

臺中市政府環境保護局

外埔綠能生態園區沼渣試驗分析報告

壹、前言

為協助外埔綠能生態園區所產生廚餘沼渣進行去化，因此研擬進行生廚餘沼渣堆肥再利用操作試驗，透過試驗分析等工作，進一步將沼渣製作成堆肥以有效再利用，減少廢棄物產生，並實踐循環經濟，進而達成推動環境教育意涵。

貳、原料說明

本次原料係使用外埔綠能生態園區沼渣（以下簡稱沼渣）進行堆肥化操作，為本市清潔隊收運家戶生廚餘經厭氧消化系統反應後之廢棄物，依據環保局與外埔綠能生態園區所訂之規定，沼渣含水率需達 75%以下方能運出，產出流程如圖 1 所示。

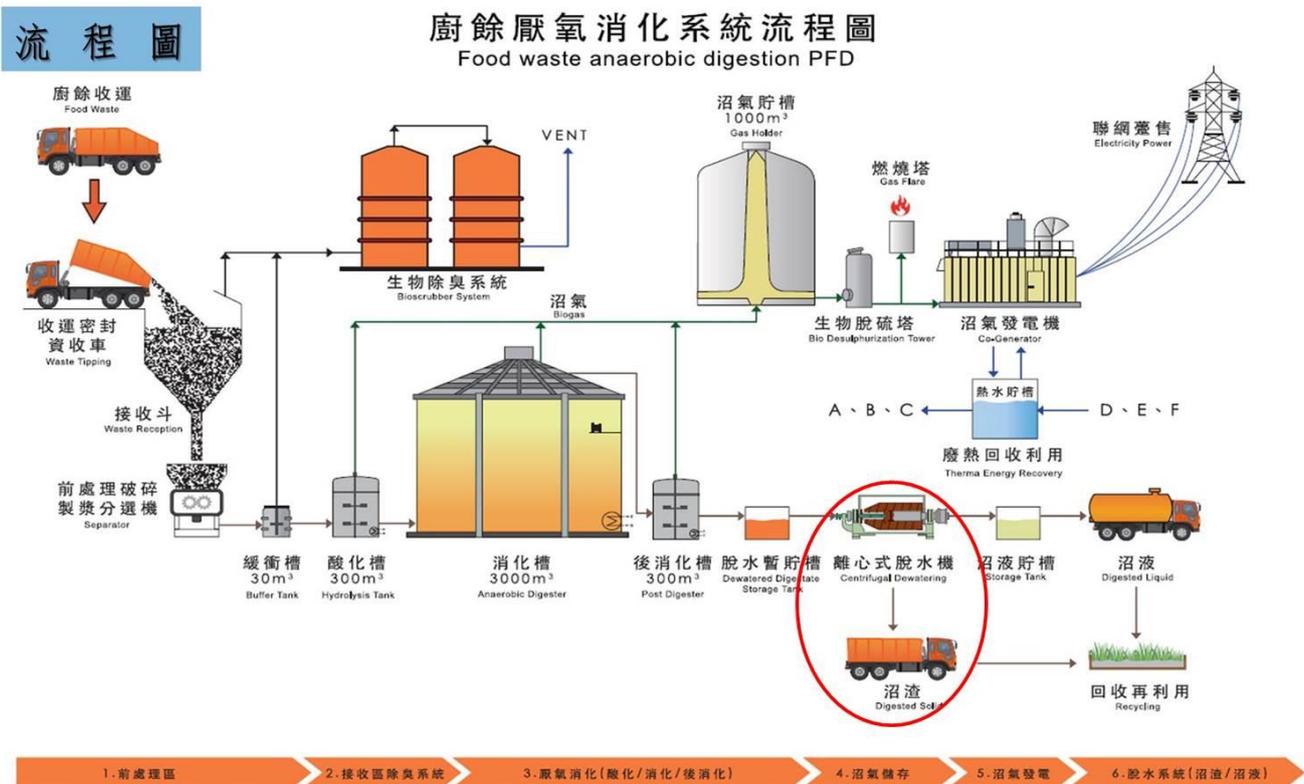


圖 1 外埔綠能生態園區廚餘厭氧消化系統流程圖

參、試驗設計

本計畫設計二階段試驗，每階段期程 3 個月，第一階段試驗 4 車次，每車次約 6-7 公噸沼渣原料，透過含水率調整及菌種添加，測試是否能縮短堆肥腐熟時程，透過不同操作條件及檢測結果，來制定最佳操作方式。每日測量溫度(20、40 公分深)、pH 值、含水率及 EC 值。

根據第一階段實驗結果，經過三個月後各樣本溫度仍維持在 55-60 度左右，推測仍有微生物進行醱酵反應，而第 3、4 週添加農會木黴菌之樣本，也未如預期能大幅縮短醱酵時間，因此第二批次試驗重點在於：一、不同木屑粒徑測試；二、添加迴流測試；三、含水率與溫度變化關係；四、透過添加大中肥酵素菌測試溫度變化關係。

一、第一階段（5 月開始），待各批次醱酵完成後，將成品送驗。

(一)第 1 週：純沼渣，無添加，含水率為 70%。

(二)第 2 週：添加木屑，至含水率達 65%。

(三)第 3 週：含水率達 70%及添加農會木黴菌 1%。

(四)第 4 週：含水率達 65%及添加農會木黴菌 1%。

二、第二階段（8 月開始），待各批次醱酵完成後，將成品送驗。

(一)第 1 週：

進料 2 車次，每車約 8 公噸，共計 16 公噸。分為 4 份樣本，每份樣本約 4 公噸。

樣本一：純沼渣，無添加，並採樣送驗（增驗種子發芽率）。

其中再取部分樣本經大中肥設備操作後，採樣送驗（增驗種子發芽率）。

樣本二：沼渣經乾燥機將水分降至 40%以下，並採樣送驗（增驗種子發芽率）。

樣本三：添加綠資材中心破碎之木屑，至含水率達 65%。

樣本四：添加粉狀木屑，至含水率達 65%。

(二)第 2 週：

與第 1 週進料情況相同。

樣本一：純沼渣，無添加。

樣本二：沼渣經乾燥機將水分降至 40%以下。

樣本三：添加綠資材中心破碎之木屑，至含水率達 65%。

樣本四：添加粉狀木屑，至含水率達 65%。

(三)第 3 週：

進料 2 車次，每車約 8 公噸，共計 16 公噸。分為 5 份樣本，每份樣本約 3 公噸。

樣本一：純沼渣，無添加。

樣本二：添加綠資材中心破碎之木屑，至含水率達 65%，並添加約 10%之第一週樣本三半成品。

樣本三：添加粉狀木屑，至含水率達 65%，並添加約 10%之第一週樣本四半成品。

樣本四：添加綠資材中心破碎之木屑，至含水率達 65%，再進大中肥設備操作。

樣本五：添加粉狀木屑，至含水率達 65%，再進大中肥設備操作。

(四)第 4 週：

與第 3 週進料情況相同。

樣本一：純沼渣，無添加。

樣本二：添加綠資材中心破碎之木屑，至含水率達 65%，並添加約 10%之第二週樣本三半成品。

樣本三：添加粉狀木屑，至含水率達 65%，並添加約 10%之第二週樣本四半成品。

樣本四：添加綠資材中心破碎之木屑，至含水率達 65%，再進大中肥設備操作。

樣本五：添加粉狀木屑，至含水率達 65%，再進大中肥設備操作。

表 1 第一批次沼渣試驗進料量

項目	第一週	第二週	第三週	第四週
進料日期	109 年 5 月 8 日	109 年 5 月 14 日	109 年 5 月 20 日	109 年 6 月 2 日
沼渣(公斤)	6970	8560	7990	8390
木屑(公斤)	-	1100	600	1300
木黴菌(公斤)	-	-	9	11
合計(公斤)	6970	9660	8599	9701

表 2 第二批次沼渣試驗進料量

進料日期	樣本 編號	沼渣 (公斤)	木屑 (公斤)	大中肥 酵素菌 (公斤)	迴流 (公斤)	合計 (公斤)
109 年 8 月 11、13 日	5-1	3,727	-	-	-	3,727
	5-1-2	1,000	-	30	-	1,030
	5-2	4,727	-	-	-	4,727
	5-3	4,728	650(自打木屑)	-	-	5,378
	5-4	4,728	550(粉狀木屑)	-	-	5,278
109 年 8 月 18、20 日	6-1	4,442	-	-	-	4,442
	6-2	4,442	-	-	-	4,442
	6-3	4,443	600(自打木屑)	-	-	5,043
	6-4	4,443	550(粉狀木屑)	-	-	4,993
109 年 8 月 25、27 日	7-1	3,948	-	-	-	3,948
	7-2	3,948	600(自打木屑)	-	455	5,003
	7-3	3,948	550(粉狀木屑)	-	450	4,948
	7-4	3,948	600(自打木屑)	136	-	4,684
	7-5	3,948	550(粉狀木屑)	135	-	4,633
109 年 9 月 1、4 日	8-1	3,172	-	-	-	3,172
	8-2	3,172	550(自打木屑)	-	372	4,094
	8-3	3,172	500(粉狀木屑)	-	367	4,039
	8-4	3,172	550(自打木屑)	112	-	3,834
	8-5	3,172	500(粉狀木屑)	110	-	3,782

	
<p>沼渣進場照片</p>	<p>各樣本均建立標示說明</p>
	
<p>沼渣進場照片</p>	<p>各樣本均建立標示說明</p>
	
<p>樣本添加副資材</p>	<p>樣本添加副資材</p>
	
<p>樣本添加副資材</p>	<p>樣本添加副資材</p>

圖 2 沼渣進場現況

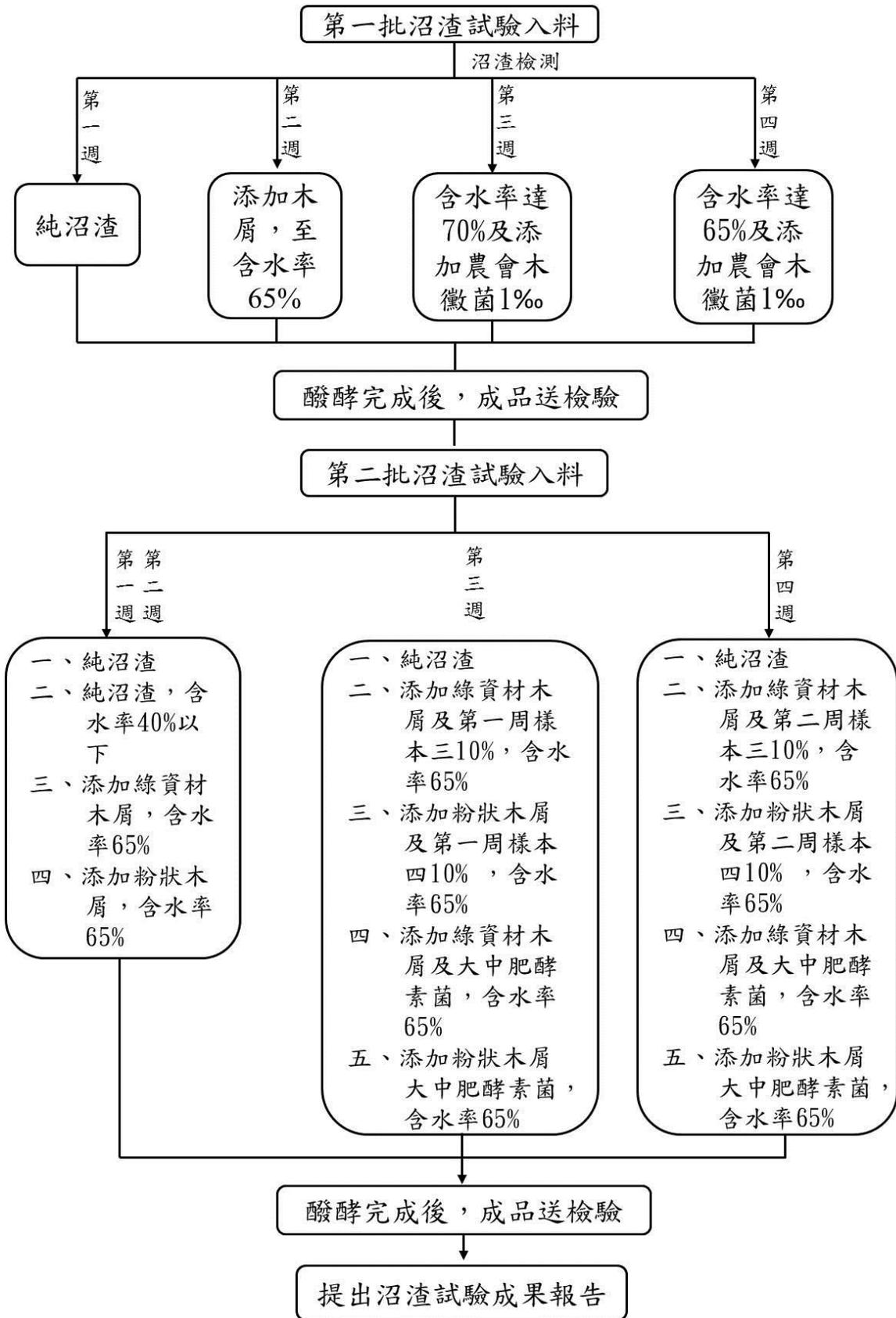


圖 3 試驗計畫流程圖

肆、操作方式

有關堆肥試驗之處理程序，概略說明如下：

- 一、收運後之沼渣稍做靜置，讓多餘水分流出，第 1 週原料因無添加副資材，因此直接送至後端醱酵作業，第 2 週至第 4 週原料以鏟裝機送至攪拌槽裝置中進行攪拌，並藉由添加木屑將含水率調整至約 65~70%。
- 二、出料後，即產出第一階段的堆肥半成品。
- 三、半成品靜置 2~3 日使其醱酵加溫並排出多餘水分，待達到一定溫度後以鏟裝機或自走式翻堆機加以翻堆，增加其含氧量使其加速有機物質分解，每日觀察其溫度、氣味、菌絲分佈之變化，再加以翻堆並重複此動作直到堆肥腐熟完成。每週進場沼渣做數量記錄，並且控管每日紀錄各項監測及操作數據（pH 值、溫度、含水率及翻堆頻率），做為問題解決及改善之依據，並按月定期提送。
- 四、待醱酵腐熟後，將成品進行送驗。

伍、檢測方式

沼渣堆肥化成品檢測工作，主要係為了解沼渣及經堆肥化後的半成品和成品，其各項主成分及有害成分之含量，藉以評估堆肥化成品施用對於作物生長之影響，檢驗結果亦可提供堆肥場在實務上操作參數之修正及訂定。檢測方式說明如下：

一、分析項目

參考雜項堆肥（品目編號 5-11）之要求，堆肥化成品應檢驗項目包括主成分之全氮、全磷酐、全氧化鉀、有機質，有害成分之砷(As)、鎘(Cd)、鉻(Cr)、銅(Cu)、汞(Hg)、鎳(Ni)、鉛(Pb)、鋅(Zn)，限制項目之水分、pH 值、碳氮比、種子發芽率。

二、樣本取樣方式

目前採樣方式，原料半成品和成品均以抽樣方式進行，於現場不同位置隨機抽樣 4 處各 1 公斤（合計 4 公斤），此 4 公斤成品再經充分攪拌、均勻混合，最後取約 1 公斤分析檢驗之樣本。將前述

樣本委託中興大學土壤調查試驗中心進行檢驗分析。

三、檢測分析頻率及期程

每批次試驗醱酵腐熟後，將成品進行採樣分析，預計共執行二個階段的檢測分析工作。

表 4 雜項堆肥之品目規格

	雜項堆肥(品目編號 5-11)
適用範圍	以植物渣粕、動物廢渣、魚廢物、副產動物質、副產植物質、廚餘或 事業廢棄物 等為原料，經過翻堆、醱酵腐熟、調配成分、堆置風乾等程序所製成之堆肥。
性狀	固態
主成分	有機質 50.0%以上 全氮 0.6%以上，6.0%以下 全磷酐 0.3%以上，6.0%以下 全氧化鉀 0.3%以上，4.0%以下
有害成分	砷不得超過 25.0 mg/kg 鎘不得超過 2.0 mg/kg 鉻不得超過 150 mg/kg 銅不得超過 100 mg/kg 汞不得超過 1.0 mg/kg 鎳不得超過 25.0 mg/kg 鉛不得超過 150 mg/kg 鋅不得超過 500 mg/kg
限制事項	不得混入化學肥料或礦物。 水分 40.0%以下；市售品查驗水分 50.0%以下。 pH 值 5.0 以上，9.0 以下，並應標示 pH 值。 碳氮比 8 以上，20 以下。 以廚餘為原料者，應登記本品目，且鈉不得超過 4.0%，氮不得超過 6.0%。 利用或添加事業廢棄物為原料，應依「肥料登記證申請及核發辦法」第 5 條規定辦理。
應檢驗項目	全氮、全磷酐、全氧化鉀、有機質、砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、水分、pH 值、碳氮比。 利用或添加非屬「肥料登記證申請及核發辦法」第 5 條第 3 項規定之事業廢棄物者，應辦理事業廢棄物成分檢驗及作物毒害試驗。 以廚餘為原料者，須檢驗鈉及氮。

資料來源：行政院農業委員會，中華民國 109 年 4 月 24 日農授糧字第 1091068958A 號公告

陸、試驗結果

第一批次試驗之四個樣本溫度曲線圖如圖-所示，經 6 個月的操作後，溫度仍有 40~47 度，各樣本內應仍有微生物反應，而依照沼渣剛進場之檢

測報告顯示，除水分外，其餘條件均已符合雜項堆肥（肥料品目編號 5-11）的規格，因此若採傳統堆肥「溫度至常溫無變化」來判定堆肥腐熟與否較不客觀，鑑此，後續樣本檢測均增加種子發芽率項目，來判定堆肥是否腐熟。

一、第一批次試驗結果

沼渣進場後依設定條件調配後，每兩日上午進行翻堆，於下午測量溫度、pH 值等數據，並增加樣本 1、2 添加大中肥酵素菌之觀察，以下說明試驗結果觀測及分析：

(一)外觀部分

剛進場之沼渣部分呈塊狀結構，顏色為黃褐色，無明顯味道。後續翻堆與木屑添加等操作後，外觀成為粉狀黑褐色，操作期間亦無異味產生。



圖 4 外埔綠能生態園區曝曬乾燥後之沼渣

(二)溫度部分

沼渣溫度採 2 種深度測量（20 公分深及 40 公分深），由於微生物為好氧反應，靠近表層溫度較高，最高溫達 69°C，由樣本 1、2 與樣本 3、4 相比較，含水率 65%於初期溫度較快提升，且後續反應溫度較高 2-3 度；操作 5 個月後溫度曲線呈平穩下降。增添大中肥酵素菌的樣本，60°C 以上高溫僅持續幾日，溫度下降也比較快一些，經過兩波反應後，操作 4 個月溫度曲線就呈平穩下降。

而由樣本 1、3 與樣本 2、4 相比較，添加木黴菌之溫度在 4 個月後逐漸下降，較樣本 1 快一些，但沒有明顯縮短醱酵時程，顯見沼渣堆肥已與一般生廚餘堆肥不同，木黴菌非主要菌種。

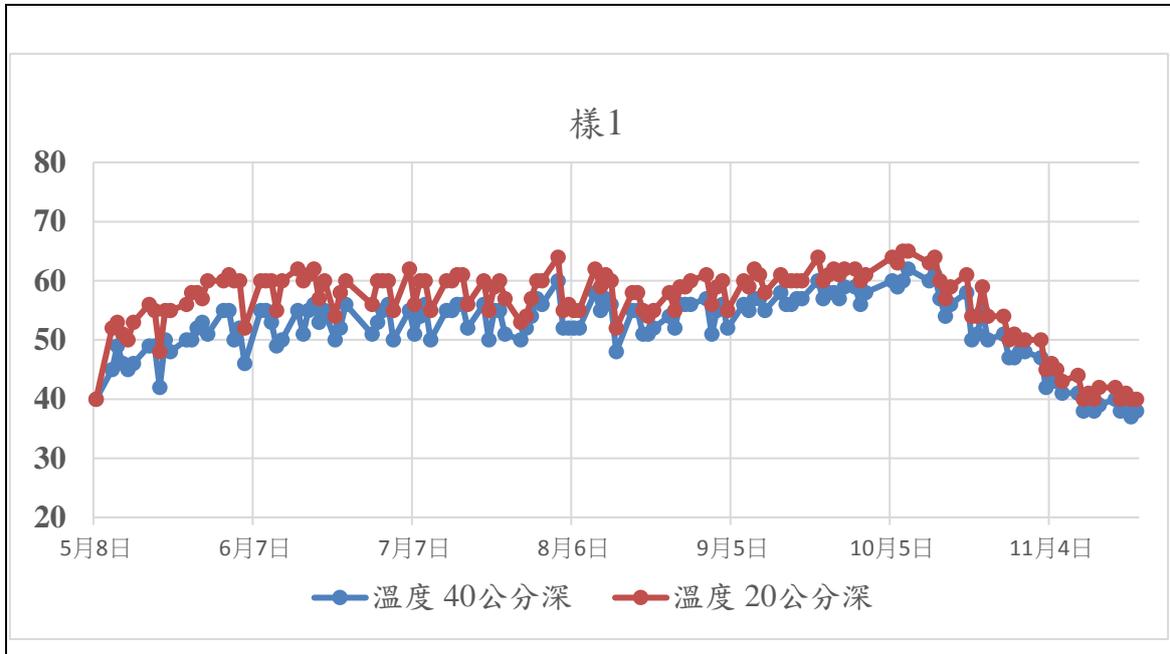


圖 5 樣本 1(純沼渣)溫度變化曲線

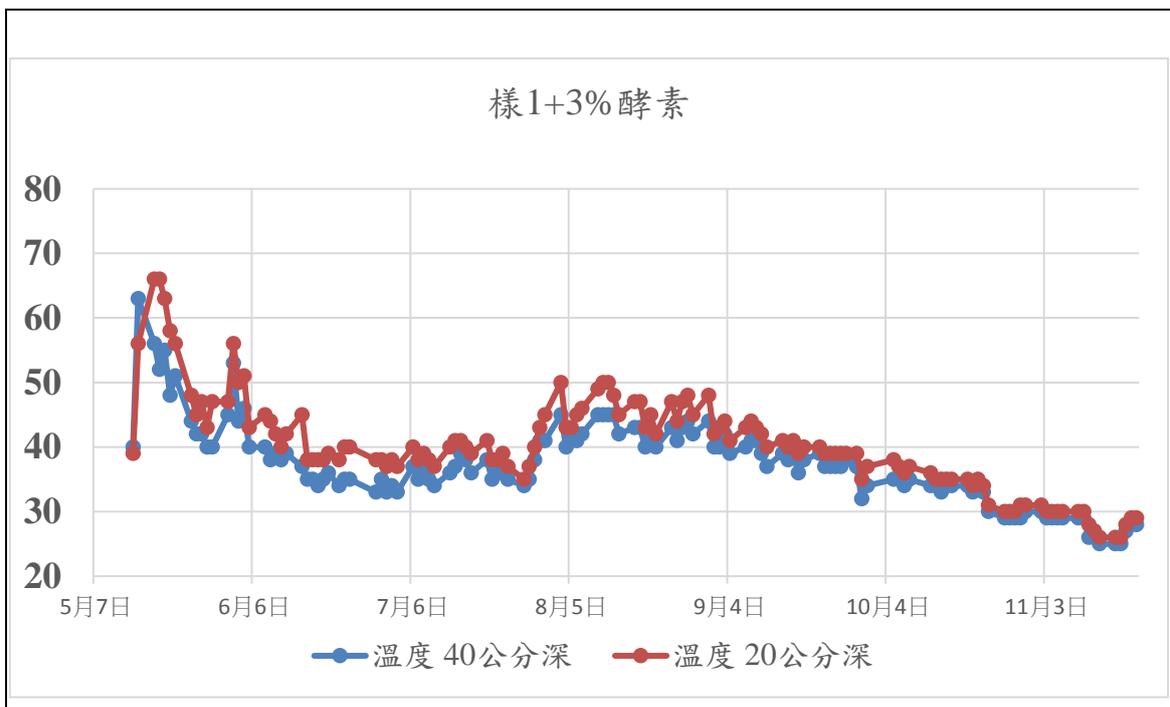


圖 6 樣本 1(純沼渣)添加大中肥酵素菌溫度變化曲線

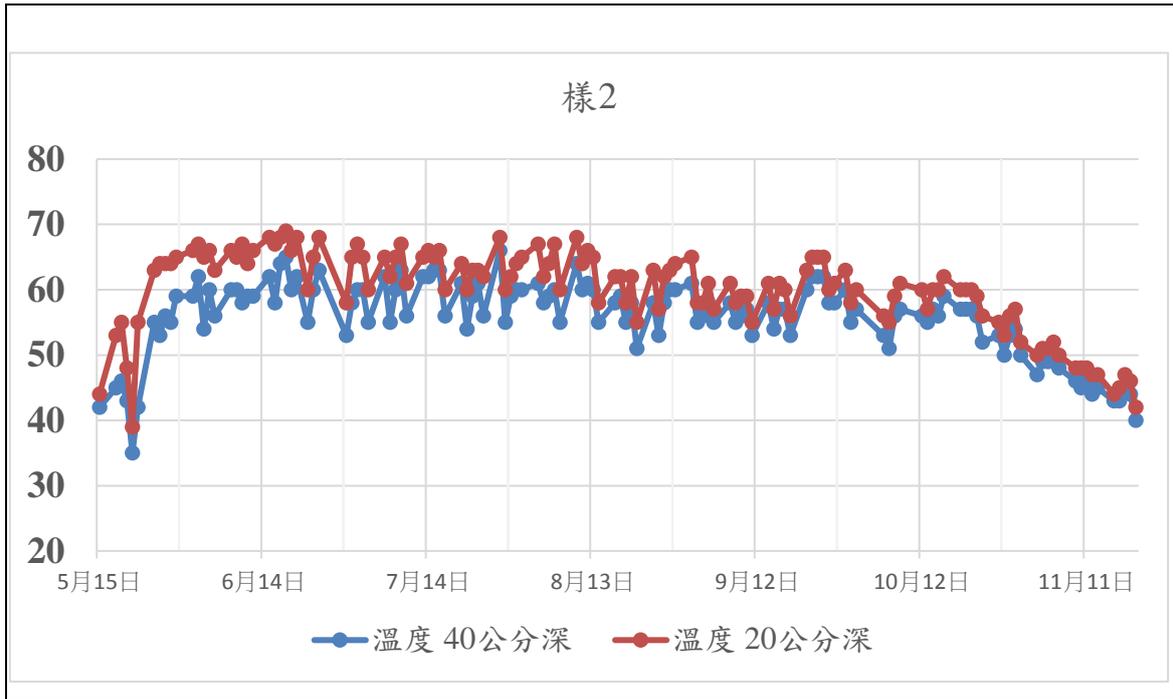


圖 7 樣本 2(含水率調整至 65%)溫度變化曲線

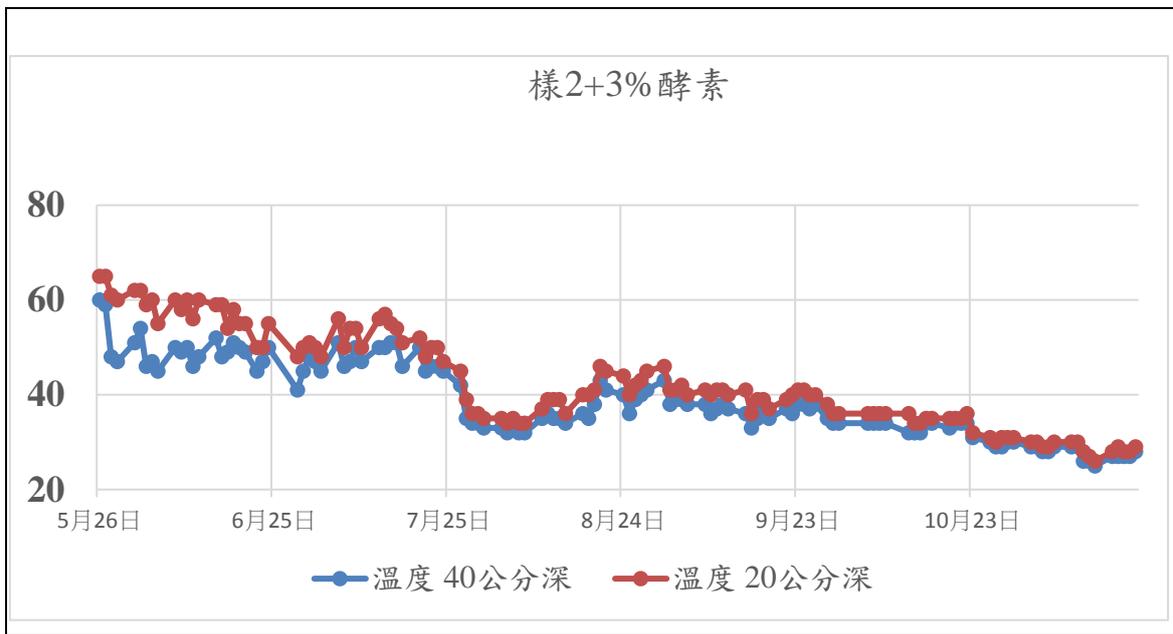


圖 8 樣本 2(含水率調整至 65%)添加大中肥酵素菌溫度變化曲線

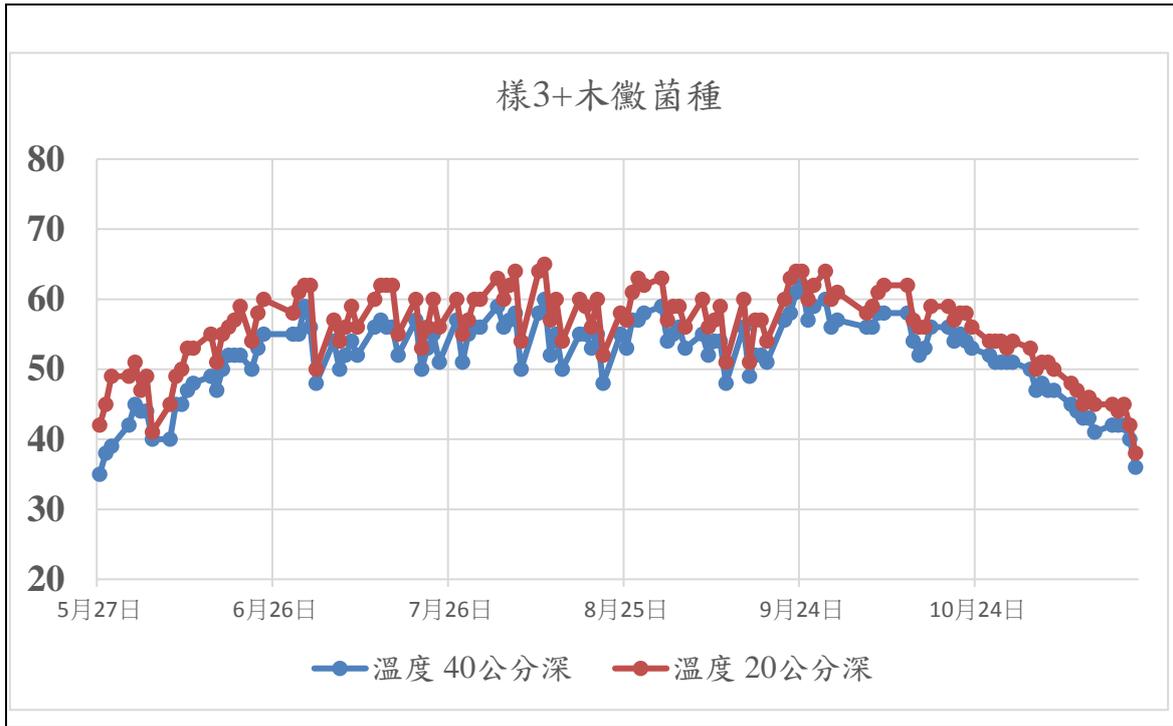


圖 9 樣本 3(含水率 70%及添加木黴菌)溫度變化曲線

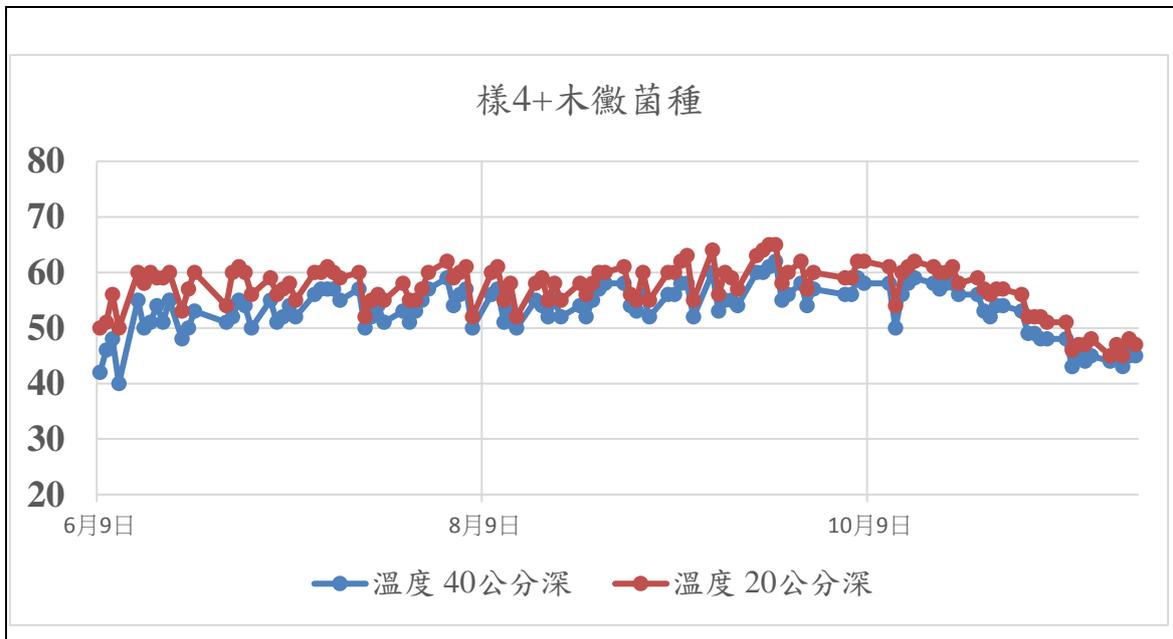


圖 10 樣本 4(含水率 65%及添加木黴菌)溫度變化曲線

(三) 檢測部分

由第一階段堆肥檢測報告可看出，樣本 1~4 若經曝曬水分達 40% 以下，均可達到雜項堆肥標準，發芽率也達 94% 以上，已可施作於植物種植上。第一階段沼渣試驗有效成分與就是肥 1 號比較如表 6 所示，可看出有效成分沼渣堆肥較就是肥 1 號含量高。

表 5 第一階段堆肥檢測報告

檢測項目	雜項堆肥標準	樣本 1	樣本 1+3% 酵素菌	樣本 2+3% 酵素菌	樣本 2 加木屑到含水率 65%	樣本 3 含水率 70%+農會木黴菌 1‰	樣本 4 含水率 65%+農會木黴菌 1‰
檢測日期	-	109.5.8	109.8.24	109.8.24	109.10.16	109.10.16	109.10.16
有機質	50.0%以上	80.6%	73.5	75.1	76.2	76.7	76.5
全氮	0.6%以上，5.0%以下	5.1%	4.6	4.3	4.5	4.2	4.3
全磷	0.3%以上，6.0%以下	2.7%	3.1	2.5	3.0	3.0	3.1
全氧化鉀	0.3%以上，4.0%以下	1.4%	1.5	1.5	1.9	2.0	1.9
砷	不得超過 25.0 mg/kg	1.0 mg/kg	1.4	1.5	1.2	0.7	1
鎘	不得超過 2.0 mg/kg	<0.3 mg/kg	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5
鉻	不得超過 150 mg/kg	38 mg/kg	47	43	48	38	38
銅	不得超過 100 mg/kg	60 mg/kg	67	57	67	63	55
汞	不得超過 1.0 mg/kg	0.4 mg/kg	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2
鎳	不得超過 25.0 mg/kg	7.0 mg/kg	12.1	14.1	12.1	11.2	12.4
鉛	不得超過 150 mg/kg	6 mg/kg	9	10	8	8	6
鋅	不得超過 500 mg/kg	190 mg/kg	233	193	234	203	180
水分	40.0%以下	69.2%	52.7	39.2	8.2	9.0	12.
pH 值	5.0 以上，9.0 以下	8	8	7	8	7	7
碳氮比	8 以上，20 以下	9	8	9	8	9	9
發芽率	-		98%	94%	96%	94%	96%

備註：樣本 1 為未經堆肥處理前送檢測

表 6 第一階段沼渣試驗有效成分與就是肥 1 號比較

項目	有機質	全氮	全磷酐	全氧化鉀
就是肥 1 號	85.0%	2.5%	1.0%	1.0%
第一階段沼渣試驗	73.5%~ 76.7%	4.2%~4.6%	2.5%~3.1%	1.5%~2.0%

二、第二批次試驗結果

沼渣進場後依設定條件調配後，每兩日上午進行翻堆，於下午測量溫度、pH 值等數據，以下說明試驗結果觀測及分析：

(一)外觀部分

剛進場之沼渣部分呈塊狀結構，顏色為黃褐色，無明顯味道。後續翻堆與木屑添加等操作後，外觀成為粉狀黑褐色，操作期間亦無異味產生。樣本 5-3、5-4 及 6-3、6-4 相比較，沼渣與自打木屑(5-3、6-3)混合後較為鬆軟。

(二)溫度部分

由樣本 5-2 及 6-2 溫度變化可知，當含水率 25%左右時，沼渣內無溫度變化；但經澆水後，溫度又會再次上升。在不同木屑種類樣本(樣本 7-2、7-3、8-2、8-3)溫度變化上，細狀木屑較平緩且較快下降。添加迴流與無添加迴流樣本比較，添加迴流樣本溫度下降天數較少，約少 15 天。而由添加大中肥酵素菌樣本(樣本 7-4、7-5、8-4、8-5)溫度變化可看出，約二個月後溫度開始下降，較其他樣本為快。

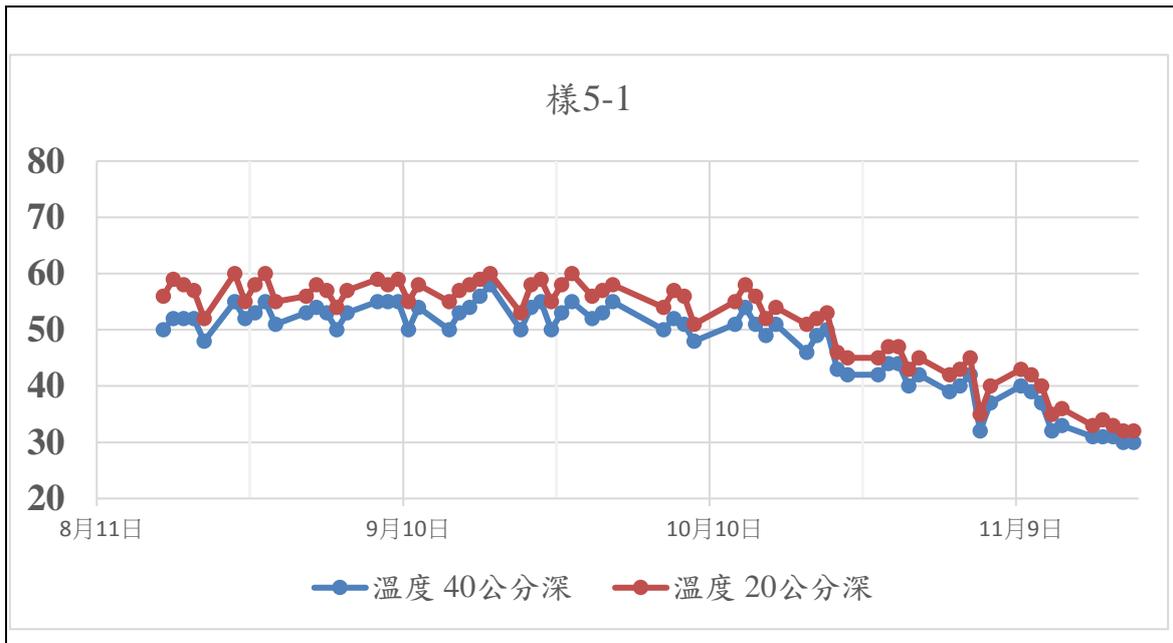


圖 11 樣本 5-1(純沼渣)溫度變化曲線

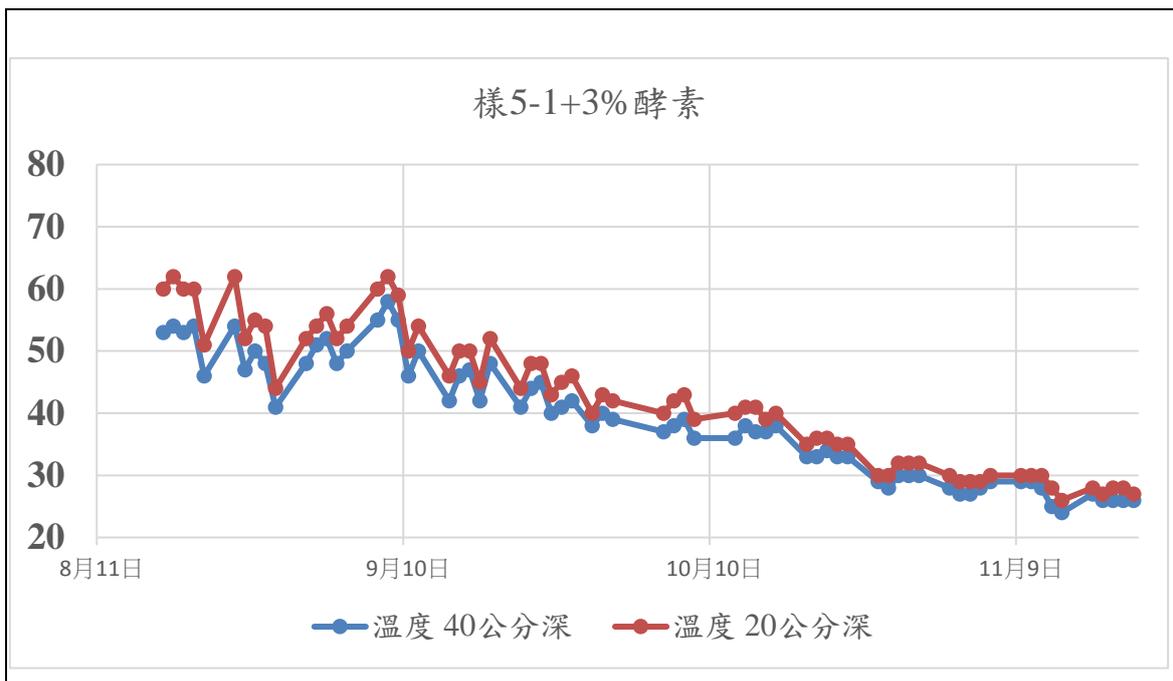


圖 12 樣本 5-1(純沼渣)添加大中肥酵素菌溫度變化曲線

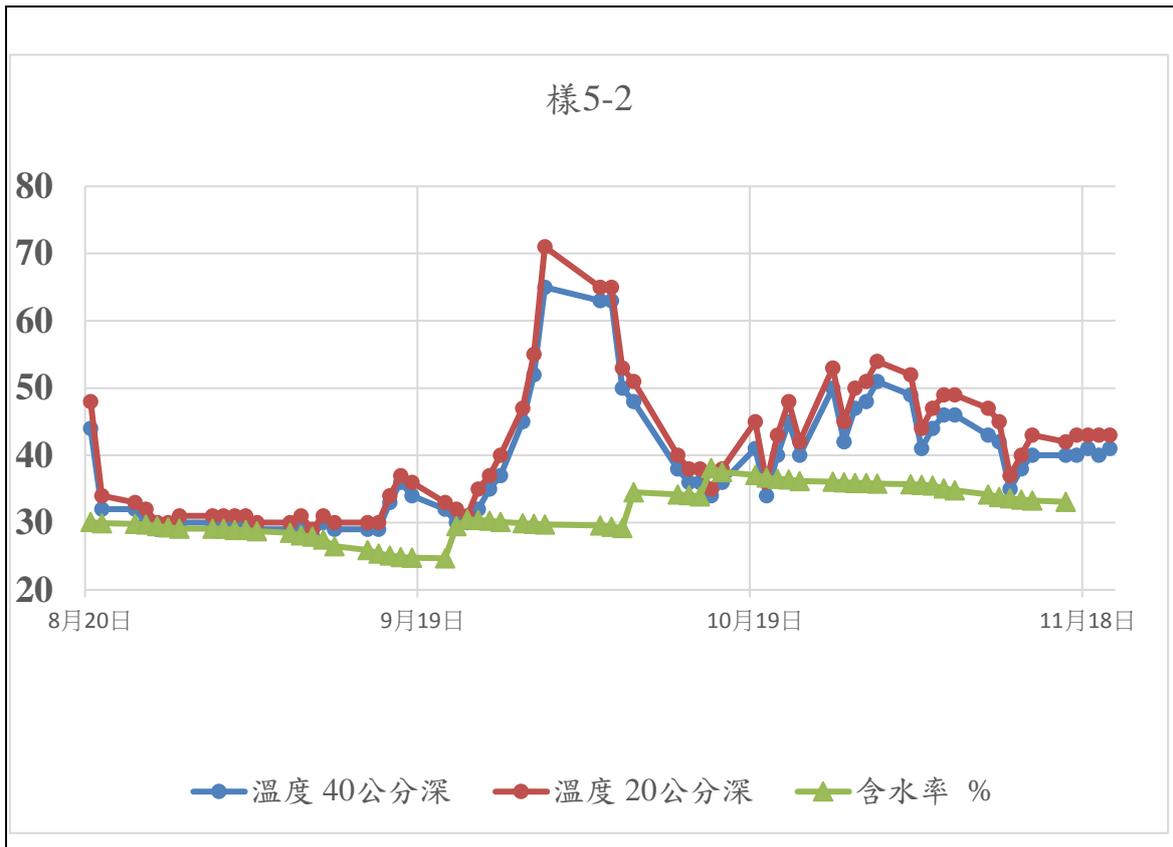


圖 13 樣本 5-2(純沼渣且含水率 40%以下)溫度變化曲線

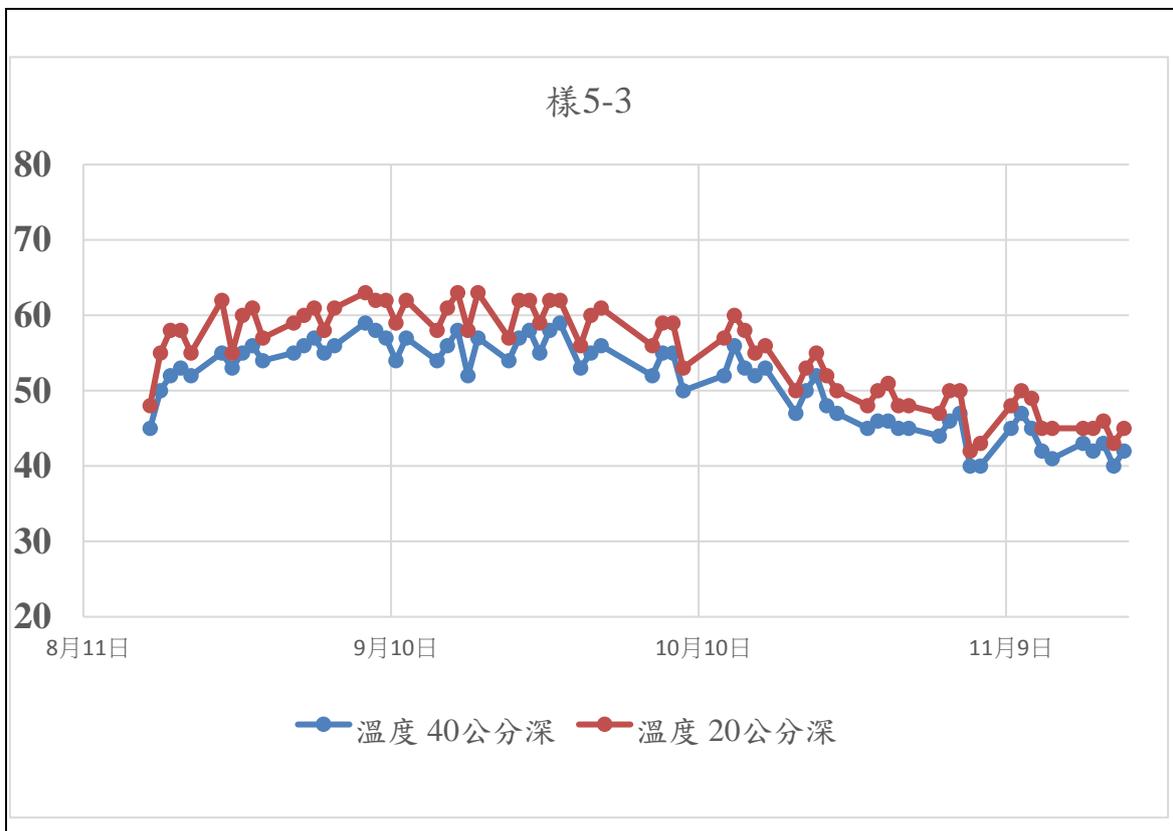


圖 14 樣本 5-3(添加自打木屑至含水率 65%)溫度變化曲線

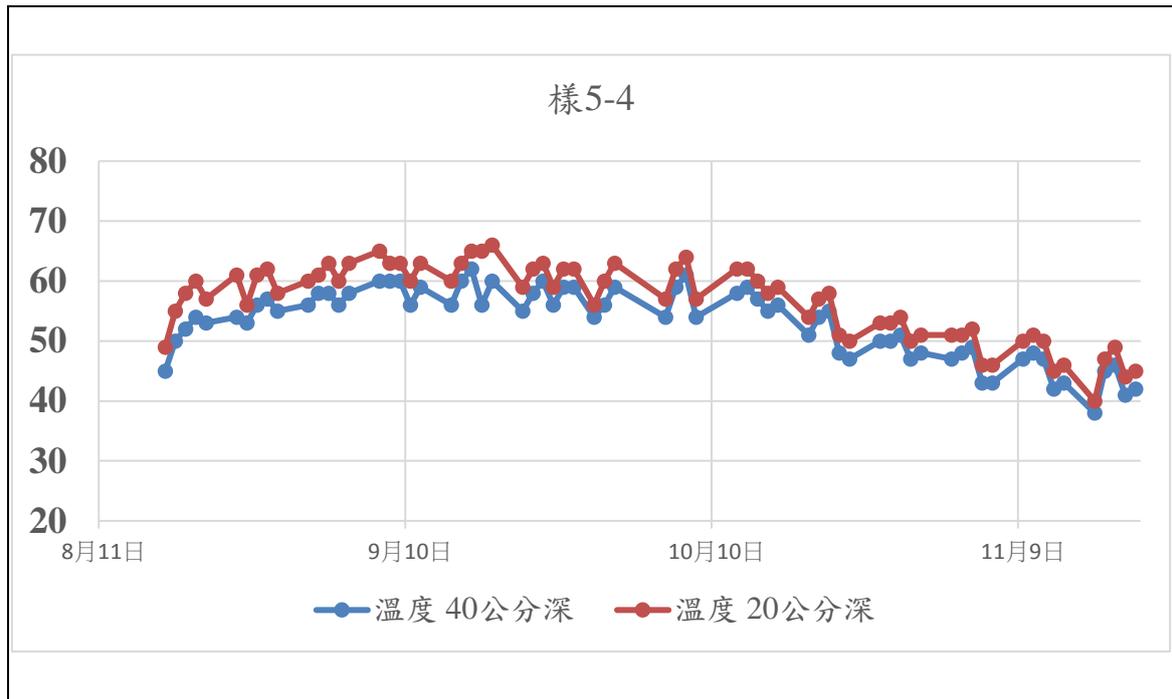


圖 15 樣本 5-4(添加粉狀木屑至含水率 65%)溫度變化曲線

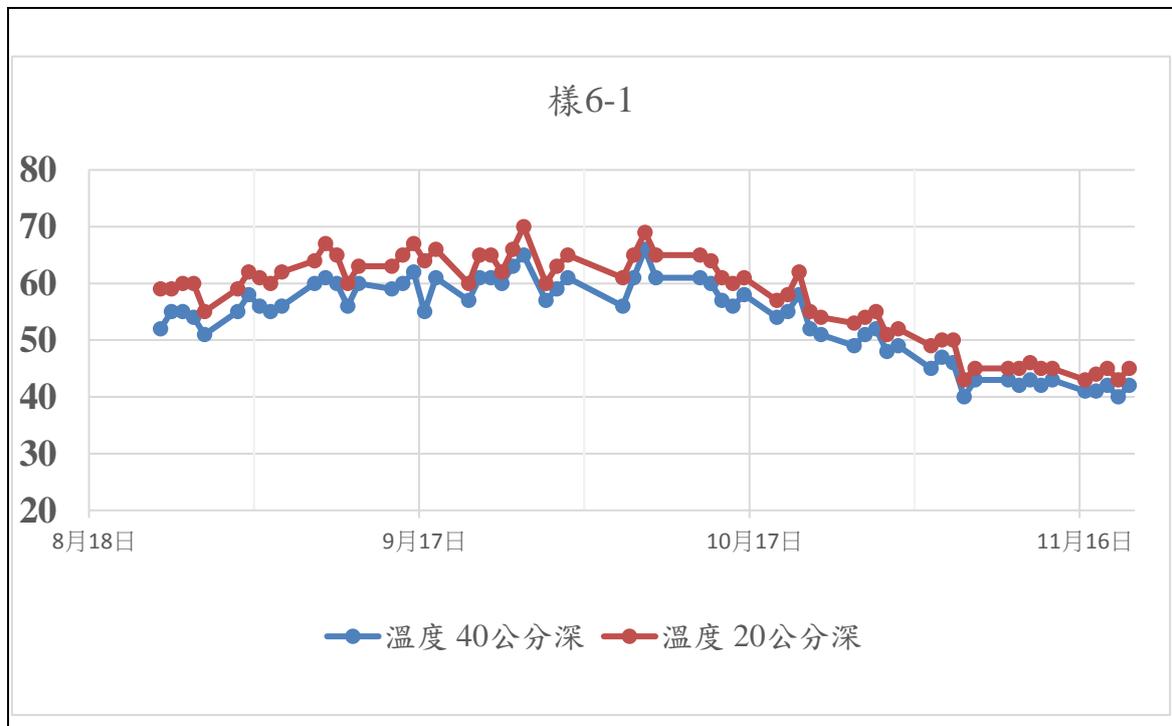


圖 16 樣本 6-1(純沼渣)溫度變化曲線

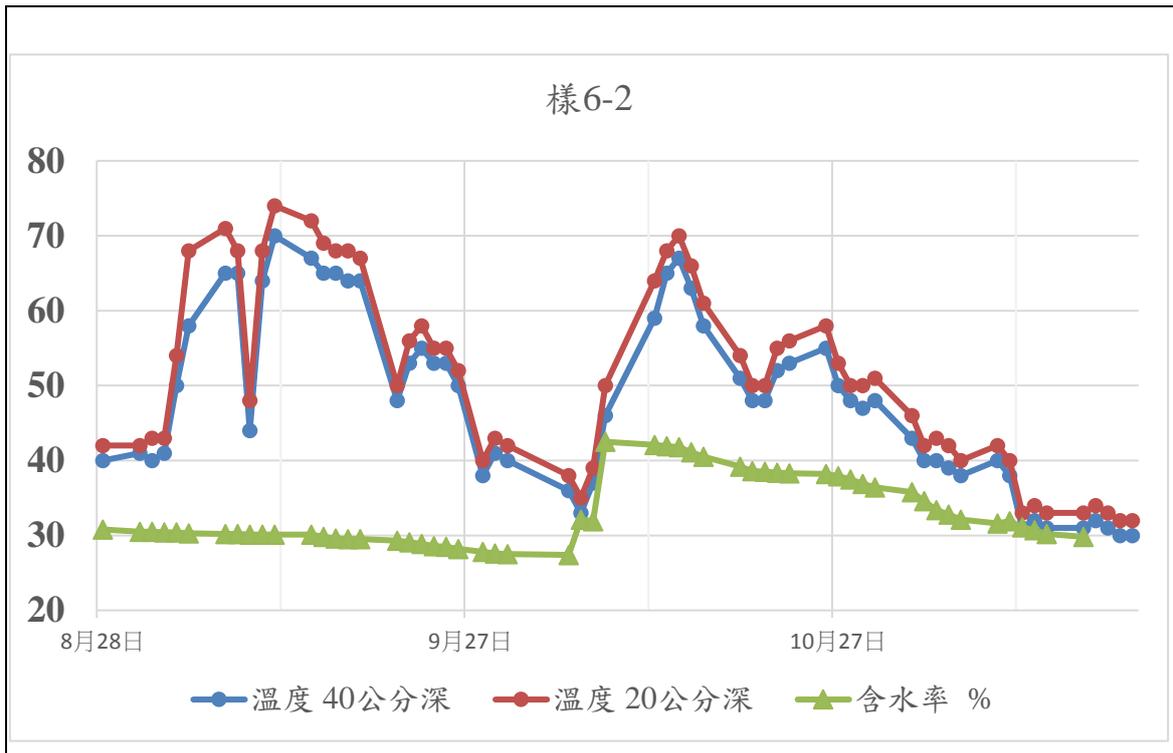


圖 17 樣本 6-2(純沼渣且含水率 40%以下)溫度變化曲線

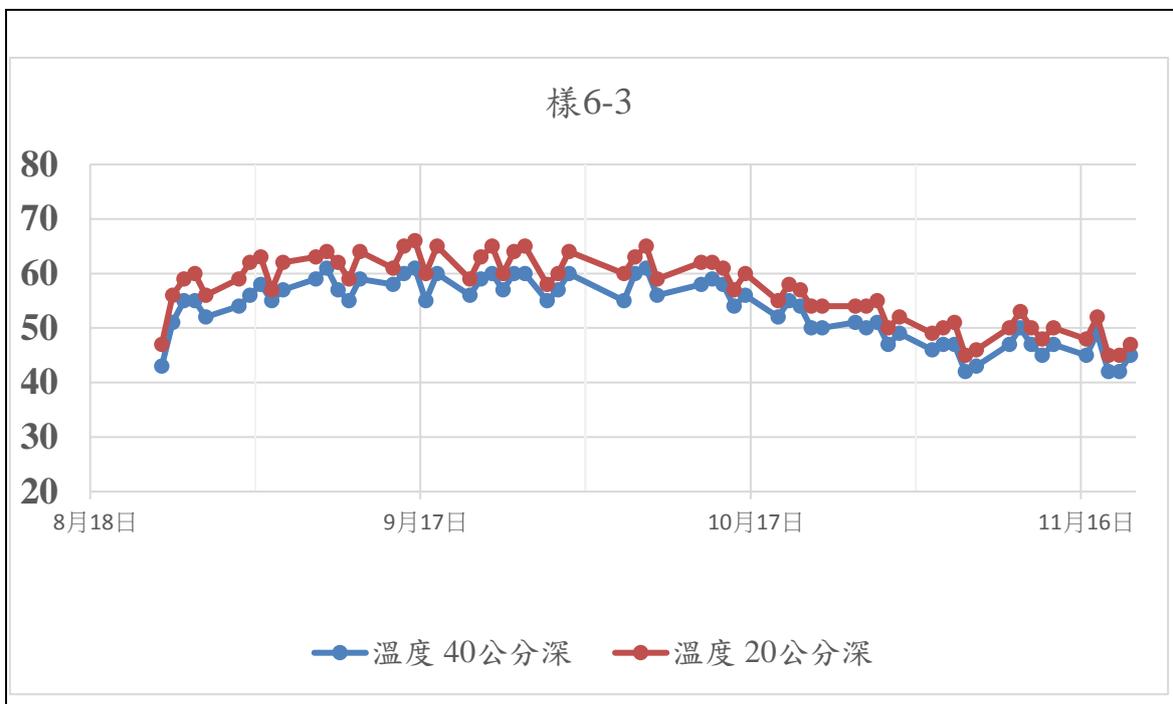


圖 18 樣本 6-3(添加自打木屑至含水率 65%)溫度變化曲線

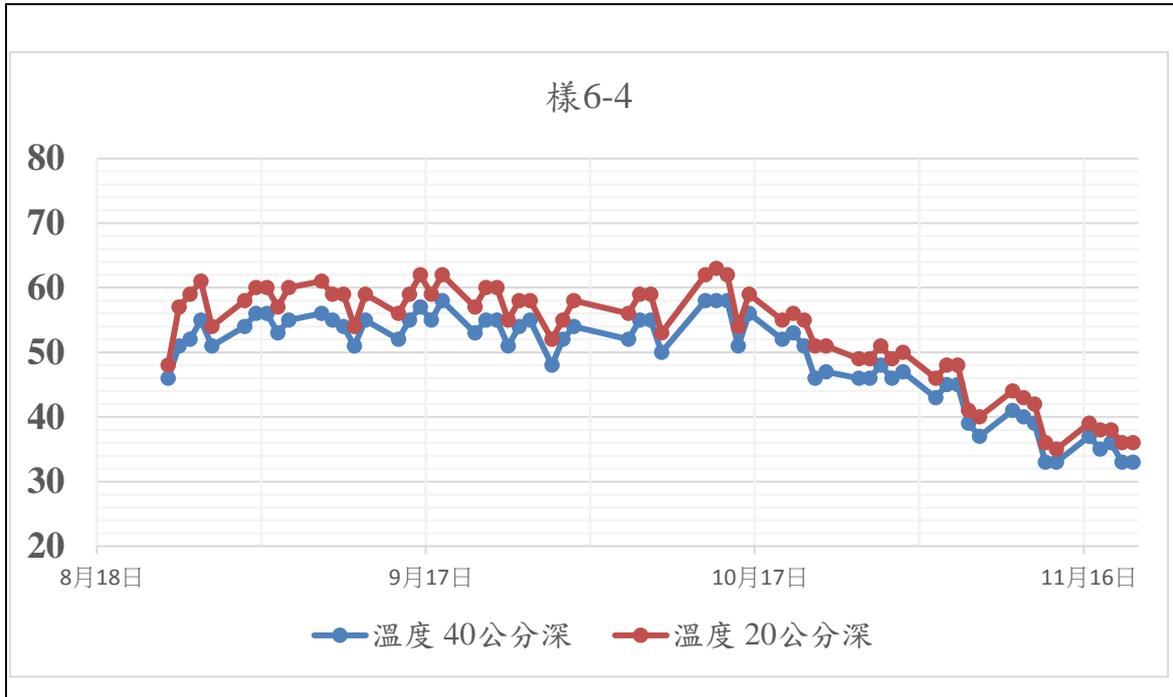


圖 19 樣本 6-4(添加粉狀木屑至含水率 65%)溫度變化曲線

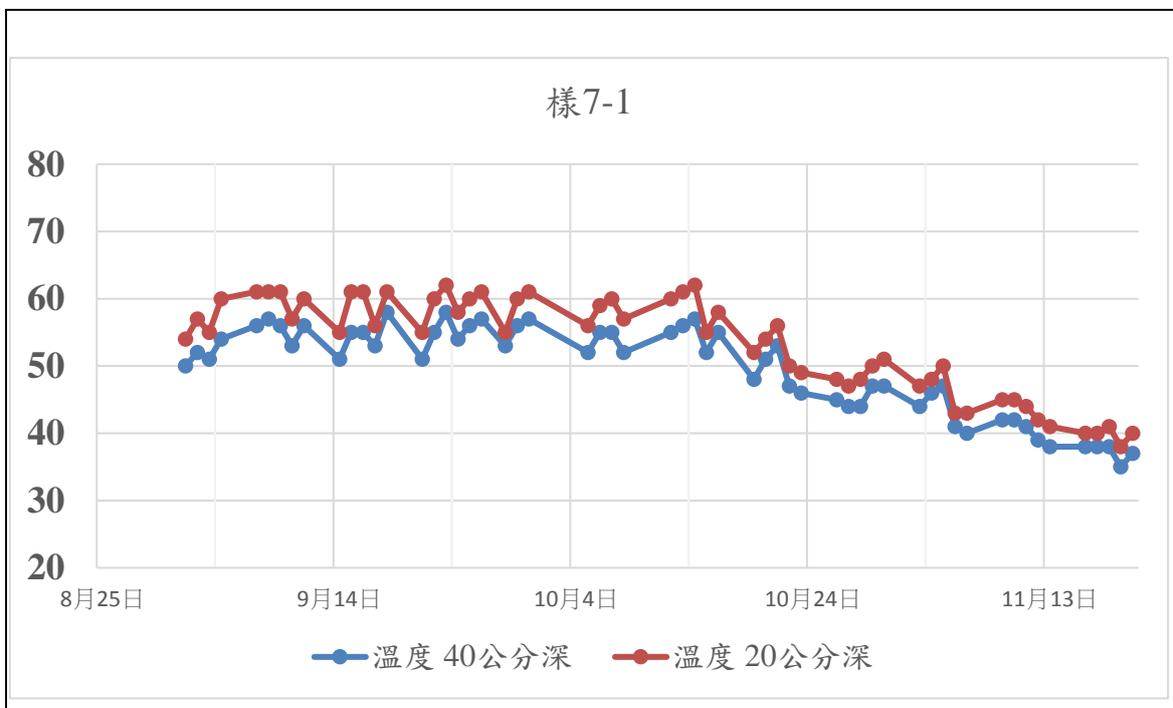


圖 20 樣本 7-1(純沼渣)溫度變化曲線

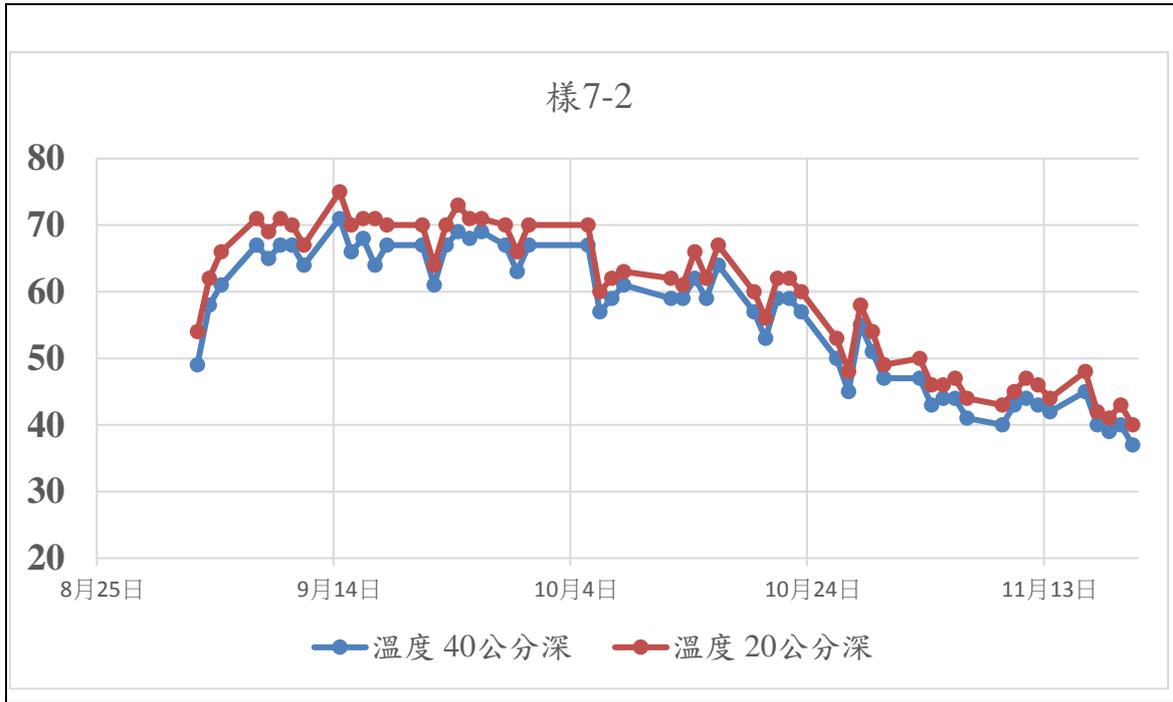


圖 21 樣本 7-2(添加樣本 5-3 迴流)溫度變化曲線

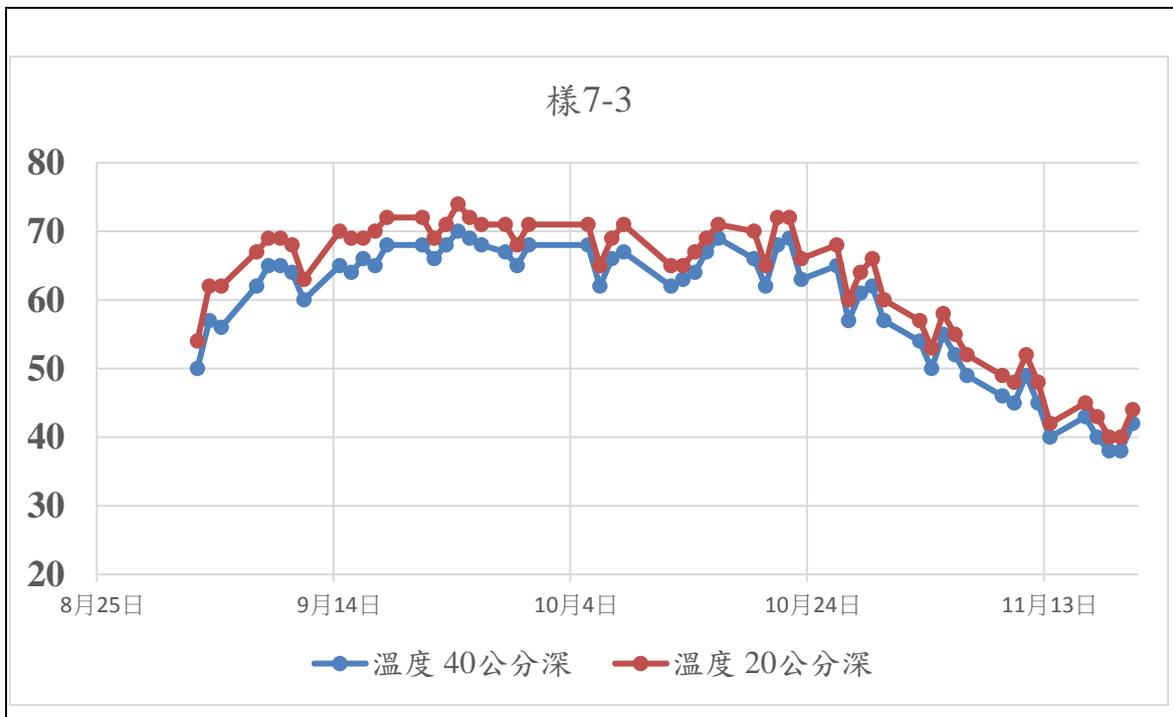


圖 22 樣本 7-3(添加樣本 5-4 迴流)溫度變化曲線

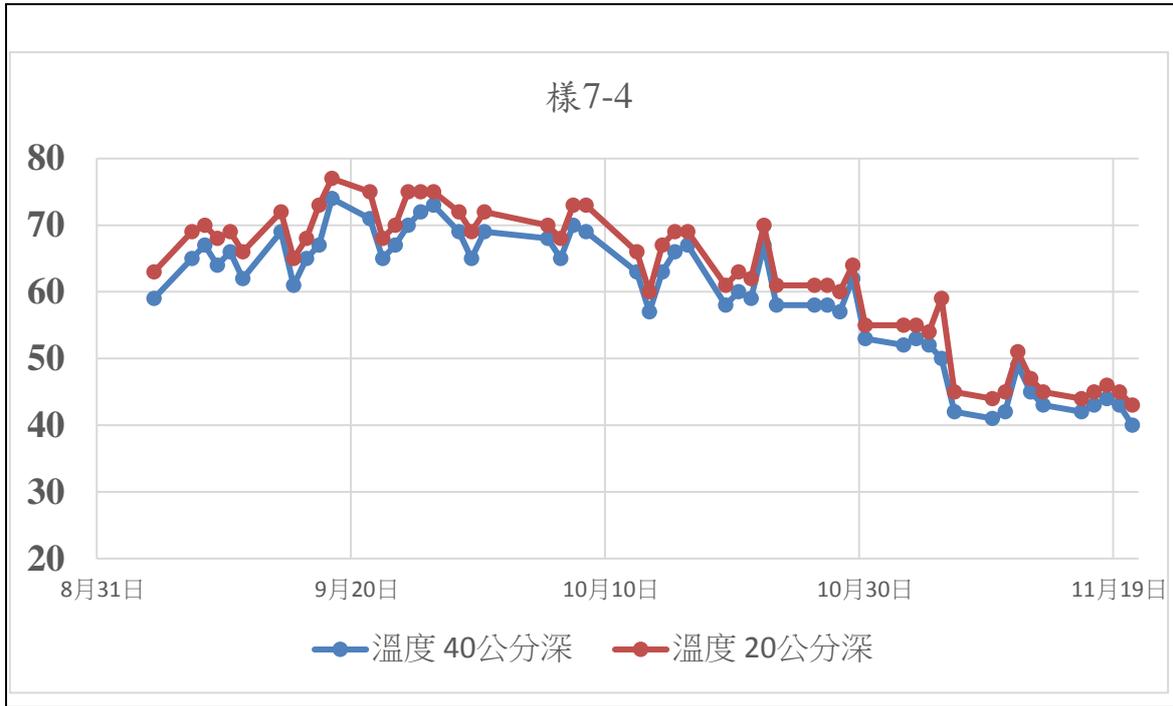


圖 23 樣本 7-4(添加自打木屑及大中肥酵素菌)溫度變化曲線

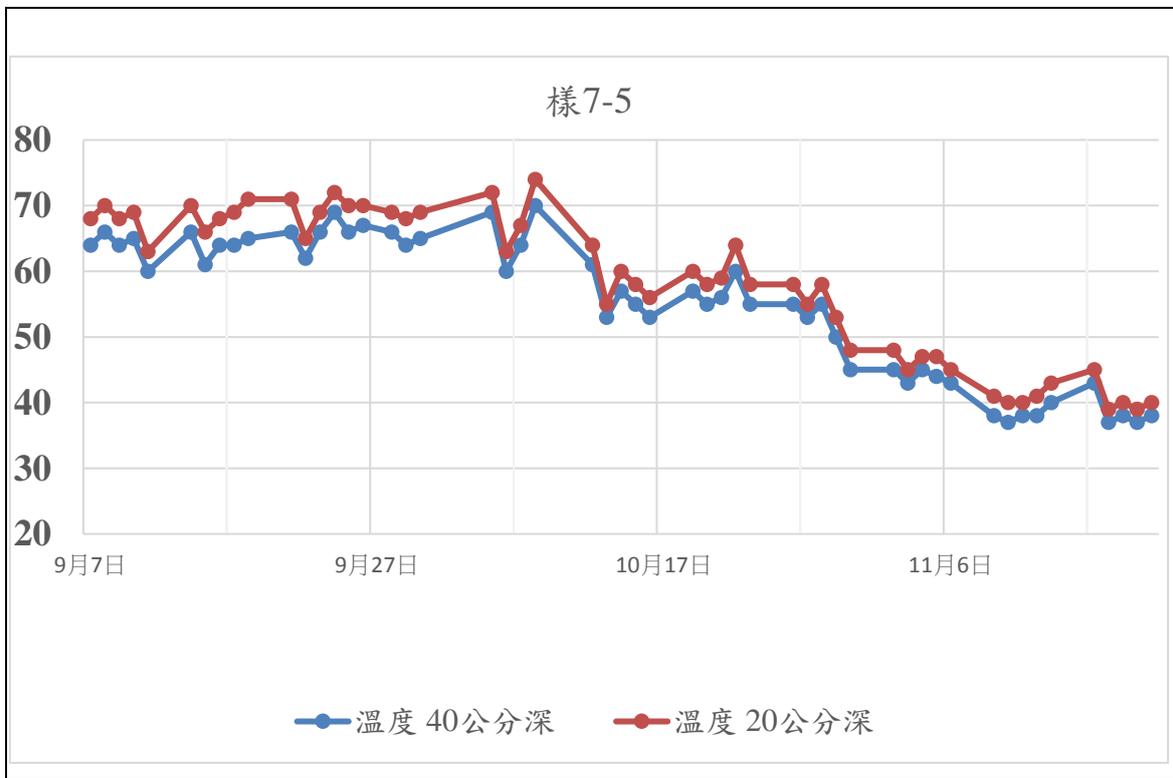


圖 24 樣本 7-5(添加粉狀木屑及大中肥酵素菌)溫度變化曲線

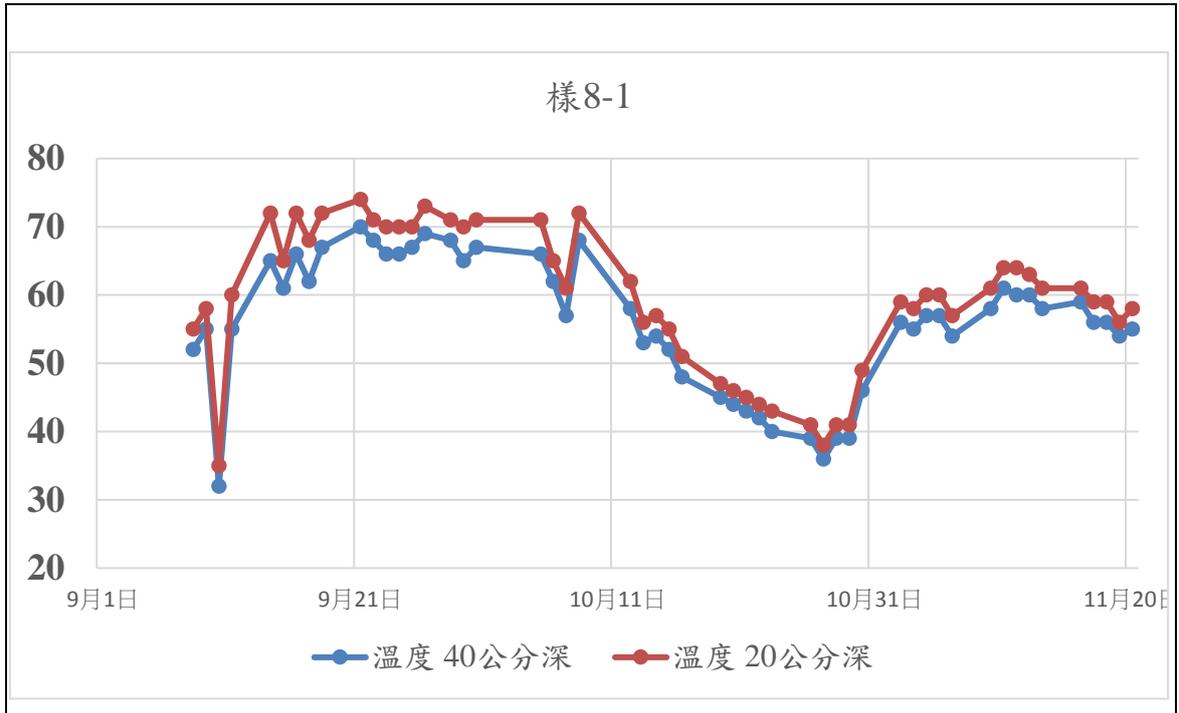


圖 25 樣本 8-1(純沼渣)溫度變化曲線

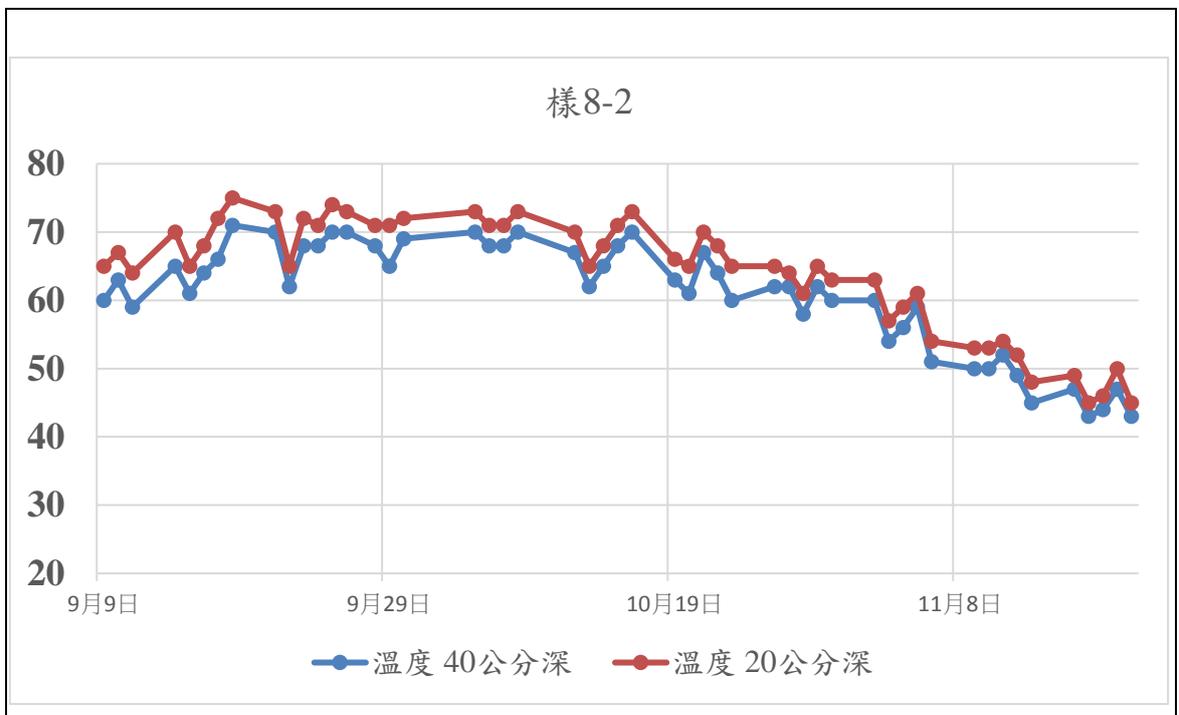


圖 26 樣本 8-2(添加樣本 6-3 迴流)溫度變化曲線

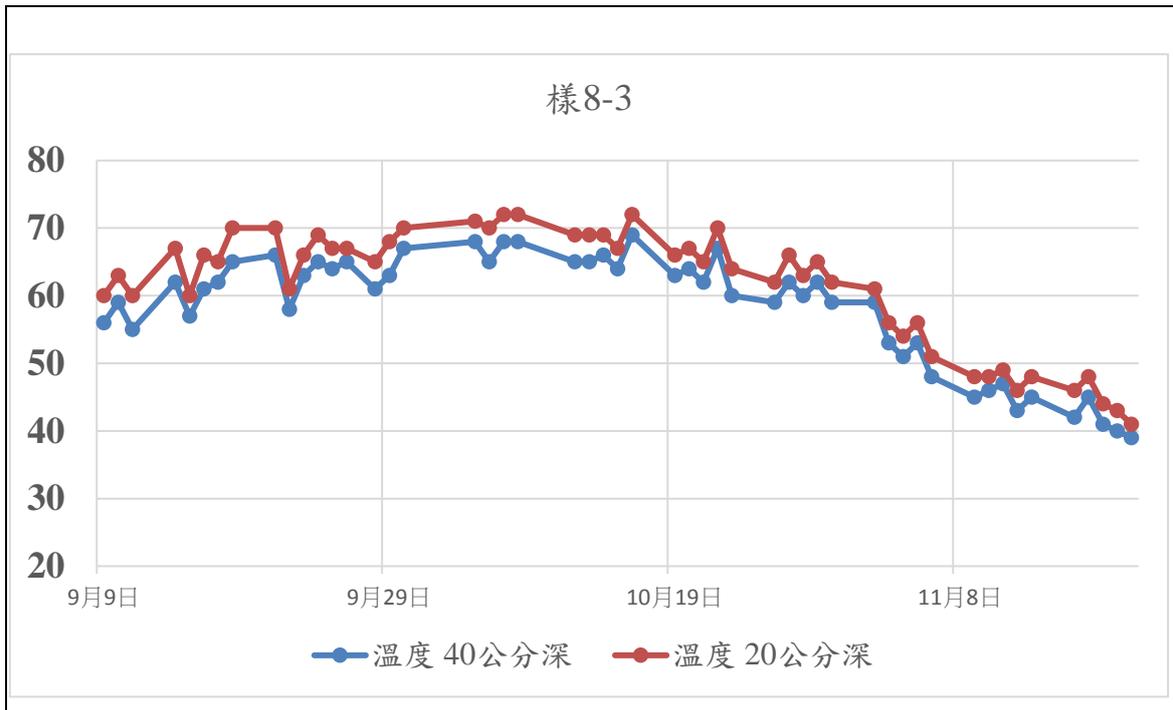


圖 27 樣本 8-3(添加樣本 6-4 迴流)溫度變化曲線

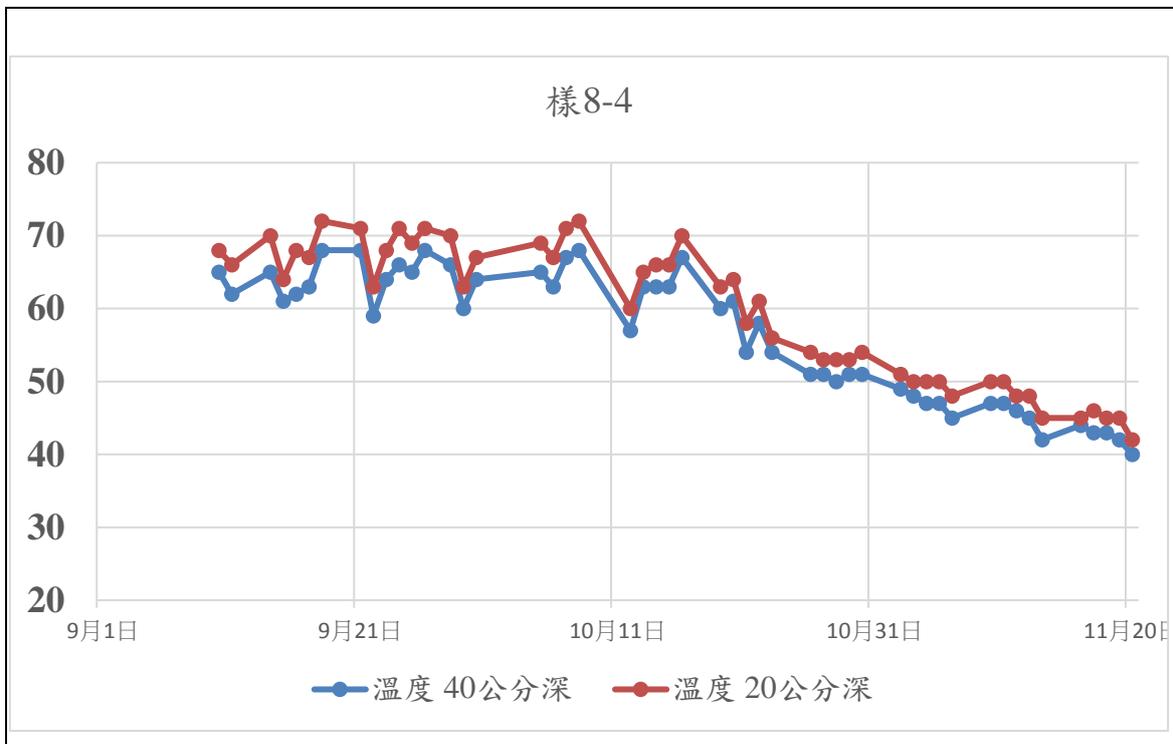


圖 28 樣本 8-4(添加自打木屑及大中肥酵素菌)溫度變化曲線

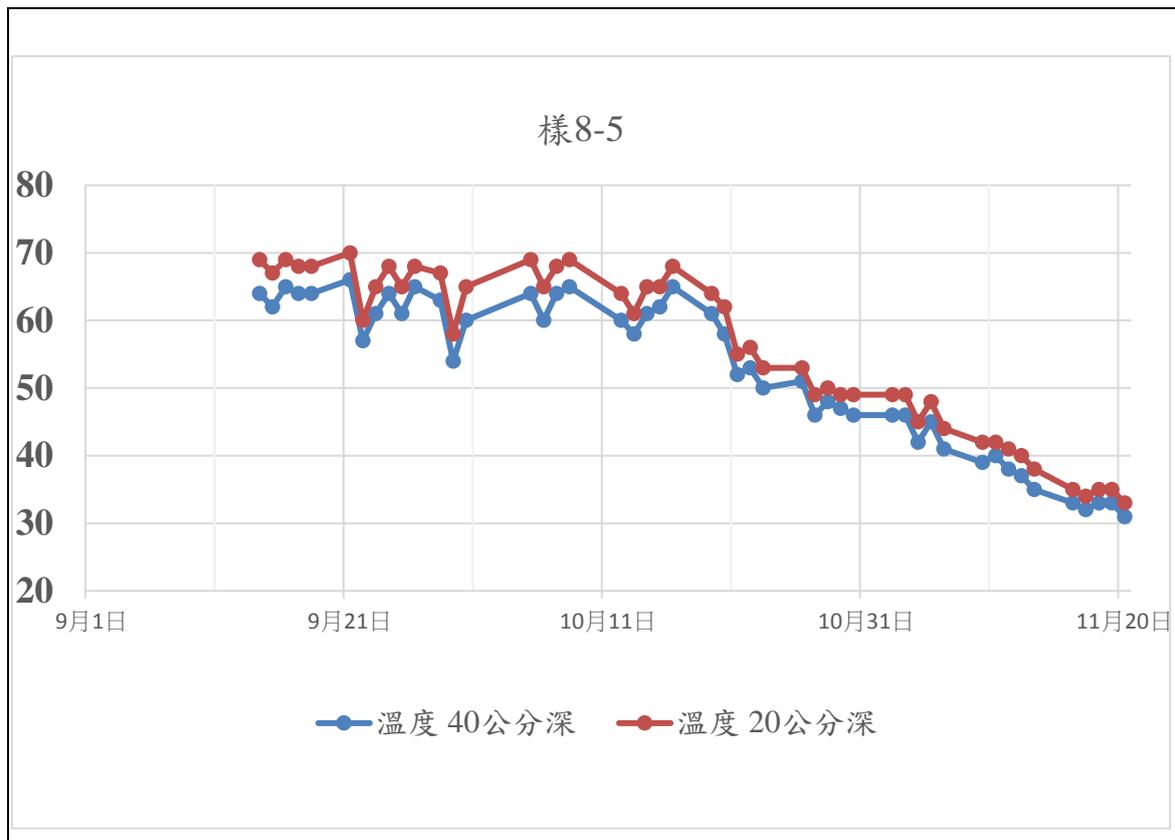


圖 29 樣本 8-5(添加粉狀木屑及大中肥酵素菌)溫度變化曲線

(三)檢測部分

由第二階段堆肥檢測報告可看出，樣本 5-1、5-2 若經曝曬水分達 40%以下，均可達到雜項堆肥標準，發芽率也達 94%以上，已可施作於植物種植上。第二階段沼渣試驗有效成分與就是肥 1 號比較如表 8 所示，可確認有效成分沼渣堆肥較就是肥 1 號含量高。

表 7 第二階段堆肥檢測報告

檢測項目	雜項堆肥標準	樣本 5-1	樣本 5-1+3%	樣本 5-2 水分 40%以下
檢測日期		109.8.24	109.8.24	109.8.24
有機質	50.0%以上	77.9	76.9	80.2
全氮	0.6%以上，5.0%以下	4.5	4.0	4.4
全磷酐	0.3%以上，6.0%以下	2.7	2.4	2.5
全氧化鉀	0.3%以上，4.0%以下	1.8	1.7	1.7
砷	不得超過 25.0 mg/kg	0.6	0.4	0.66
鎘	不得超過 2.0 mg/kg	0.3	0.3	0.3
鉻	不得超過 150 mg/kg	23	24	22
銅	不得超過 100 mg/kg	41	40	43
汞	不得超過 1.0 mg/kg	0.1	0.2	0.1
鎳	不得超過 25.0 mg/kg	9.5	12.5	9.3
鉛	不得超過 150 mg/kg	4	6	5
鋅	不得超過 500 mg/kg	120	119	118
水分	40.0%以下	69.8	63.9	12.7
pH 值	5.0 以上，9.0 以下	9	9	9
碳氮比	8 以上，20 以下	9	10	9
發芽率		94	100	94

表 8 第二階段沼渣試驗有效成分與就是肥 1 號比較

項目	有機質	全氮	全磷酐	全氧化鉀
就是肥 1 號	85.0%	2.5%	1.0%	1.0%
第一階段沼渣試驗	76.9%~80.2%	4.0%~4.5%	2.4%~2.7%	1.7%~1.8%

(四)試種部份

在第二階段試驗時，有取各種沼渣試驗樣本進行種植試驗，若僅以沼渣來種植，植物發芽狀況不佳，且即使有發芽後續生長情況也不好；但若與土壤混合拌勻後，植物生長情況相當良好。由種植結果得知，沼渣不適合做為培養土使用，但卻是肥份足夠的有機質肥料。



圖 30 第二階段沼渣試種

柒、結論

經本次沼渣二階段試驗後，獲得下列幾點試驗結果：

- 一、依照外埔綠能生態園區運作規定出廠之沼渣，經調節水分至 40% 以下，即符合肥料登記證中雜項堆肥之規格要求，但沼渣中仍有微生物反應，溫度可達到 70°C，需經 4-5 個月時間後溫度方降至 40°C 以下。肥料有效成分較就是肥 1 號高。
- 二、沼渣經添加大中肥酵素菌處理後，溫度降低之時間可減為 3-4 個月。但大中肥設備規模不大及成本過高，不適合用來處理沼渣。

三、添加木屑可讓沼渣較為鬆軟，並可提高碳氮比。自打木屑及粉狀木屑整體比較並無太大的差異。

四、添加迴流可略加快反應時間。

五、試種結果發現，若僅以沼渣種植，植物發芽及生長情況不佳；但若與土壤混合(1:1)後種植，則植物生長情況則相當良好。

由試驗結果可分析出，出廠沼渣經水分調節至 40%以下，即可符合雜項堆肥標準，但因仍會與自然界中微生物進行反應，溫度可達 60-70 度，對植物根部生長有影響，但若要等到溫度降至合適溫度又需時 4-5 個月，需要較大之堆肥化空間。目前囿於行政院環境保護署對「一般廢棄物清除處理方式」進行法令修正作業，待修法完成後方可進行沼渣堆肥之肥料登記證申請作業，本計畫對於未來沼渣堆肥化工作，提出以下幾點建議：

一、沼渣可添加自打木屑調節水分後，再進行一個月翻堆處理，期間每兩日翻堆一次。此步驟目的為 1.藉由微生物反應高溫，消滅沼渣中有害細菌及病蟲卵等；2.藉由添加木屑及翻堆，將顆粒狀沼渣處理成粉狀，增快微生物反應並可提高碳氮比。一個月後沼渣堆肥外觀即與腐熟堆肥相似，之後進行曝曬將水分減少至 40%以下，即可過篩進行包裝作業。

二、沼渣堆肥應註明不可單獨使用，需與土壤均勻混合後再進行植物種植，避免傷害植物根部。

三、在完成肥料登記證前，可先與農會合作，和農民進行契作試驗，可達到沼渣去化及肥料先期推廣效果。