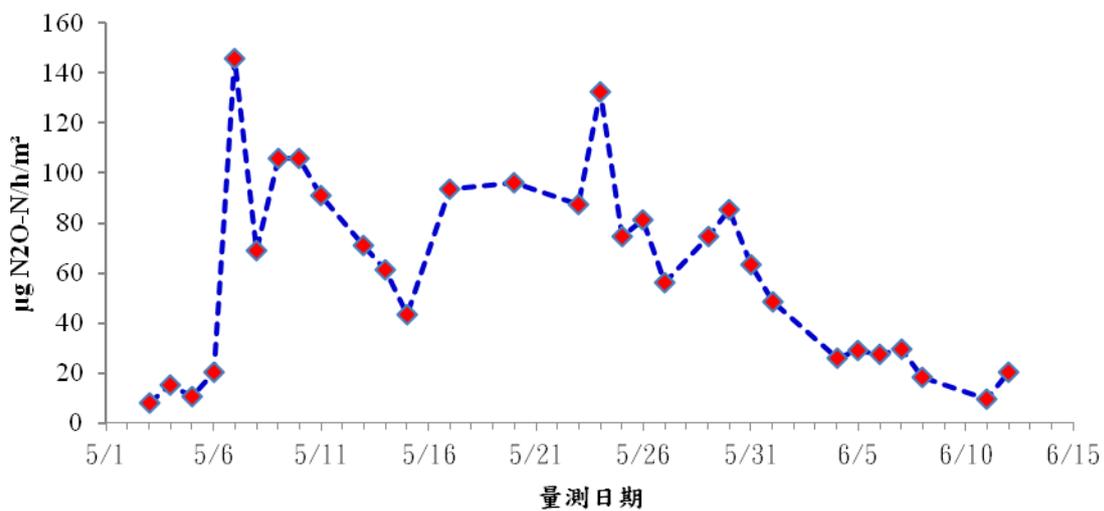
無氮肥單一作物(Pt)組氧化亞氮通量變化圖
(第四區)



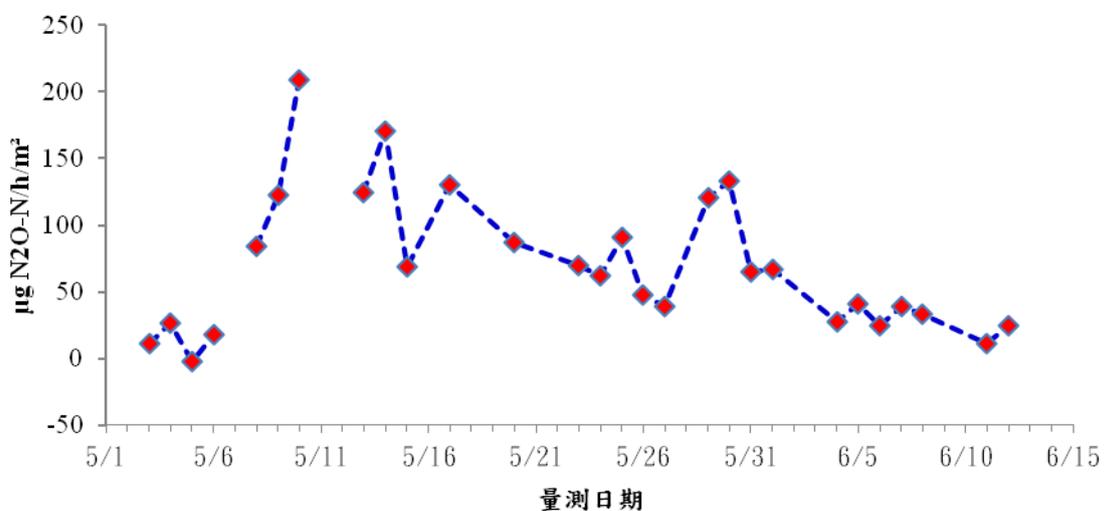
無氮肥單一作物(Pt)組氧化亞氮通量變化圖
(第五區)



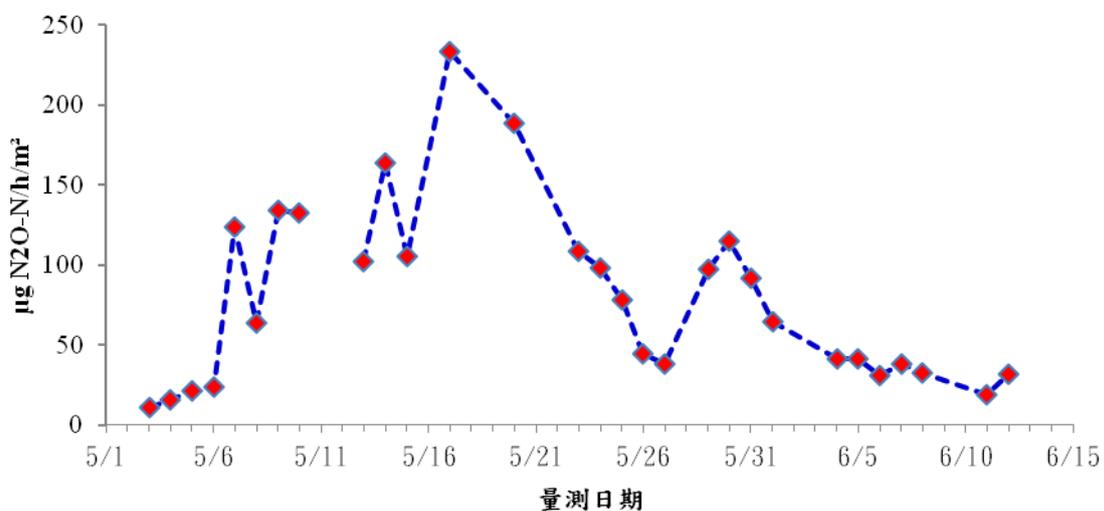
施氮肥單一作物(Pt)組氧化亞氮通量變化圖
(第一區)



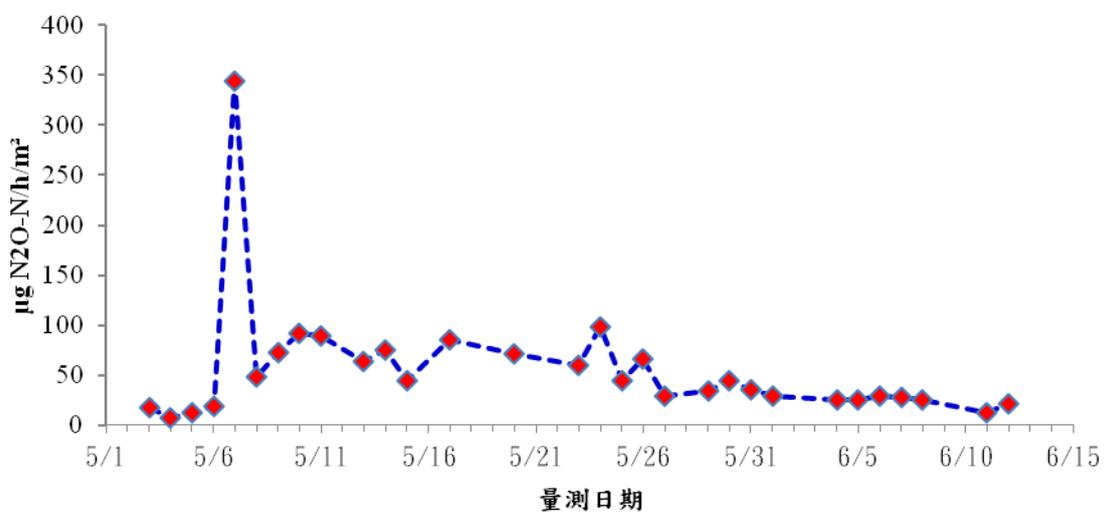
施氮肥單一作物(Pt)組氧化亞氮通量變化圖
(第二區)



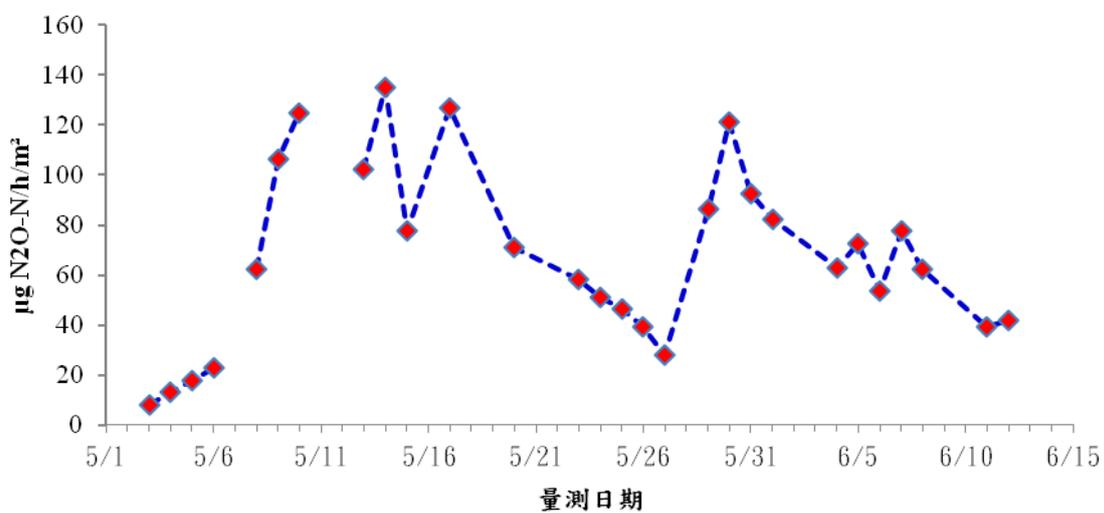
施氮肥單一作物(Pt)組氧化亞氮通量變化圖
(第三區)



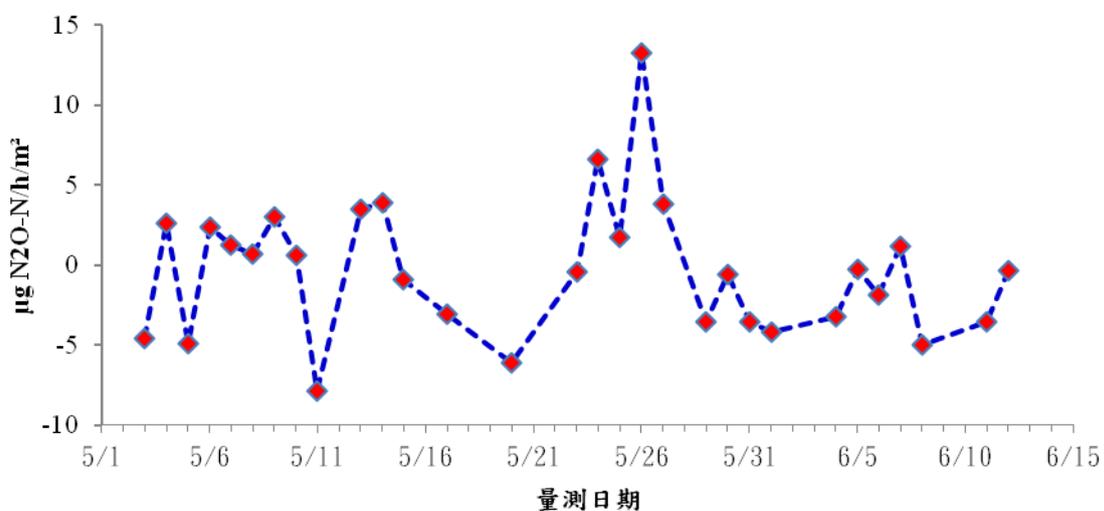
施氮肥單一作物(Pt)組氧化亞氮通量變化圖
(第四區)



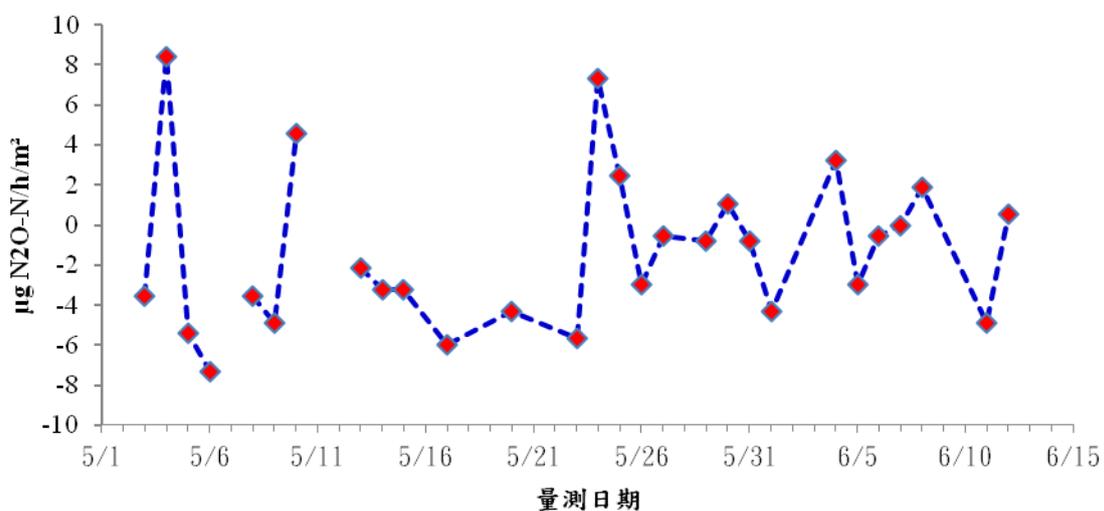
施氮肥單一作物(Pt)組氧化亞氮通量變化圖
(第五區)



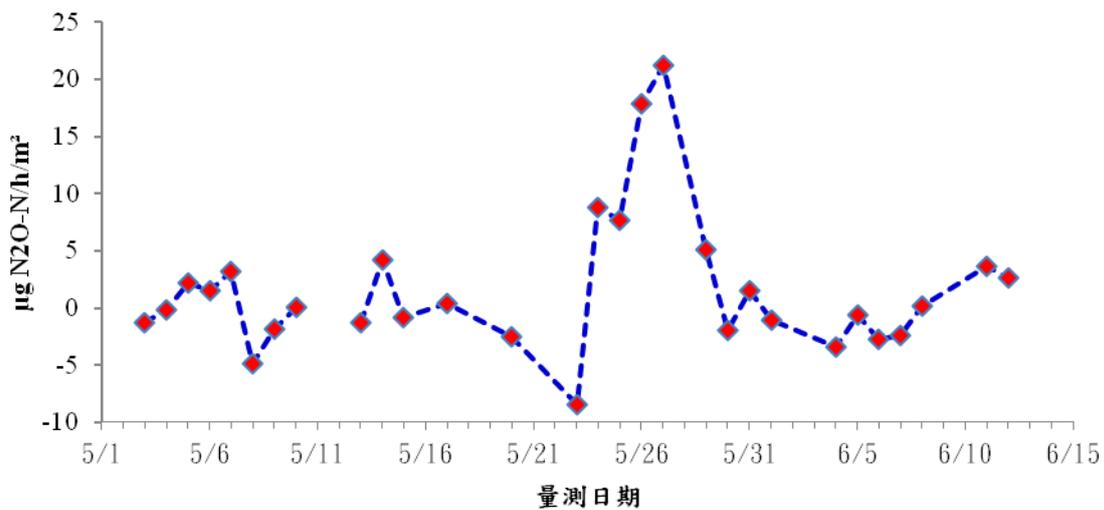
無氮肥兩種作物(Lp+Fa)氧化亞氮通量變化圖(第一區)



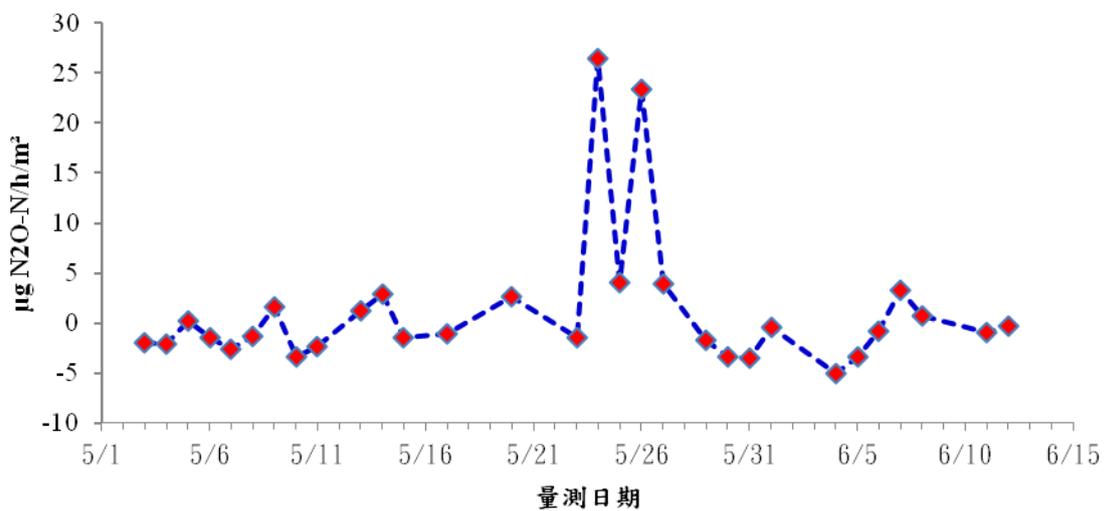
無氮肥兩種作物(Lp+Fa)氧化亞氮通量變化圖(第二區)



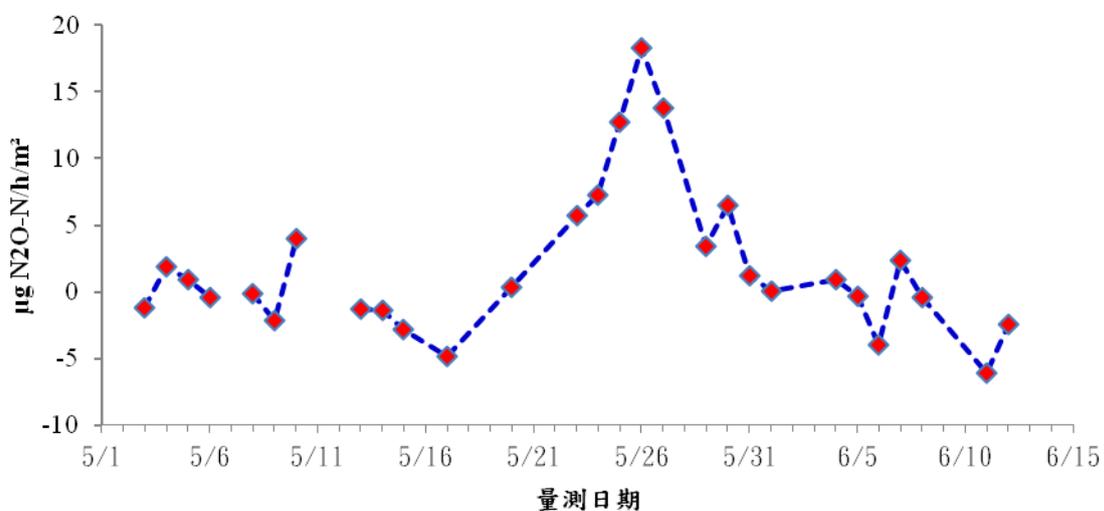
無氮肥兩種作物(Lp+Fa)氧化亞氮通量變化圖(第三區)



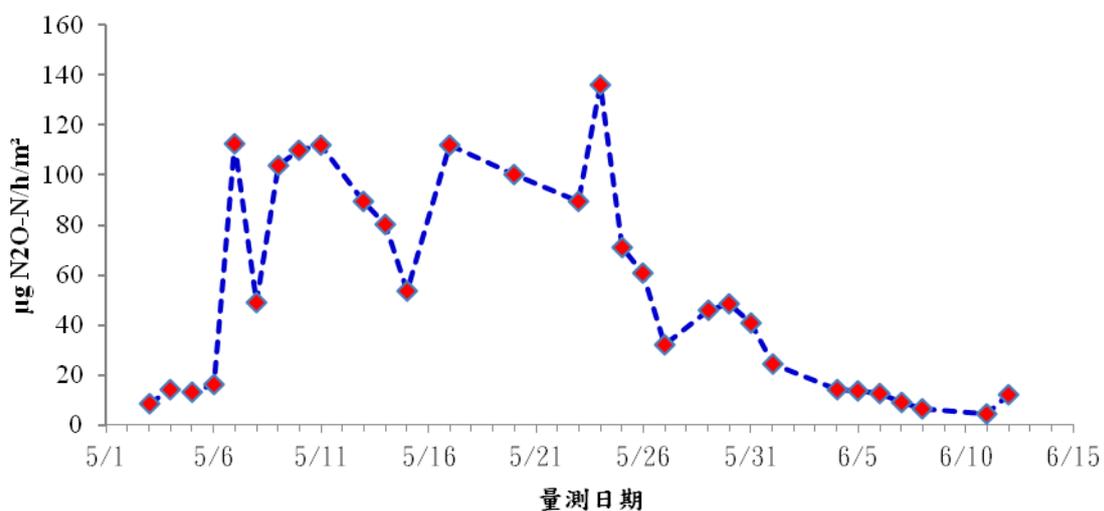
無氮肥兩種作物(Lp+Fa)氧化亞氮通量變化圖(第四區)



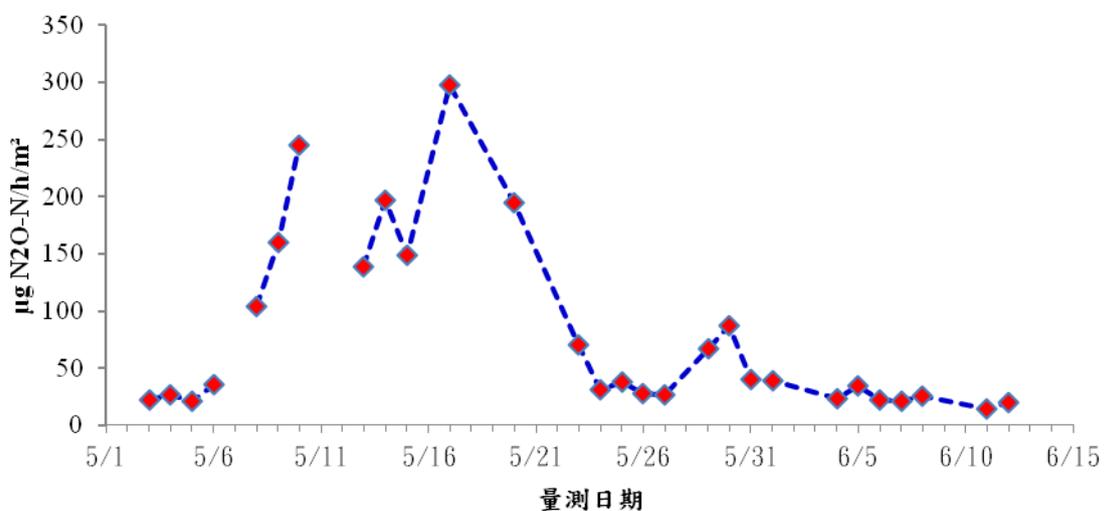
無氮肥兩種作物(Lp+Fa)氧化亞氮通量變化圖(第五區)



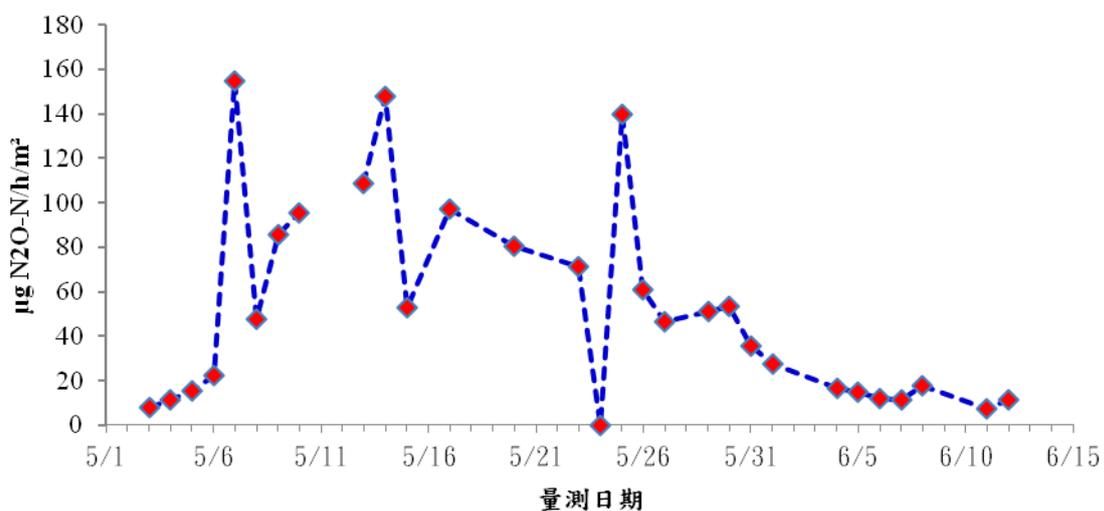
施氮肥兩種作物(Lp+Fa)氧化亞氮通量變化圖(第一區)



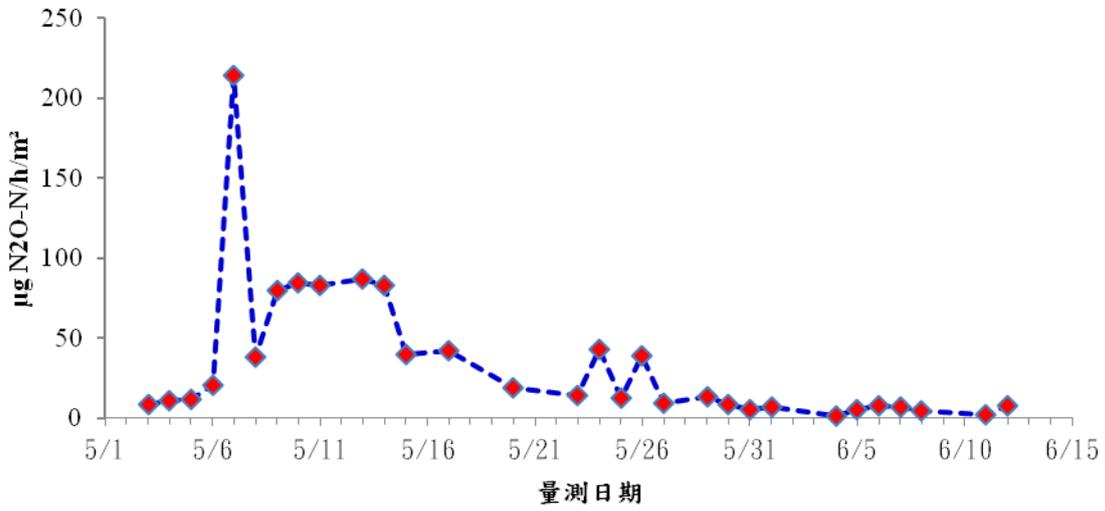
施氮肥兩種作物(Lp+Fa)氧化亞氮通量變化圖(第二區)



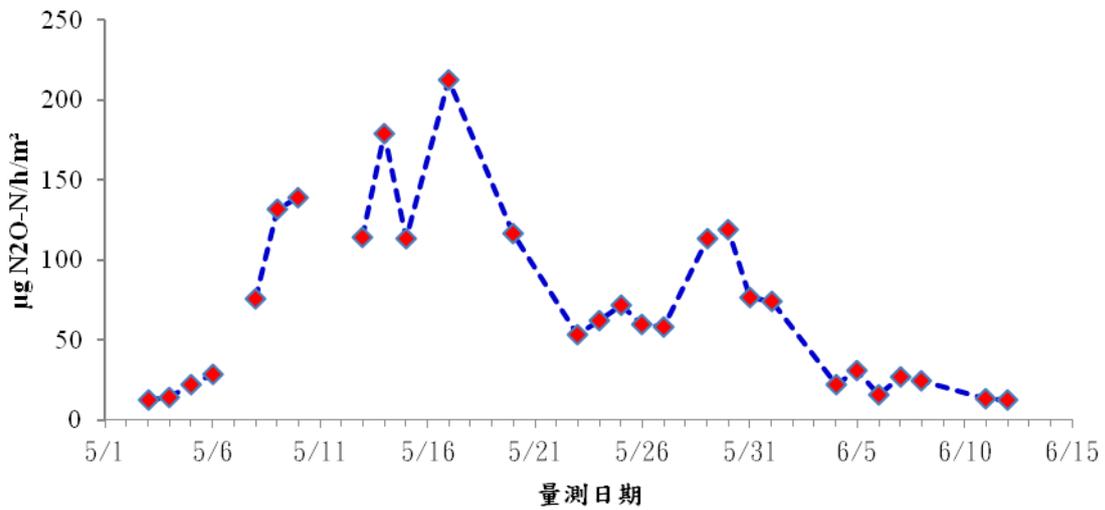
施氮肥兩種作物(Lp+Fa)氧化亞氮通量變化圖(第三區)



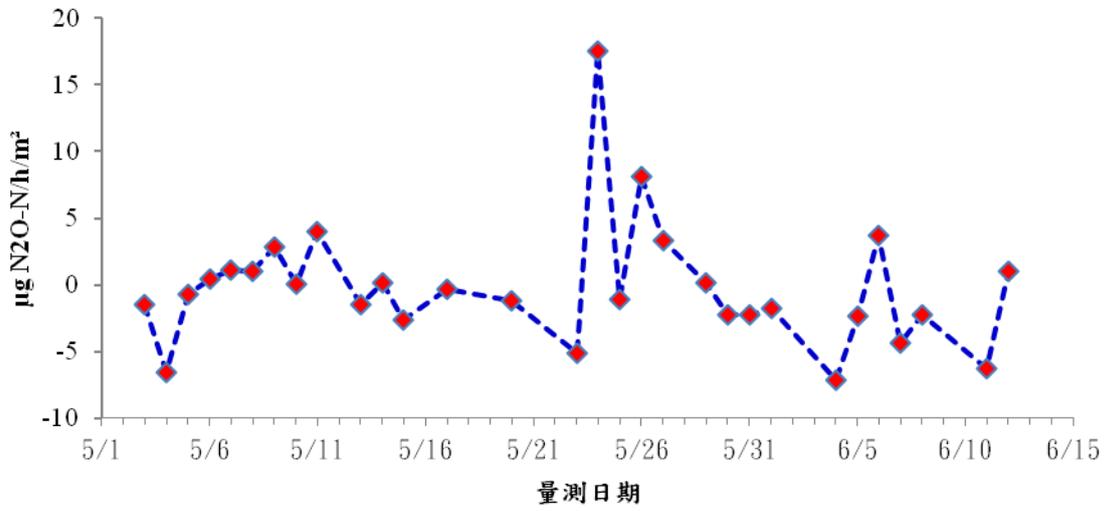
施氮肥兩種作物(Lp+Fa)氧化亞氮通量變化圖(第四區)



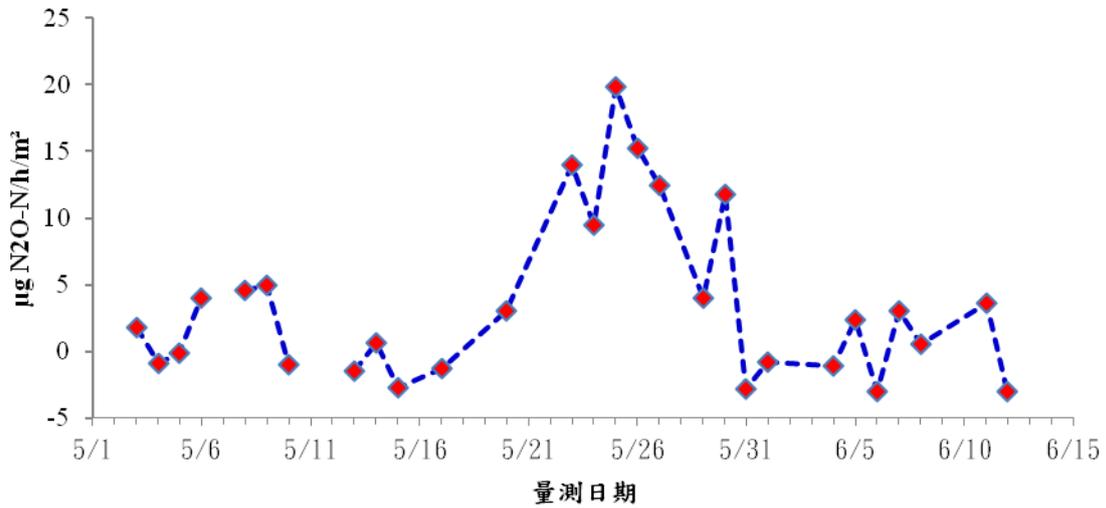
施氮肥兩種作物(Lp+Fa)氧化亞氮通量變化圖(第五區)



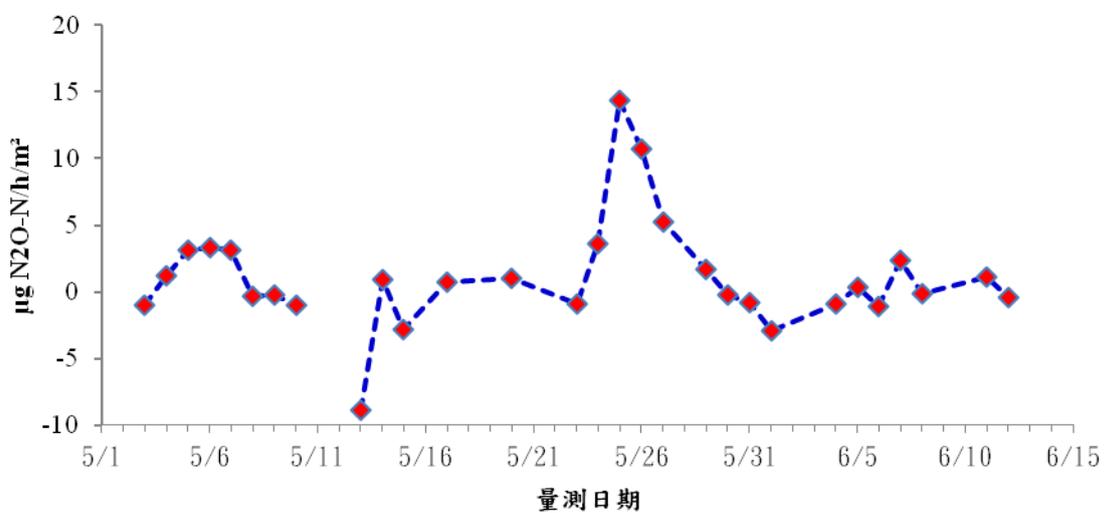
無氮肥兩種作物(Lp+Php)氧化亞氮通量變化(第一區)



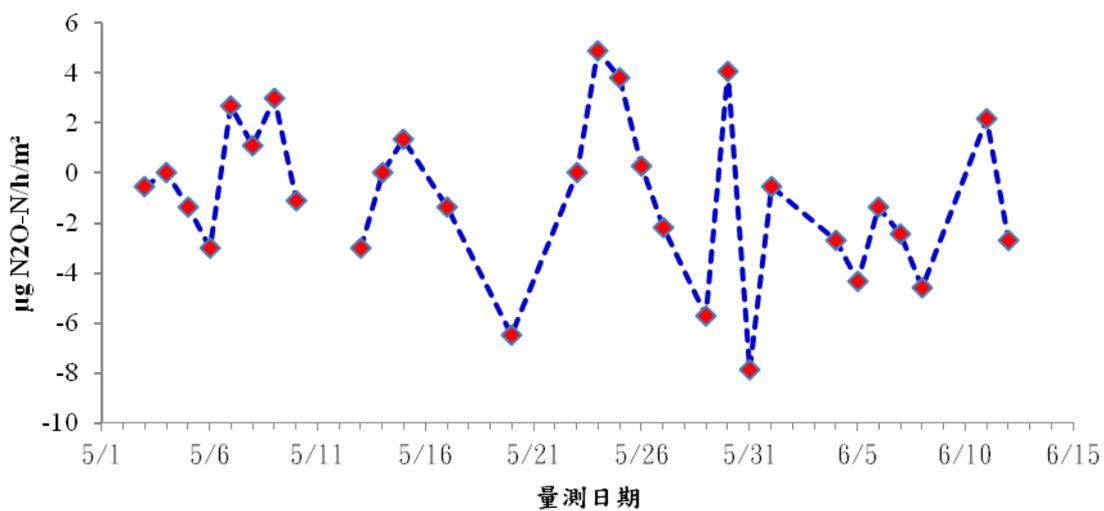
無氮肥兩種作物(Lp+Php)氧化亞氮通量變化(第二區)



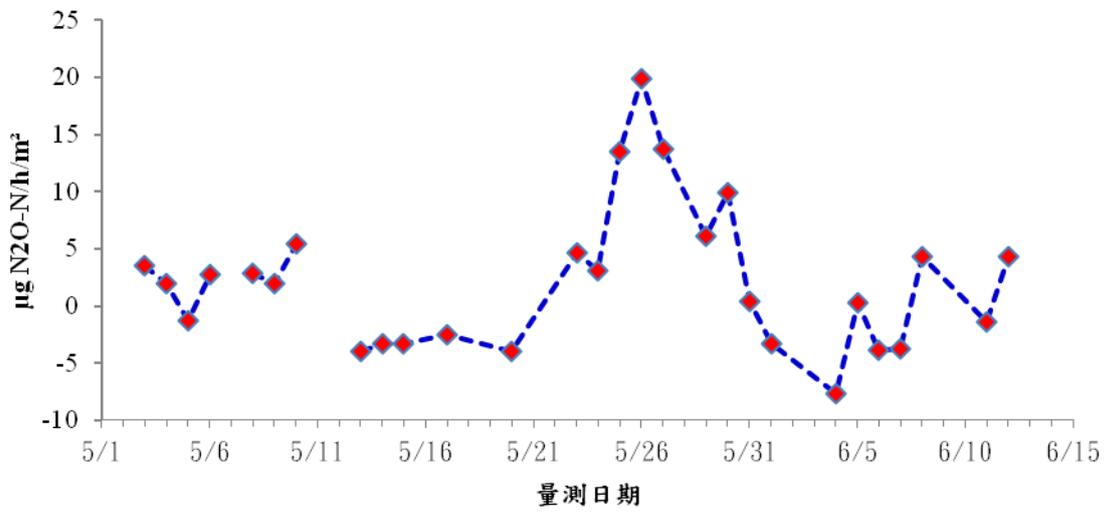
無氮肥兩種作物(Lp+Php)氧化亞氮通量變化(第三區)



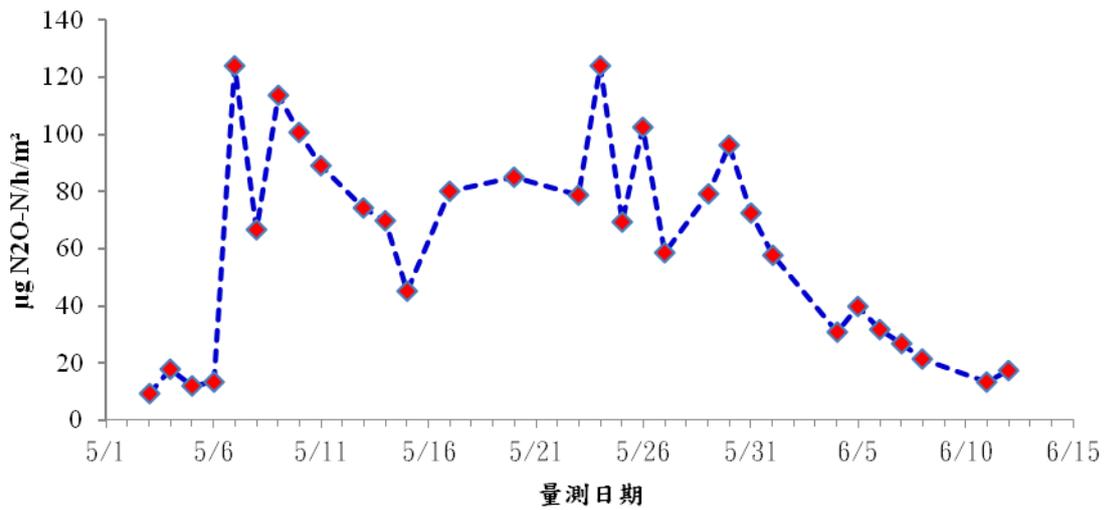
無氮肥兩種作物(Lp+Php)氧化亞氮通量變化(第四區)



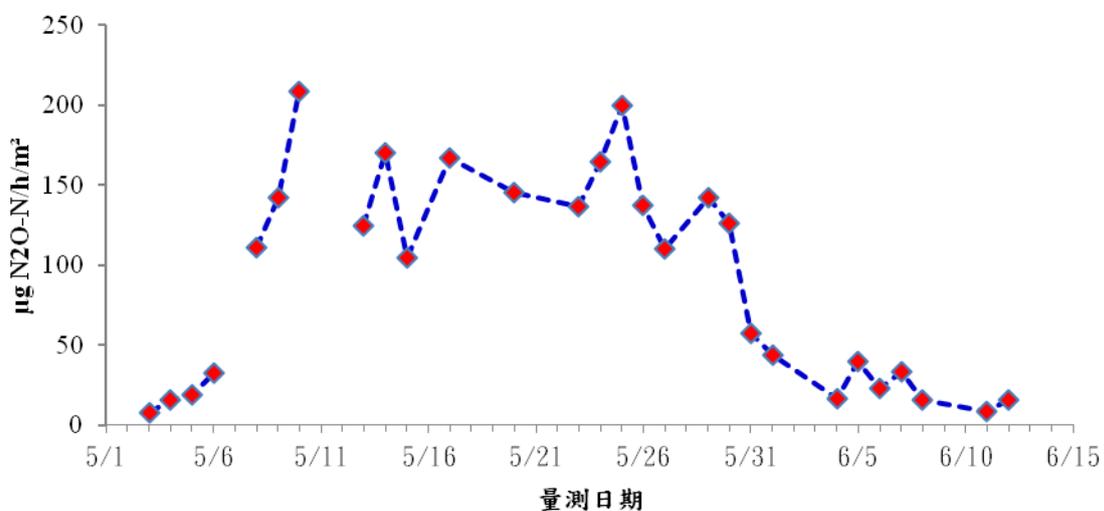
無氮肥兩種作物(Lp+Php)氧化亞氮通量變化(第五區)



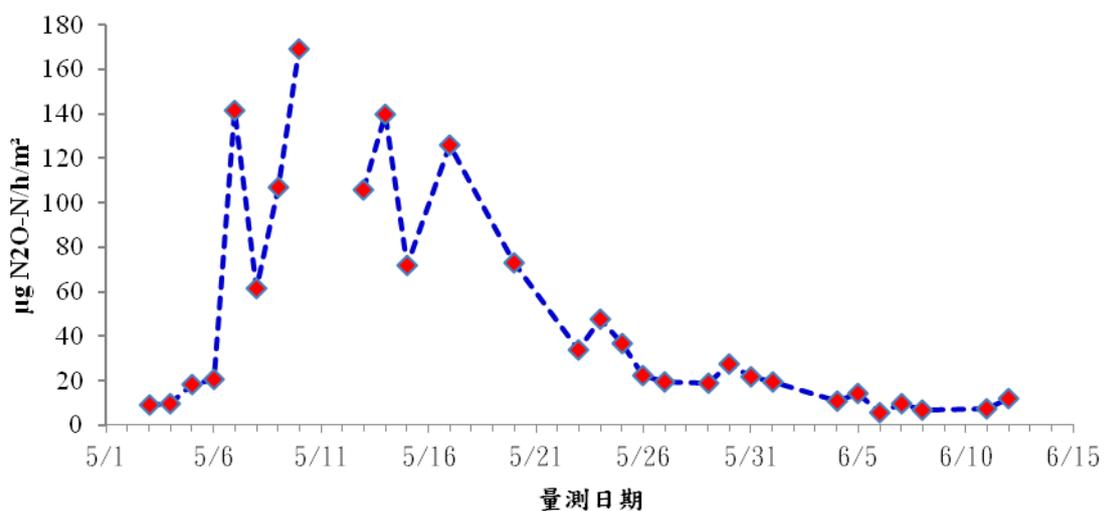
施氮肥兩種作物(Lp+Php)氧化亞氮通量變化(第一區)



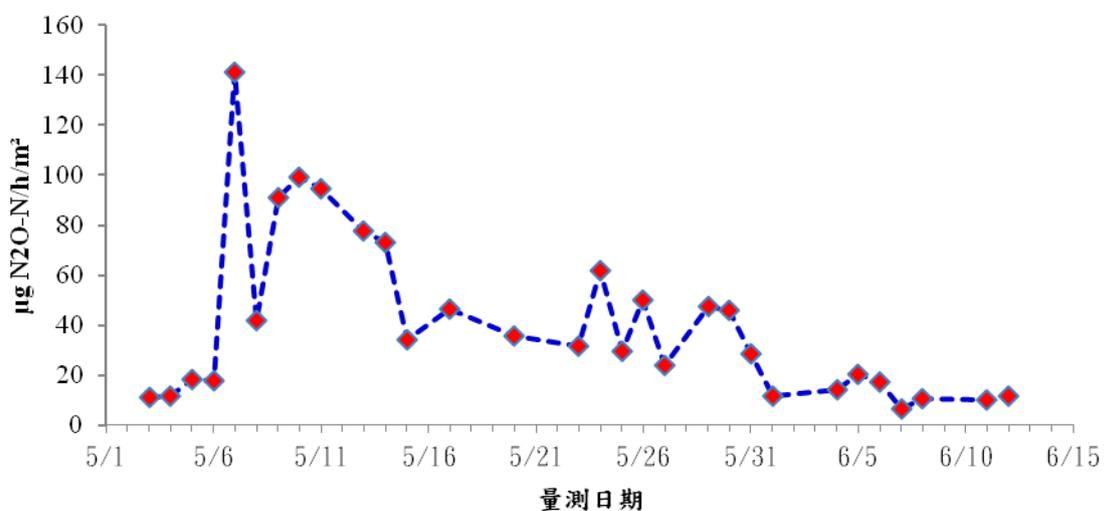
施氮肥兩種作物(Lp+Php)氧化亞氮通量變化(第二區)



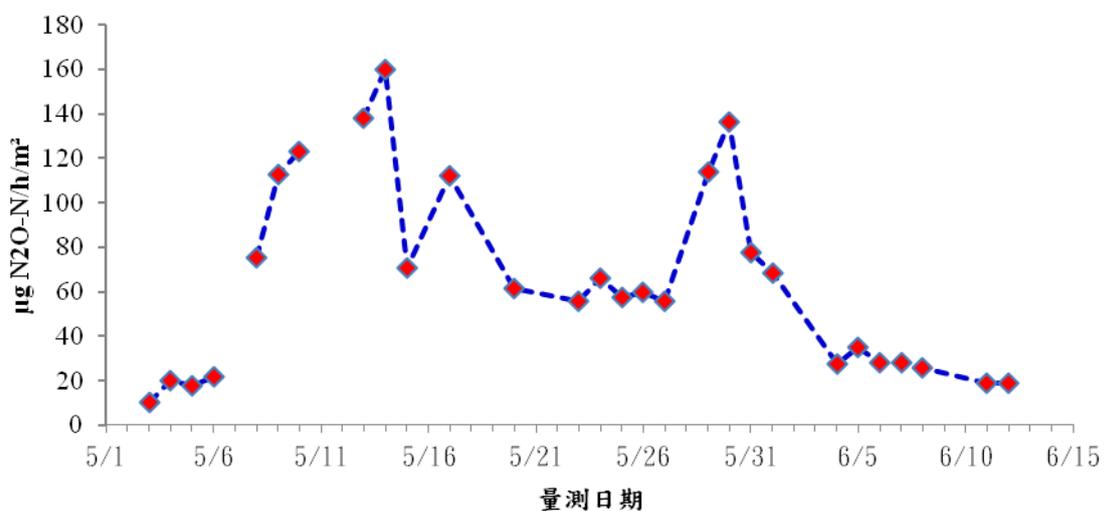
施氮肥兩種作物(Lp+Php)氧化亞氮通量變化(第三區)



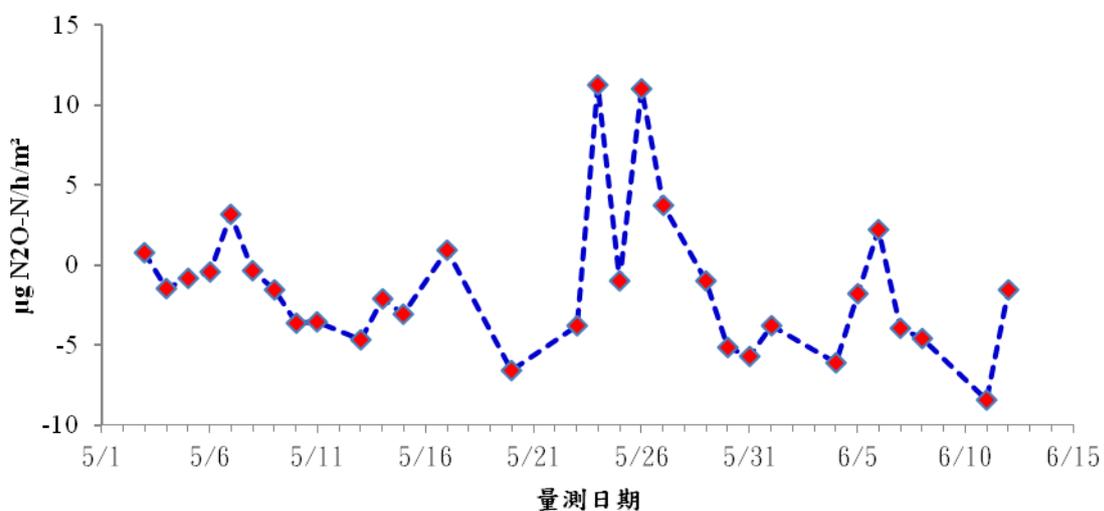
施氮肥兩種作物(Lp+Php)氧化亞氮通量變化(第四區)



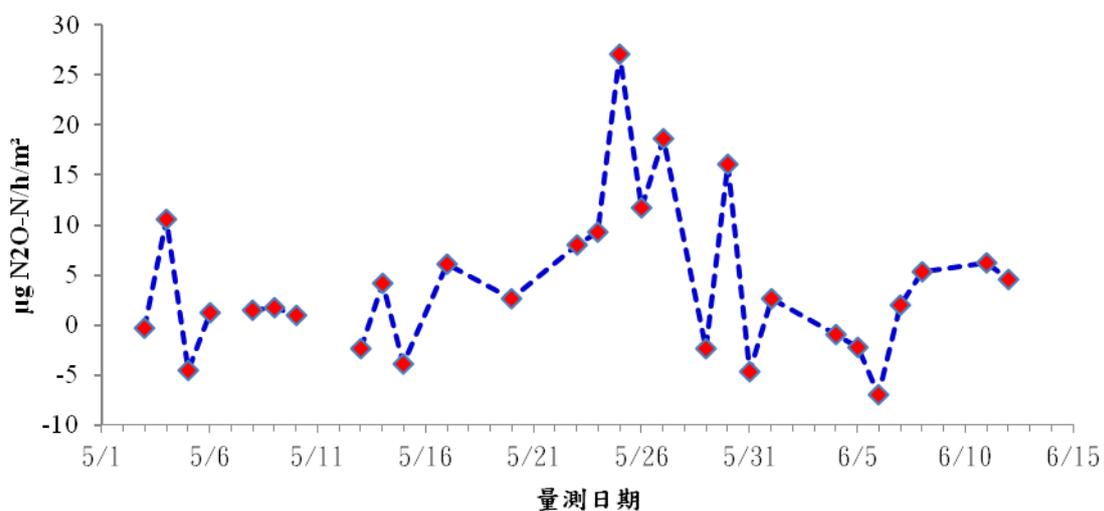
施氮肥兩種作物(Lp+Php)氧化亞氮通量變化(第五區)



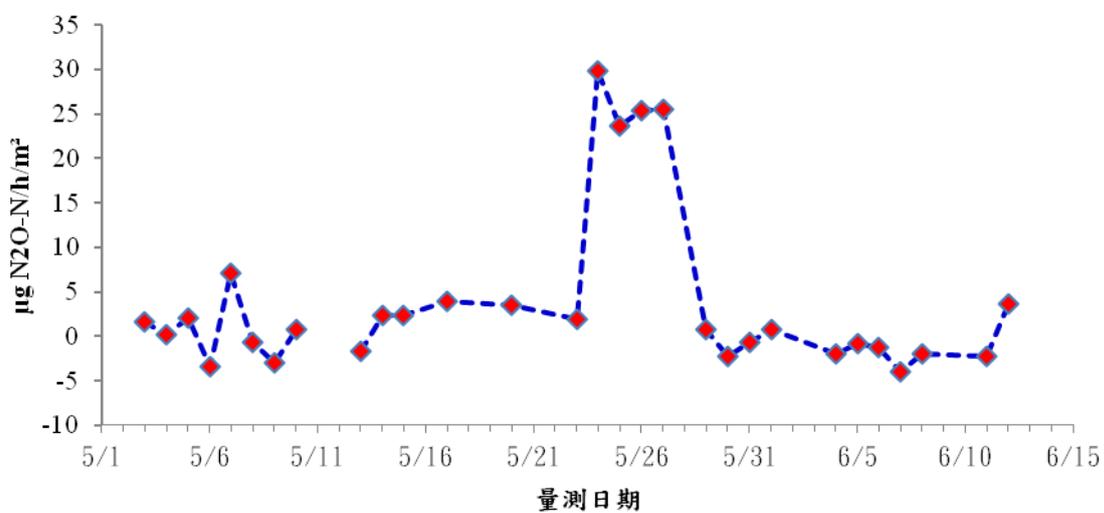
無氮肥兩種作物(Lp+Pt)氧化亞氮通量變化(第一區)



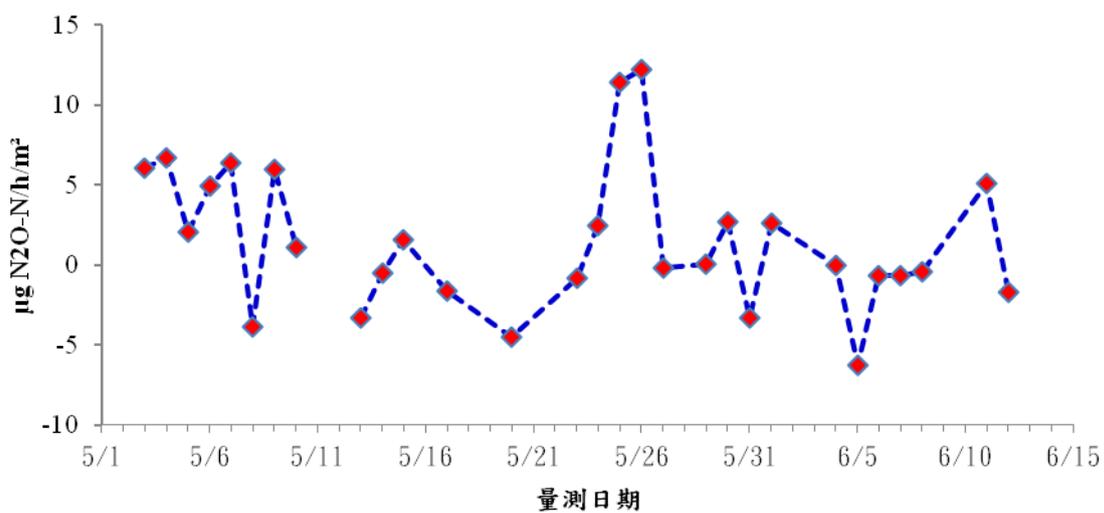
無氮肥兩種作物(Lp+Pt)氧化亞氮通量變化(第二區)



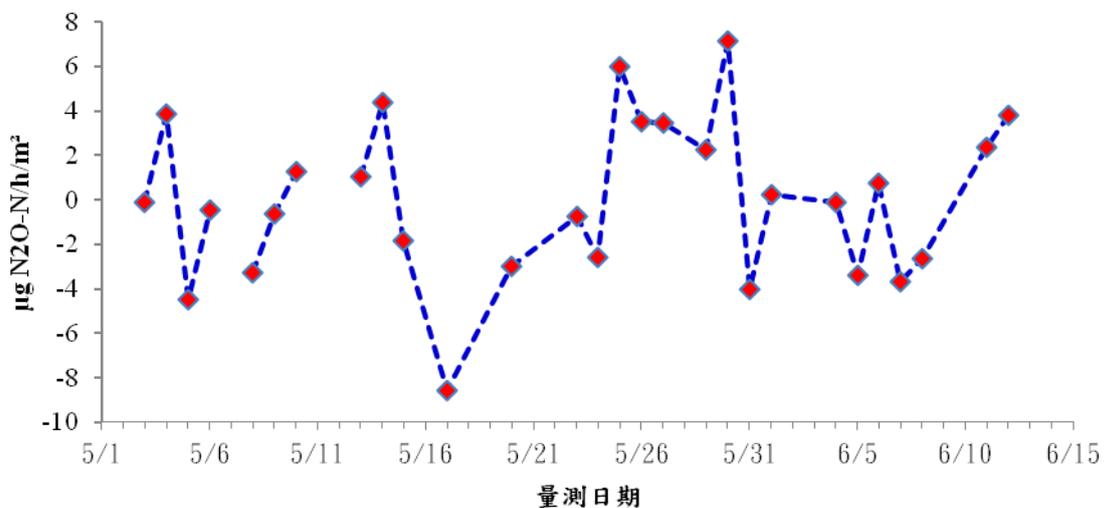
無氮肥兩種作物(Lp+Pt)氧化亞氮通量變化(第三區)



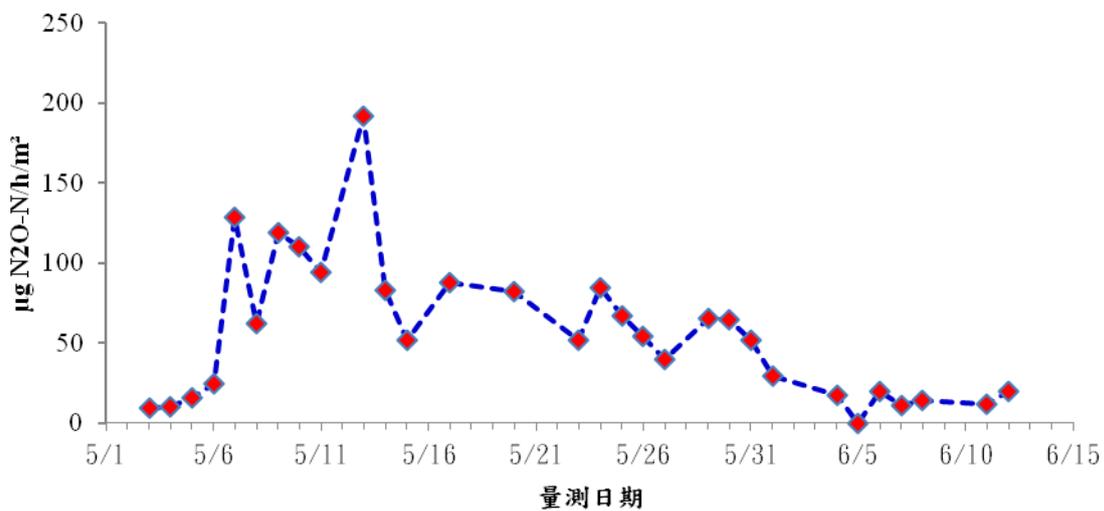
無氮肥兩種作物(Lp+Pt)氧化亞氮通量變化(第四區)



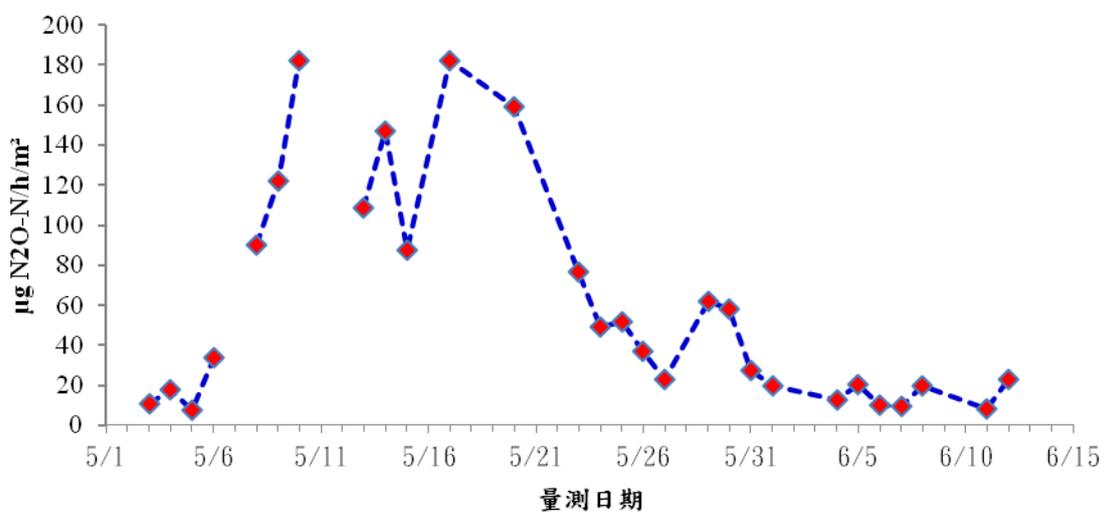
無氮肥兩種作物(Lp+Pt)氧化亞氮通量變化(第五區)



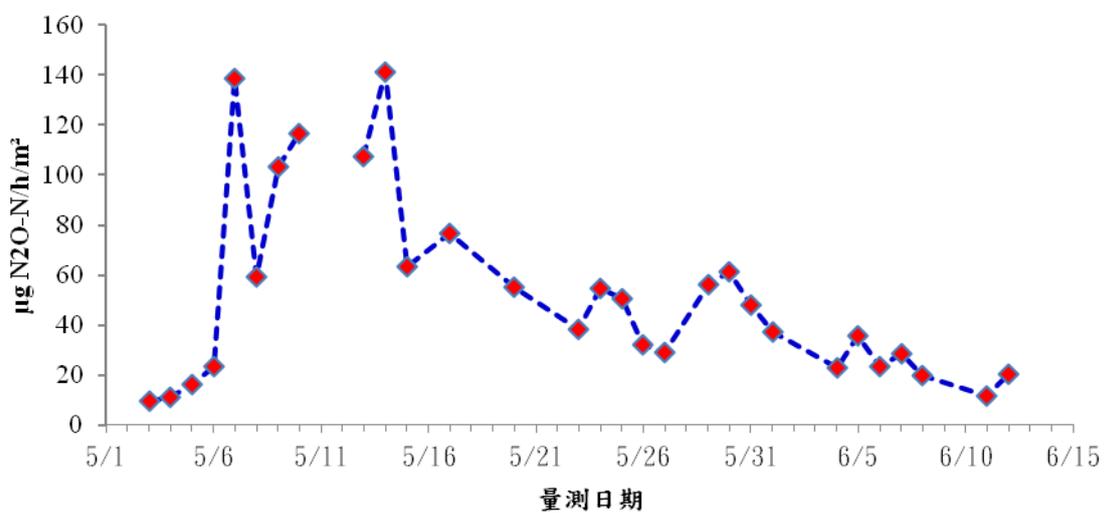
施氮肥兩種作物(Lp+Pt)氧化亞氮通量變化(第一區)



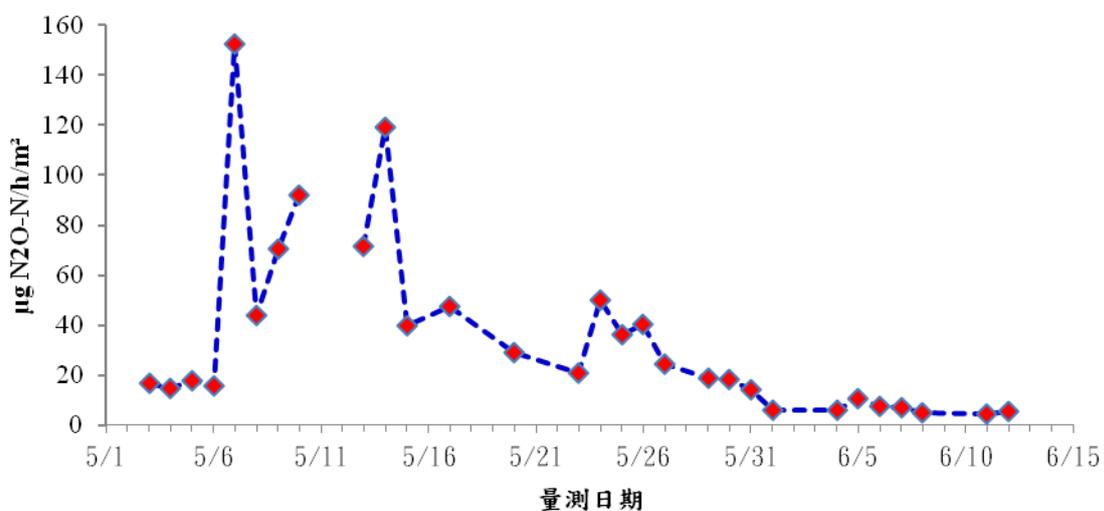
施氮肥兩種作物(Lp+Pt)氧化亞氮通量變化(第二區)



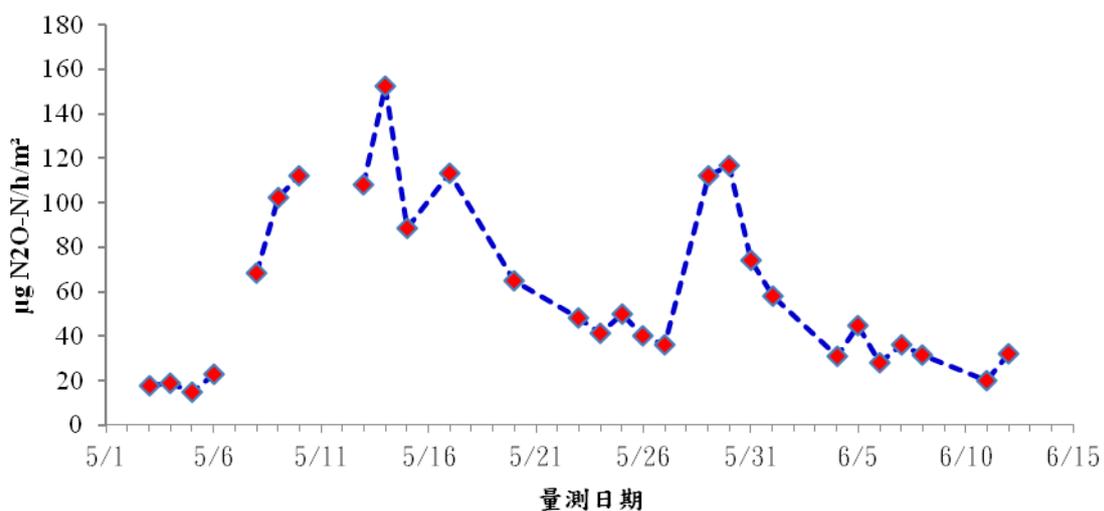
施氮肥兩種作物(Lp+Pt)氧化亞氮通量變化(第三區)



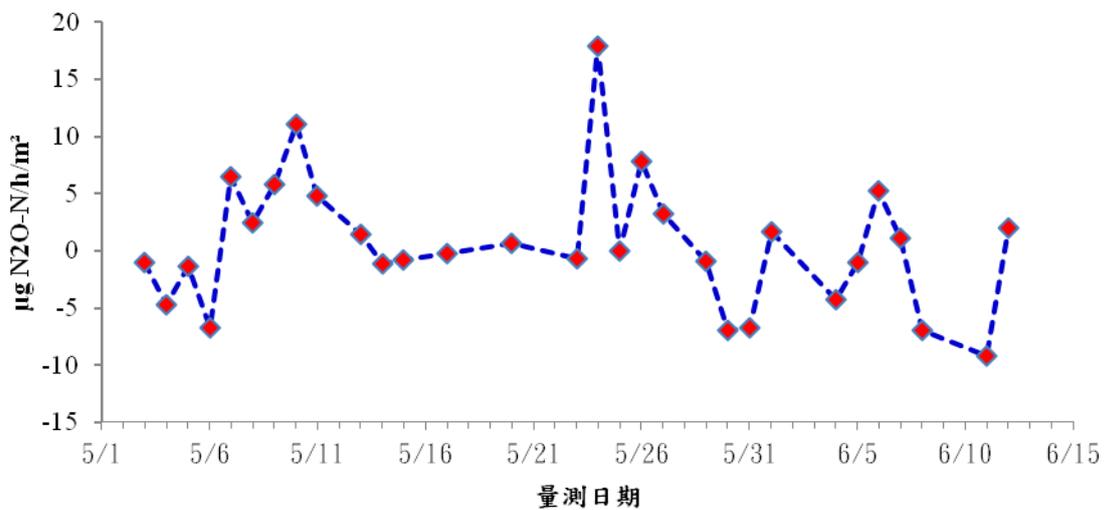
施氮肥兩種作物(Lp+Pt)氧化亞氮通量變化(第四區)



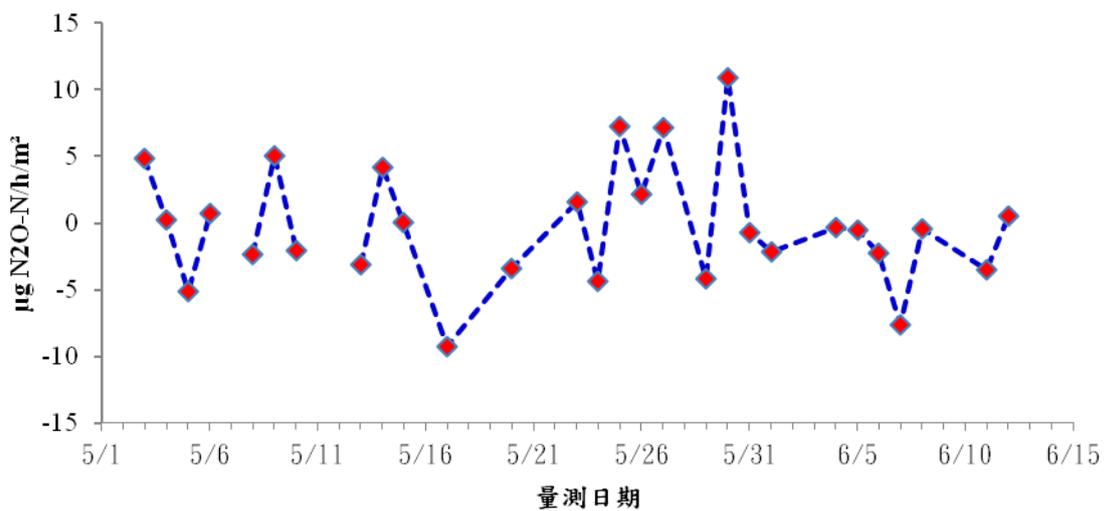
施氮肥兩種作物(Lp+Pt)氧化亞氮通量變化(第五區)



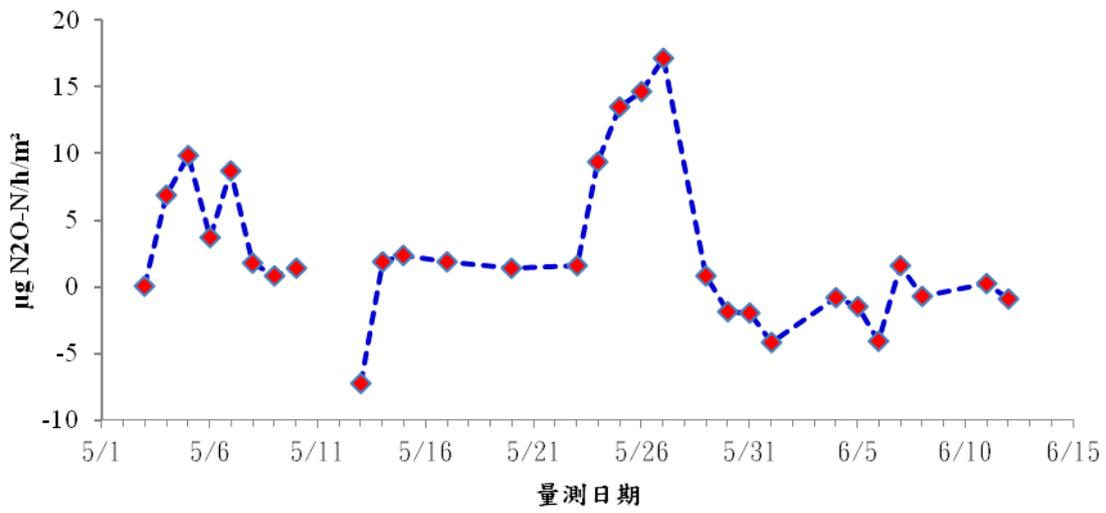
無氮肥兩種作物(Fa+Php)氧化亞氮通量變化(第一區)



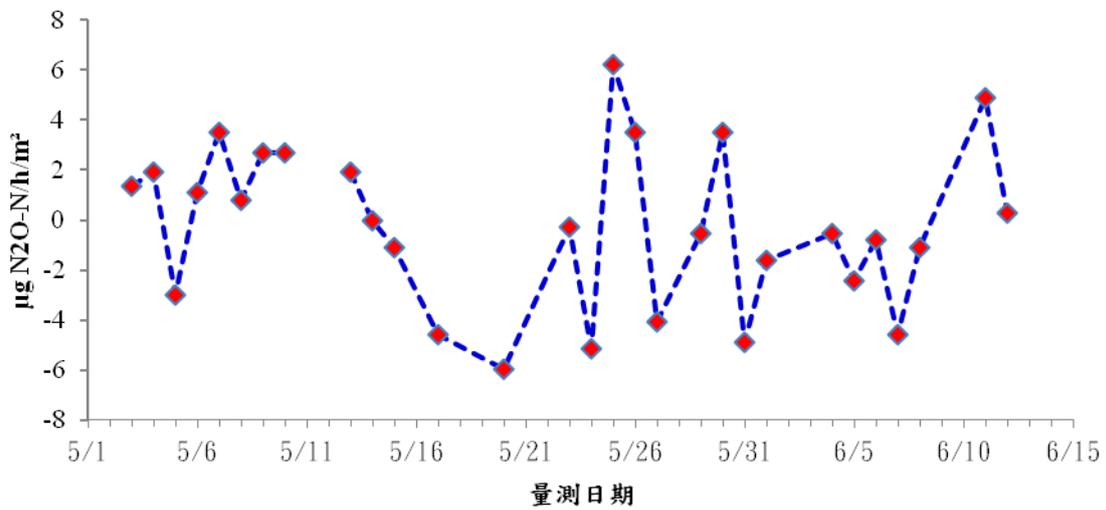
無氮肥兩種作物(Fa+Php)氧化亞氮通量變化(第二區)



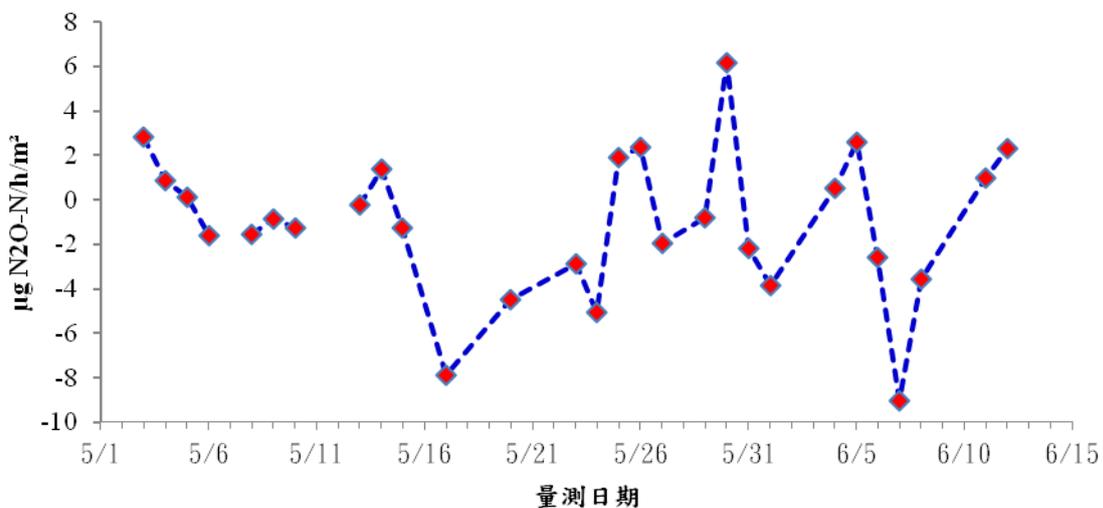
無氮肥兩種作物(Fa+Php)氧化亞氮通量變化(第三區)



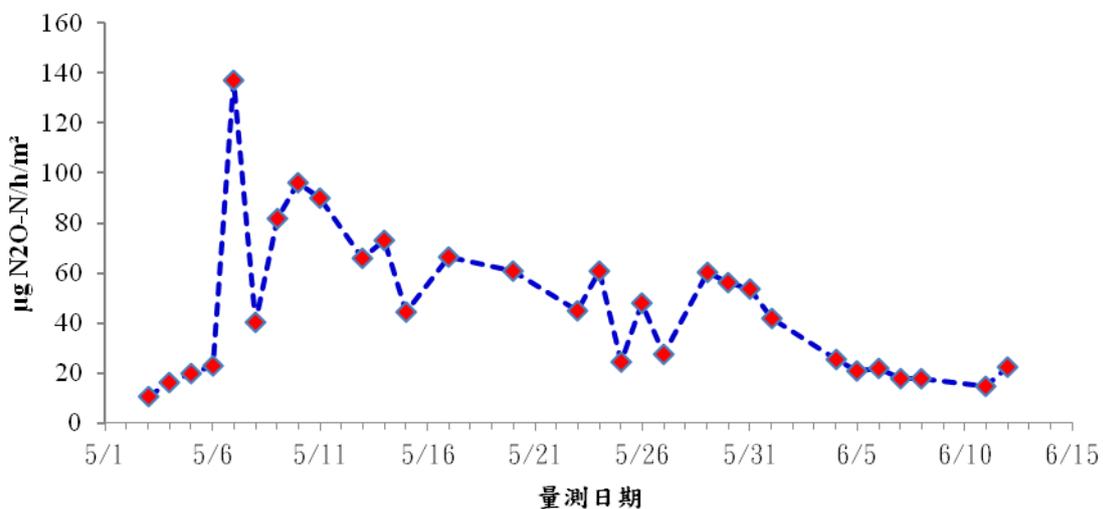
無氮肥兩種作物(Fa+Php)氧化亞氮通量變化(第四區)



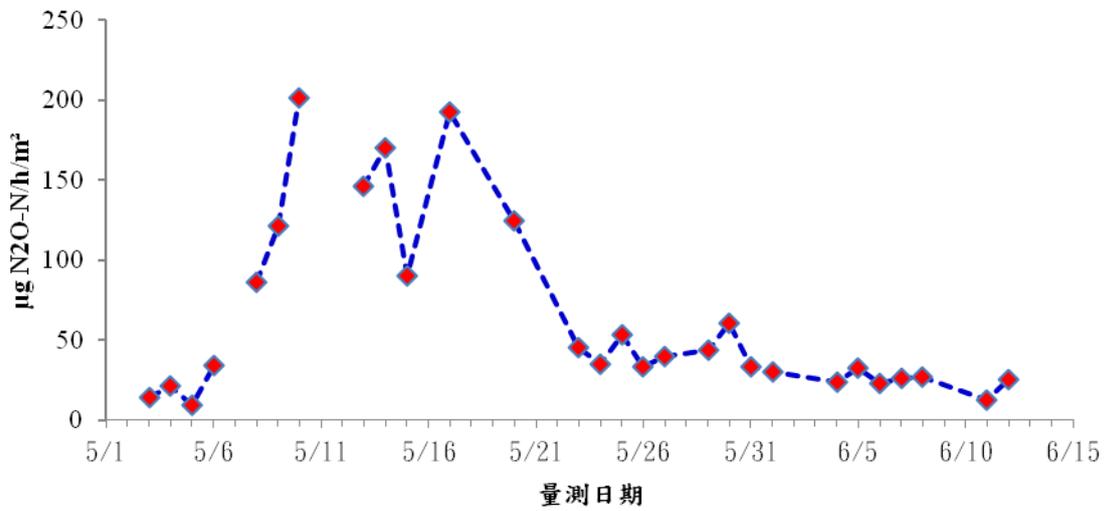
無氮肥兩種作物(Fa+Php)氧化亞氮通量變化(第五區)



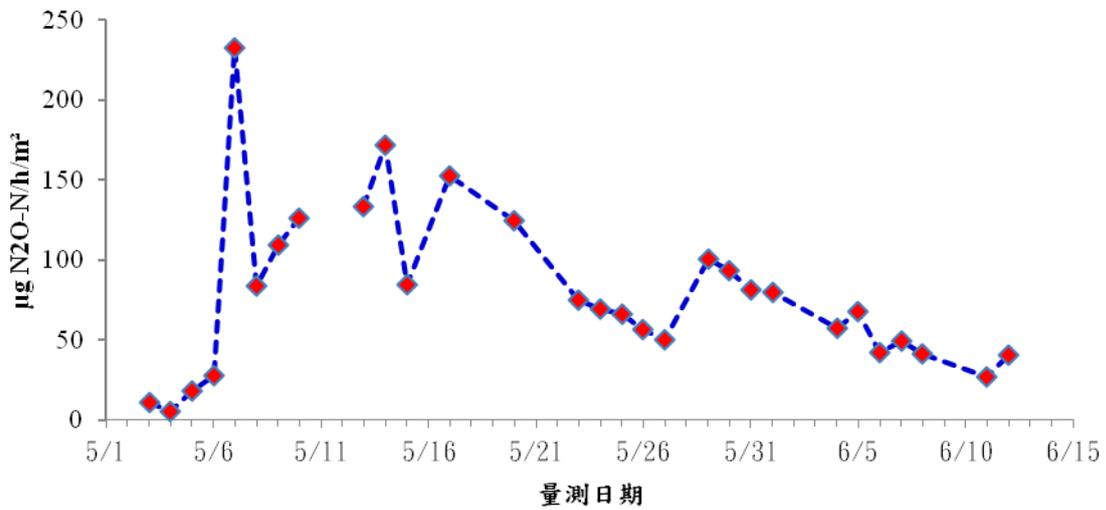
施氮肥兩種作物(Fa+Php)氧化亞氮通量變化(第一區)



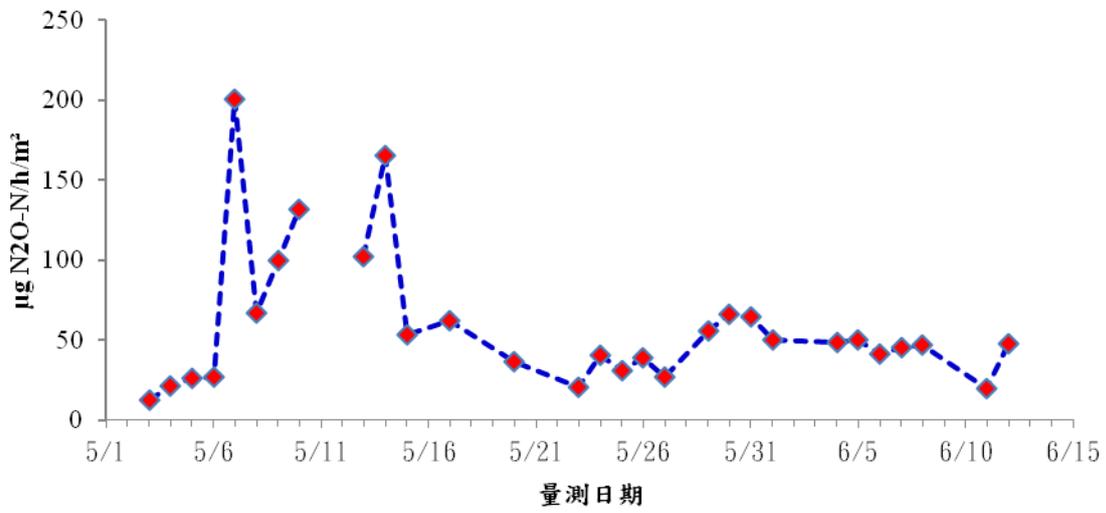
施氮肥兩種作物(Fa+Php)氧化亞氮通量變化(第二區)



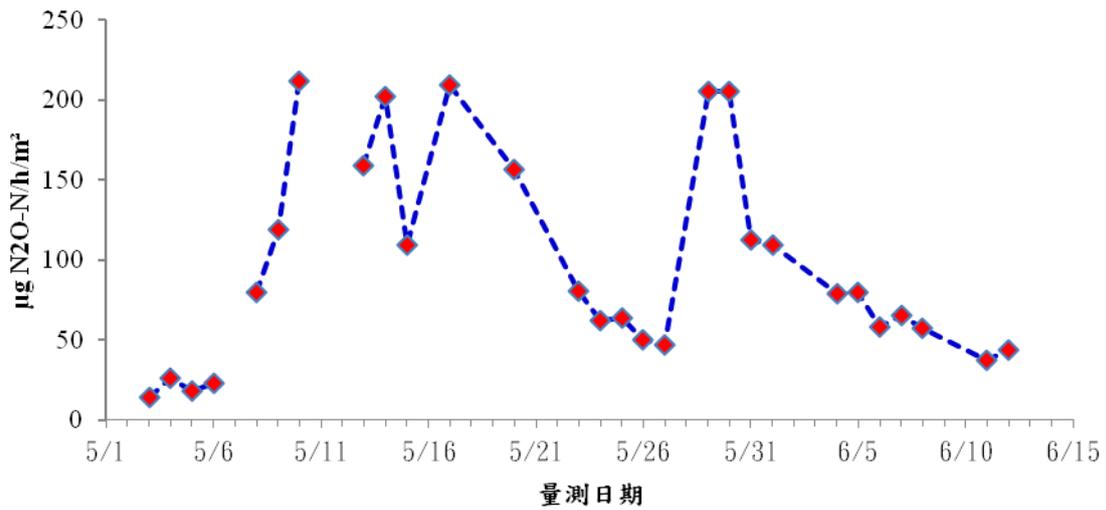
施氮肥兩種作物(Fa+Php)氧化亞氮通量變化(第三區)



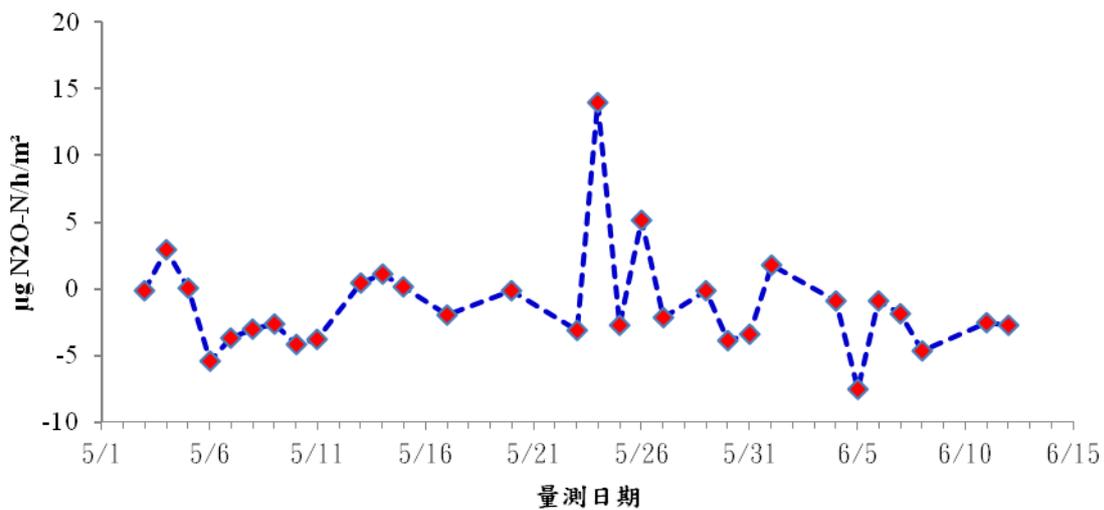
施氮肥兩種作物(Fa+Php)氧化亞氮通量變化(第四區)



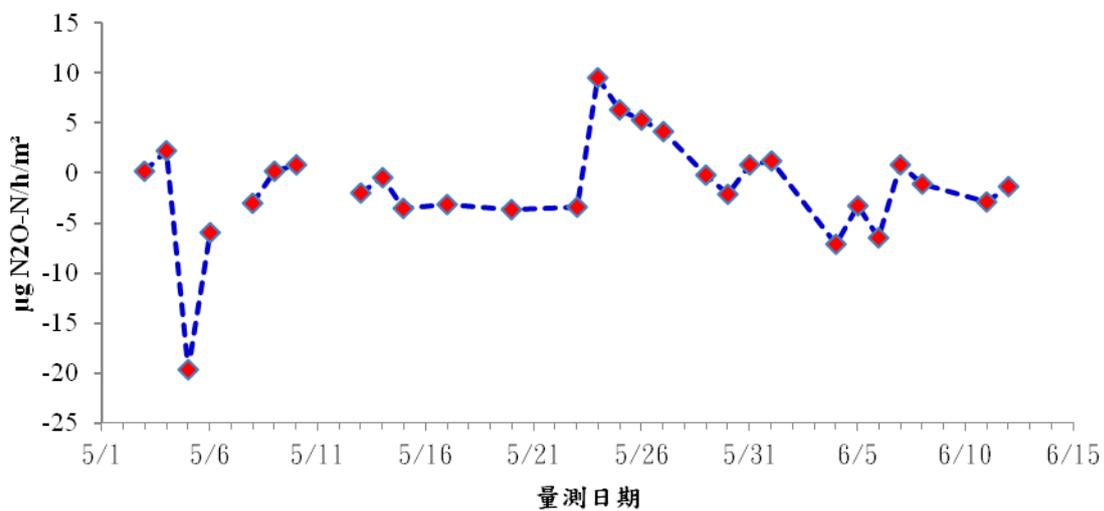
施氮肥兩種作物(Fa+Php)氧化亞氮通量變化(第五區)



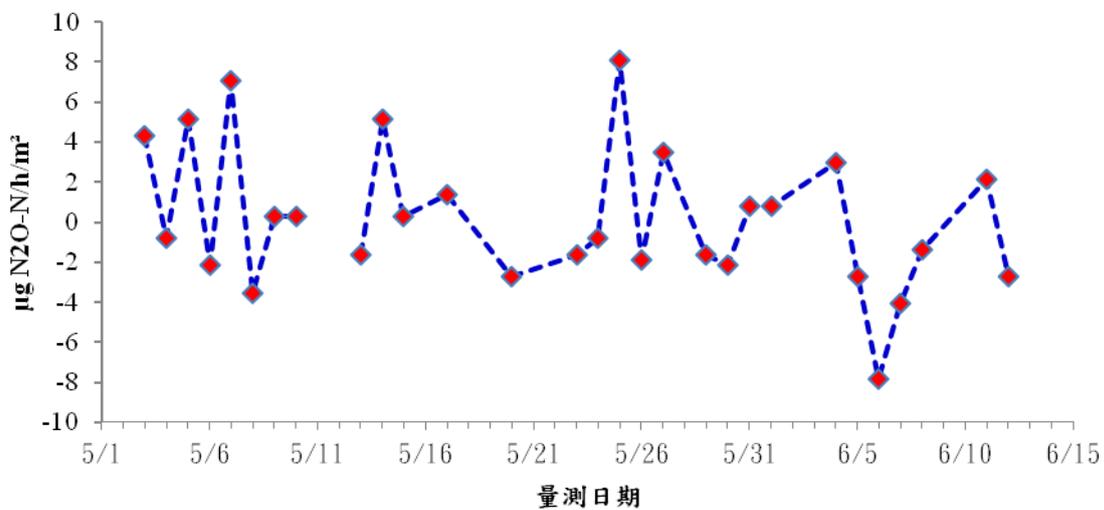
無氮肥兩種作物(Fa+Pt)氧化亞氮通量變化(第一區)



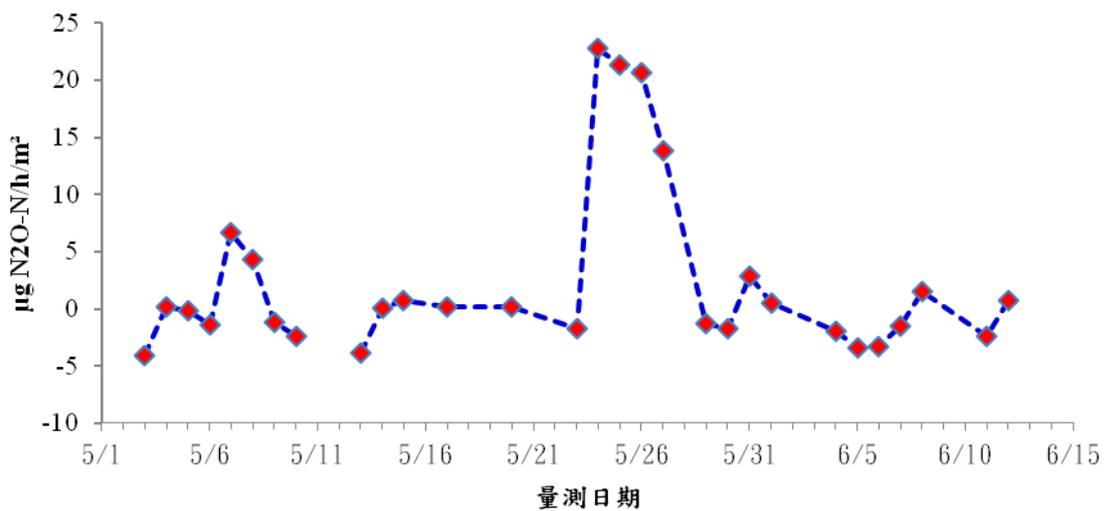
無氮肥兩種作物(Fa+Pt)氧化亞氮通量變化(第二區)



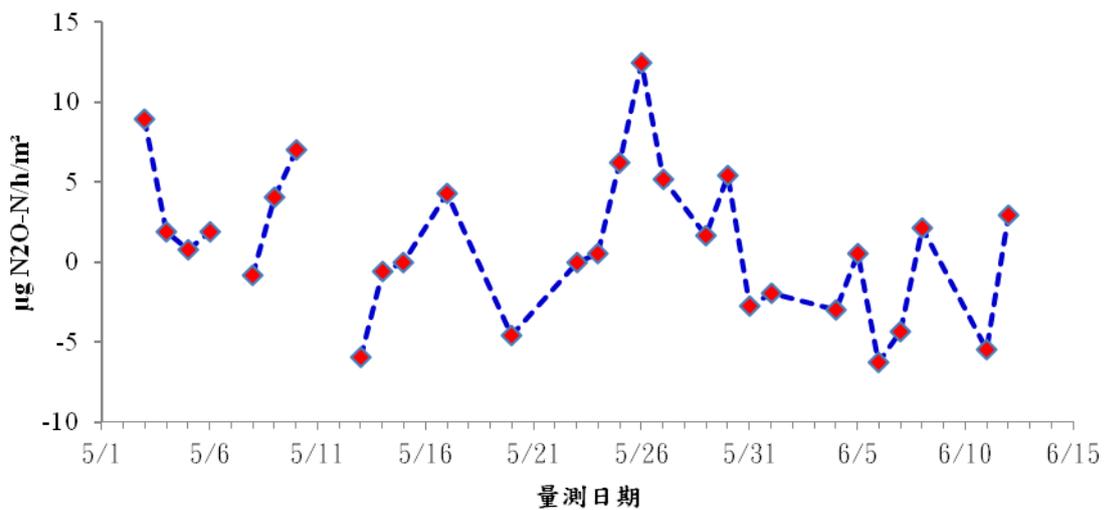
無氮肥兩種作物(Fa+Pt)氧化亞氮通量變化(第三區)



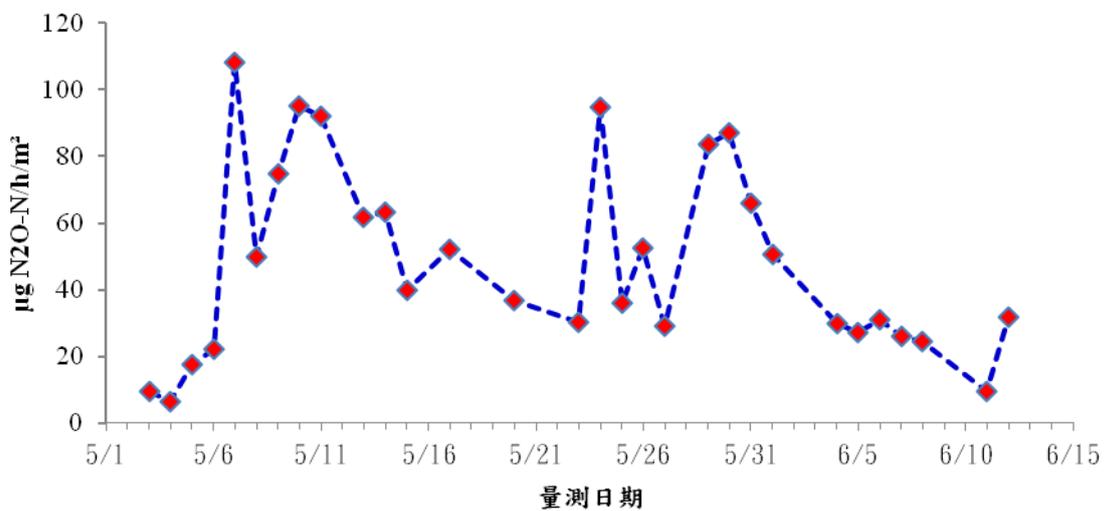
無氮肥兩種作物(Fa+Pt)氧化亞氮通量變化(第四區)



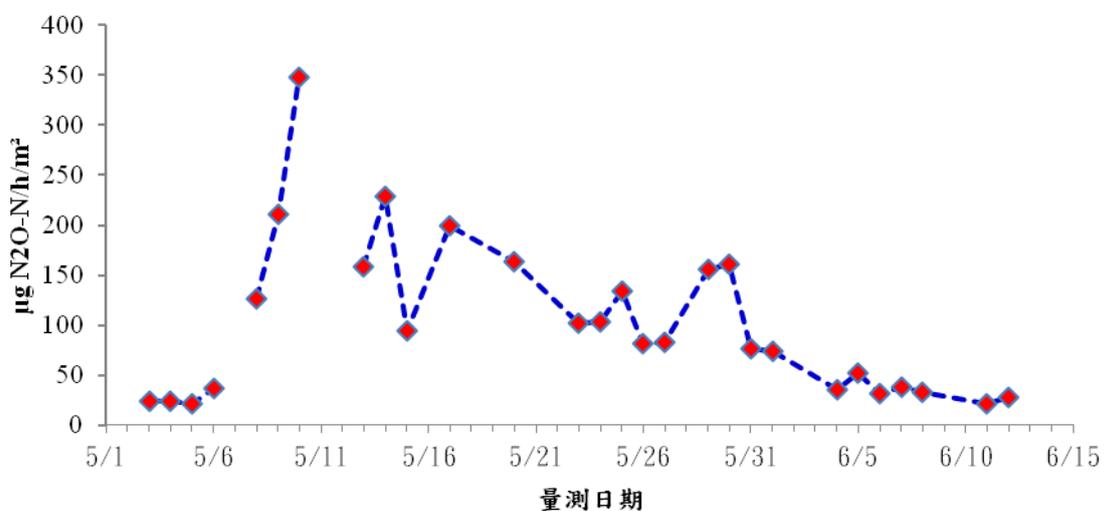
無氮肥兩種作物(Fa+Pt)氧化亞氮通量變化(第五區)



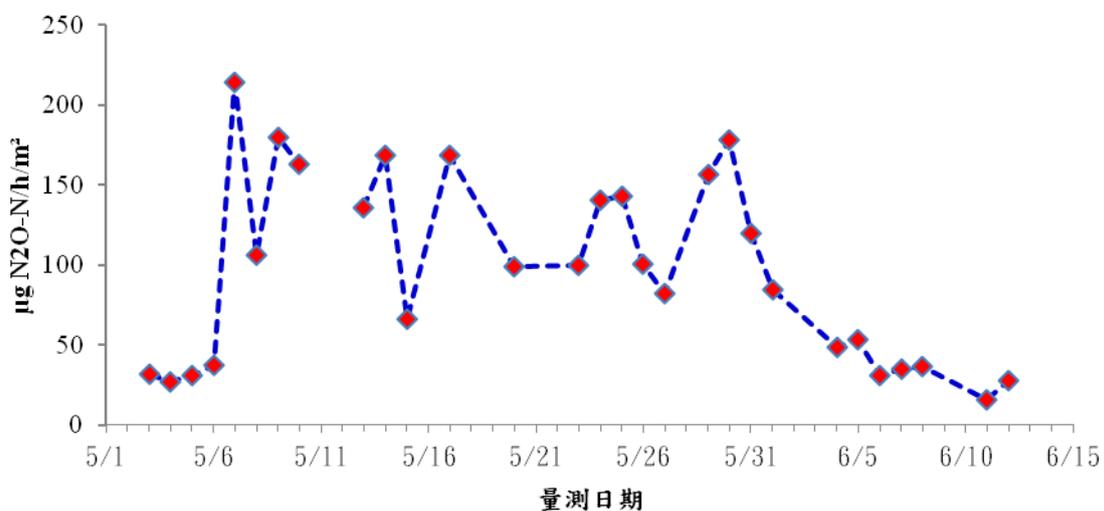
施氮肥兩種作物(Fa+Pt)氧化亞氮通量變化(第一區)



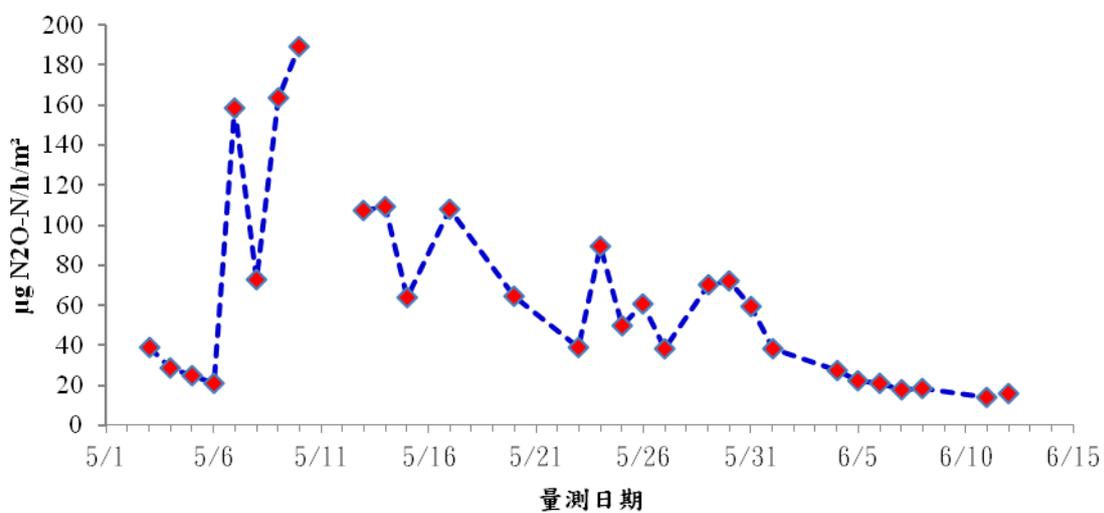
施氮肥兩種作物(Fa+Pt)氧化亞氮通量變化(第二區)



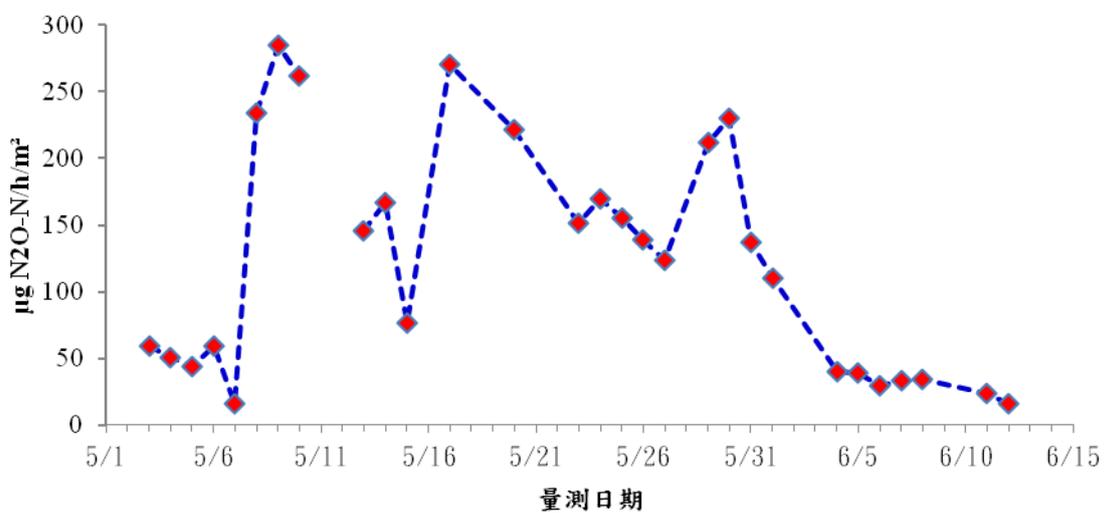
施氮肥兩種作物(Fa+Pt)氧化亞氮通量變化(第三區)



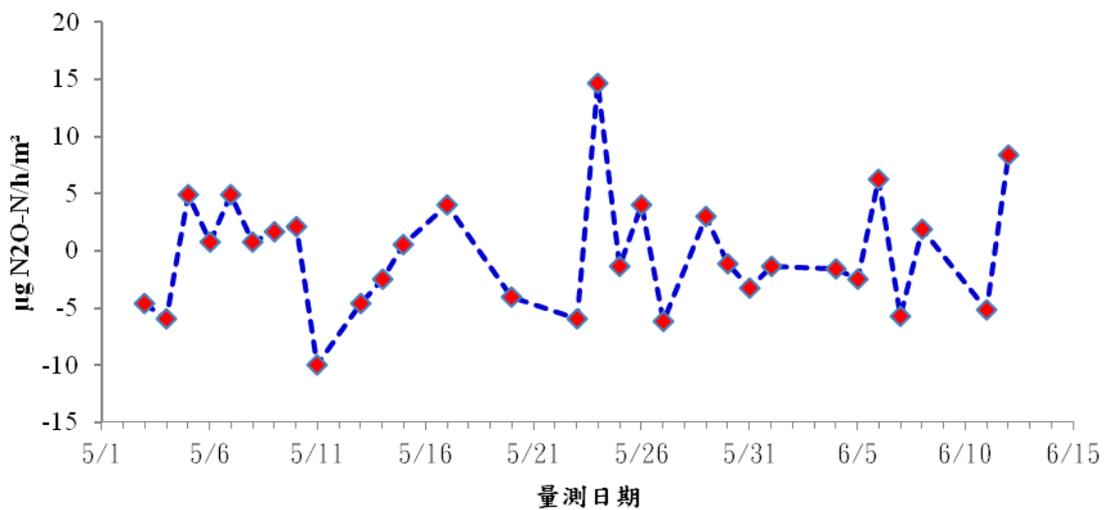
施氮肥兩種作物(Fa+Pt)氧化亞氮通量變化(第四區)



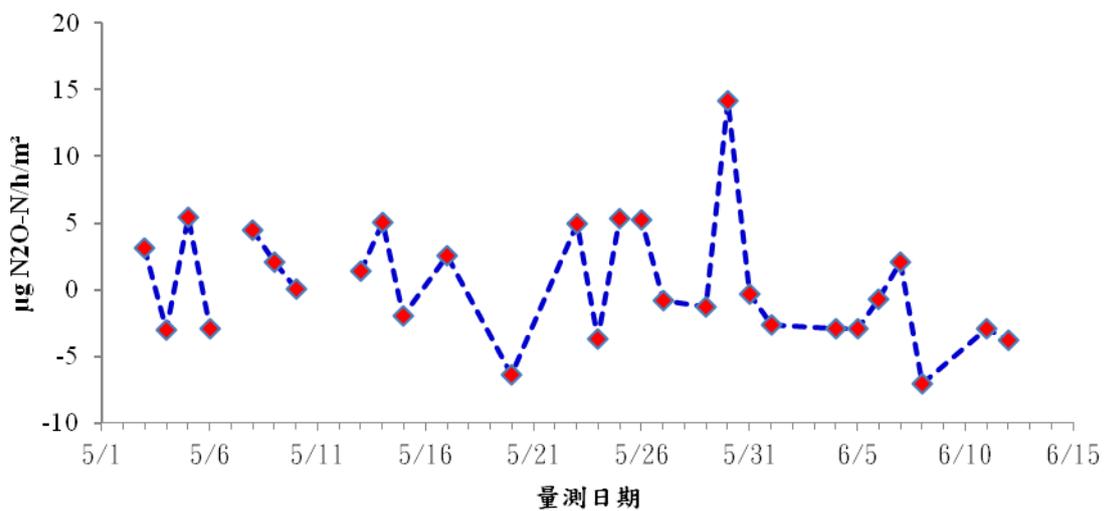
施氮肥兩種作物(Fa+Pt)氧化亞氮通量變化(第五區)



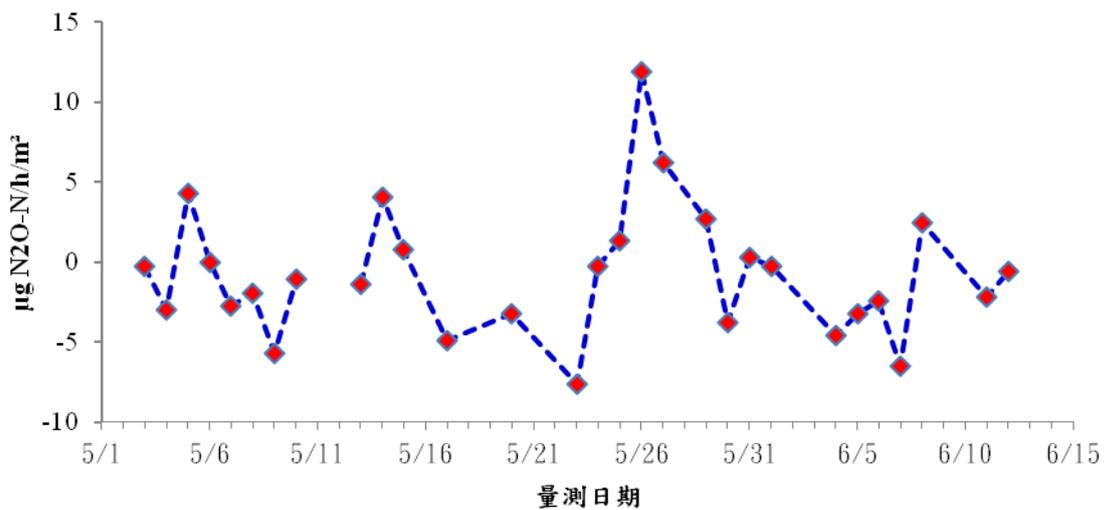
無氮肥兩種作物(Php+Pt)氧化亞氮通量變化(第一區)



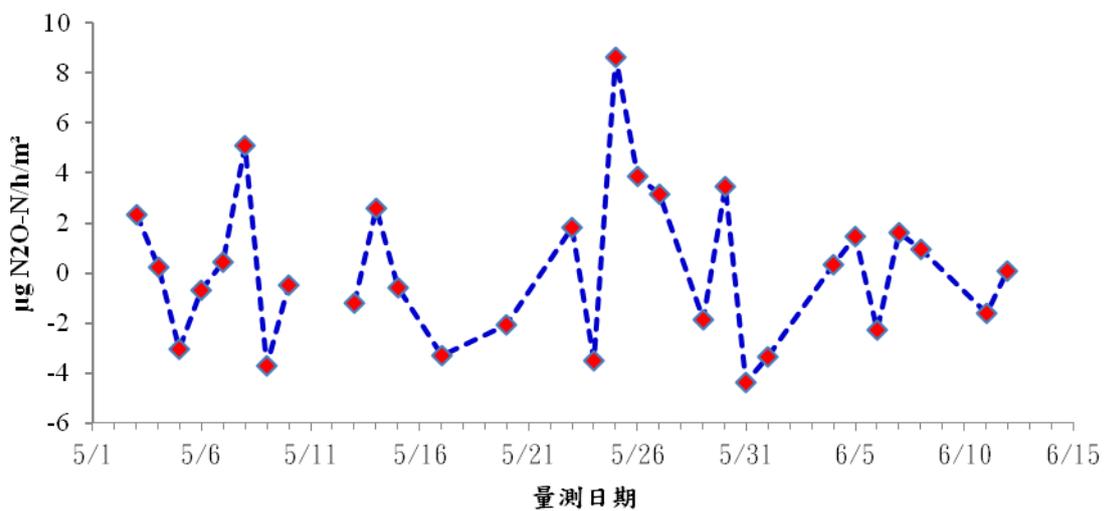
無氮肥兩種作物(Php+Pt)氧化亞氮通量變化(第二區)



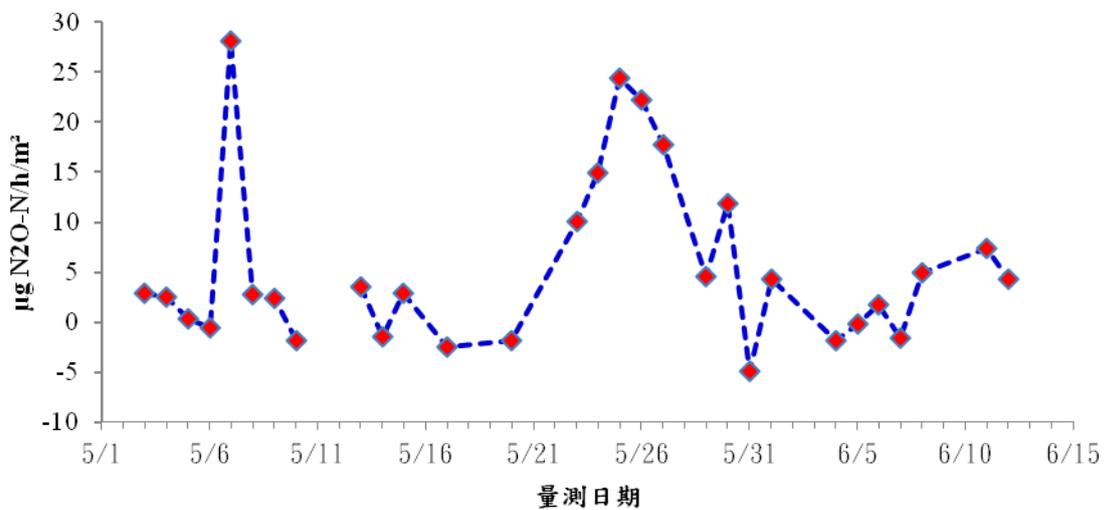
無氮肥兩種作物(Php+Pt)氧化亞氮通量變化(第三區)



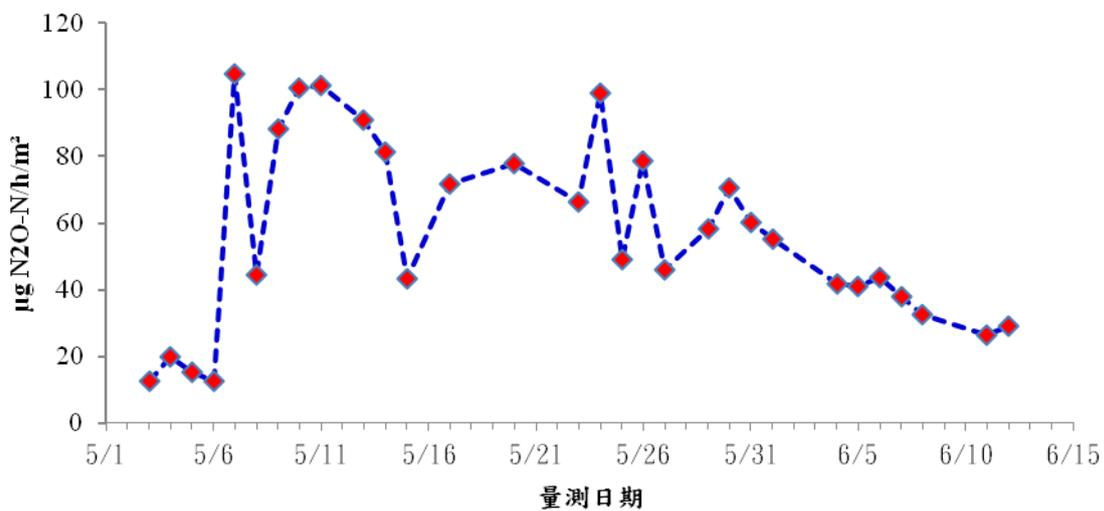
無氮肥兩種作物(Php+Pt)氧化亞氮通量變化(第四區)



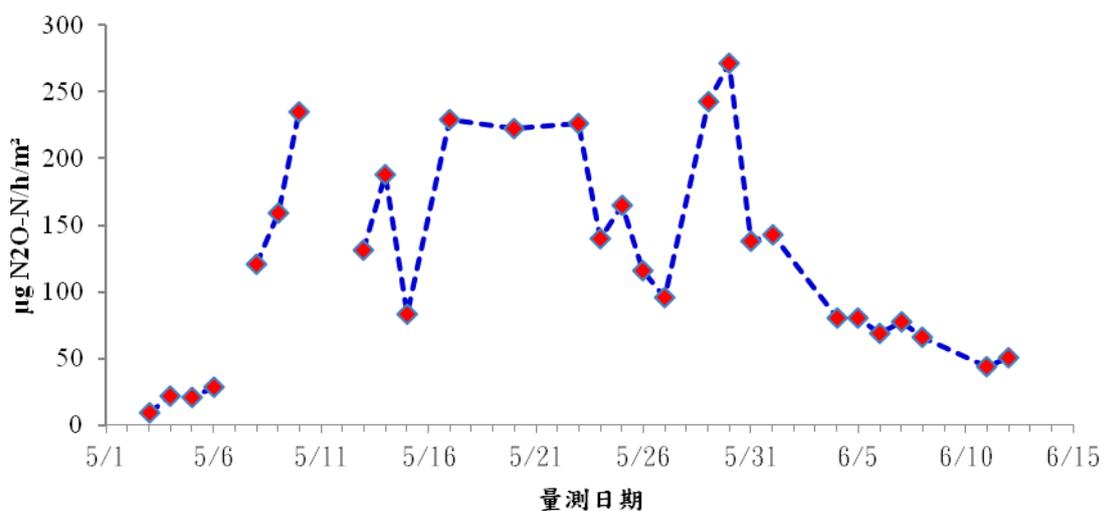
無氮肥兩種作物(Php+Pt)氧化亞氮通量變化(第五區)



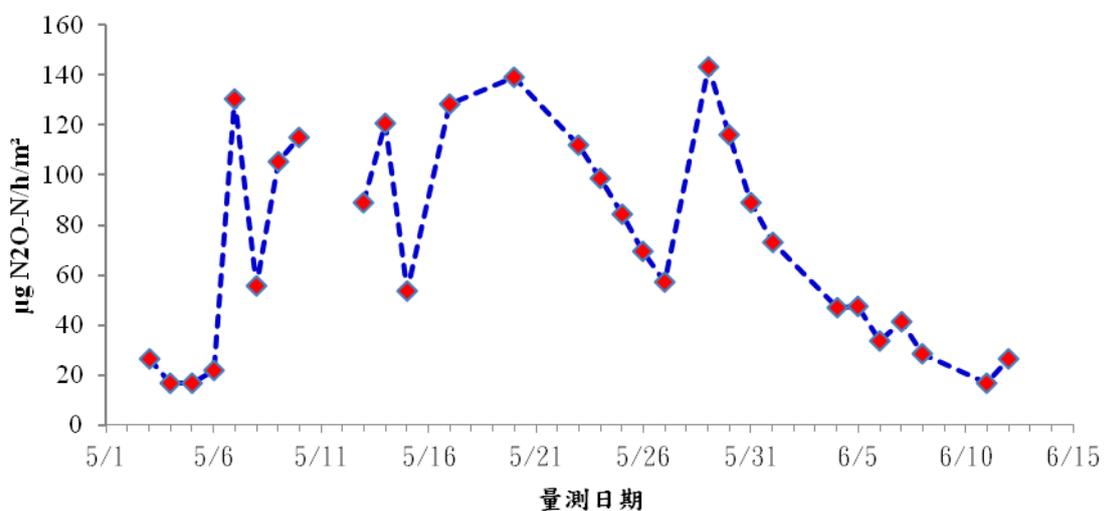
施氮肥兩種作物(Php+Pt)氧化亞氮通量變化(第一區)



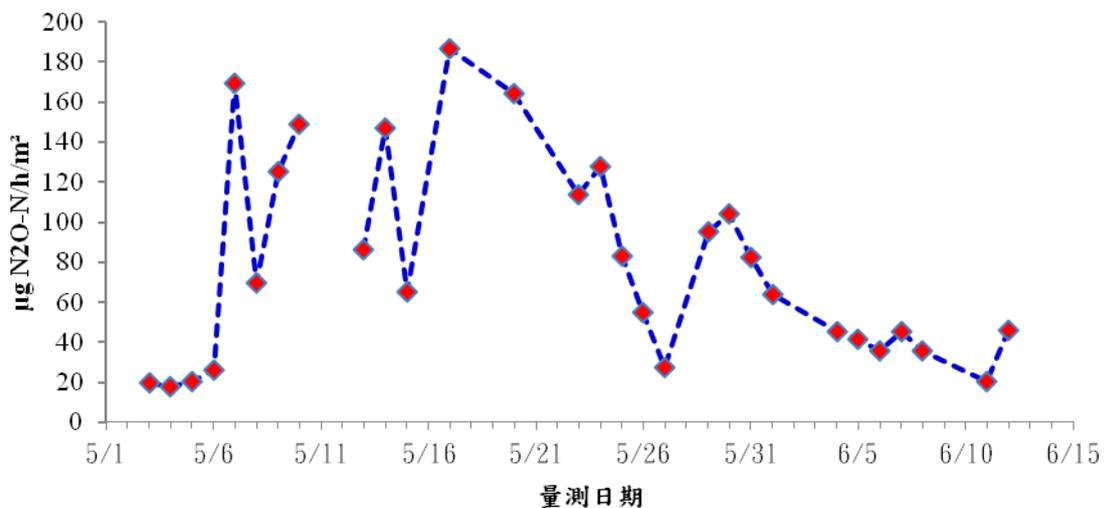
施氮肥兩種作物(Php+Pt)氧化亞氮通量變化(第二區)



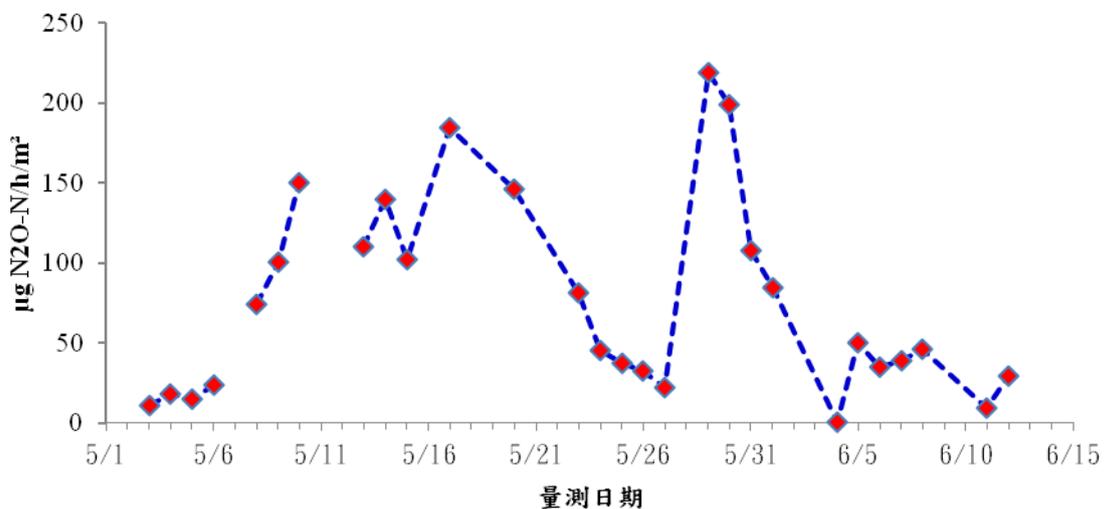
施氮肥兩種作物(Php+Pt)氧化亞氮通量變化(第三區)



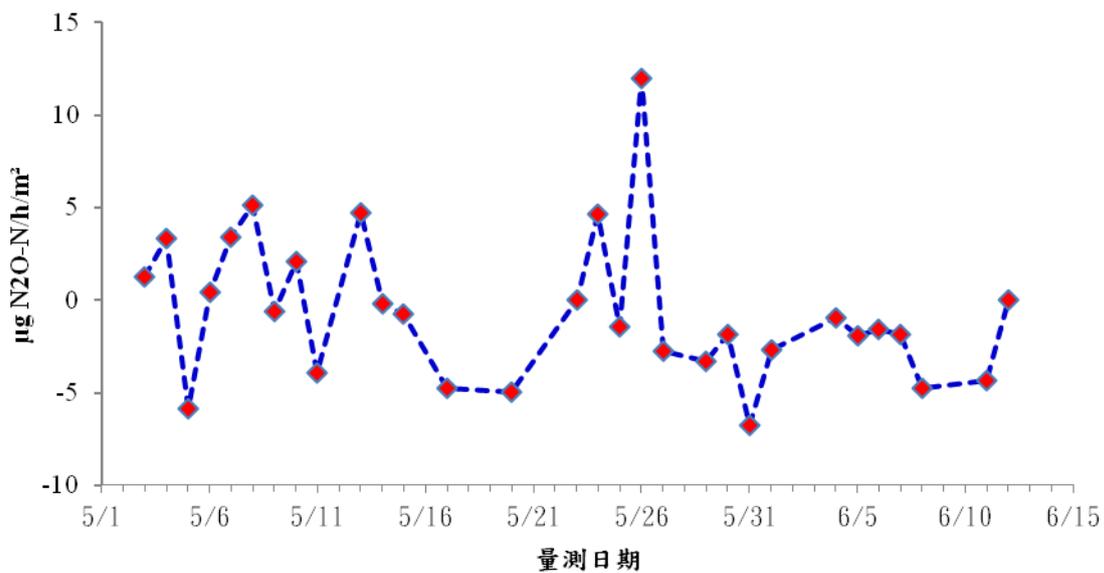
施氮肥兩種作物(Php+Pt)氧化亞氮通量變化(第四區)



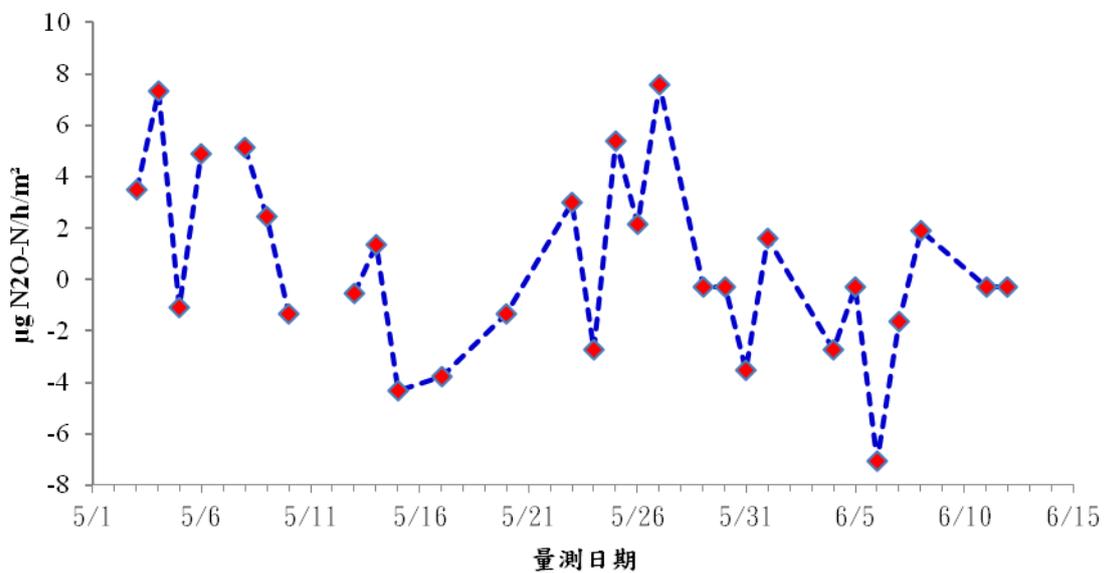
施氮肥兩種作物(Php+Pt)氧化亞氮通量變化(第五區)



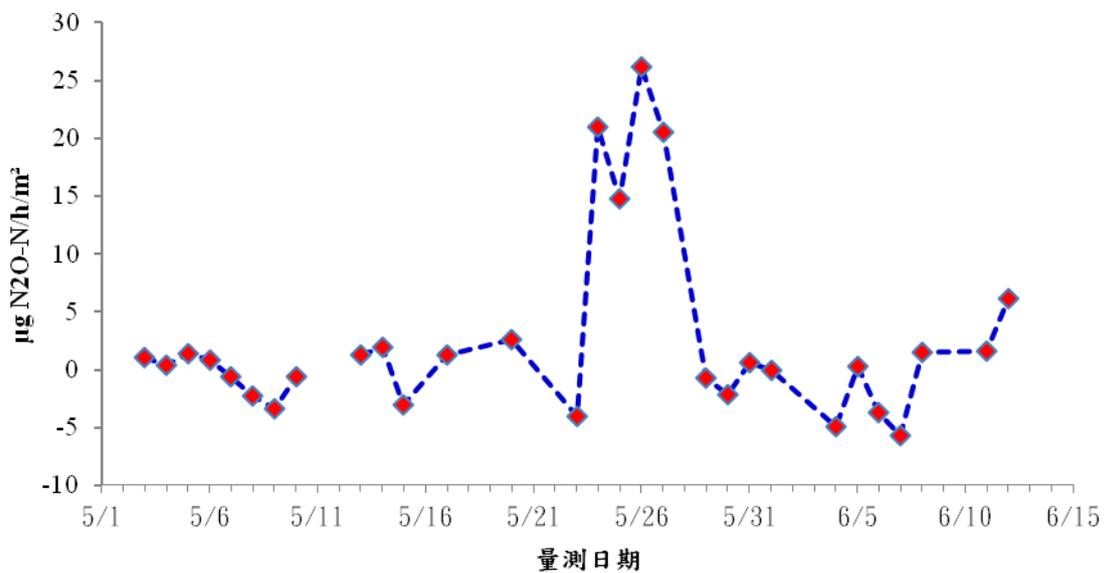
無氮肥四種作物氧化亞氮通量變化(第一區)



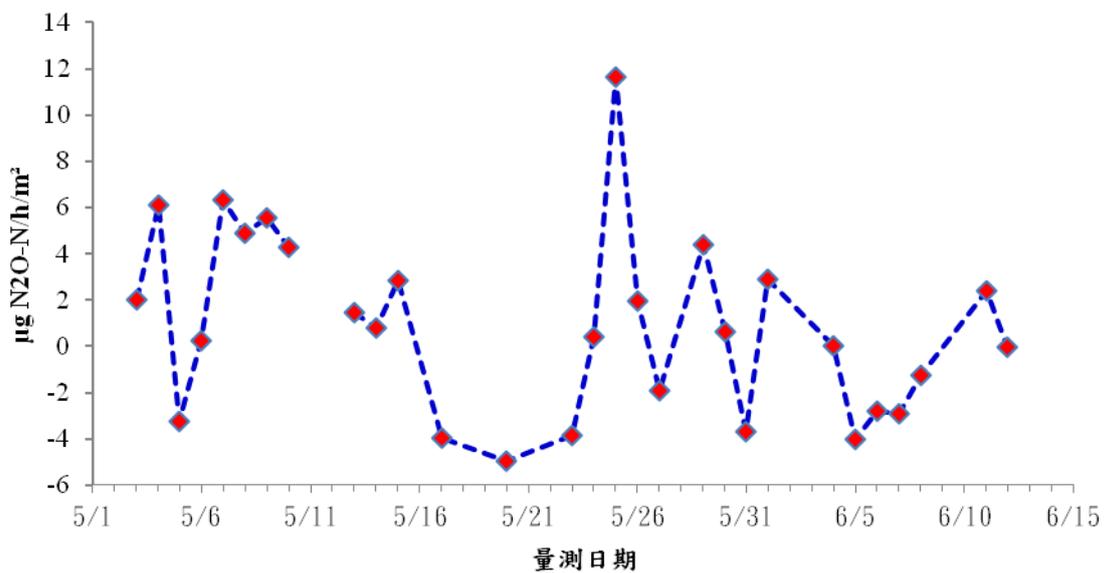
無氮肥四種作物氧化亞氮通量變化(第二區)



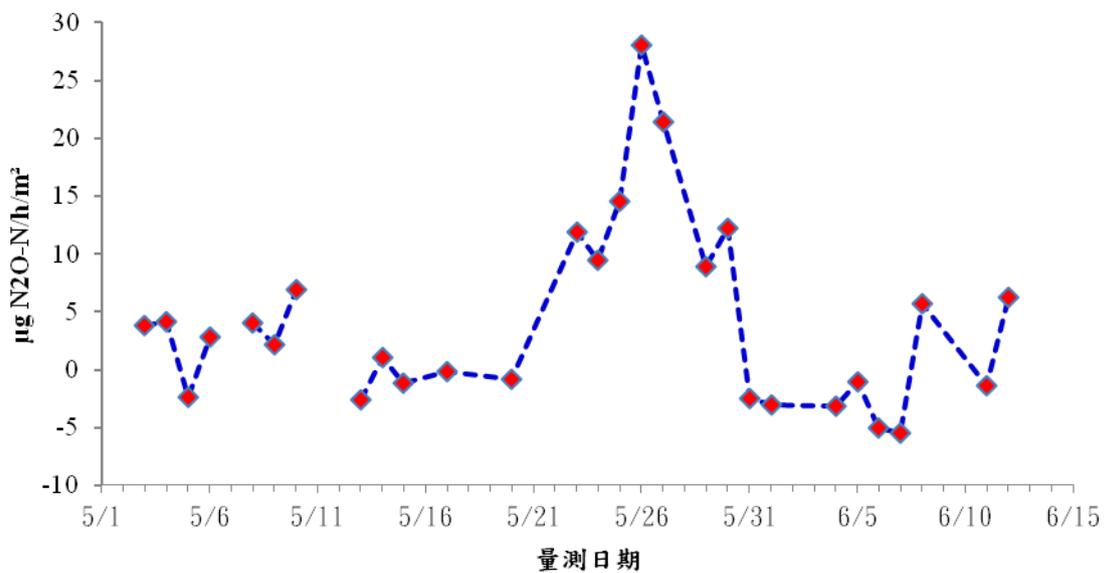
無氮肥四種作物氧化亞氮通量變化(第三區)



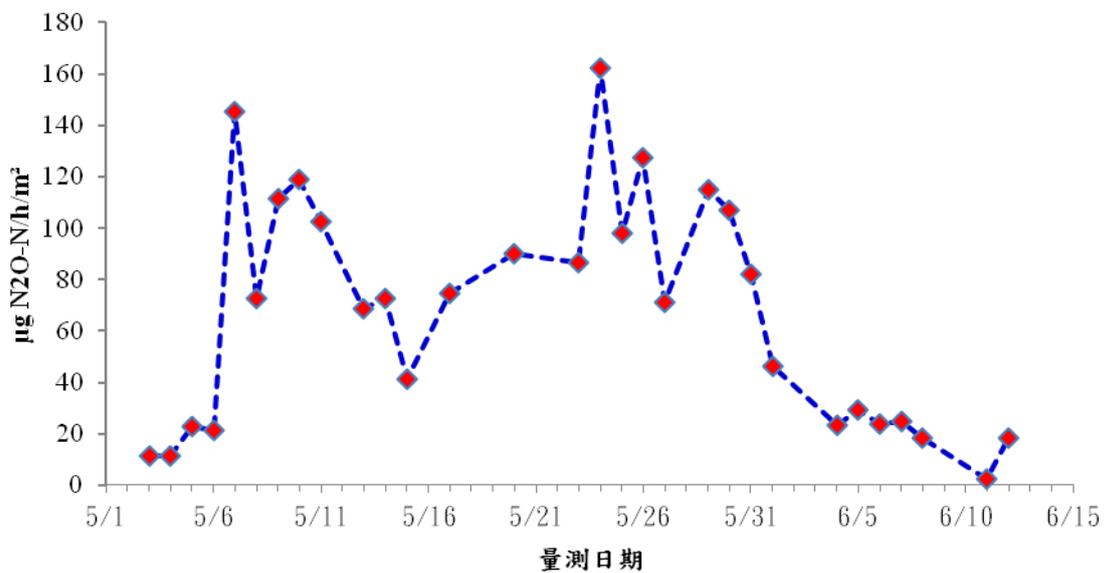
無氮肥四種作物氧化亞氮通量變化(第四區)



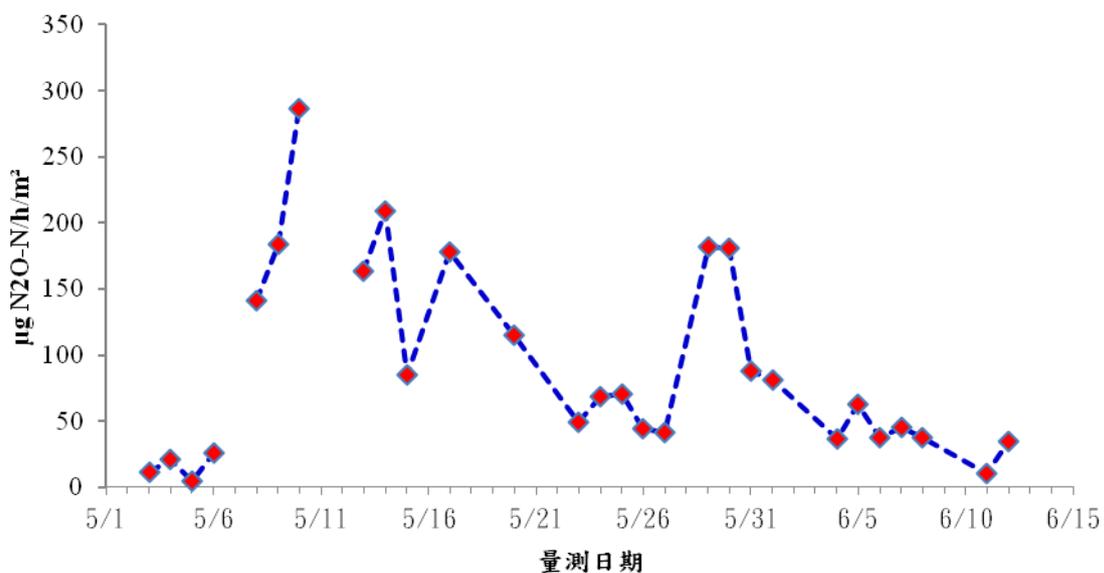
無氮肥四種作物氧化亞氮通量變化(第五區)



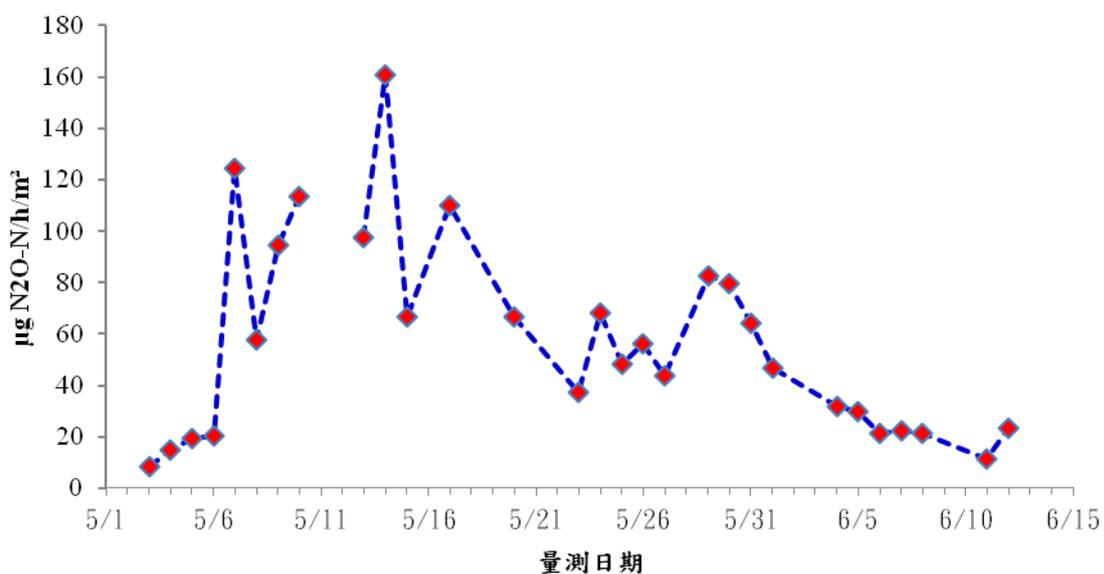
施氮肥四種作物氧化亞氮通量變化(第一區)



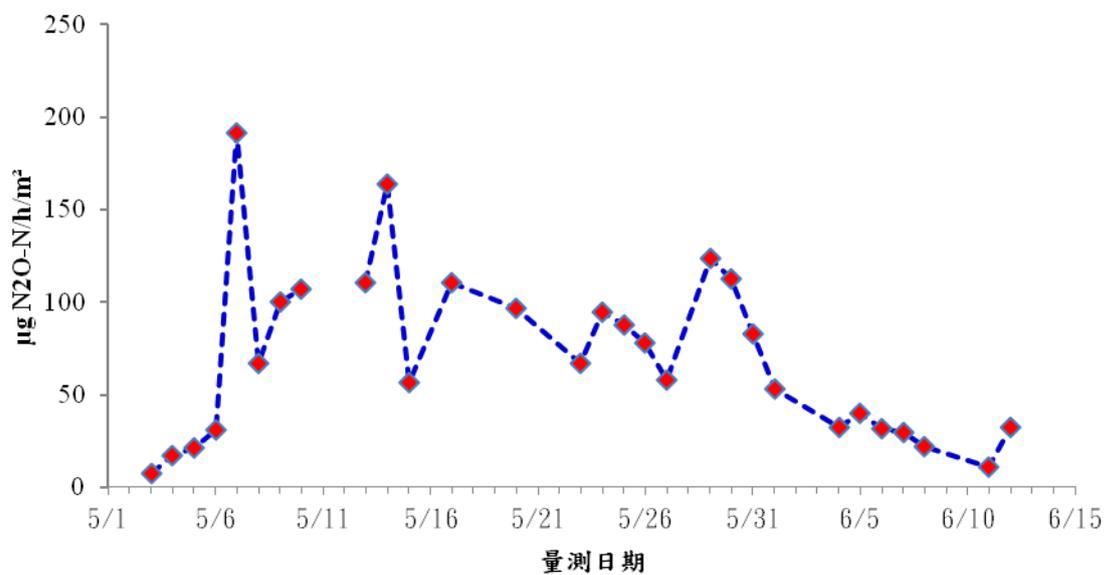
施氮肥四種作物氧化亞氮通量變化(第二區)



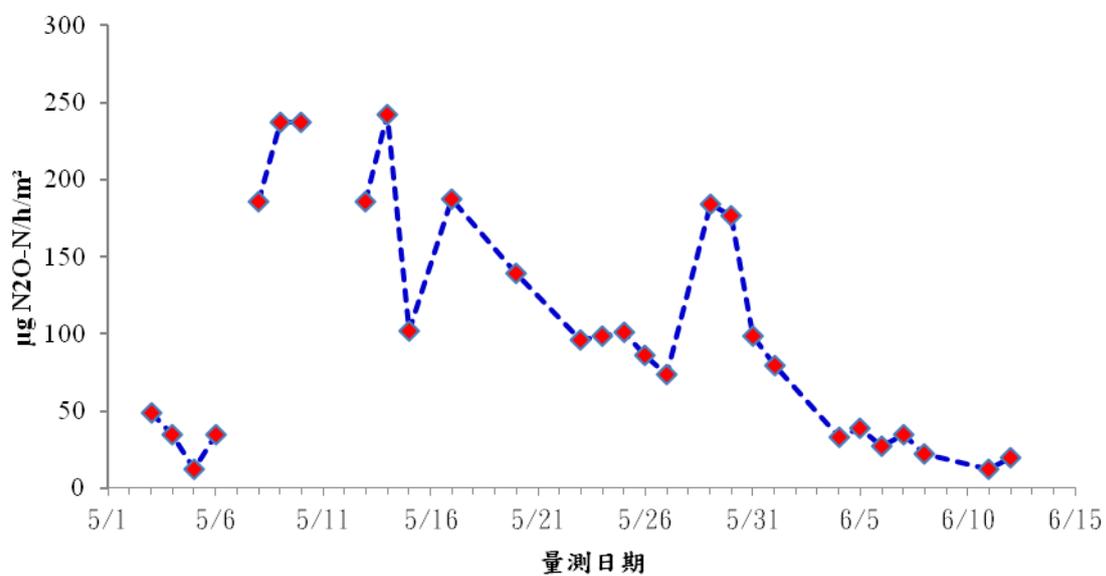
施氮肥四種作物氧化亞氮通量變化(第三區)



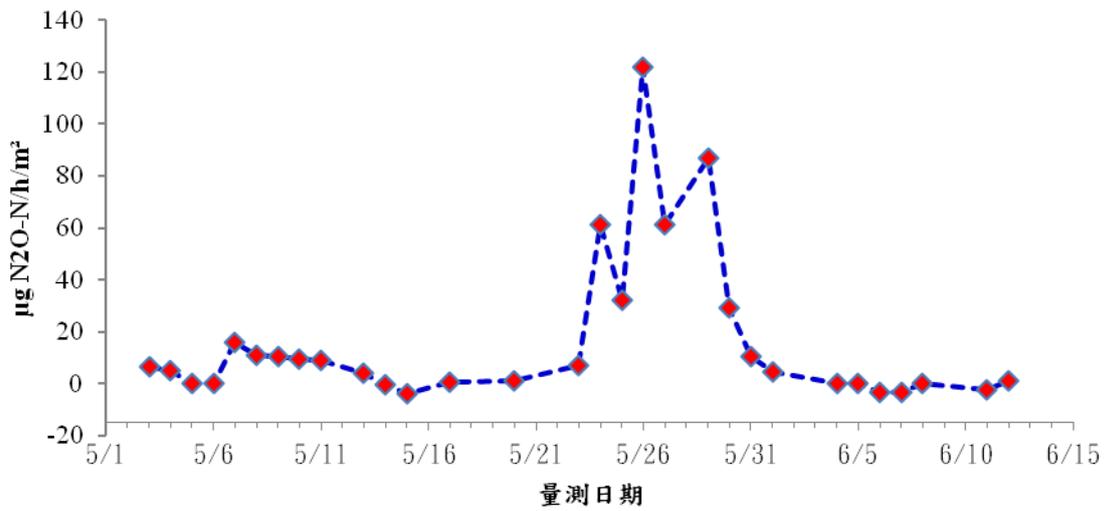
施氮肥四種作物氧化亞氮通量變化(第四區)



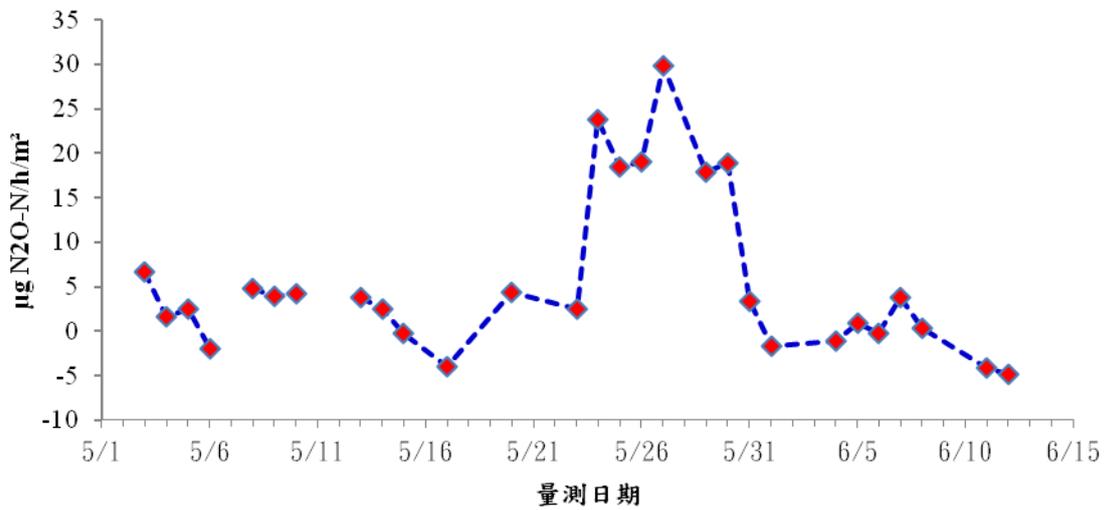
施氮肥四種作物氧化亞氮通量變化(第五區)



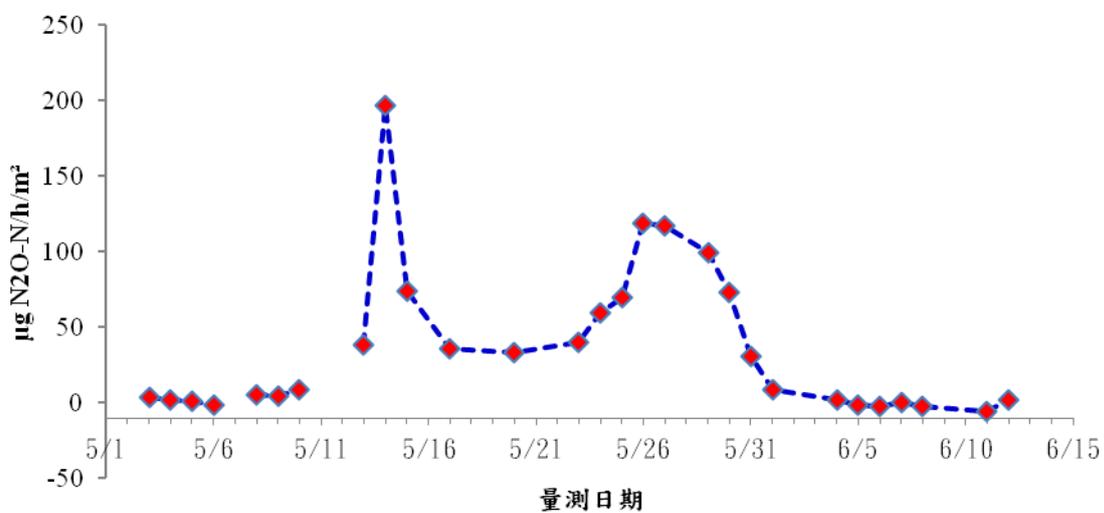
四種作物蚯蚓(Ca)組氧化亞氮通量變化(第一區)



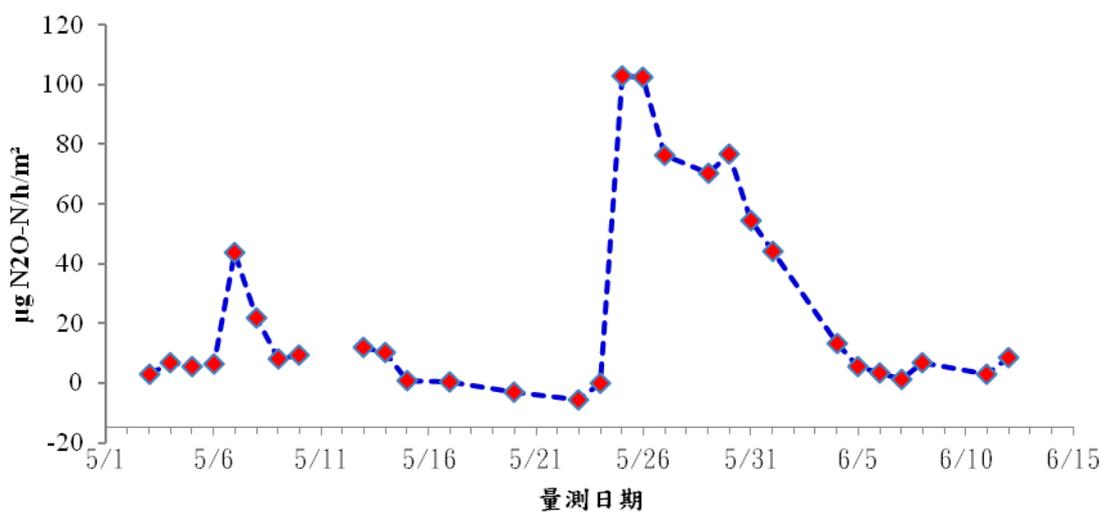
四種作物蚯蚓(Ca)組氧化亞氮通量變化(第二區)



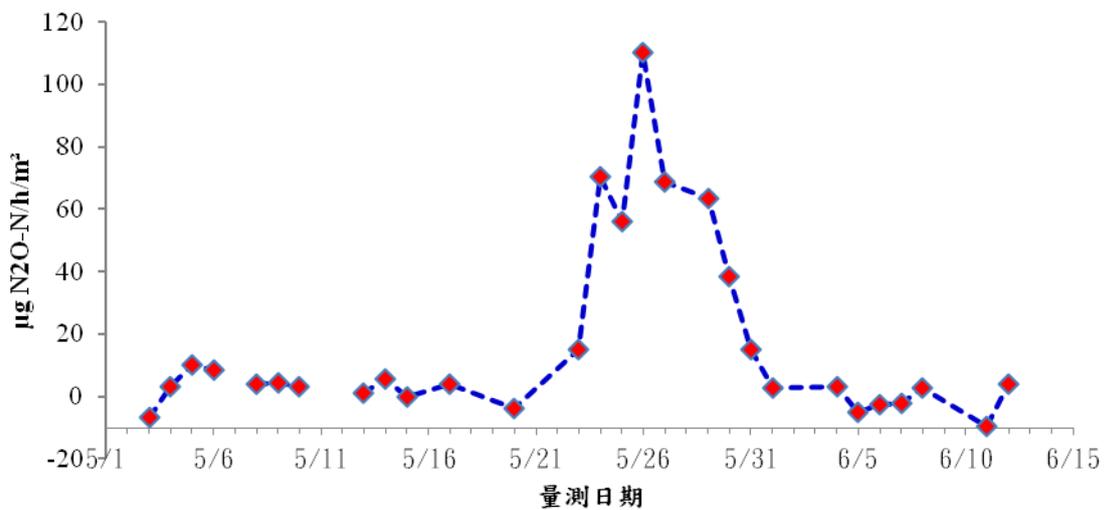
四種作物蚯蚓(Ca)組氧化亞氮通量變化(第三區)



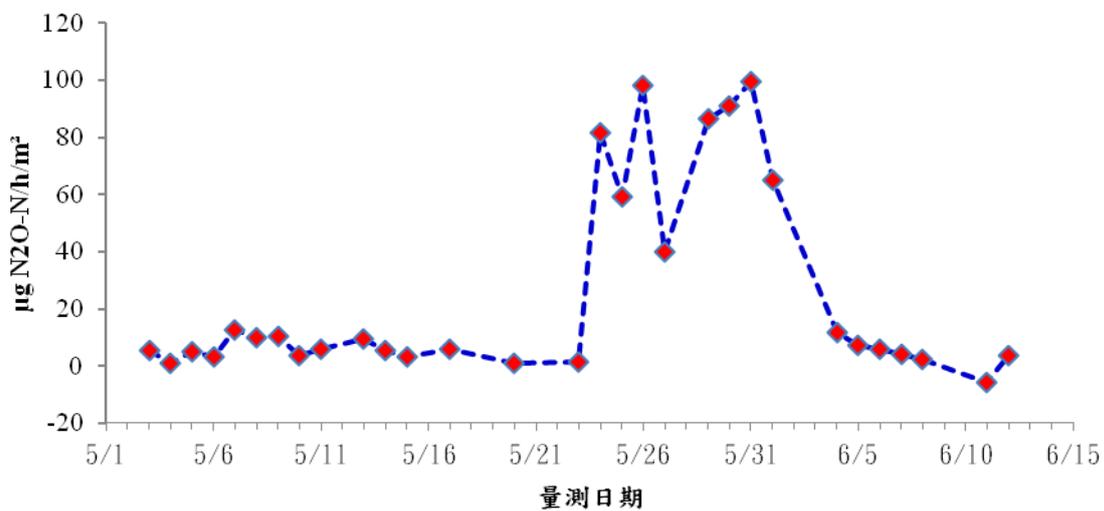
四種作物蚯蚓(Ca)組氧化亞氮通量變化(第四區)



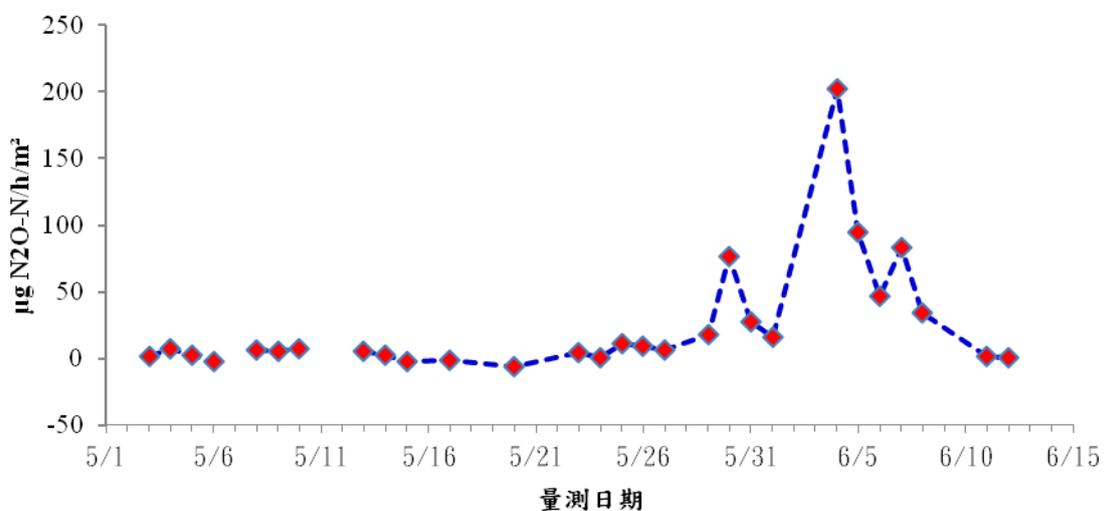
四種作物蚯蚓(Ca)組氧化亞氮通量變化(第五區)



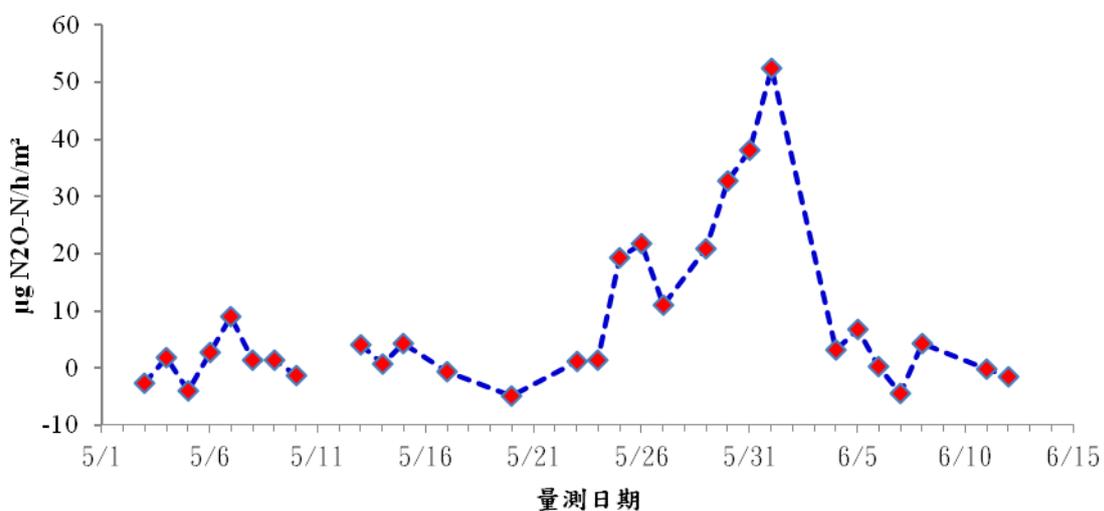
四種作物蚯蚓(Ru)組氧化亞氮通量變化(第一區)



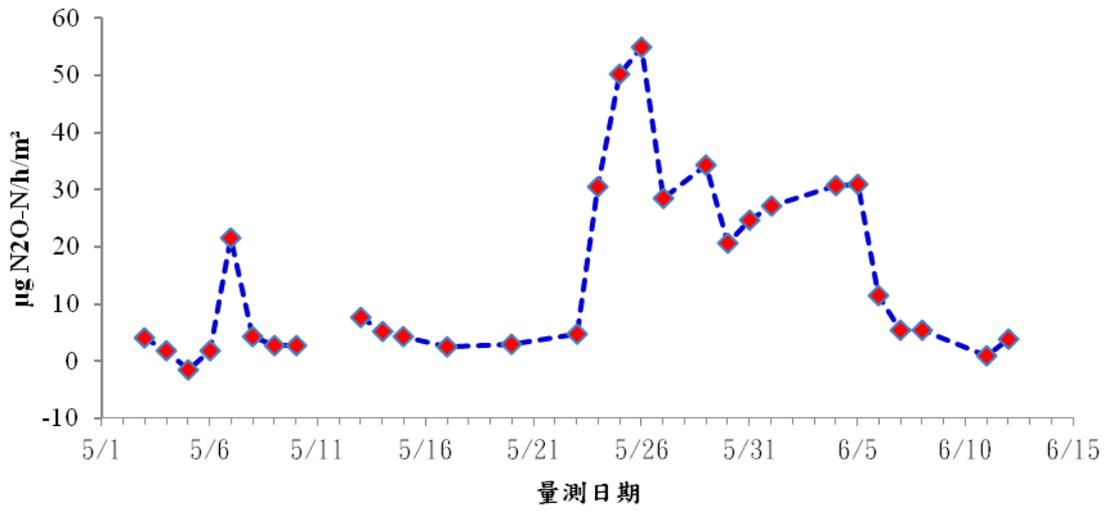
四種作物蚯蚓(Ru)組氧化亞氮通量變化(第二區)



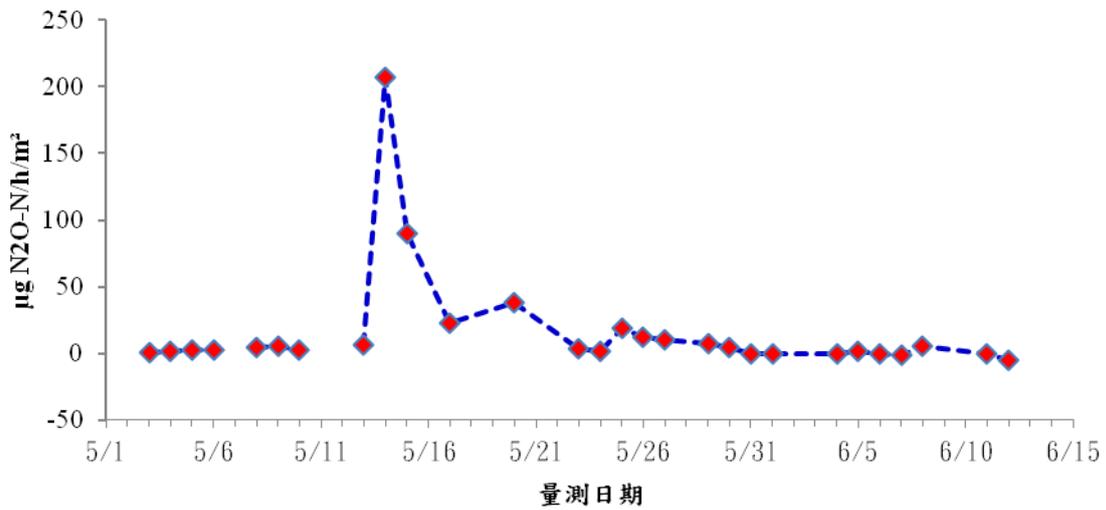
四種作物蚯蚓(Ru)組氧化亞氮通量變化(第三區)



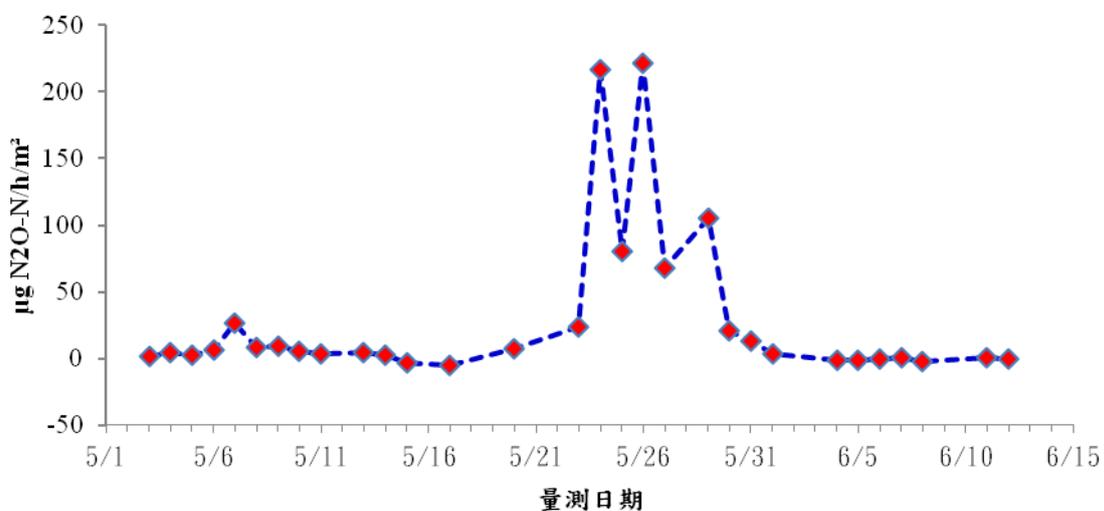
四種作物蚯蚓(Ru)組氧化亞氮通量變化(第四區)



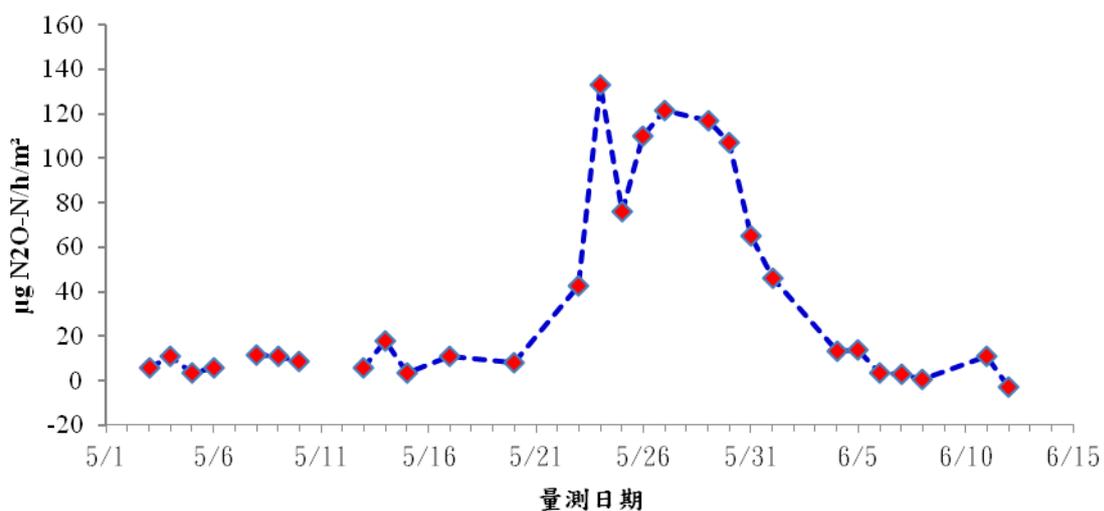
四種作物蚯蚓(Ru)組氧化亞氮通量變化(第五區)



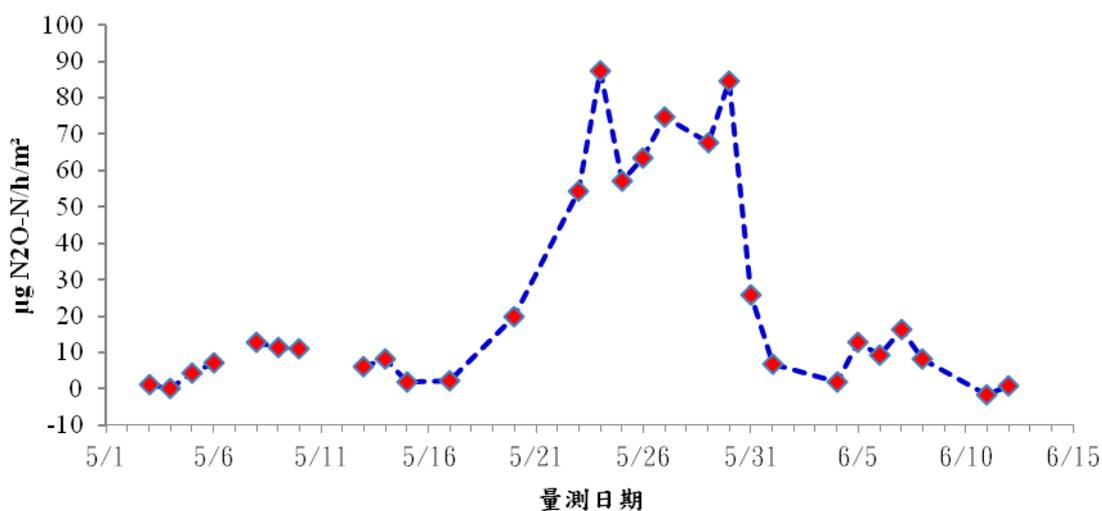
四種作物蚯蚓(Ca+Ru)組氧化亞氮通量變化
(第一區)



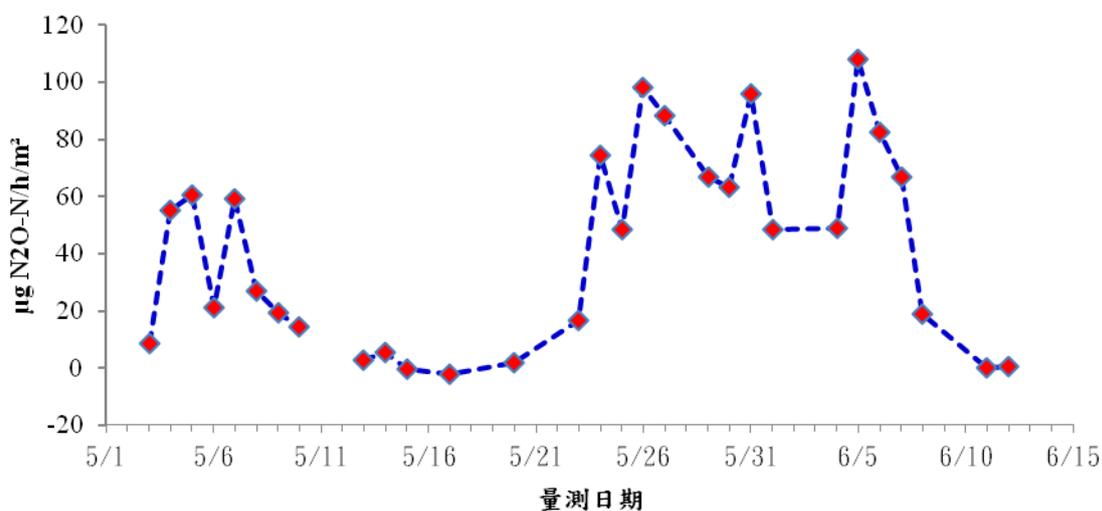
四種作物蚯蚓(Ca+Ru)組氧化亞氮通量變化
(第二區)



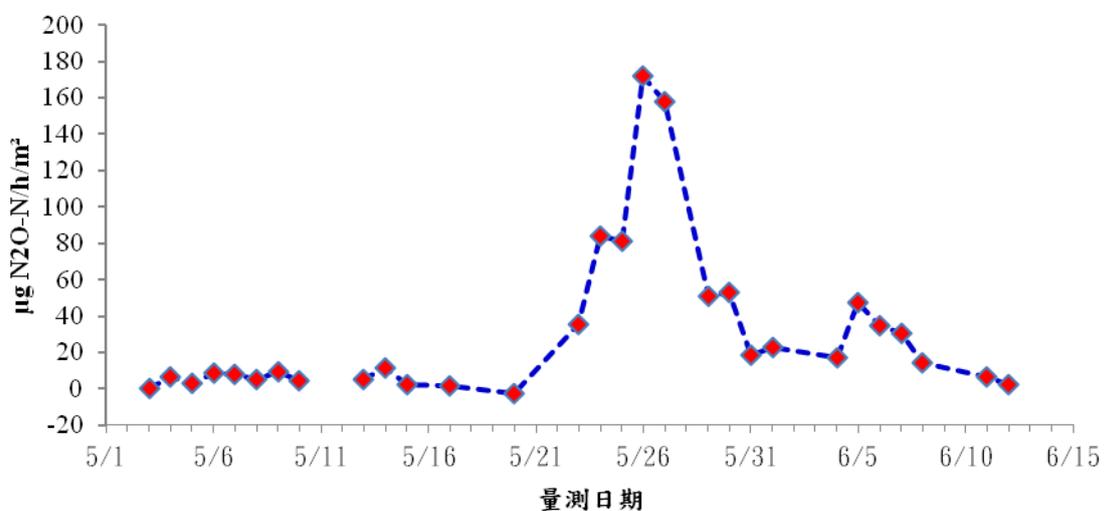
四種作物蚯蚓(Ca+Ru)組氧化亞氮通量變化
(第三區)



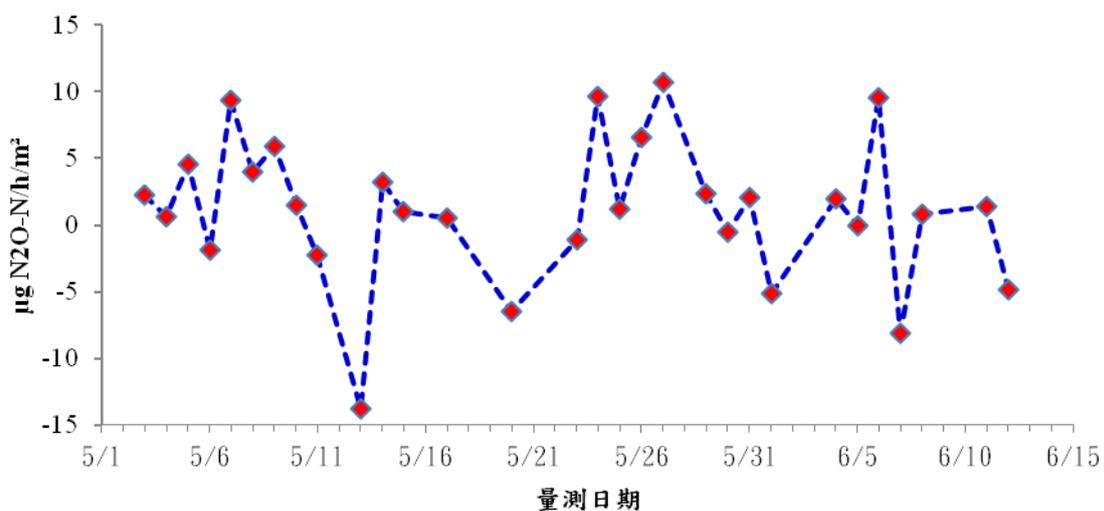
四種作物蚯蚓(Ca+Ru)組氧化亞氮通量變化
(第四區)



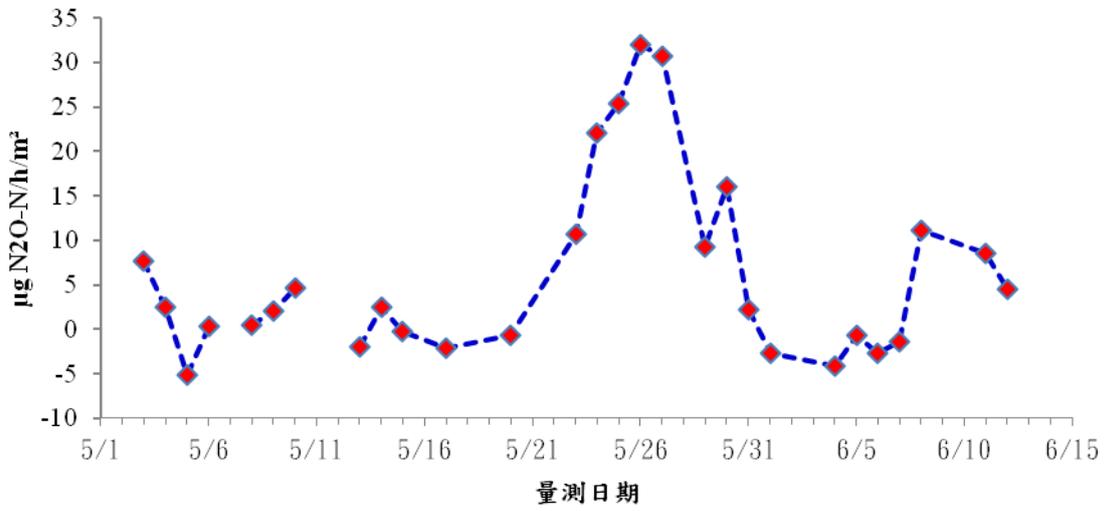
四種作物蚯蚓(Ca+Ru)組氧化亞氮通量變化
(第五區)



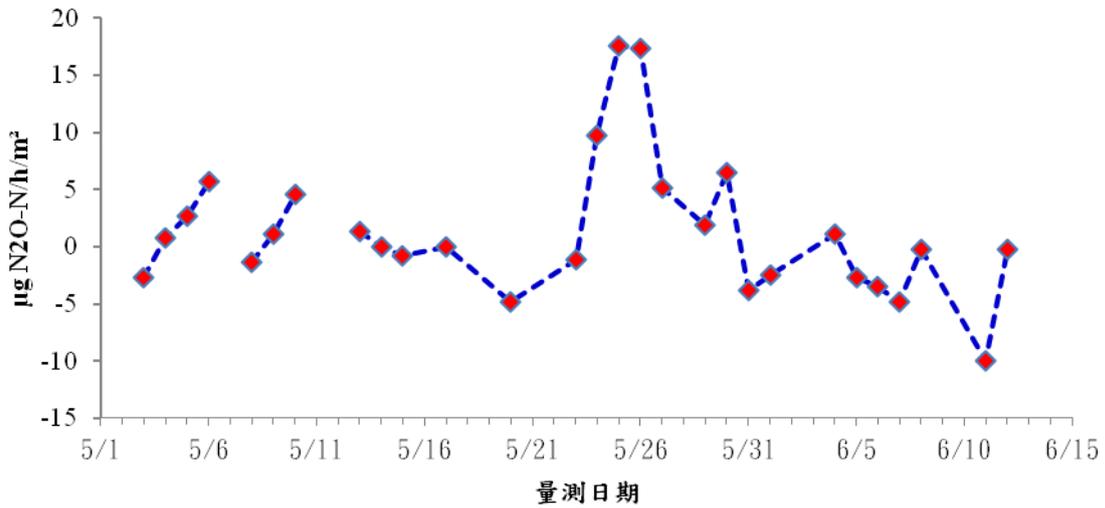
四種作物無蚯蚓組氧化亞氮通量變化(第一區)



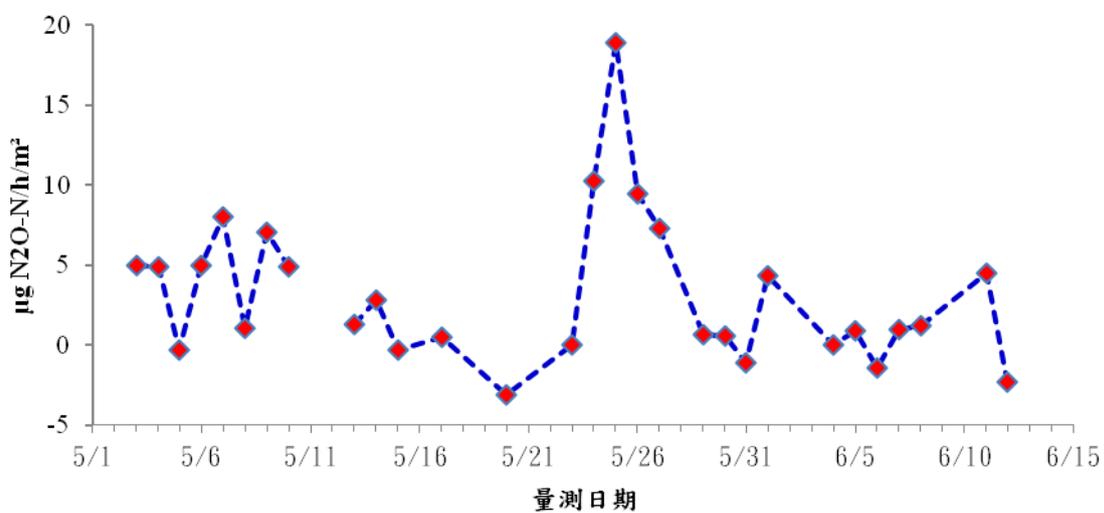
四種作物無蚯蚓組氧化亞氮通量變化(第二區)



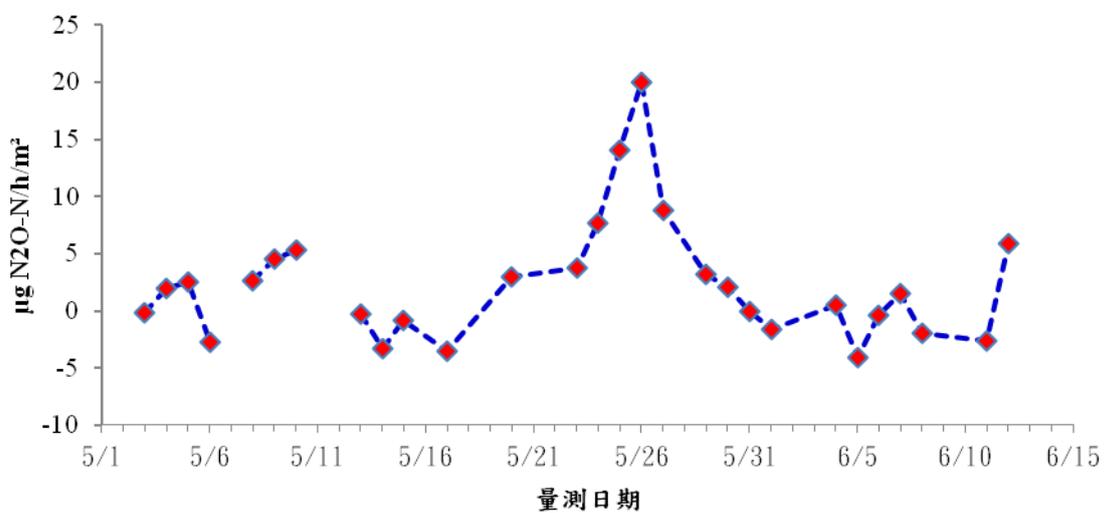
四種作物無蚯蚓組氧化亞氮通量變化(第三區)



四種作物無蚯蚓組氧化亞氮通量變化(第四區)



四種作物無蚯蚓組氧化亞氮通量變化(第五區)



三、補充

- **Climate change**

A change in the state of the climate that can be identified (e.g., by using statistical tests) by changes in the mean and/or the variability of its properties and that persists for an extended period, typically decades or longer. Climate change may be due to natural internal processes or external forcings, or due to persistent anthropogenic changes in the composition of the atmosphere or in land use.

- 氣候變遷

氣候狀態在數十年或更長的時間中，某幾項氣象性質的平均值或變異性。發生可判別（例如使用統計檢定）的改變，稱為氣候變遷。

氣候變遷可能肇因於自然的內部過程或外力因素，也可能是人為持續改變大氣組成與土地利用的影響所導致。

- **Climate extreme** (extreme weather or climate event)

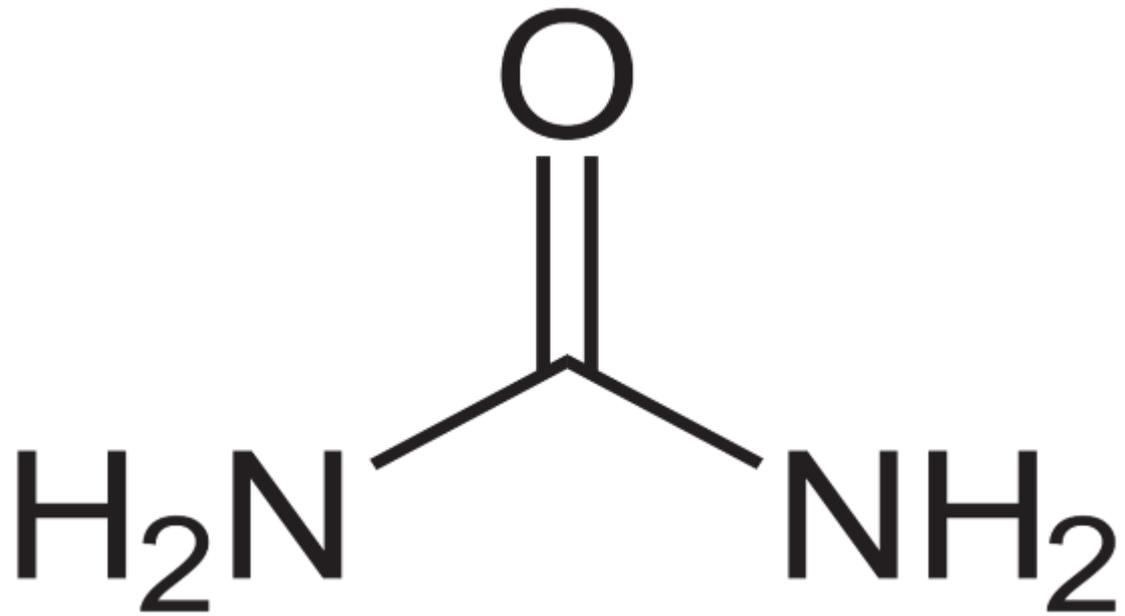
The occurrence of a value of a weather or climate variable above (or below) a threshold value near the upper (or lower) ends of the range of observed values of the variable. For simplicity, both extreme weather events and extreme climate events are referred to collectively as 'climate extremes.'

- 氣候異常(極端天氣或氣候事件)

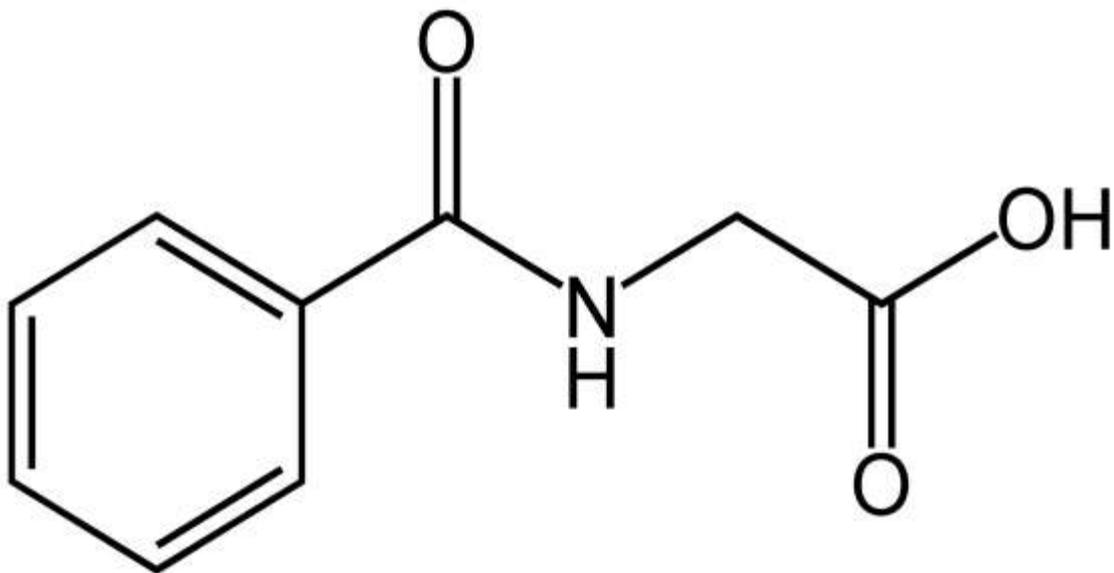
描述天氣或氣候狀態的參數，發生了「高於有觀測記錄的上限值」或「低於有觀測記錄的下限值」等異常現象，稱氣候異常。

在 IPCC 的特別報告中，為求方便，將極端天氣事件或極端氣候事件合併，稱為氣候異常。

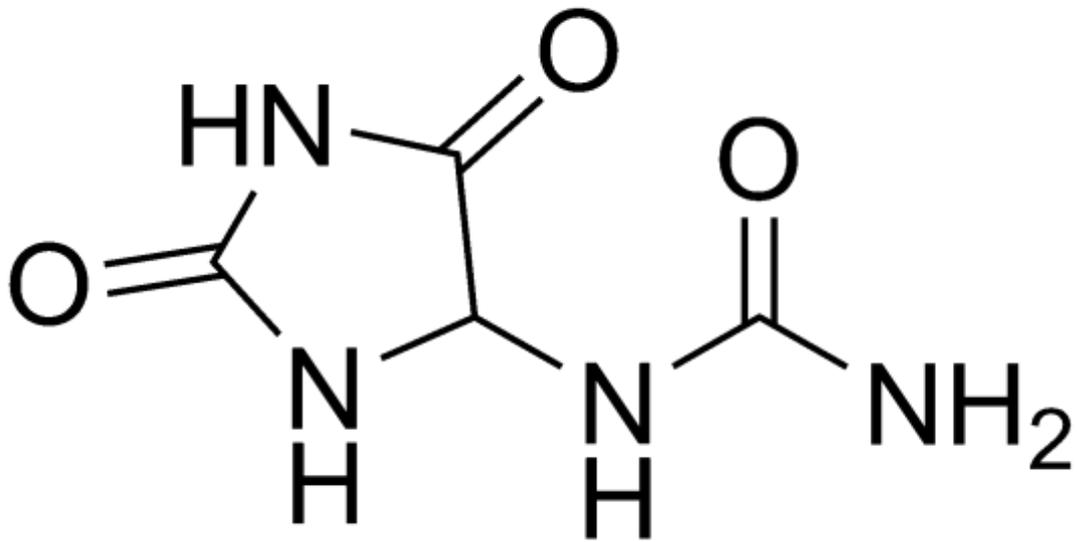
- Urea(尿素)



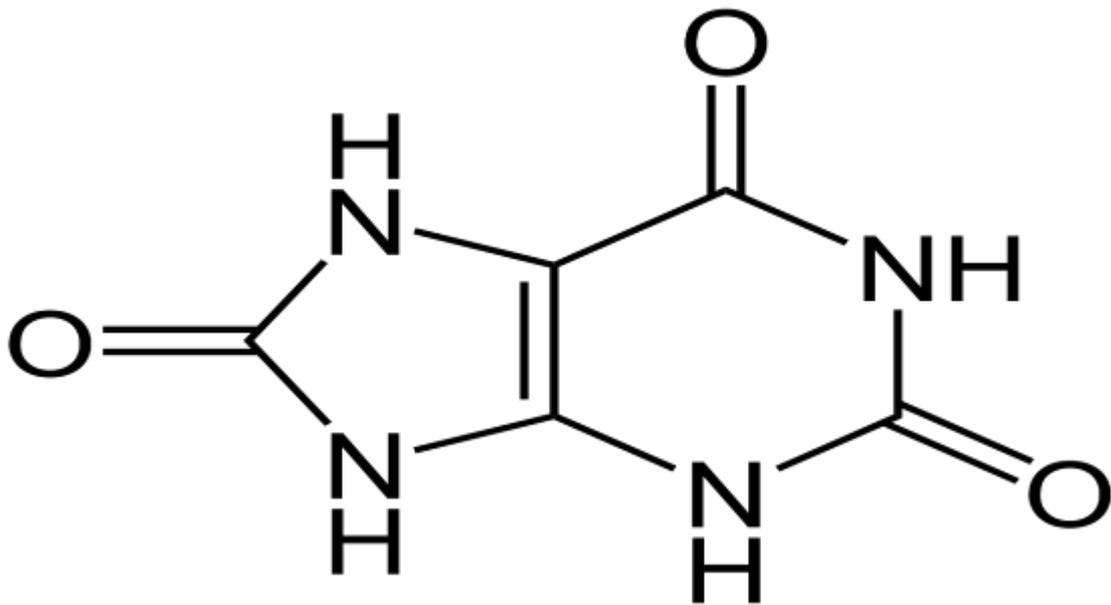
- Hippuric acid(馬尿酸)



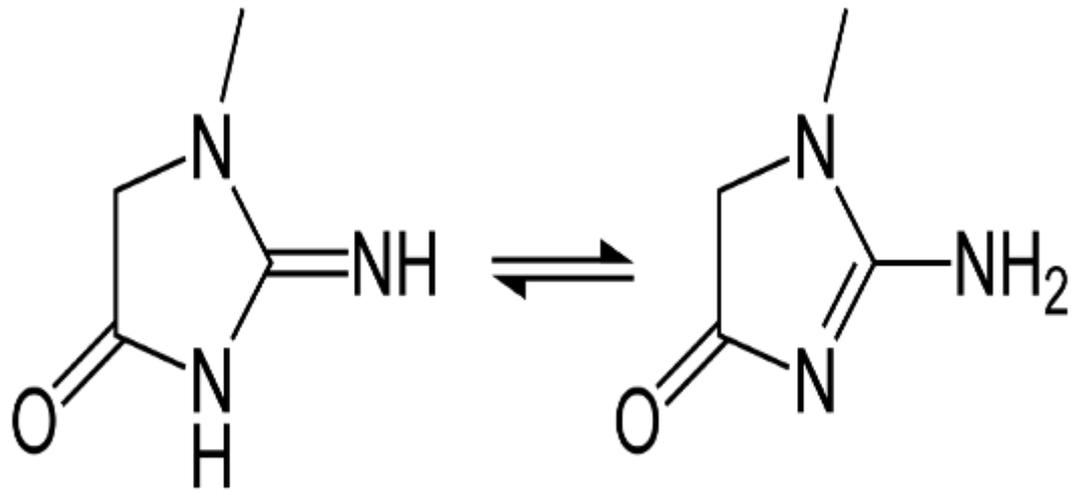
- Allantion(尿囊素)



- Uric acid(尿酸)



- Creatinine(肌酸酐)



第貳部分

「因應氣候變遷的農業環境保護管理與減緩技術」

荷蘭研習報告書

壹、前言

氮肥是高度耗能，且是溫室氣體(Greenhouse gases)排放的巨大來源。此外，預測表明，化石能源資源將在未來 50 到 100 年被耗盡。因此，氮肥價格將趨於增加，這可能提供合理使用氮素的誘因。考量兼顧我國糧食安全性和農業環境永續的發展，改善肥料利用效率，主要是氮肥利用效率(Nitrogen Use Efficiency, NUE)的技術開發是此次研習目的，藉由荷蘭的作法和技術，將問題模式化作為我國對於農業生產環境維護政策的參考。研習期間參觀瓦赫寧根大學附屬農場，正進行提高馬鈴薯氮肥利用效率的田間試驗；過去為解決營養鹽損失問題，將畜牧糞尿循環再利用，並發展利用效率高的多管式糞尿注入式的農機具，現今普遍為荷蘭農民使用，與我國對畜牧糞尿採放流的策略而讓此營養鹽損失，並增加溫室氣體排放風險，兩國差異的作法是值得我們思考與檢討。

關鍵詞：氮(Nitrogen)、氮肥利用效率(Nitrogen Use Efficiency, NUE)、溫室氣體(Greenhouse gases)

貳、目的

由於預期全球人口將會增加和人類飲食的改變，在未來幾十年，全球糧食需求預計將增加 50%。預測表明，在不久的將來，糧食生產對於化肥的依賴，將會進一步增加。而氮肥是高度耗能，且是溫室氣體排放的巨大來源。此外，預測表明，化石能源資源將在未來 50 到 100 年被耗盡。因此對於農業更應謹慎的使用氮素，除減少養分流失和溫室氣體排放外，更要改善施肥措施或有效率地從動物糞便和廢物中回收利用，對於我國資源短缺的條件下，尤其重要。

我國與荷蘭國際合作協議備忘錄（2010年4月26日批准）的簽署下，建立台灣農業研究單位（農試所）和荷蘭瓦赫寧根大學環境科學組（ESG-WU）間，博士研究生和科學家之間培訓和交流的一個平台，以推動因應氣候變遷的農業環境保護管理與減緩技術研究的相關工作。

參、出國人員

江志峰助理研究員，行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

Chih-Feng Chiang, Soil Survey and Classification, Agricultural Chemistry Division,

Agricultural Research Institute, Council of Agriculture

肆、研習行程

赴荷蘭瓦赫寧根大學暨研究中心(WUR)研習行程表

日期	地點	行程
June 1, Friday	桃園國際機場	搭華航(CI065, 22:45)赴荷蘭
June 2-3, Saturday Sunday	荷蘭阿姆斯特丹	經泰國曼谷，抵達史基浦國際機場
June 4, Monday	WUR	與研究中心 Dr. Oenema 座談 討論有關改善農田氮利用效率 田間管理技術
June 5, Tuesday	Lelystad	參觀 PPO 瓦赫寧根大學校外 試驗農場
June 6, Wednesday	WUR	硝化與脫氮作用氮素排放田間 收集技術
June 7, Thursday	WUR	作物氮素營養水平指標和損失 量提高量的評估技術
June 8, Friday	WUR	土壤氮素殘留量評估技術
June 9- 10, Saturday Sunday	Holland	整理資料及假日行程
June 11, Monday	WUR	土壤氮素供應模式建立方法
June 12, Tuesday	WUR	土壤氮素供應模式應用技術
June 13, Wednesday	WUR	與研究中心 Dr. O. Oenema 和 Dr. G. L. Velthof 座談討論土壤 氮素供應模式應用技術及合作 交流計畫檢討
June 14, Thursday	WUR	研習結束離開 WUR

伍、報告、心得與建議

一、研習內容

為解決我國糧食安全性低落問題，而提高肥料利用效率是否為兼顧維持永續農業生產與環境品質的唯一方法，或者是改善目前的肥料利用效率才是適當的？

荷蘭全國大部分的農田為低於海平面的濕地，生產的環境不良(如圖 1)。此次研習地點主要前往荷蘭瓦赫寧根大學 (Wageningen University)，瓦赫寧根為荷蘭海爾德蘭省的城鎮，位於全國第四大城烏特勒支 (Utrecht)東南方約 40 公里處，全鎮以大學為中心。瓦赫寧根大學在荷蘭高等教育指南上高居榜首，它也是唯一一所由荷蘭農業自然和食品質量部直接撥款的大學，研究成果常為國家農業政策的參考依據。瓦赫寧根大學是荷蘭農業方向實力最強的大學，也是歐洲農業方向最好的研究型大學之一，在環境科學與生態學方面的研究機構中其排名世界第一。

研習期間參觀瓦赫寧根大學附屬農場 *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving* (PPO)。它是瓦赫寧根大學暨研究中心(WUR)將植物研究的結果應用於農田耕作和植物多功能農業田間生產的試驗農場，也就是將瓦赫寧根大學研究人員所作的研究成果應用於田間時的試驗農場，從小尺度放大尺度至田間的規模，農場內的研究人員隨時直接與大學內各種領域的研究人員聯繫。此行參觀農場時，試驗地正進行一項提高馬鈴薯氮利用效率的田間試驗(圖 2-3)，與我們不同的是為方便於農機具的作業，試驗田區並無田埂，且配合場外農民平均擁有的農地廣大面積的作業模式，但為求試驗的準確性，主要試區外圍規劃寬約 10 公尺的緩衝區，以避免外力的干擾試驗的進行。試區並

無灌溉設施的設置，主要是雨水的灌溉，為因應氣候變遷降雨的異常，可能是未來 PPO 面臨的挑戰之一。為讓試驗順利進行，農場擁有各式各樣的農機具(圖 4)，為田間管理節省不少人力，新式農機具的開發，也可讓農民逐漸老年化的我們作為借鏡。農場擔任的角色不僅是大學研究成果的實現，同時農場研究人員也是農民諮詢的對象和知識的轉移者，為此定期提供試驗階段性成果和未來作法的書面資料(圖 5)，將來更以推廣於農民使用為目標。

對於農田土壤氮與作物提高氮素利用效率之定量關係研究之核心問題分析、概念設計則在於文獻研讀，研習期間針對「濕地(水田)土壤氮肥施用後，田間氮揮失評估技術」、「硝化與脫氮作用氮素排放田間收集技術」、「作物氮素營養水平指標和損失量提高量的評估技術」、「土壤氮素殘留量評估技術」幾項議題，兩次與瓦赫寧根大學環境科學組關於此項研究的負責人 Dr. O. Oenema 和小組成員 Dr. G. L. Velthof 會面交換心得外(圖 6)，也收集一些資料。對於生產與資源的利用而言，氮利用效率(NUE)是一個重要指標，它和減少農業生產過程中氮的損失(包括溫室氣體的排放)同等重要，它經常作為整個生產與消耗鏈中氮利用效率的表示。目前國際間對於作物的生產體系中，至少有 5 種計算式(如表 1)被定義與使用，因此，每一項利用效率都有其作物生產上內涵意義。類似的計算式

表 1 氮利用效率指標(A. Doberman, 2007)

指標	計算
1.作物回收(吸收利用)效率(Apparent crop recovery efficiency of applied nutrient, RE)	$RE = (U-U_0)/F$
2.施用氮素時的生理效率(Internal utilization efficiency of a nutrient, PE)	$PE = (Y-Y_0)/(U-U_0)$
3.內部利用效率(Internal utilization efficiency of a nutrient, IE)	$IE = Y/ U$
4.農藝效率(Agronomic efficiency of applied nutrient, AE)	$AE=(Y-Y_0)/F$ 或 $AE=RE \times PE$
5.分配因子效率(Partial factor productivity of applied nutrient, PFP)	$PFP=Y/F$ 或 $PFP=(Y_0/F) + AE$

F - 養分(肥料)施用量 (kg/ha)
 Y - 養分施用作物的產量(kg/ha)
 Y₀ - 無氮區作物的產量(kg/ha)
 U - 試驗區施肥後作物成熟期地上部吸收氮量 (kg/ha)
 U₀ - 試驗區不施肥後作物成熟期地上部吸收氮量 (kg/ha)

可應用於其它養分的利用效率，如磷的利用效率(Phosphorus use efficiency (PUE))和也可推廣於水分的利用效率(Water use efficiency (WUE))，NUE、PUE 和 WUE 指標資料是可作為政策制定時的參考依據。未來我們面臨人口增加，同時間養分必需降低污染，因為肥料的生產是高度耗能。因此，提高養分的利用效率可以對於農業的生產與持續有所貢獻。

目前台灣正對於「因應氣候變遷及糧食安全之農業創新」議題進行研究，也由各試驗改良場所提出不少研究計畫。其中糧食作物的栽培管理以合理的肥料施用量是個關鍵，但也是個困難點，雖然我國曾於三十年前訂定了水稻肥料推薦量，但近十年來平

均低於農民慣行用量甚多，可能成爲農業生產環境的污染潛因，農民高肥料用量的原因甚爲複雜，因應氣候變遷，藉由改善目前生產方式，以提高農田生產力，同時又可維護永續的農業生產環境。荷方給了目前進行水稻田間氮肥試驗和未來作法不少建議，Dr. O. Oenema 認爲試驗結束後，其重要的的結果是訂定區域性水稻合理肥料推薦量，同時必須進一步驗證準確性，才能發揮最大的貢獻。基本上，認同現階段進行的試驗，也提供未來試驗結束後，對於土壤氮素供應模式的參數建議，如針對水稻氮素可作適合台灣環境條件動態性的管理，追施氮肥的時機與次數，都必須考量，以提高地區性生產力；另外，也討論深層施肥可提高肥料利用效率，但由於農業環境的差異，荷蘭以旱作爲主，我國以水稻爲主要作物，若旱作深施肥料可提高肥料利用率，在荷蘭有農機具的實施，但台灣對水稻深層施肥機的開發與使用尚不成熟，是須要我們再努力的目標。最後，荷方對於目前研究經費而要進行如此龐大的田間試驗覺得不可思議，也是我國日後需重新檢討的階段性問題。

二、研習後心得與建議：

(一)農業生產中氮肥利用率低、損失率高、對環境壓力大是個世界性的問題。針對這個問題，一些人少地多的已開發國家，如荷蘭，採用了改良施肥技術和方法，以及降低產量目標以減少氮肥施用量等對策。但是，台灣人多地少，糧食生產的壓力大，較不可能採取後一種對策，我們必須從協調作物高產與環境保護的關係出發，尋找二者的最佳結合點，必須研究解決既能獲得儘可能高的產量，又能最大限度地減輕對環境的壓力的氮肥施用與氮素管理的技術及其理論依據。

(二)氮肥的當季利用率是決定氮肥增產效果的主要因素。提高氮肥當季利用率的潛力則主要在於減少其施入農田後的損失。提高氮肥當季利用的關鍵是確定一個合理的氮肥用量和提出正確的施肥方法。

(三)由於荷蘭主要糧食是旱作的馬鈴薯與我國以水稻為主要糧食的栽培方式不盡相同，且全國大部分的農田為低於海平面的濕地，生產的環境較我國不良，但荷方對於致力維持主要農田區土壤生產力的管理精神是值得我國借鏡。

陸、附圖及說明



圖 1. 荷蘭農田大部分低於海平面，如此生產環境更使他們致力於營養鹽的管理，尤其是氮肥，可為台灣排水問題的土壤管理組的管理參考。



圖 2. 地下水位高的農田為濕地，馬鈴薯的田間試驗必需採用畦溝式的作業，減少根部長期泡水。相對於台灣的土壤環境，未來「不整地栽培」是可能為節能減碳的

重要生產技術。



圖 3. 馬鈴薯生長至一定時期時，再利用農機具進行培土工作。相對台灣的雨季分佈的氣候條件，該高畦栽培與不整地栽培間的選擇是未來思考的方向。



圖 4. 多行式的噴藥農機具，提高病蟲害防治效率，對於農地保護管理是個重要輔助工具。而相對於台灣對農機具的研發就顯得單調。



圖 5. PPO 農場定期提供試驗階段性成果的書面資料給決策者，並將訊息透過管道適時的發佈。

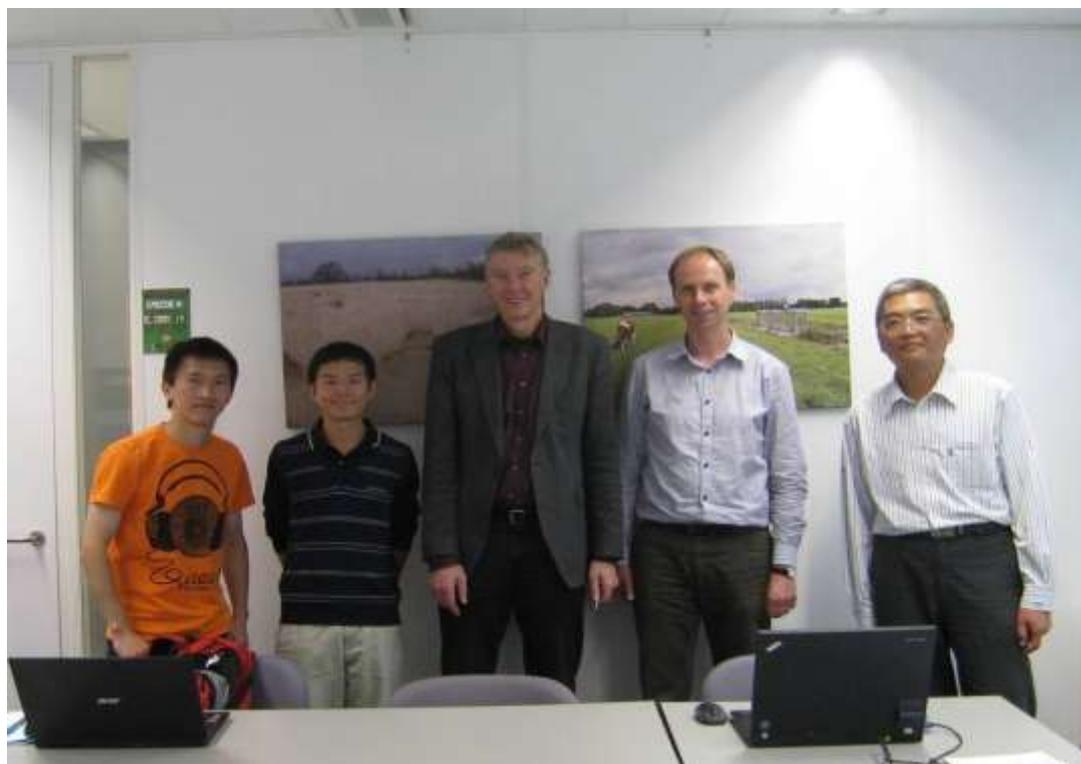


圖 6. 於 101 年 3/26-4/1 邀請瓦赫寧根大學 Dr. G. L. Velthof 來台；此次研習期間兩次與該校環境科學組的負責人 Dr. O. Oenema(中)和 Dr. G. L. Velthof (右 2) 就「因應氣候變遷的農業環境保護管理」議題台荷兩國之作法與交換心得。