

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 97-00-5-10

人工林不同疏伐強度作業對土壤養份動態之影響  
Influences of different thinning degrees to soil  
nutrient dynamic in artificial forest



委託機關：林務局

執行機關：台灣大學

計劃主持人：王明光 教授

中華民國 97 年 12 月

## 目錄

中文摘要.....	1
英文摘要.....	2
一、前言.....	3
二、材料與方法.....	4
三、結果與討論.....	6
四、結論.....	8
五、參考文獻.....	8
六、附錄.....	11
七、圖表.....	12
表一、疏伐前 12 個樣區粒徑分佈.....	12
表二、疏伐後 12 個樣區粒徑分佈.....	12
表三、人倫地區疏伐前可交換性陽離子含量.....	13
表四、人倫地區疏伐後可交換性陽離子含量.....	13
圖一、人倫樣區航照圖及採樣位置.....	14
圖二、疏伐前人倫地區各樣區之土壤質地三角座標分佈.....	15
圖三、疏伐後人倫地區各樣區之土壤質地三角座標分佈.....	16
圖四、疏伐前後三種疏伐強度處理樣區之 pH 值.....	17
圖五、疏伐前後三種疏伐強度處理樣區之全碳含量.....	17
圖六、疏伐前後三種疏伐強度處理樣區之全氮含量.....	18
圖七、疏伐前後三種疏伐強度處理樣區之碳氮比.....	18
圖八、三種疏伐強度處理樣區之土壤硝態氮含量.....	19
圖九、三種疏伐強度處理樣區之土壤銨態氮含量.....	19
圖九、三種疏伐強度處理樣區之土壤總氮含量.....	20
圖十一、三種疏伐強度處理樣區之土壤氮硝化速率.....	21
圖十二、三種疏伐強度處理樣區之土壤氮礦化速率.....	21

## 中文摘要

本文研究人倫林道人工柳杉林不同程度疏伐處理對土壤養分動態之影響。將人倫林道的十二個試驗樣區依照疏伐程度分別設置對照組(0%)、25%疏伐及50%疏伐等三個處理。在每個樣區中選擇三個樣點採集土樣並放置埋藏袋，測定土壤質地、土壤pH、可交換性陽離子量、總碳及總氮含量，並以現地埋藏袋法測定土壤中氮礦化與硝化速率。結果顯示，在土壤質地方面，不同疏伐強度處理的土壤質地皆屬於砂質壤土，疏伐前後土壤質地並無明顯的改變。在土壤pH值方面，疏伐處理後土壤pH值從4.31~4.44改變為3.71~3.86，土壤pH值降低。在可交換性陽離子量方面，經過疏伐處理之後，可交換性鎂、鉀及鈉離子含量皆有明顯的增加，而可交換性鉀離子則較疏伐前減少。疏伐前後各疏伐強度處理之碳氮比並沒有顯著的改變，但疏伐後全碳含量和全氮含量略微降低。疏伐處理明顯影響氮的礦化和硝化速率，疏伐過後初期，兩者速率皆明顯提高，接著反應速率隨時間慢慢回復到平穩階段。結果表明，在一年的短期內，疏伐強度與土壤養分動態尚無明顯之相關性，森林土壤養分的變化仍需要再進行長期的追蹤。

關鍵詞：疏伐、氮、礦化作用、硝化作用

## Abstract

The purpose of the study was to investigate the influences of different thinning degree to soil nutrient dynamic in *Cryptomeria japonica* forests. According to the thinning intensity, 3 study plots were set up and included control (0%), 25%- thinning, and 50%-thinning treatments. Three points were selected for burying bags in each plot to measure soil texture, soil pH, exchangeable cations, total carbon, total nitrate, net nitrogen mineralization, and net nitrification. Results showed that the soil texture did not change among these various treatments. The soil pH decreased from 4.31~4.44 to 3.71~3.86 after thinning treatment. Beside exchangeable  $K^+$ , the exchangeable cations showed an increase after thinning treatment. The content of total carbon and total nitrate showed an decrease after thinning treatment, but the C/N ratio did not change. Moreover, the net nitrogen mineralization and net nitrification rate showed an increase obviously in the initial period after thinning, and then the rate was going to the steady stage along with the time. Overall, the result indicated that the relationship between thinning intensity and soil nutrient dynamic was not clear in short-term, the forest soil nutrient's change still needed to trace on long-term.

**Key words:** thinning, soil nitrogen, mineralization, nitrification.

## 一、前言

森林為台灣最重要的生態系。依第三次台灣森林資源及土地利用調查資料，台灣全島森林覆蓋度超過百分之五十八，而其中超過百分之七十六為國有林地。而在國有林地中，約三分之一為人工造林地。由此角度來看，人工林生態系實為全台灣最大也是最重要的生態系。現今政府的林業政策已由早期的林木生產轉變為林業永續經營及維護生物多樣性。因此如何有效經營人工林生態系，使其符合上述目標，乃林業機構當前的重要課題之一。

疏伐作業為人工林中後期撫育管理措施中的重要項目，疏伐作業為人工林中後期撫育管理措施中的重要項目，疏伐可改良樹形並促進林木生長、增加材積收穫、提高林木品質及營造健全林相；疏伐之林分發育成為樹冠均勻、樹幹圓滿而通直之林木，增強抵抗力，並且使根系發展健全，增強抗風力，適度進行疏伐，將不健全之生立木伐除，使留存木發育健全、生長健壯，抗害能力增強。人工的森林疏伐措施經由適當合理的規劃，可以增加太陽輻射、提高林內溫度、光合作用和枯枝落葉分解速率，加速林地內之燃料先移除，減少森林火災之危險度，同時因增加林間空隙地，可誘導陽性先驅植物入侵，其後耐陰植物演替跟進，將可增加物種和林分結構在歧異度及豐富度，有助生態系之穩定。另外，造林地透過集約經營規劃，亦可增加單位時間、單位面積可利用木材之生產，並增加二氧化碳之吸收與貯存、提高水土保持能力，維持或降低單位生產成本。土壤是植物生長之根本所在，但土壤與植物之間互相作用，相互影響。當人工林進行疏伐後，將改變原有之各種環境條件，進而改變森林生態之相關結構與功能，疏伐作業同樣也將影響土壤養分境況及其動態。其中氮為林木生長主要之限制因子，因此了解土壤中氮循環過程以及疏伐對氮循環動態將有助於對人工林的經營與管理。在芬蘭的歐洲赤松不同強度疏伐研究表明，在疏伐區林木的自然死亡率要低於未疏伐區，並且林木的直徑隨疏伐強度提高而增加 (Makinen and Isomaki, 2004)。疏伐後的黑松林季節性光合作用速率由於葉片水合作用及光照的增強而比對照高 21% (Donner and Running, 1986)。森林砍伐可導致地被有機物急劇下降，20 年後有機碳才開始增加 (Aber et al., 1978)。在許多生態系統中，氮的礦化速率與土壤總氮量是土壤肥力的重要指標 (Nadelhoffer et al., 1983; Pastor et al., 1984; Vitousek and Matson, 1985)，氮的淨礦化速率可以反映氮的可能損失，包括淋失

或氣體揮發。疏伐（40%疏伐度）後，土壤溶液組成由於土壤礦化作用增強及植物吸收速率的下降而發生極大的改變（Baumler and Zech, 1998），然而因為土壤巨大的緩衝性，這種現象在疏伐一年後就回復到疏伐前的情況。通過土壤中淨氮礦化與硝化作用研究表明，在森林砍伐（100%砍伐）後總無機氮含量有明顯下降，意味著森林砍伐將導致土壤氮的損失，而其損失量則與砍伐後的時間及其後土壤中氮的礦化速率（Neill et al., 1997）。Fahey et al.（1985）指出與其他林木相比，氮是松樹林生長的最主要限制因數。黑松林疏伐後 KCl 萃取 N 最高且其氮的礦化速率也最高（Giardina and Rhoades, 2001）。

然而在臺灣，相關疏伐作業措施對土壤養分及環境影響評估鮮見報導。本研究子計劃目的是在於探討人倫人工林疏伐前後土壤養分境況及養分動態之變化，及其落葉分解養份動態，最終為人工林改造、林業永續經營、生物多樣性之提高提供基礎之依據。

## 二、材料與方法

計劃在人倫地區進行不同強度人工柳杉林之疏伐，分別為 0%(對照組)，25% 及 50%三種強度的疏伐，每種處理進行 4 個重複，總共 12 個樣區(圖一)，每個樣區一公頃。每個樣區選擇 3 個樣點，每個樣點採集表層 10-20 cm 之土壤。所採集之土壤後去除枯枝落葉，磨碎並通過 2mm 篩網後，分別測定土壤 pH、土壤質地、可交換性陽離子量、總碳及總氮含量。並以現地埋藏袋法測定土壤中氮礦化與硝化速率。

### 1. 土壤 pH 值測定：

取 5g 土壤樣品加入 10ml 去離子水攪拌均勻後靜置 30 鐘,再以 pH 計 (Tim 865 titration manager)測定其 pH 值。

### 2. 土壤質地

秤取土壤樣品 40g 至 600 mL 燒杯中，加入 250 mL 蒸餾水充分攪拌後，再加入 100 mL 5% 偏磷酸鈉作為分散劑，。將懸浮液全部洗入攪拌杯中，以電動攪拌器攪拌 10 分鐘使其充分反應。將懸浮液洗入 1000 mL 量筒內，加蒸餾水定量

至 1000 mL 後，以攪拌槳上下攪動 20 次，以比重計來測定土壤質地。放入比重計後開始計時，分別在 20 秒及 2 小時紀錄比重計讀值。可得知砂粒及黏粒的含量百分比，然後以 100% 扣除砂粒及黏粒含量百分比，即可得到粉粒含量百分比 (Gee and Bauder, 1986)。

### 3. 可交換性陽離子(Exchangeable cations)

稱取 5 g 土壤樣品至淋洗柱中 管柱底部需放置 Whatman No. 42 濾紙，加入 50 mL 1M 醋酸銨進行 12 小時的淋洗，收集淋洗液於 50 mL 塑膠瓶，利用誘導耦合電漿光譜儀( Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy ; ICP-AES, PerkinElmer Optima 2000DV )測定  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  含量。(Thomas, 1982)。

### 4. 硝酸態氮及銨態氮之測定

氮之測定方法則是將 5g 土壤樣品加入 50ml 2M KCl 溶液萃取(Hart et al., 1994)於室溫下持續震盪 2 小時後,以 Whatman42 號濾紙過濾,收集濾液分別以鎘柱還原比色法(APHA, 1998)測定及苯酚比色法(Dorich and Nelson, 1983)硝酸態氮與銨態氮的含量。

### 5. 現地埋藏袋法測定土壤中氮礦化與硝化速率：

目前野外現地測定土壤氮素礦化速率的方法主要有三種，即埋藏袋法、土鑽法及樹脂袋法，不同方法各有利弊，因為方法的實用性，本研究採用埋藏袋法，孵育時間間隔為兩個月。現地埋藏袋法(Eno, 1960; Nadelhoffer et al., 1983)是在野外採樣之同時，將所採集的土壤分裝至兩個 PE 袋中，一袋埋入土壤中進行孵育，另一袋帶回實驗室進行分析，間隔兩個月後，於下次採樣時再取回埋入的 PE 袋，帶回分析土壤中銨態氮及硝酸態氮，並與先前之結果比較來計算氮礦化與硝化速率。野外礦化速率的計算式如下：

氮礦化速率

$$= \frac{([\text{NO}_3^-]_F + [\text{NH}_4^+]_F) - ([\text{NO}_3^-]_I + [\text{NH}_4^+]_I)}{T \text{ days}}$$

硝化速率

$$= ([\text{NO}_3^-]_F - [\text{NO}_3^-]_I) / T \text{ days}$$

F: 經 2 個月野外孵育後的濃度

I: 未經孵育的初始濃度

T: 孵育時間, 單位為 day

### 三、結果與討論

#### 1. 土壤質地

土壤質地將影響土壤對於養份的吸持並影響土壤礦化能力。土壤黏粒含量是土壤質地中影響吸持與礦化能力的主要因子，因此當黏粒含量高時，其土壤能吸持或礦化的能力也相對較高。表一為疏伐前 12 個樣區粒徑分佈結果，從結果中可知疏伐前樣區的質地介於砂質壤土至壤質砂土間，其中砂粒含量介於 70% - 82%，粉粒含量介於 6-24%，黏粒含量介於 6-14%。表二為疏伐後 12 個樣區粒徑分佈結果，從結果中可知疏伐後樣區的質地為砂質壤土，其中砂粒含量介於 56% - 82%，粉粒含量介於 10-28%，黏粒含量介於 8-20%。比較疏伐前後樣區土壤質地之變化(圖三及圖四)，從結果來看，發現疏伐後土壤的粉粒和黏粒有增加的趨勢，但是三種疏伐強度處理對土壤質地影響並沒有一致的變化趨勢，推測造成此結果是由於採樣的空間變異性所產生的誤差，疏伐前後對土壤質地的改變並無明顯的影響。

#### 2. pH 值

土壤 pH 值表示土壤中氫離子濃度，當土壤中氫離子濃度較高時，其 pH 值較低，反之，當氫離子濃度較低時，其 pH 值則會較高。疏伐前土壤 pH 值介於 4.31-4.44，屬於酸性土壤，經過三種疏伐處理後土壤 pH 值則降低為 3.71-3.86(圖四)。從此結果可知，疏伐後土壤之 pH 值降低，推測是因為疏伐後增加太陽輻射，提高了林內溫度，增加了枯枝落葉分解的速率，所分解出之有機酸釋放至土壤中，使得土壤中的氫離子含量增加，因此發生了土壤 pH 值下降之現象。



### 3. 可交換性陽離子

三種不同疏伐強度處理前後之土壤可交換性陽離子含量如表三、四。疏伐前控制組土壤中可交換性鉀離子較 25 % 疏伐及 50% 疏伐高，而可交換性鎂、鈣及鈉離子之含量在三種疏伐強度處理中並沒有明顯的差異，而三種疏伐強度處理土壤之總可交換性陽離子總量是以控制組樣區最高，25 % 疏伐與 50 % 疏伐處理兩組的差異性不大。疏伐之後土壤之可交換性陽離子總量大幅增加，應為疏伐後枯枝落葉殘體分解後進入土壤所造成。其中土壤之可交換性鎂、鉀及鈉離子含量差異性不大，疏伐後除了鉀離子之外，各種可交換性離子皆有明顯的增加，可交換性鉀離子反而較疏伐前減少，推測由於植物殘體所釋放出之大量鈣、鎂離子進入土壤中，與鉀離子競爭吸附位置因而使鉀離子容易被淋洗，此外鉀離子為植體中控制植體內離子強度之重要離子，植物殘體大量分解所造成之土壤中離子濃度增加，亦可能促使植體吸收更多鉀離子所以造成鉀離子的減少。

### 4. 總碳及總氮含量

疏伐處理前三種疏伐強度處理樣區之土壤總碳含量以 25 % 疏伐處理為最大，控制組與 50% 疏伐強度處理差異不大(圖五)，而疏伐後各處理之總碳含量皆有減少，疏伐後以控制組之總碳含量最多，但三種處理之總碳含量並沒有顯著的差異。各疏伐處理後總氮含量在疏伐後有稍微減少(圖六)，但疏伐前後各疏伐強度處理之碳氮比並沒有顯著的改變(圖七)。整理上述結果可知，疏伐後全碳含量和全氮含量略微降低，一般而言，疏伐作業處理後可增加太陽輻射射入林內的輻射量，提高林內光照強度，林內溫度和表土溫度上升，進而促進地被植物的生長以及土壤微生物活動，而植物和微生物之各種生長和反應活動使得土壤中的養分消耗及損失，因此造成全碳含量和全氮含量降低之結果。

### 5. 硝酸態氮及銨態氮

控制組的硝酸態氮含量略低於疏伐處理組，但各處理樣區之硝酸態氮含量相當相近(圖八)。銨態氮含量方面大多為 25% 疏伐強度處理最高(圖九)。圖十為三種疏伐強度處理之總無機態氮含量，結果顯示三種處理之硝酸態及銨態氮的含量雖有不同，但總無機態氮含量幾乎相同。礦化速率(圖十一)及硝化速率(圖十二)

的實驗結果顯示，在 2007 年 7 月經過疏伐處理過後，兩者速率皆明顯提高，接著反應速率隨時間慢慢回復到平穩階段，由於疏伐作業可降低林木密度，增加地上部的光照、溫度及水分，且根據 Knoepp and Swank (2002)提出的報告可知，溫度的升高將提高土壤氮的礦化，而水分增加則會促進土壤氮的礦化。疏伐後，因陽光入射量增加，致土壤平均溫度會高於未疏伐者，且疏伐時正值夏季，更加促進了礦化和硝化速率的提升因此產生疏伐前後的反應速率高峰期。

#### 四、結論

- (一) 根據疏伐處理前後的土壤質地變化可知，不同疏伐強度處理對土壤質地影響並沒有一致的變化趨勢，且疏伐前後土壤質地並無明顯的改變。
- (二) 不同疏伐強度處理對土壤 pH 值並沒有顯著的變化，但從疏伐處理前後的土壤 pH 值改變可知，經過疏伐處理後土壤的酸度增加，使得土壤 pH 值降低。
- (三) 經過疏伐處理之後，土壤中所存在的可交換性陽離子含量明顯增加，有助於林內植物生長。
- (四) 疏伐前後各疏伐強度處理之碳氮比並沒有顯著的改變，但疏伐後地被植物和微生物的反應活動增加，使得疏伐後全碳含量和全氮含量略微降低。
- (五) 疏伐強度與土壤中硝態氮及銨態氮的轉變並無明顯的相關性，但疏伐處理影響明顯影響氮的礦化和硝化速率，疏伐過後初期，兩者速率皆明顯提高，接著反應速率隨時間慢慢回復到平穩階段。
- (六) 疏伐後第一年，雖然疏伐強度與土壤養分尚無明顯之相關性，然而這也只代表短期結果，在經疏伐後森林土壤養分的變化仍需要再進行長期的追蹤。

#### 五、參考文獻

- Aber, J.D., Botkin, D.B. and Melillo, J.M., 1978, Predicting the effects of different harvesting regimes on forest floor dynamics in northern hardwoods. *Canadian Journal of Forest Research*. 9: 10-14.
- APHA, 1998, Cadmium reduction method, In: Franson, M.A.H.(Ed.), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, Dc, pp.

4-118.

- Baeumler, R. and Zech, W., 1998, Soil solution chemistry and impact of forest thinning in mountain forests in the Bavarian Alps. *Forest Ecology and Management*. 108: 231-238.
- Donner, S.L. and Running, S.W., 1986, Water stress response after thinning *Pinus contorta* stands in Montana. *Forest Science*. 32: 614-625.
- Dorich, R.A. and Nelson, D.W., 1983, Direct colorimetric measurement of ammonium in potassium chloride extracts of soils. *Soil Sci.Soc. Am. J.*, 47,833-836
- Eno, C.F., 1960, Nitrate production in the field by incubating the soil in polyethylene bags. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 24:277-279.
- Fahey, T.J., Yavitt, J.B., Pearson, J.A. and Knight, D.H., 1985, The nitrogen cycle in lodgepole pine forests, southeastern Wyoming. *Biogeochemistry*. 1: 257-275.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W., 1986, Particle-size analysis, In: A Klute (eds.) *Method of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 2 nd ed. *Soil Sci Soc. Am.*, Madison, WI, pp. 404-408.
- Giardina, C.P. and Rhoades, C.C., 2001, Clear cutting and burning affect nitrogen supply, phosphorus fractions and seedling growth in soils from a Wyoming lodgepole pine forest. *Forest Ecology and Management*. 140: 19-28.
- Hart, S.C., Stark, J.M., Davidson, E.A. and Firestone, M.K., 1994, Nitrogen mineralization, immobilization, and nitrification, In: (eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*, Vol. 5. *Soil Sci Soc. Am.*, Madison, WI, pp. 985-1018.
- Knoepp JD, Swank WT. 2002. Using soil temperature and moisture to predict forest soil nitrogen mineralization. *Biol Fertil Soils* 36: 177-82.
- Krom, M.D., 1980, Spectrophotometric determination of ammonia - a study of a modified berthelot reaction using salicylate and dichloroisocyanurate. *The ANALYST* 105:305-316.
- Makinen, H. and Isomaki, A., 2004, Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Scots pine trees. *Forest Ecology and Management*.

203: 21-24.

Nadelhoffer, K.J., Aber, J.D. and Melillo, J.M., 1983, Leaf-litter production and soil organic matter dynamics along a nitrogen-availability gradient in southern Wisconsin. *Canadian Journal of Forest Research*. 13: 12-21.

Neill, C., Piccolo, M.C., Cerri, C.C., Steudler, P.A., Melillo, J.M. and Brito, M., 1997, Net nitrogen mineralization and net nitrification rates in soils following deforestation for pasture across the southwestern Brazilian Amazon Basin landscape *Oecologia*. 110: 243-252.

Pastor, J., Aber, J.D., McClaugherty, C.A. and Melillo, J.M., 1984, Aboveground production and N and P cycling along a nitrogen mineralization gradient on Blackhawk Island, Wisconsin. *Ecology*. 65: 256-268.

Rhoades, J.D., 1982, Cation exchangeable capacity, In: A.L. Page et al. (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed. Soil Sci Soc. Am., Madison, WI., pp. 149-157.

Thomas, G.W., 1982, Exchangeable cation, In: A.L. Page et al. (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed. Soil Sci Soc. Am., Madison, WI, pp. 149-157.

Vitousek, P.M. and Matson, P.A., 1985, Disturbance, nitrogen availability and nitrogen losses in an intensively managed loblolly pine plantation. *Ecology*. 66: 1360-1376.

## 六、附錄

期末簡報委員意見回覆表

審查委員	審查意見	意見回覆
中興大學 顏副教授添明	1. 本計畫之內容精簡扼要，為計畫之特色。	感謝指教。
	2. 部分有問題處，在審查會議中提出，供作參考。	所提問題已增加於內文中討論。
	3. 「二、材料與方法」中，本區域之樹種應為柳杉。	已修正，感謝指教。
	4. 圖 11 及圖 12 兩圖中各有一個高峯，應稍作探討，可彰顯計畫之價值。	已增加於內文中討論。
	5. 成果報告中應加入中英文摘要及結論(語)。(文中三、四節為結果與討論，是否有誤?請查證後修改)。	已增加中英文摘要，並更正第四節「四、結果與討論」為「四、結論」。
行政院林業試驗所 邱研究員志明	1. 疏伐後 pH 值、全碳含量、全氮含量降低，應說明其代表之意義。	已增加於內文中討論。
	2. 疏伐後僅一年，表 2 土壤質地 silt 及 clay 明顯增加，原因何在?	推測造成此結果是由於採樣的空間變異性所產生的誤差，疏伐前後對土壤質地的改變並無明顯的影響。該討論已增加於內文中，感謝指教。
	3. 欠缺中文摘要。	已增加，感謝指教。
	4. 報告中三、四皆為結果與討論，四應為結論?但結論似乎太過簡略?	已更正，並增加結論內容。

## 七、圖表

表一、疏伐前 12 個樣區粒徑分佈

Plots	Sand	Silt	Clay	Texture
	-----%-----			
1	82	8	10	LS
2	78	8	14	SL
3	80	6	14	SL
4	80	12	8	LS
5	70	24	6	SL
6	78	16	6	SL
7	88	6	6	LS
8	74	18	8	SL
9	68	24	8	SL
10	80	10	10	SL
11	78	10	12	SL
12	82	8	10	LS

表二、疏伐後 12 個樣區粒徑分佈

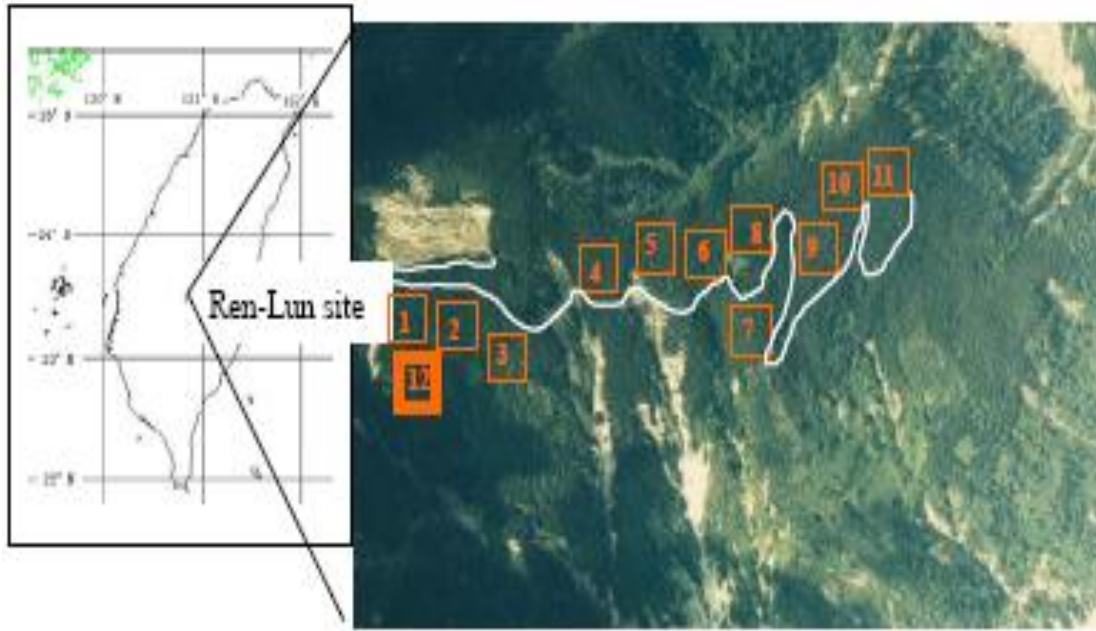
Plots	Sand	Silt	Clay	Texture
	-----%-----			
1	68	22	10	SL
2	82	10	8	LS
3	56	28	16	SL
4	70	20	10	SL
5	68	24	8	SL
6	60	26	14	SL
7	70	10	20	SL
8	70	20	10	SL
9	76	12	12	SL
10	58	22	20	SL
11	62	22	16	SL
12	64	20	16	SL

表三、人倫地區疏伐前可交換性陽離子含量

Treatment	Ca	K	Mg	Na	sum
cmol / kg					
Control	0.30±	0.60	0.11	0.05	1.06
25%	0.32	0.33	0.15	0.06	0.86
50%	0.33	0.30	0.17	0.05	0.86

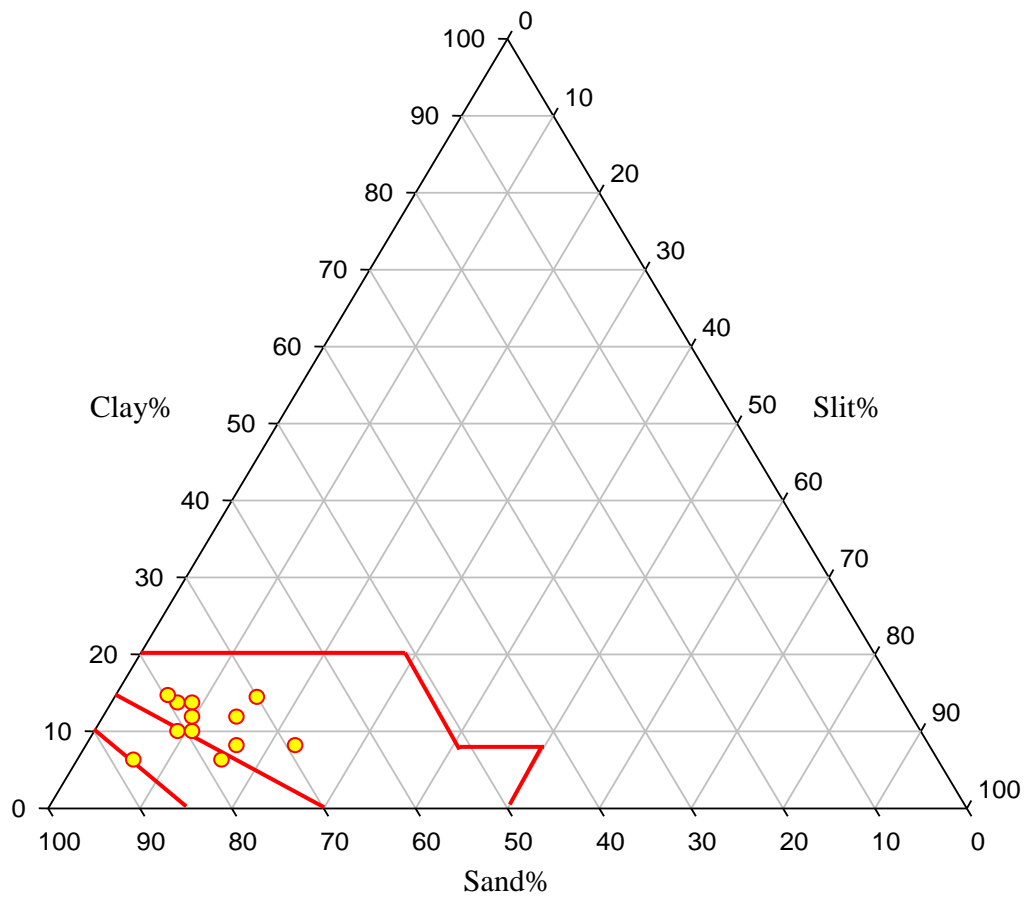
表四、人倫地區疏伐後可交換性陽離子含量

Treatment	Ca	K	Mg	Na	sum
cmol / kg					
Control	1.47	0.18	0.54	0.32	2.52
25%	3.13	0.20	0.62	0.30	4.26
50%	1.39	0.21	0.54	0.33	2.47

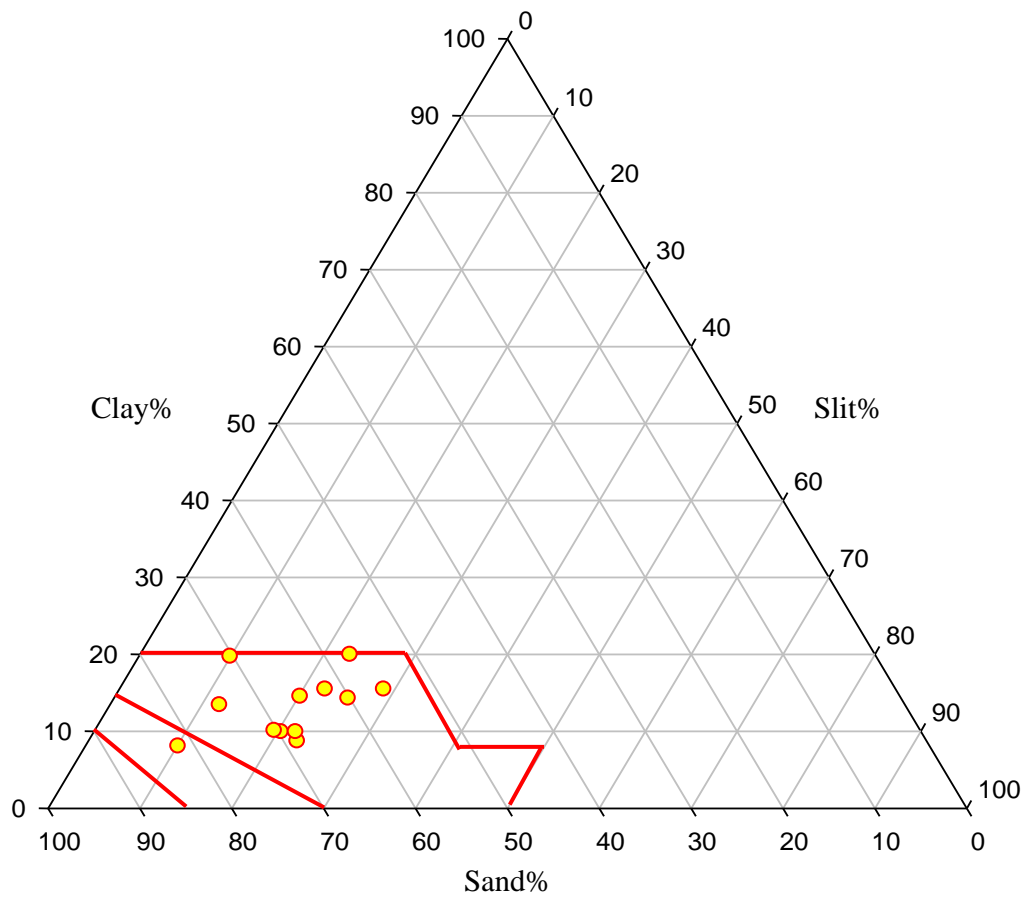


圖一、人倫樣區航照圖及採樣位置

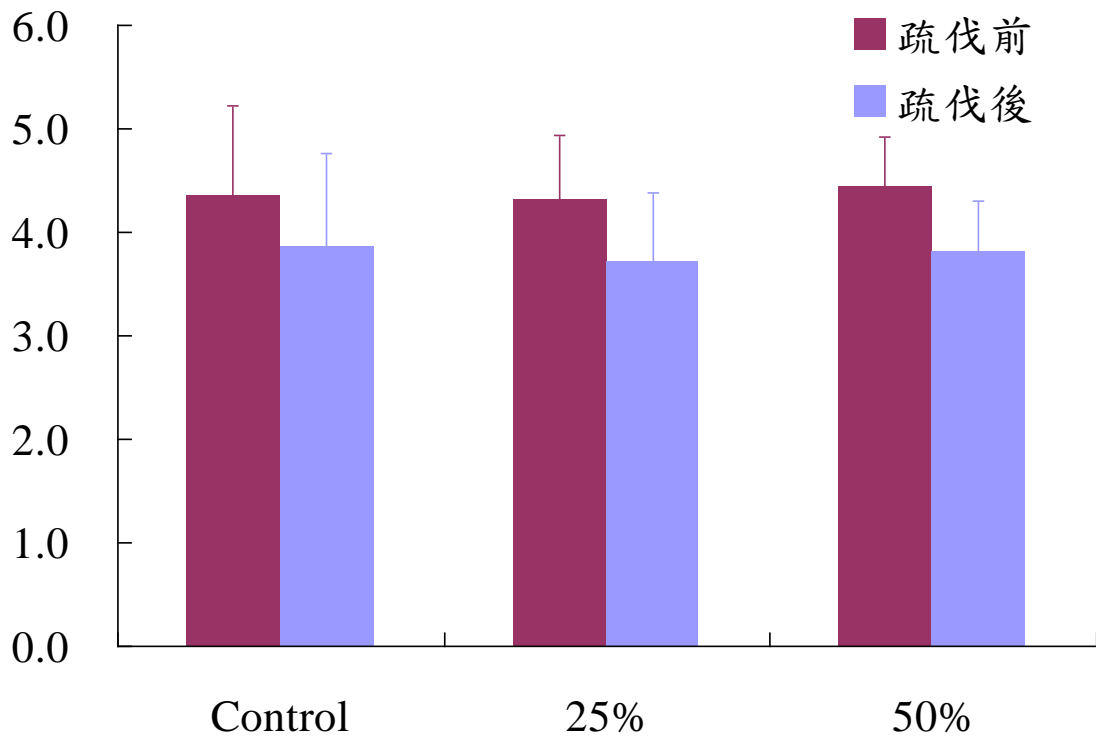




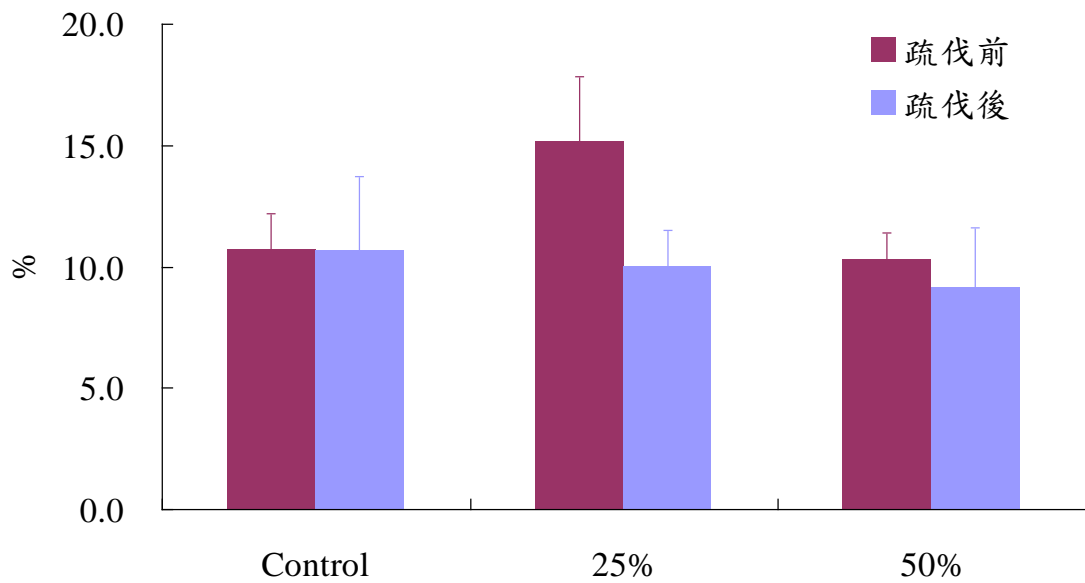
圖二、疏伐前人倫地區各樣區之土壤質地三角座標分佈



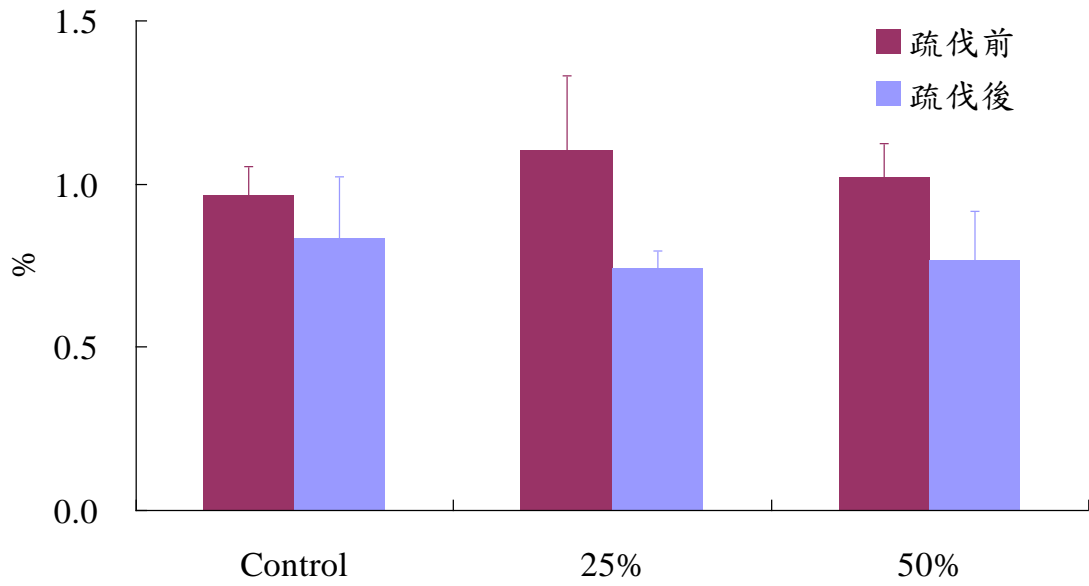
圖三、疏伐後人倫地區各樣區之土壤質地三角座標分佈



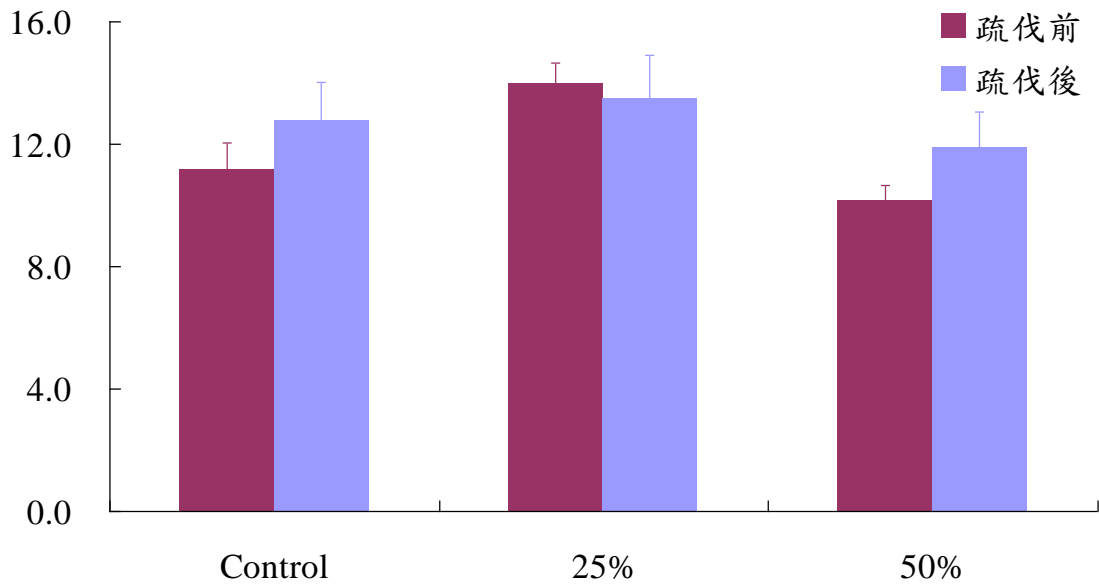
圖四、疏伐前後三種疏伐強度處理樣區之 pH 值



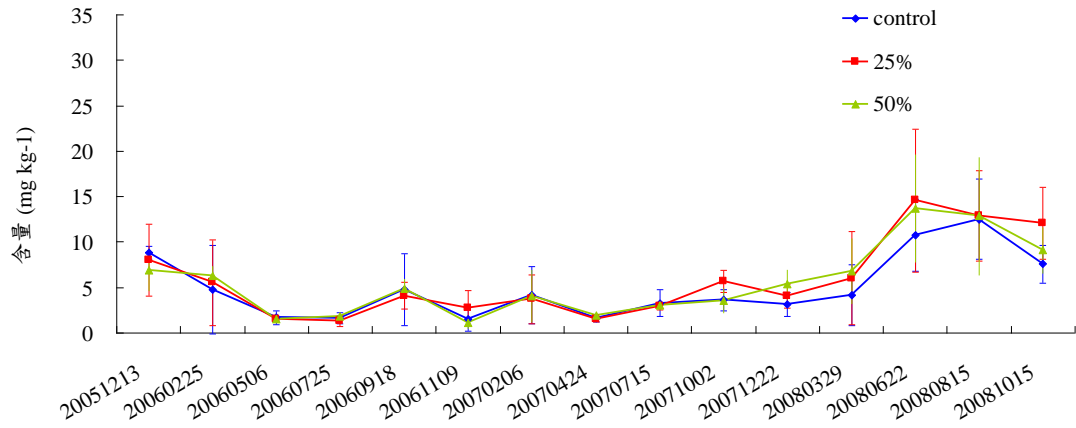
圖五、疏伐前後三種疏伐強度處理樣區之全碳含量



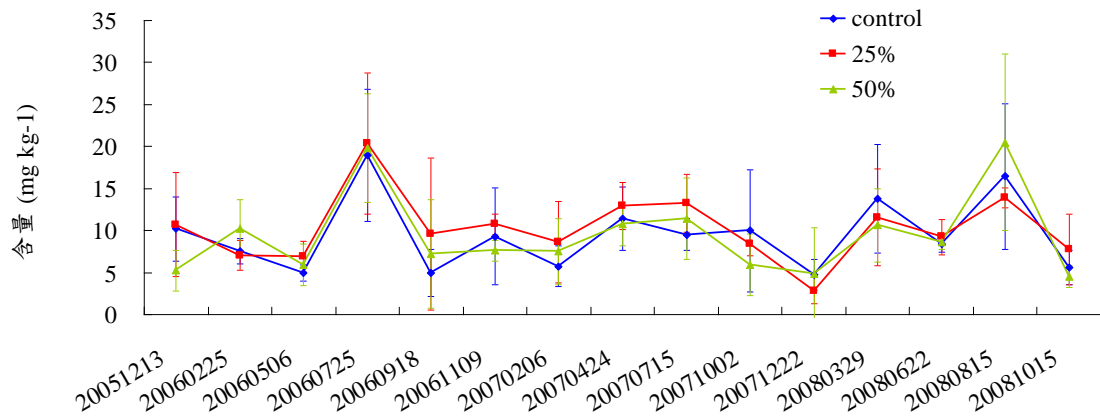
圖六、疏伐前後三種疏伐強度處理樣區之全氮含量



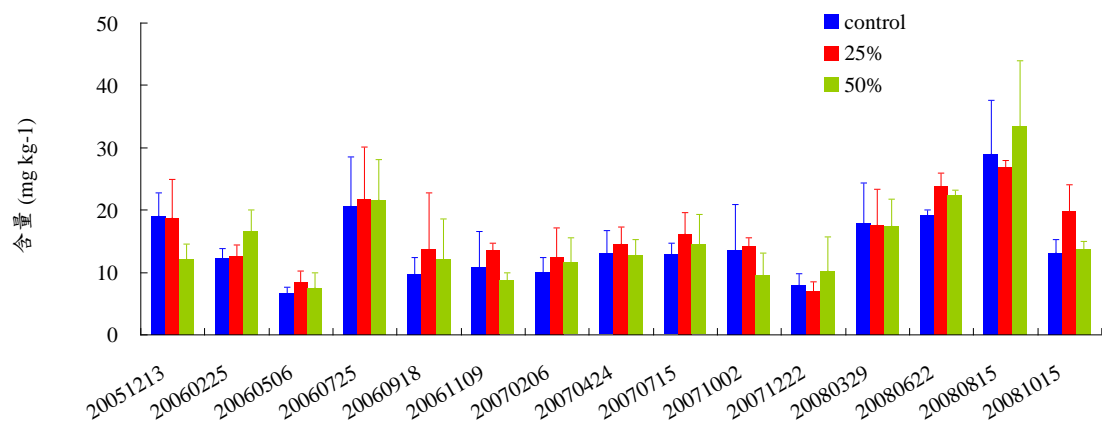
圖七、疏伐前後三種疏伐強度處理樣區之碳氮比



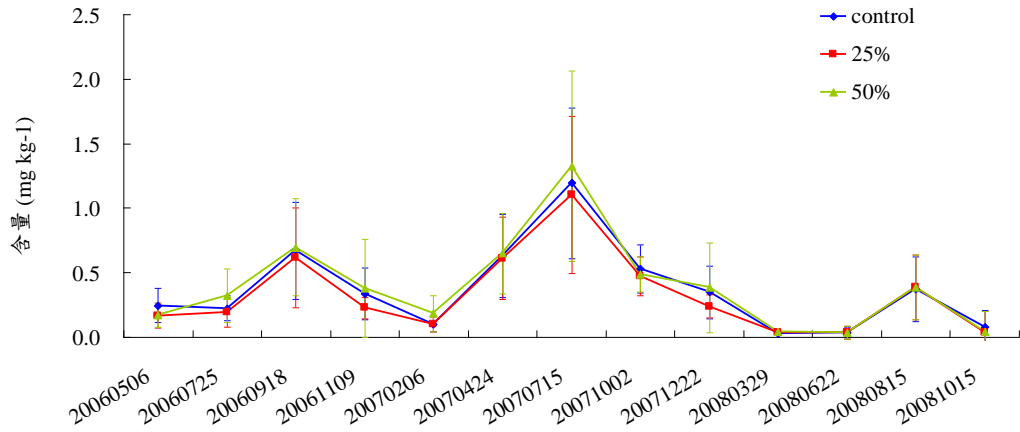
圖八、三種疏伐強度處理樣區之土壤硝態氮含量



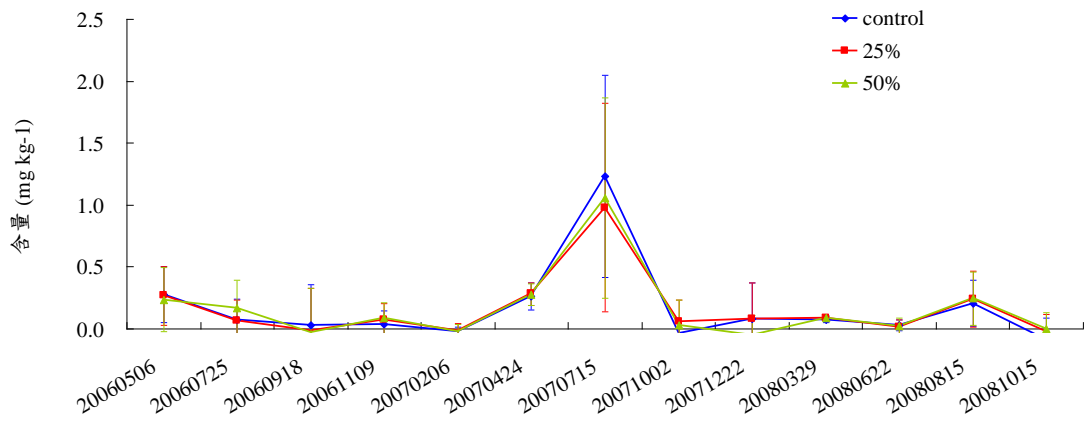
圖九、三種疏伐強度處理樣區之土壤銨態氮含量



圖九、三種疏伐強度處理樣區之土壤總氮含量



圖十一、三種疏伐強度處理樣區之土壤氮硝化速率



圖十二、三種疏伐強度處理樣區之土壤氮礦化速率