

簡易式通氣管對好氧式有機堆肥處理之影響

吳友平¹ 林川勝² 吳香滿²

1. 國立宜蘭技術學院化學工程學系副教授
2. 國立宜蘭技術學院化學工程學系

摘要

本研究利用兩個 120cm×120cm×120cm 簡易型鋼骨木板式好氣發酵槽，並於其中之一發酵槽中心部位插入一直徑 20 公分的通氣管，利用 2001 宜蘭國際童玩節舉辦期間之機會，收集活動期間會場內的有機廢棄物以好氧式堆肥處理方式，調查在相同的堆肥基材的條件下，不同通風方式對堆肥效率之影響。由研究結果顯示，具有通氣管的發酵槽，其溫度在堆肥發酵初期較未具有通氣管的發酵槽高，也使通氣效果較佳的發酵槽中的有機碳在處理初期有較高的轉化率。另外，含通氣管的發酵槽酸化的程度則較無通氣管的槽來的小。本次實驗進行 60 天後所得之結果為總氮含量 1.84%，pH 6.52，可以說明此種堆肥發酵方式配合通氣管應該是一可以在鄉間推廣的可行堆肥處理方式。

關鍵詞：有機廢棄物、堆肥、好氧式發酵、廚餘

Aeration Effect of The Passively Aerated Static Piles of Food Residuals Composting

Yo-ping Wu¹, Chuan-Seng Lin² and Shiang-Man Wu²

1. Associate professor, Department of Chemical Engineering, National Ilan Institute of Technology
2. Department of Chemical Engineering, National Ilan Institute of Technology

Abstract

The passively aerated static pile method of the composting of the food residuals was performed in two 120 cm x 120 cm x 120 cm opened top composting bins. A vertical perforated pipe was placed in the center of one of the bins. The food residuals were collected from the “2001 Ilan International Children’s Folklore and Folkgame Festival.” The moisture content, pH, organic carbon, total nitrogen, as well as pile temperatures were determined. The experimental results show the perforated pipe did improve the decomposition.

Key Words: Food residuals, organic waste, composting, aerated static pile.

一、 前言

環保署自九十年起即開始大力推廣以鄉、鎮、市回收方式試辦廚餘回收處理計畫，試辦結果每天回收約七八公噸的廚餘，成效頗佳，值得再擴大辦理。環保署將擴大辦理，以協助各縣、市政府整合鄉、鎮、市共同推動廚餘回收再利用計畫，今年預計每日回收量可提昇至三百公噸 [1]。國內廚餘約佔一般家庭垃圾量的二至三成，若能以回收再利用製成堆肥，或收集高溫蒸煮處理後提供養豬，將是相當可行之方式，除可減少家中垃圾量，同時可以大幅度減輕焚化爐與掩埋場的操作營運困擾，並可減少垃圾場因臭味與滲出污水所引發的抗爭事件，並延長垃圾處理廠的壽命。

廚餘來自家庭或餐廳，其主要係包括：餿水、菜葉殘渣、果皮、茶葉、咖啡渣、蛋殼、魚蝦蟹與貝類殘體、禽畜剩骨及廢食用油等之碳水化合物，舉凡會腐爛、發臭之有機物皆屬之。以往我們都以一般無法回收之廢棄物處理，然而正因有機物具腐、爛、臭的特性，故引發之廢氣、廢水、惡臭，則是垃圾大戰時之主角，甚至造成二次公害。基於環保意識抬頭，國人自掃門前雪的觀念，更讓垃圾問題浮出檯面，迫使我們加速思考解決的方法。

利用廚餘做堆肥的方法，簡單來說，就是將家中蔬菜、水果、骨頭、蛋殼等廚餘，放到塑膠桶，或室外的坑洞裡，靜候其天然發酵、分解，經過大約兩個月的時間，就成為無臭無味的殘渣，而這些殘渣則可以當做堆肥來使用。在製作的過程中，也可以覆上一些泥土，或填加一些特殊的菌種或酵素，來加速其分解，或減少其臭味。經過處理的廚餘可以變成有機肥料，將能使目前農地中過度使用化學肥料的情形獲得改善，以改良農地土壤的酸化及肥力不足現象，可謂是一舉數得之事 [2, 3]。

本研究利用 2001 宜蘭國際童玩節舉辦期間之機會，收集活動期間會場內的有機廢棄物，以好氧式堆肥處理方式，進行自然通風料堆發酵實驗，並於其中一發酵槽中垂直插入一通氣管，調查在相同的堆肥基材的條件下，不同通風方式對堆肥效率之影響。

二、 實驗方法

本研究利用兩個 120cm×120cm×120cm 簡易型鋼骨木板式好氣發酵槽堆積法以進行堆肥處理，其簡圖如 Fig. 1 所示。發酵槽之底部與四周皆各以 4 片 30cm 寬 1.2cm 厚的夾板組構而成，並於其中之一發酵槽中心部位插入一直徑 20 公分的通氣管，藉由兩者的不同，來比較其含通氣管與否對堆肥效率所產生之差異。

(一) 廚餘：

本次實驗有機廢棄物之樣品包括：2001 年宜蘭國際童玩節服務區銷售食品之廢棄物如便當、飲料、餐點、水果等；簡易廚房產生之廢棄物如炸過之食用油；工作人員正餐之廚餘；及遊客攜入園區之食品廢棄物等。有機廢棄物則先裝於廚餘桶內並加蓋，每日於活動結束後統一收集。

(二) 堆肥處理

每日將前一天所回收的廚餘廢棄物在地板與稻殼混合後並先將含水率調整至 60% 左右後，投入發酵槽堆積，發酵槽置於室內，頂端開放，不加蓋及防蟲網。兩組之最上層皆再覆蓋一層稻殼，並用前期自製堆肥作為返菌。

(三) 樣品分析

本研究針對堆肥過程中的樣品進行溫度、pH 值、含水率、有機碳及全氮的分析，分析方法則依據各相關參考文獻 [4-6]，各項分析方法簡述如下：

1 取樣

本研究之取樣方法採井字型將發酵槽平均區分為 27 個立體區域後，扣除插管處之中心三個區域，利用管狀採樣器

依高低以橫向取樣後再混合為同一樣品裝入樣品袋。

2 溫度

每日溫度(°C)的記錄，採不定點觀察，利用長度各為 30、60、100 公分的溫度計由槽頂向下插入後讀取溫度並記錄。

3. pH 值

稱取樣品 10g 置於 50mL 的燒杯中，加入 20ml 蒸餾水，以玻棒使其充分混合均勻，斷續攪拌 40~50 分鐘，靜置 10~20 分鐘後，以校正過之 pH 計測定其穩定讀值。

4. 含水率(H₂O Content %)

取 10g 的樣品置於烘箱中以攝氏 105 烘至恆重。

5. 總氮(KN, %)

取 1g 風乾後的樣品，依據中華土壤肥料學會所出版土壤分析手冊中之“凱氏法 (Regular Kjeldahl method)”進行消化、蒸餾等步驟後，接著以滴定法分析之。

6. 有機碳(C, %)

取 0.5g 風乾後的樣品於角錐瓶中，加入 10mL 重鉻酸鉀標準溶液混合後，再緩慢的加入 15mL 濃硫酸，回流 1 小時後，加入 100mL 蒸餾水及 5 滴 Ferrion 指示劑，以 0.2M 的 ferrous ammonium sulfate 滴定之終點。

7. 碳氮比 (C:N Ratio)

有機碳含量(C,%) 除以總氮(N,%)所得之值。

三、 結果與討論

本研究將 2001 國際童玩節中所收集的有機廢棄物經與稻殼及返菌混合均勻後平均置入兩個發酵堆肥槽中，其詳細統計資料整理於 Table 1，其中 A 槽為含有通氣管之發酵槽，B 槽則為無通氣管之槽體。由 Table 1 可以看出有機廚餘的重量約佔堆肥材質的百分之七十，其餘之百分之三十則為稻殼及返菌。

(一) 溫度變化

Fig. 2 為 A、B 兩個槽體於堆肥過程中每日的溫度紀錄曲線，因 A、B 槽所置入的混合物屬逐日堆積，因此，本研究之溫度紀錄已滿槽後才開始進行。Fig. 2(a), 2(b)及 2(c) 分別比較 A、B 兩槽中 30cm, 60cm 及 100cm 深度的溫度之不同，Fig. 2(d)與 2(e)則分別比較 A 槽及 B 槽中不同深度的溫度與時間之關係。由 Fig. 2(a)及 2(b)可以觀察出在同一深度(30cm 或 60cm)，在堆置之前期(前 30 天)，A 槽之溫度普遍高於 B 槽的數值，而在 30 日之後 B 槽之溫度才略高於 A 槽之值。Fig. 2(c) 則顯示通氣效率對 100cm 層的溫度並無特別明顯的影響。由 Fig. 2(d)與 2(e)二圖可以看到 30cm 及 60cm 深度的溫度明顯的高出 100cm 層的溫度，另外無通氣管的 B 槽中 30cm 層的溫度明顯的均較 60cm 層的溫度來得高，A 槽的這兩層之溫度則依時間而互有高低不同而無明顯之順序。由上述結果可以看出通氣與否的確影響發酵之效率。

(二) pH 值

Fig. 3 為總體樣品之 pH 值與時間之關係比較圖。由此圖可以看出堆肥起始時之 pH 值屬微酸性的 5.4，隨堆肥時間之增加，其 pH 值則降低至 3.5~4 之間後又緩慢上升至最後的 6.5。有機堆肥之原物料成分對 pH 值變化有很大之影響，文獻中指出一般以都市垃圾的廚餘堆肥的起始值約屬 pH=6 的微酸性，但堆肥過程中之 pH 值變化則有先降低後再回復至弱鹼性(pH 7.5 至 8.5) [7]，或直接緩慢上升的現象 [8]，並無一定的規律。就本研究的結果而言，pH 值

的變化則屬於前者，也因此可以看出所處理的有機廢棄物在堆肥處理前期即迅速的轉化為有機酸類而使 pH 值快速的降至 4 以下，之後這些有機酸則再轉換為 CO_2 後而使 pH 值慢慢的回升至近乎中性。Fig. 3 也比較 A、B 兩槽中 pH 值之差異，由此圖可以看出含通氣管的 A 槽酸化的程度較無通氣管的 B 槽來的小，此現象應該是在除了自然通氣之外，在插入通氣管的條件下可以利用提高氣體對流的現象將有機酸所轉化之 CO_2 帶離發酵槽進而使有機酸的累積性降低。

(三) 含水率

本研究堆肥處理中 A、B 兩槽中的樣品在各時間的含水率的變化整理於 Fig. 4，由圖可以看出此兩槽的物質之含水量隨處理時間之增加而減少。原有有機廢棄物填入發酵槽時之含水率約 60%，再採樣起始期之含水率卻降至 42% 左右，並且逐漸下降。此現象乃是因為在一般好氧堆肥處理中，每 1g 的有機物約可釋放 25kJ 的熱量，而此熱量可以蒸發 10.2g 的水分 [9]，也因此造成含水量的減少。而就通氣管的效應來說，由 Fig. 4 可以看出 A 槽因有通氣管而使其槽內的氣體對流情形較無通氣管的 B 槽來得快速，也因此使 A 槽內物質的含水率減少的速率較 B 槽迅速。

(四) 碳、氮、碳氮比

Fig. 5(a) 為本研究中 A、B 兩個發酵槽中物質的有機碳隨時間的變化曲線，由此圖可以觀察到兩個發酵槽中的有機碳含量均隨時間之增加而降低之趨勢，並且在含通氣管的 A 槽的有機碳在處理的初期比 B 槽的物質有較快的轉化速度，此現象應該也是在自然通氣的條件下 A 槽的物質能經由較多的氧氣提供的環境下經微生物較快轉化為 CO_2 及 H_2O 之故。

Fig. 5(b) 為堆肥處理過程中 A、B 兩個發酵槽中之物質之總氮含量隨時間變化之條狀圖，由此圖可以看出在無通氣管的 B 槽中的總氮濃度除了最終的樣品之外，幾乎維持在一穩定的範圍內，而含通氣管的 A 槽中的總氮含量則上下震盪變化，在此也可以看出總氮含量的量測的平均偏差值範圍是本研究所有量測結果中最大的部分，其主要原因可能是有機廢棄物種類不完全平均分布於槽內之故。

碳氮比(C:N Ratio)一直是堆肥或其他相關處理程序中所重視的一項指標，Fig. 5(c) 即為 A、B 兩個發酵槽的碳氮比變化條狀圖，堆肥樣品的碳氮比起始值為 18.3，由此圖配合前述二圖，可以看出堆肥初期的碳氮比是因為總氮量的昇高而使其值減小，而堆肥後期之碳氮比卻又回升至 30.4 左右，卻也是後期的總氮量變小所導致。一般而言，施做於作物的堆肥成品的理想碳氮比值是 10 [9]，但是 15 到 20 是較能被接受的範圍 [10]，由此看來，本研究的 60 天堆肥過程所得到的成品並不適合直接施做於作物上。

本次堆肥處理 60 天後的成品其主要量測數據綜合整理於 Table 2。綜合而言由數據可知含水率會逐漸下降，而 pH 值、總氮及有機碳則在發酵初期有些微的上升，但到後期則有下降的趨勢。

四、結論

依據我國農委會公告的肥料種類品目及規格[11]中針對垃圾中之有機質物料經物理及發酵處理而成之堆肥規定其總氮應在 0.8% 以上，pH 值應在 6.0~7.5，碳氮比應在 20 以下，若以本次實驗結果所得之總氮含量為 1.84%，pH 為 6.52 相比較，可以說明此種堆肥發酵方式配合通氣管應該是一可以在鄉間推廣的可行堆肥處理方式。一般在有機質的估算上會將有機碳的數值直接乘以 1.72，若以本研究的有機碳量測結果乘以 1.72，所得到的有機質在 81~101.4 之間，以本研究使用的堆肥基材均為廚餘有機物看來，結果顯示在一可以接受的範圍。研究結果中較需進一步確認的是成品中的碳氮比偏高，應在下一階段的研究中再進一步釐清其原因。另外，因堆肥作業中，僅於原料投入時之混合，爾後不再翻動，故上下層及四周與中心部份之發酵效果不盡相同。

五、謝誌

本研究特別感謝鍾茂樹先生在廚餘的收集、場地與堆肥槽體的提供及各項細節上所提供的熱心協助。

六、參考文獻

1. 中華民國台灣地區環境保護年報 (2000) 行政院環保署。
2. 有機事業廢棄物堆肥處理技術 (1997) 工業污染防治團。
3. 果菜市場有機廢棄物堆肥化之規劃與建立 (2000) 行政院環保署。
4. Radojevic, M. and Bashkin V. N. (1999) Practical Environmental Analysis, The Royal Society of Chemistry.
5. 土壤分析手冊, 第二版, 中華土壤肥料學會主編。
6. 王鯤生主編, 廢棄物基本實驗手冊, 中國土木水利工程學會出版。
7. Polprasert, C. (1989) Organic Waste Recycling, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, U. K.
8. Sesay, A. A., Lasaridi, K. E. and Stentiford, E. I. (1989) "Aerated static pile of composting of municipal solid waste (MSW): a comparison of positive pressure aeration with hybrid positive and negative aeration." Waste Management and Research, 3, pp. 264-272.
9. Stoffella, P. J. and Kahn, B. A. (2000) Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems, Lewis publishers.
10. Kayhanian, M. and Tchobanoglous, G. (1993) "Characteristics of humus produced from the anerobic composting of the biodegradable organic fraction of municipal solid waste.", Environ. Technol., 14, pp. 815-829.
11. 肥料種類品目及規格 (2000) 農委會農糧字第 890020813 號公告。

91 年 08 月 02 日投稿

91 年 08 月 16 日接受

Table1. 原始堆肥所投入之各種物質數據資料統計

組別	混合物	通氣管	投入量 (Kg)			比例 (%)		
			廚餘	返菌	稻殼	廚餘	返菌	稻殼
A	稻殼	有	1363	78	528	69.22%	3.96%	26.82%
B	稻殼	無						

Table 2. 堆肥 60 天後之樣品數據統計

	pH 值	含水率 %	總氮 %	有機碳 %	碳氮比 %
成品	6.52	6.96	1.84	56.1	30.4

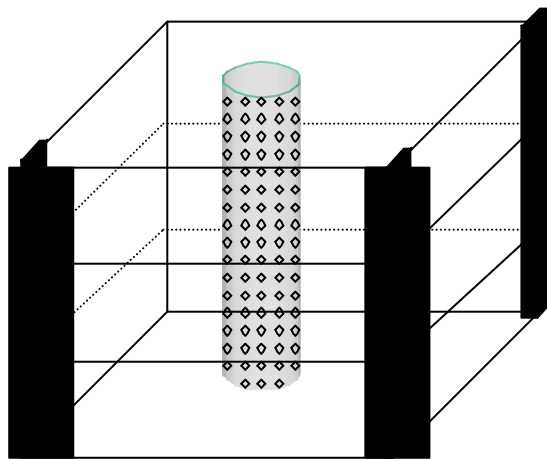


Fig 1. 自然通風式發酵槽簡圖

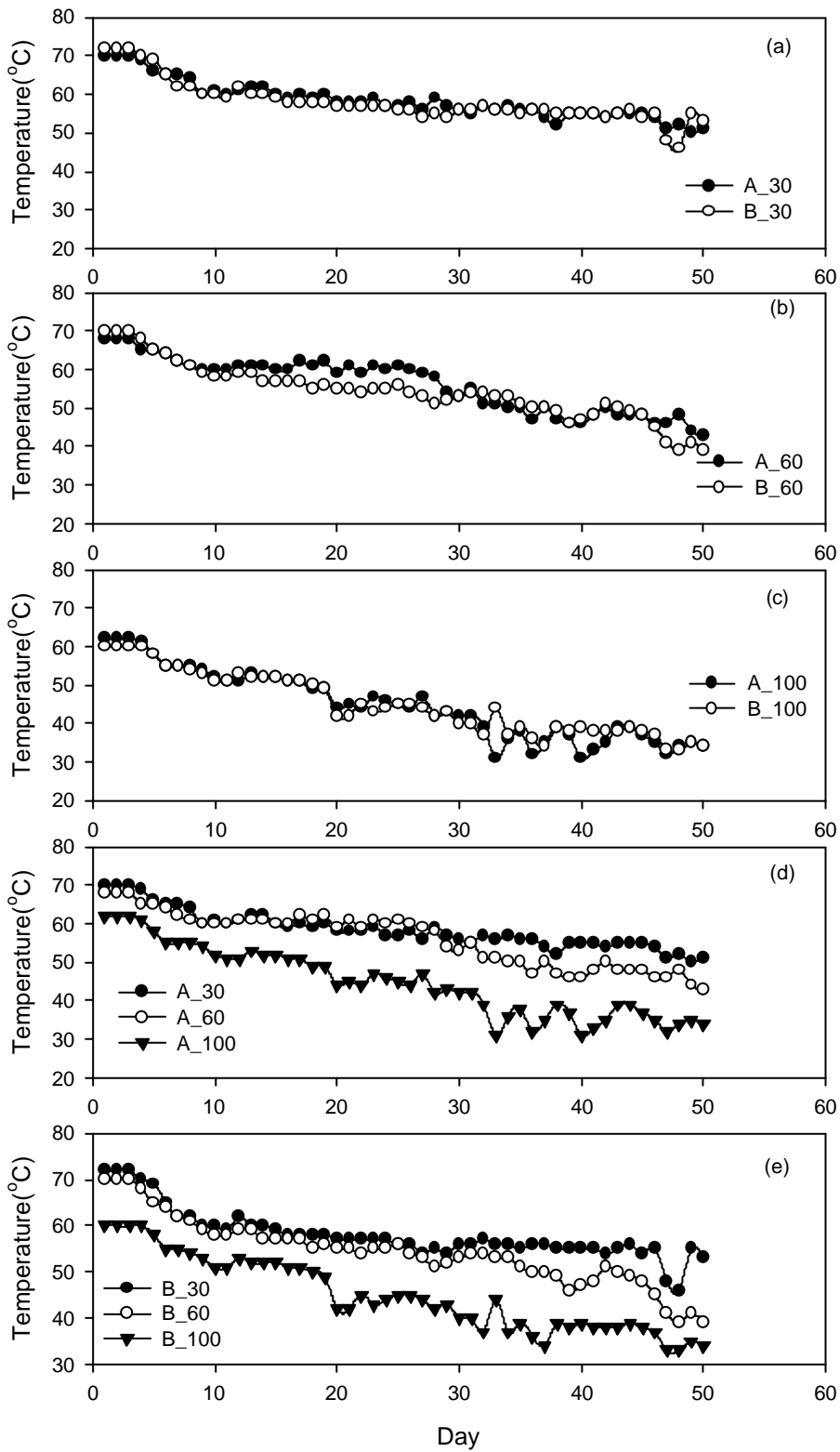


Fig 2. 各堆肥發酵槽體內各層溫度分布

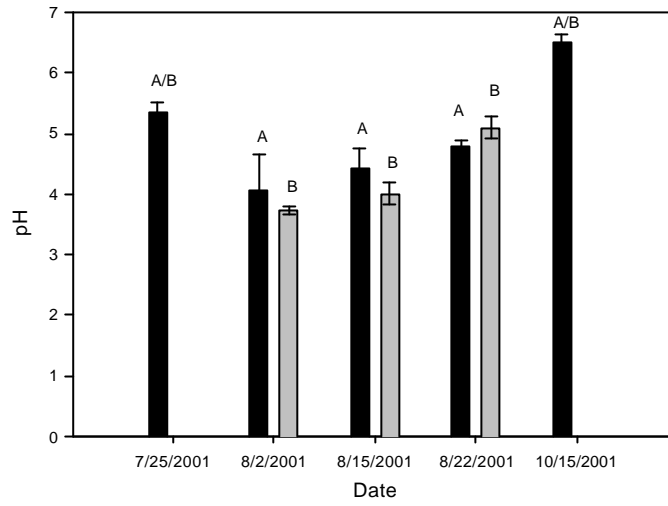


Fig 3. A、B 發酵槽內各階段之總體 pH 值剖面圖

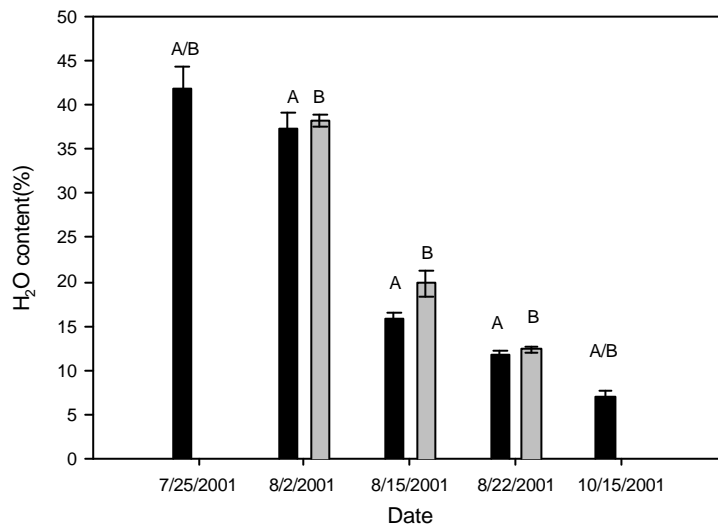


Fig 4. A、B 發酵槽內各階段之總體含水率剖面圖

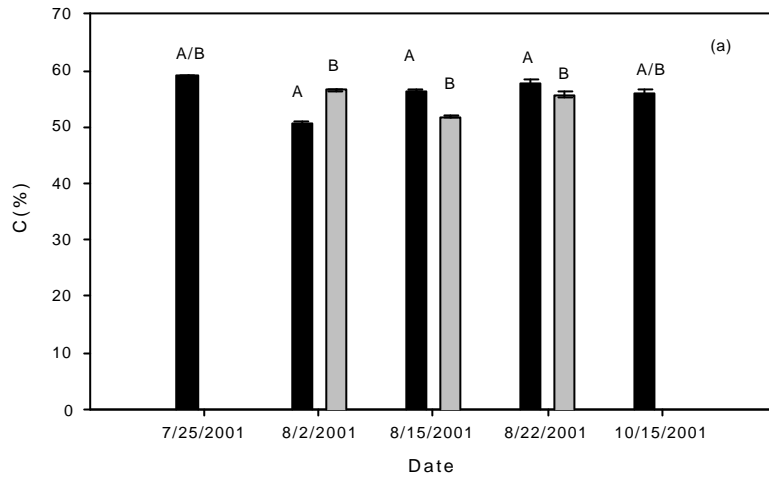


Fig 5(a). A、B 發酵槽內各階段之總體有機碳含量剖面圖

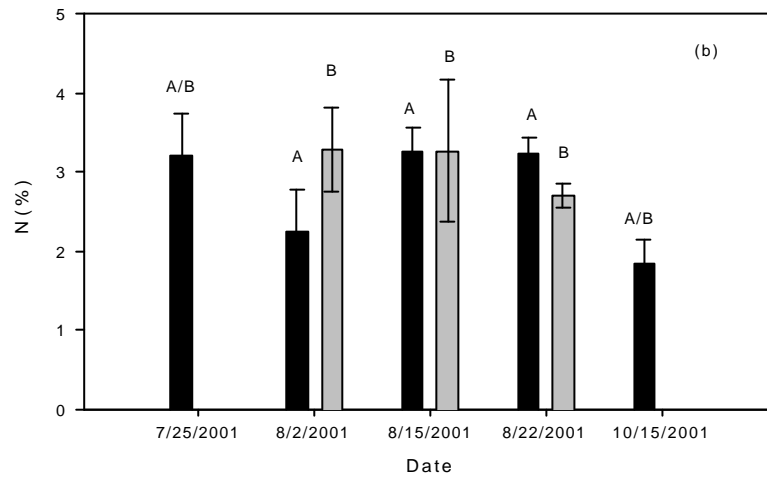


Fig 5(b). A、B 發酵槽內各階段之總體氮含量剖面圖

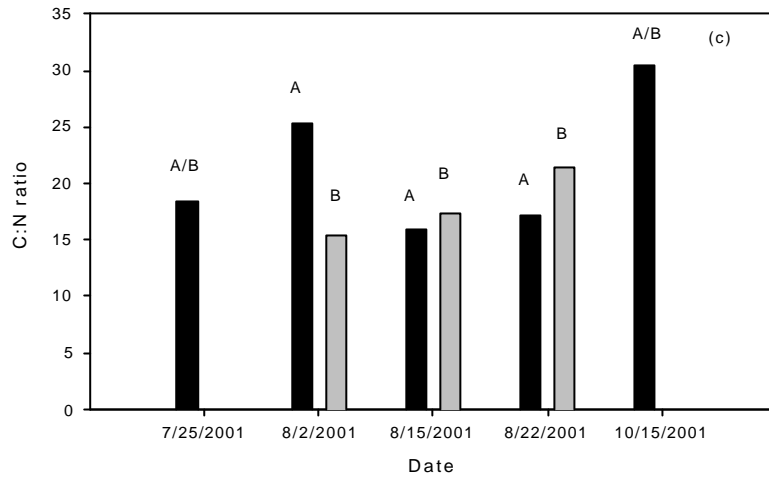


Fig 5(c) A、B 發酵槽內各階段之總體碳氮比剖面圖