

2022 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 200001

參展科別 環境工程

作品名稱 「塑」戰「塑」決——*Aspergillus* 屬分解塑膠
能力測試

得獎獎項

就讀學校 國立宜蘭高級中學

指導教師 馮淑卿

作者姓名 林奕帆、賴琦麗、陳澤睿

關鍵詞 塑膠降解、真菌

作者簡介



大家好～我們是來自宜蘭高中數理資優班的學生，利用課餘與專題課時間，我們盡情地探索著環境科學與生命科學的交會與應用，希望能為環境盡一份心力。在灌注心力與時間的過程中，我們不但學到許多課本上從未提過的知識，更了解到理論與實務操作的差別，當時也未想到，紙張上的簡單構思居然能在一年後帶領我們踏上國際科展的舞台。希望未來能繼續投入相關研究領域，以微小卻持續的力量，如真菌分解塑膠一般，堅持守護地球的初衷。

摘要

本研究選用 *Aspergillus tubingensis*、*Aspergillus oryzae*、*Aspergillus japonicus* 三種真菌作為研究對象，將實驗分為兩個部分，一為三種真菌是否能降解 PU、PE、PLA 三種塑膠，結果發現 *Aspergillus tubingensis* 在黑暗中皆能降解塑膠而效果為 PU、PE>PLA，*Aspergillus oryzae* 與 *Aspergillus japonicus* 則有降解 PU 與 PLA 之能力。二為探討 *Aspergillus tubingensis* 在不同色光及不同 pH 值下降解塑膠的效果，結果發現 *Aspergillus tubingensis* 在相同色光不同瓦數情況下，降解 PLA 的能力為 3W>1W，降解 PU 則是 1W>3W；相同瓦數的情況，降解 PU 能力為白光>紅光>藍光，降解 PLA 能力為紅光>白光>藍光；在 pH=4 及 pH=9 環境中皆無明顯降解塑膠之能力。

Abstract

The plastic products have been widely used in our daily life. In 2018, fifteen thousand million plastic bags were used in Taiwan. Only 14% of them were recycled, it has created a great environmental stress. To search for other efficient ways to degrade plastic products, three fungi, *Aspergillus tubingensis* (AT), *Aspergillus oryzae* (AO) and *Aspergillus japonien* (AJ) were chosen to evaluate their abilities to degrade plastic products. Polyacetic acid (PLA), Polyethylene (PE) and Polyurethane (PU) were used in this study.

Our experiments were divided into two parts. One was to test whether three fungi could degrade PLA, PE or PU. The results showed that at pH 6.67 AT could degrade all three plastics in the dark and its efficiency on PE and PU was better than on PLA. On the other hand, AO and AJ could only degrade PU and PLA. The other experiment was to test the degrading ability of AT under different light colors and light intensities. The results showed that under the same light color, the light intensity used for AT to degrade PLA was 3W>1W and that for AT to degrade PU was 1W>3W. The effect of AT on degradation was also influenced by the light color: for PLA, the efficacy was in the order of red, white and blue; for PU, it was in the order of white, red and blue. It was observed that AT could not grow well under pH 4 and 9, therefore, their effects on AT degradation of plastics were not evaluated.

壹、前言

一、研究動機

現代日常生活中，塑膠製品無所不在，粗估全球塑膠垃圾被回收與再利用僅約 14%，其他約 14% 進焚化爐處理、40% 被掩埋，其餘則進入自然環境中。台灣 2018 年塑膠袋使用量約 150 億個，以環保署的回收率 9% 計算，仍有 135 億個塑膠袋成為垃圾，在 2009 年到 2019 年短短十年間，塑膠用量增加了 22.8%，這使我們十分震驚，而自 2019 年末新冠病毒開始席捲全球至今，塑膠的使用量暴增更是一大問題，這些種種讓我們試著想為地球上的未來盡一份心力，然而查閱文獻後發現，探討真菌降解塑膠的研究卻非常少，這更激發我們想一探究竟的熱情。

Aspergillus tubingensis 俗稱塔賓麴黴，分類上屬於真核生物域、真菌界、子囊菌門、散囊菌綱、髮菌科、麴黴屬，在中國、印度、歐洲皆有分布，查閱文獻後發現 *Aspergillus tubingensis* 能降解聚氨酯 (Khan et al., 2017)，我們決定找另外兩種同屬的菌種，測試其是否具有降解不同塑膠的能力，並改變 *Aspergillus tubingensis* 的生長環境，希望能找出此菌種降解特定塑膠速率最快的環境。

經過多重考量與篩選，我們選定 *Aspergillus oryzae* 與 *Aspergillus japonicus* 作為研究對象，*Aspergillus oryzae* 俗稱米麴菌，適於生存在 26°C 的環境，常用於製作發酵食品，在日本與中華料理中扮演重要的角色。*Aspergillus japonicus* 俗名日本麴黴，最適生長溫度為 26°C，主要分布於亞洲、非洲、中南美洲。

聚乙烯(PE)是生活中常見的塑膠，台灣隨處可見的塑膠袋便是其產品，同時它也是全世界塑膠污染的主要來源之一，文獻顯示蠟蛾(*Galleria mellonella*) 體內酵素能有效將 PE 轉換為乙二醇(Bombelli et al., 2017)，顯示其生物分解的潛力，於是我們決定選用聚乙烯。聚氨酯(PU)廣泛運用在工業領域與日常生活，如常見的海綿。而聚乳酸(PLA)為一種容易吸水的生物可分解塑膠，由玉米、小麥等製成，在醫學領域有十分大的貢獻，如做為手術縫合線或骨釘等醫療材料。

二、研究目的

- (一)探討 *Aspergillus tubingensis*, *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus japonicus* 降解特定塑膠的能力。
- (二)找出可讓 *Aspergillus tubingensis* 降解特定塑膠的最適環境。

貳、研究方法或過程

一、研究設備及器材

(一)、菌種

1. *Aspergillus tubingensis* (塔賓麴黴)
2. *Aspergillus oryzae* (米麴菌)
3. *Aspergillus japonicus* (日本麴黴)

(二)、培養基

PDA 培養基	馬鈴薯萃取物、葡萄糖、洋菜粉
PDB 培養基	馬鈴薯萃取物、葡萄糖
BSM 培養基	酵母萃取物(YE)(1g/L)、硫酸銨(4g/L)、磷酸氫二鉀(2g/L)、磷酸二氫鉀(1g/L)、硫酸鎂(0.5g/L)

(三)、設備

pH 計	無菌操作台
恆溫培養箱	高溫滅菌釜
加熱板	光學顯微鏡
精密天平	葉片烘乾機

(四)、器材&材料

1W、3W 藍、紅、白光燈泡	試管、試管塞、試管架
噴霧器、75%酒精	鋁箔紙、保麗龍
微量吸管、滴管	培養皿
接種環	石蠟膜
定量瓶	解剖針、鑷子
無菌水	燒杯
37% $\text{HCl}_{(aq)}$ 、Tris	PE、PU、PLA

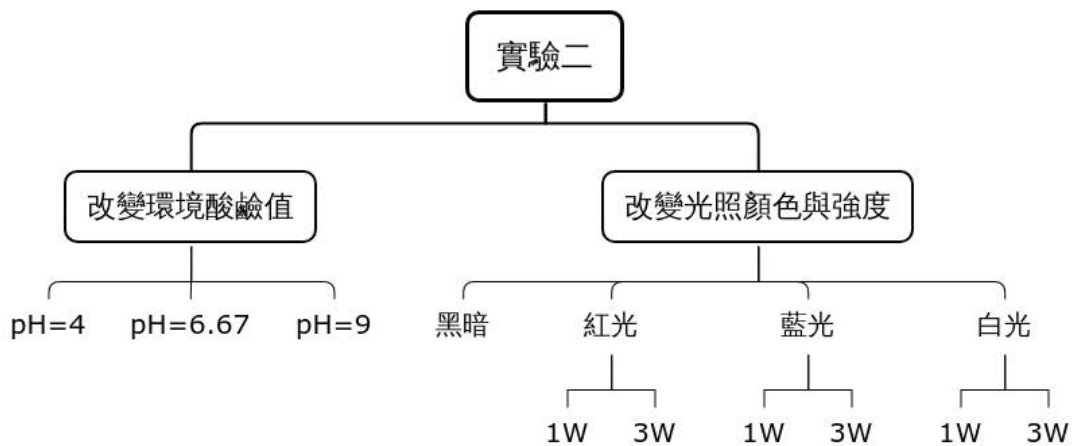
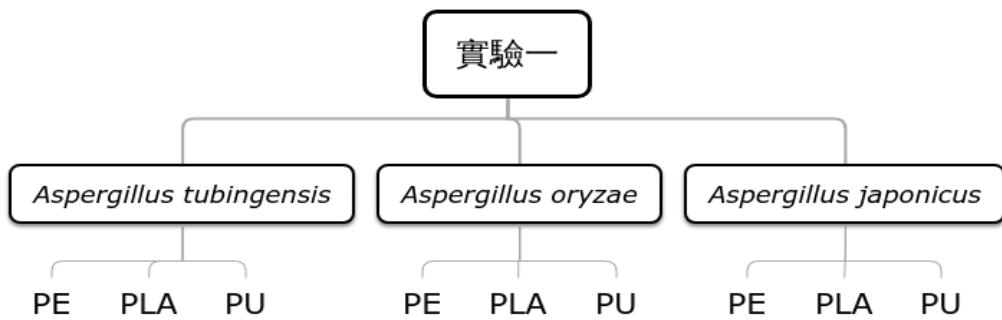
二、研究過程及方法

(一)、前置作業

1. 規劃實驗

實驗分為兩個部分，測試 *Aspergillus oryzae*(米麴菌)、*Aspergillus tubingensis*(塔賓麴黴)與 *Aspergillus japonicus*(日本麴黴)分解塑膠之能力(以下簡稱實驗一)以及改變 *Aspergillus tubingensis*(塔賓麴黴)之生長環境以嘗試找出菌種分解塑膠的最適環境(以下簡稱實驗二)。

- (1)實驗一:培養在 25.5°C、黑暗的環境下並觀察其降解塑膠能力。
 (2)實驗二:培養在 25.5°C 環境下，在不同光源及不同 pH 值環境下培養。



2.製作 PDA 培養基

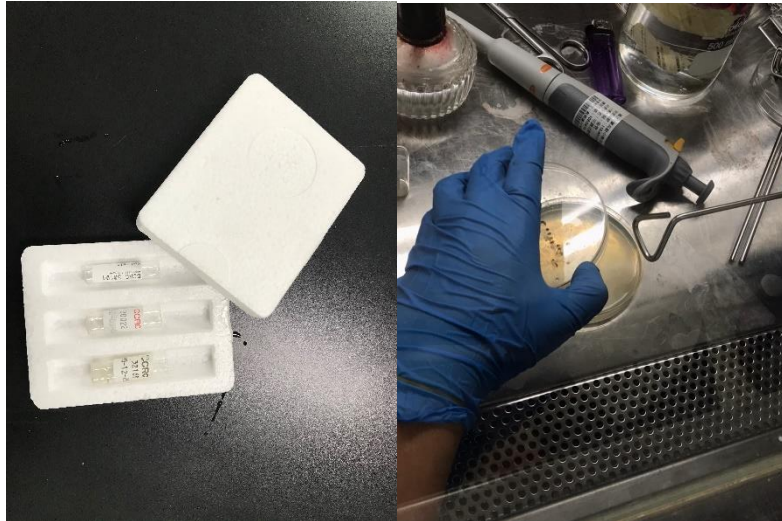
- (1)培養皿消毒、置入無菌操作台中。
- (2)秤取 PDA 培養基粉末，加入水中，加熱至溶解後，放入高溫滅菌釜中殺菌。(培養基粉末：水=39：1000；單位：公克)
- (3)取出後以 25 mL 為單位倒入培養皿中。

3.菌體來源

- (1)*Aspergillus tubingensis*
生物資源保存及研究中心(BCRC)
- (2) *Aspergillus oryzae*
生物資源保存及研究中心(BCRC)
- (3) *Aspergillus japonicus*
生物資源保存及研究中心(BCRC)

4.菌株活化

- (1)在無菌操作台中打開菌瓶，分別滴入 0.4 mL 無菌水，使菌體溶解成懸浮菌液。
- (2)分別取出 0.1 mL 懸浮菌液於 PDA 培養基，接著將三種菌株培養於 25.5°C 恆溫培養箱中培養一個禮拜。



圖一、培養過程

5. 繼代培養

- (1) 觀察到菌絲長滿培養基且已產生孢子，於是我們決定繼代培養。
- (2) 切取 1cm^2 已長滿菌絲之培養基於新的 PDA 培養基中，並持續培養於 25.5°C 恆溫培養箱中。

為了確認菌株能在液態環境下生長良好，我們決定先嘗試使用 PDB 培養基培養菌種，以確定 BSM 培養基的可用性。

6. 製作 PDB 培養基

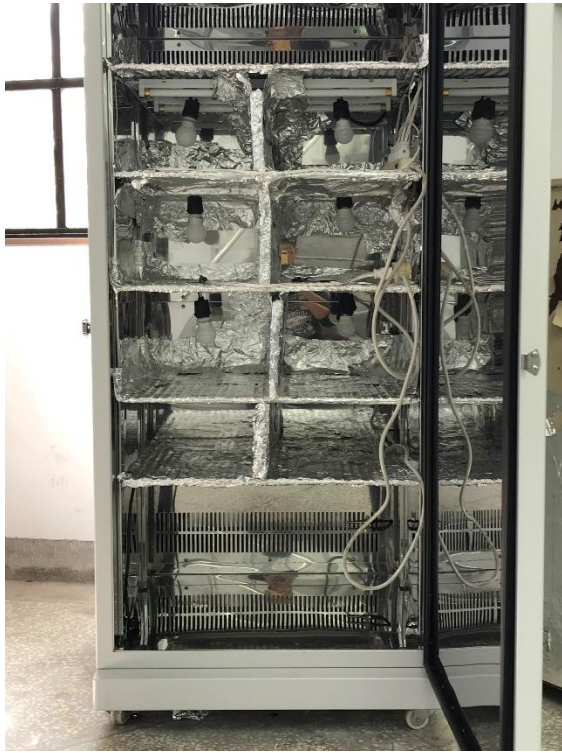
- (1) 培養皿消毒、置入無菌操作台中。
- (2) 秤取 PDB 培養基粉末，加入水中，加熱至溶解後，放入高溫滅菌釜中殺菌。(培養基粉末：水 = 24：1000；單位：公克)
- (3) 取出後以 10 mL 為單位倒入培養皿中。

7. 培養菌株於 PDB 培養基

拿取先前培養於 PDA 培養基中之孢子，置入裝有 PDB 培養基之試管中，於 25.5°C 恆溫培養箱中培養。

8. 布置實驗環境

- (1) 將培養箱隔成七個隔間並用鋁箔紙隔絕光源以避免相互干擾，分別為 1W 白光、藍光、紅光，3W 白光、藍光、紅光，黑暗。
- (2) 安置燈泡，如圖二、圖三。



圖二、未開燈之恆溫培養箱內部。



圖三、已開燈之恆溫培養箱內部，左邊皆為 1W，右邊為 3W，底部則為暗區。

9.製作 BSM 培養基

- (1) 確認菌株能在液態培養基環境中生長良好後，我們決定製作 BSM 培養基。
- (2) 於 1 公升的水中加入 1g YE、4g 硫酸銨、2g 磷酸氫二鉀、1g 磷酸二氫鉀、0.5g 硫酸鎂，放入高溫滅菌釜中殺菌。
- (3) 取出後以 25mL 為單位倒入培養皿中。
- (4) 經 pH 計測量後，原始 BSM 培養基 pH 值為 6.67。

10.製作不同 pH 的 BSM 培養基

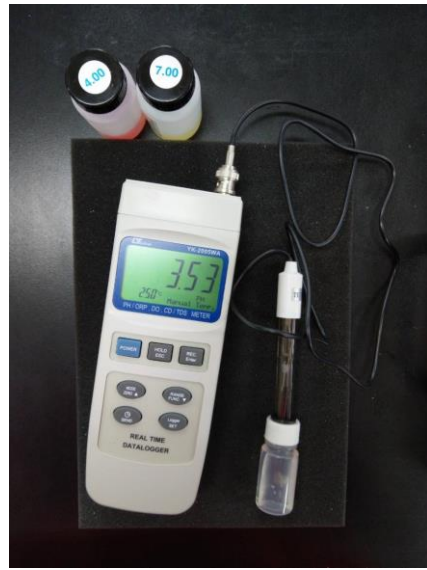
- (1) pH=9：將 TRIS 粉末加水以 TRIS 粉末:水=1:50(單位:公克)比例調製，再將 25.8mL TRIS 水溶液加入 25mL BSM 培養基調成 pH=9 之 BSM 培養基。
- (2) pH=4：將 1mL 的 37%濃鹽酸加入 25mL BSM 培養基調成 pH=4 之 BSM 培養基。

(二)、開始實驗

1. 使用精密天平分別秤量 1 ± 0.008 g PLA、 0.1 ± 0.005 g PU、 0.1 ± 0.006 g PE。
2. 在 BSM 培養基中分別加入菌株(繼代時皆選用同一盤菌株)與三種塑膠，除了更改 pH 的實驗以外，每組實驗共有兩組數據。
3. 培養兩個禮拜後，將塑膠取出、洗淨、放入葉片烘乾機中烘乾(設定為 45°C、15 分鐘)，隨後取出秤量重量並記錄。
4. 秤完後再將塑膠分別放回培養基中。
5. 之後皆以 3 天為週期測量。



圖四、精密天平



圖五、pH計



圖六、葉片烘乾機

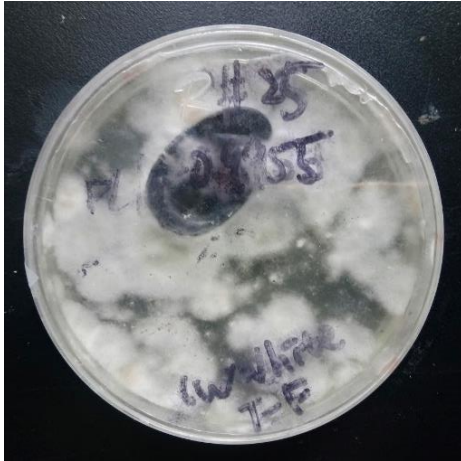
參、研究結果與討論

以下皆為培養 18 天後的結果

一、*Aspergillus tubingensis* 的生長情況。

(一)、相同瓦數不同色光

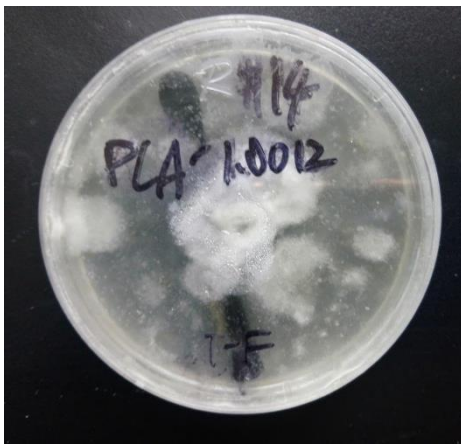
Aspergillus tubingensis 在白光的環境下生長最多，藍光次之，接著為黑暗環境下，紅光環境下則生長的最少，如圖七至圖十。



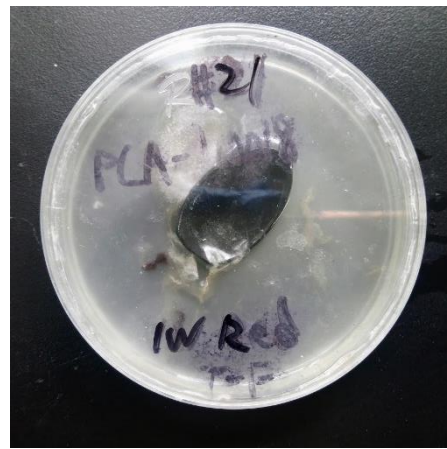
圖七、1W 白光



圖八、1W 藍光



圖九、黑暗環境下



圖十、1W 紅光

(二)、相同色光不同瓦數下，1W 的生長速率較 3W 快，如圖十一至圖十六。



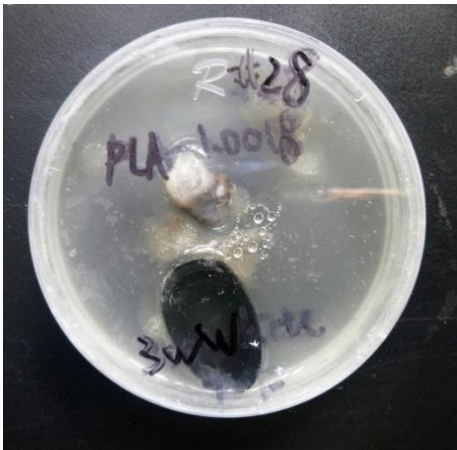
圖十一、1W 白光



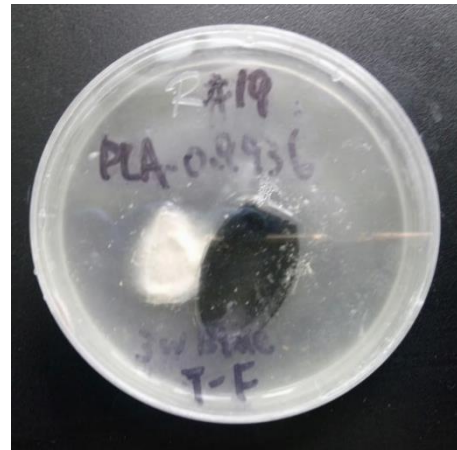
圖十二、1W 藍光



圖十三、1W 紅光



圖十四、3W 白光

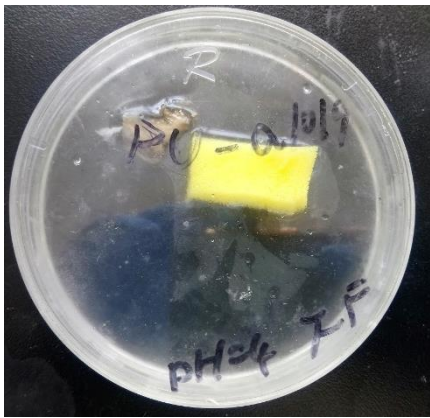


圖十五、3W 藍光

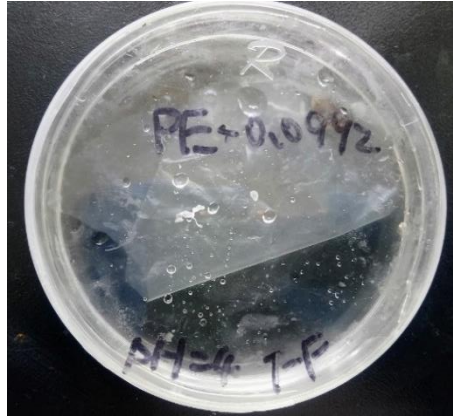


圖十六、3W 紅光

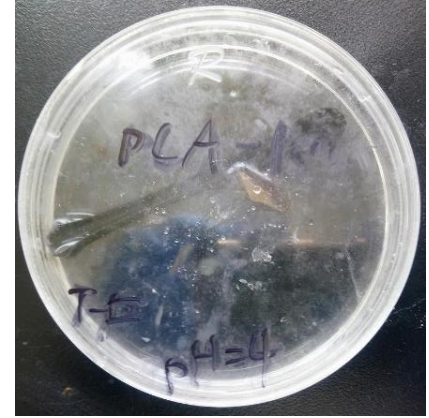
(三)、在 pH=4 及 pH=9 的環境下，*Aspergillus tubingensis* 幾乎完全無法生長，如圖十七至圖二十二。



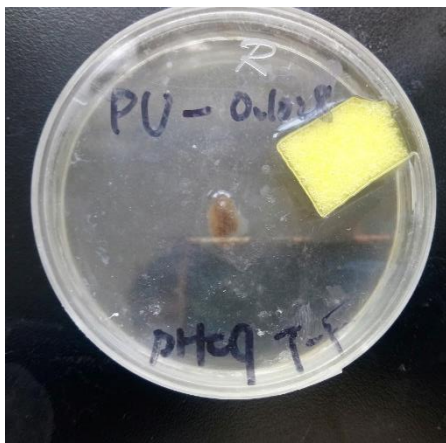
圖十七、pH=4 PU



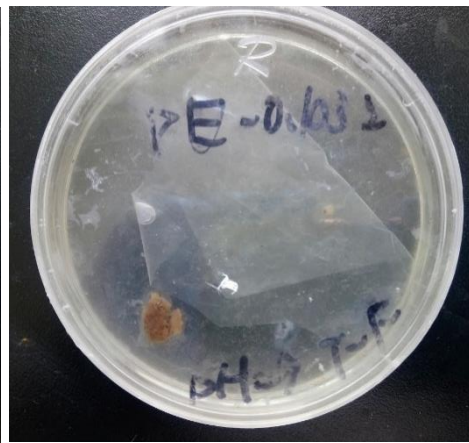
圖十八、pH=4 PE



圖十九、pH=4 PLA



圖二十、pH=9 PU

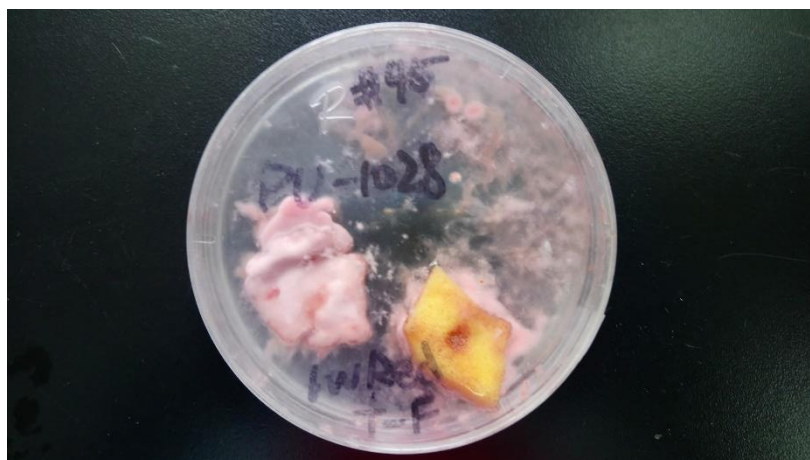


圖二十一、pH=9 PE



圖二十二、pH=9 PLA

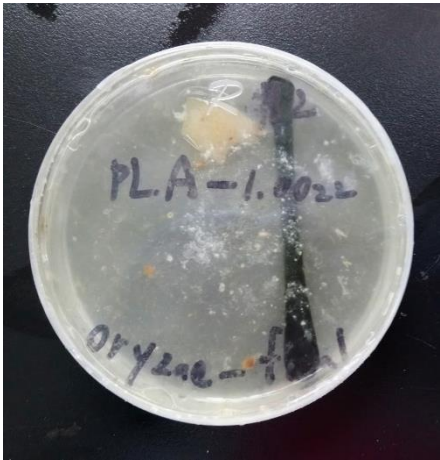
(四)、第二次測量時，在 pH=6.67 組別中，發現半數以上的 PU 組別，菌絲緊密附著在海綿上。另外有觀察到粉紅色口香糖狀物體，如圖二十三。



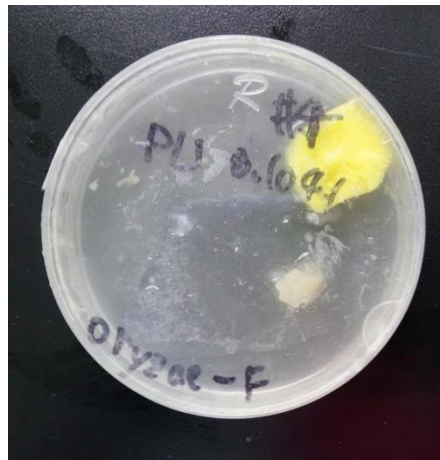
圖二十三

二、*Aspergillus oryzae* 的生長情況。

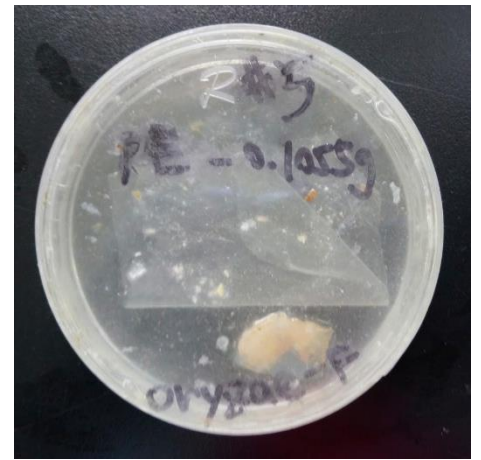
在黑暗、25.5°C 環境下，在不同塑膠存在環境下，真菌生長皆無明顯差異。



圖二十四、PLA



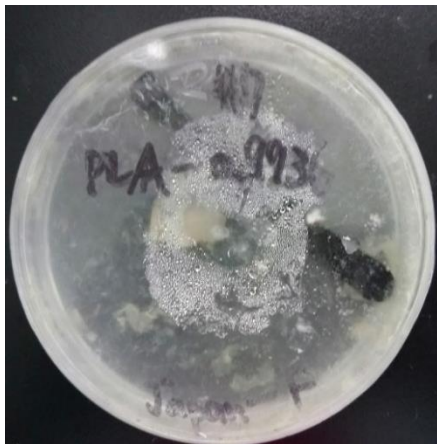
圖二十五、PU



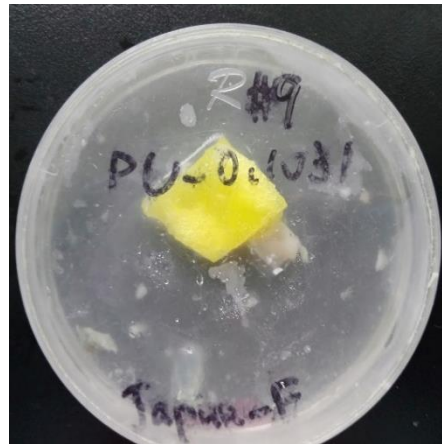
圖二十六、PE

三、*Aspergillus japonicus* 的生長情況。

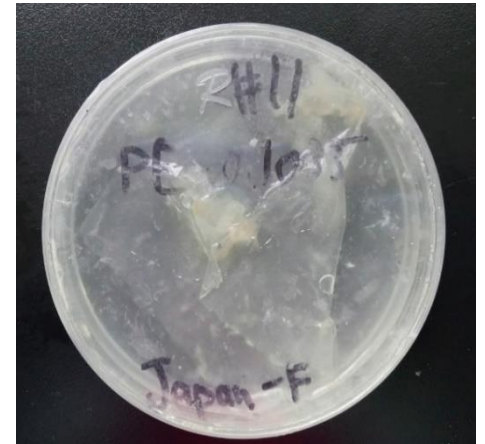
在黑暗、25.5°C 環境下，在不同塑膠存在環境下，真菌生長皆無明顯差異。



圖二十七、PLA



圖二十八、PU



圖二十九、PE

四、探討 *Aspergillus tubingensis*、*Aspergillus oryzae*、*Aspergillus japonicus* 降解塑膠重量變化。

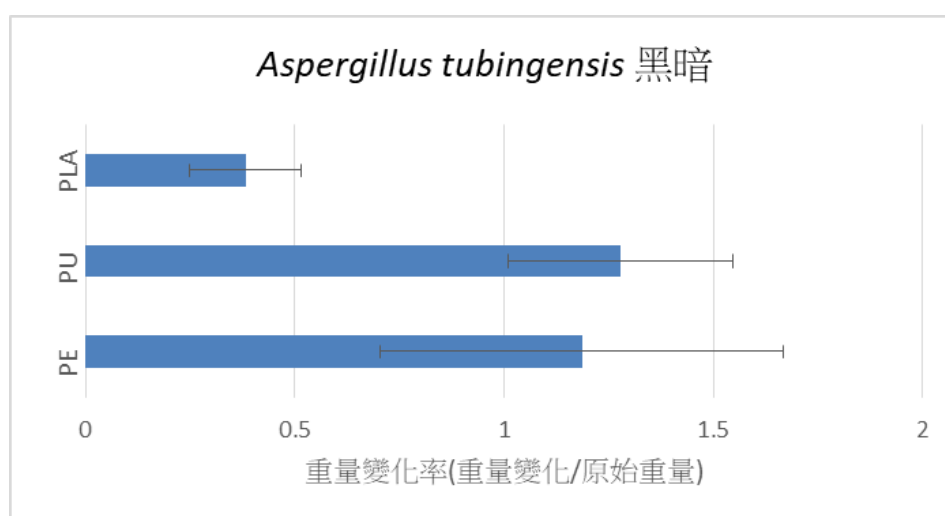
(一)、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、黑暗環境下分解塑膠之結果

真菌	塑膠		$\Delta r1-2$	$\Delta r1-3$	$\Delta r1-4$	$\Delta r1-5$
<i>Tubingensis</i>	PE		0.4	1.3	0.9	1.2
<i>Tubingensis</i>	PE		1.2	2.6	1.6	1.6
		平均	0.8	1.95	1.25	1.4
N/A	PE		0.1	-0.6	1.5	-0.1
<i>Tubingensis</i>	PU		3.1	-1.8	2	2.5
<i>Tubingensis</i>	PU		0.4	0.8	0.7	1.3
		平均	1.75	-0.5	1.35	1.9
N/A	PU		-0.2	0.6	0.5	2.1
<i>Tubingensis</i>	PLA		-0.1	0.7	4.8	1.2
<i>Tubingensis</i>	PLA		-1	-1.6	2.9	0.5
		平均	-0.55	-0.45	3.85	0.85
N/A	PLA		-0.4	0.4	4	1.2

表一、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、黑暗環境下分解塑膠之重量變化(單位:毫克)

真菌	塑膠		$\Delta 2-\Delta 2$ 無	$\Delta 3-\Delta 3$ 無	$\Delta 4-\Delta 4$ 無	$\Delta 5-\Delta 5$ 無
<i>Tubingensis</i>	PE		0.3	1.9	1	-1.3
<i>Tubingensis</i>	PE		1.1	3.2	1.7	-1.7
		平均	0.7	2.55	1.35	-1.5
<i>Tubingensis</i>	PU		3.3	-2.4	1.5	-0.4
<i>Tubingensis</i>	PU		0.6	0.2	0.2	0.8
		平均	1.95	-1.1	0.85	0.2
<i>Tubingensis</i>	PLA		0.3	0.3	0.8	0
<i>Tubingensis</i>	PLA		-0.6	-2	-1.1	0.7
		平均	-0.15	-0.85	-0.15	0.35

表二、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、黑暗下實驗組與對照組重量變化差(單位:毫克)



圖三十、*Aspergillus tubingensis* 塑膠重量變化率(重量變化/原始重量)長條圖
Aspergillus tubingensis 降解 PU、PE 能力>降解 PLA 能力

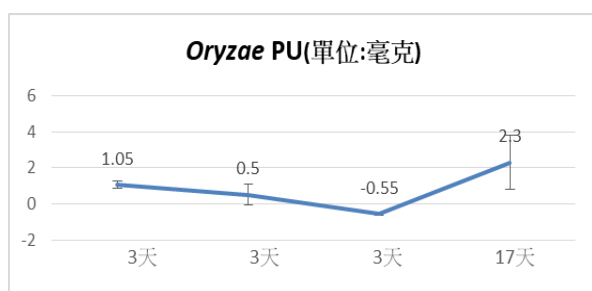
(二)、*Aspergillus oryzae* 在 25.5°C、黑暗環境下降解塑膠之結果

真菌	塑膠		$\Delta r1-2$	$\Delta r1-3$	$\Delta r1-4$	$\Delta r1-5$
<i>Oryzae</i>	PE		1.3	1	1.5	1.4
<i>Oryzae</i>	PE		0.8	1.2	-0.1	0.2
		平均	1.05	1.1	0.7	0.8
N/A	PE		0.1	-0.6	1.5	-0.1
<i>Oryzae</i>	PU		1	1.5	-0.1	-0.7
<i>Oryzae</i>	PU		0.7	0.7	0	1.1
		平均	0.85	1.1	-0.05	0.2
N/A	PU		-0.2	0.6	0.5	2.1
<i>Oryzae</i>	PLA		-0.4	0	3.7	1.4
<i>Oryzae</i>	PLA		-0.1	0.1	3.8	0
		平均	-0.25	0.05	3.75	0.7
N/A	PLA		-0.4	0.4	4	1.2

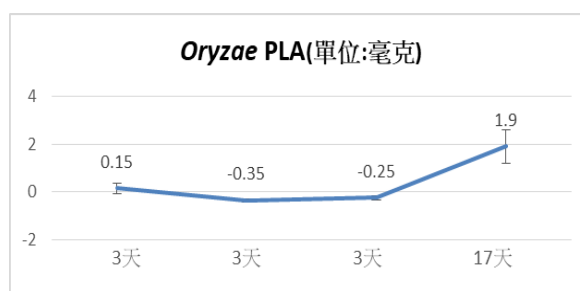
表三、*Aspergillus oryzae* 在 25.5°C、黑暗環境下降解塑膠之重量變化(單位:毫克)

真菌	塑膠		$\Delta 2-\Delta 2$ 無	$\Delta 3-\Delta 3$ 無	$\Delta 4-\Delta 4$ 無	$\Delta 5-\Delta 5$ 無
<i>Oryzae</i>	PE		1.2	1.6	1.6	1.3
<i>Oryzae</i>	PE		0.7	1.8	1.10E-14	0.1
		平均	0.95	1.7	0.8	0.7
<i>Oryzae</i>	PU		1.2	0.9	-0.6	1.1
<i>Oryzae</i>	PU		0.9	0.1	-0.5	3.2
		平均	1.05	0.5	-0.55	2.3
<i>Oryzae</i>	PLA		0	-0.4	-0.3	2.2
<i>Oryzae</i>	PLA		0.3	-0.3	-0.2	1.2
		平均	0.15	-0.35	-0.25	1.9

表四、*Aspergillus oryzae* 在 25.5°C、黑暗下實驗組與對照組重量變化差(單位:毫克)



圖三十一



圖三十二

Aspergillus oryzae 隨著時間增長與對照組相比降解 PU,PLA 的效果逐漸明顯

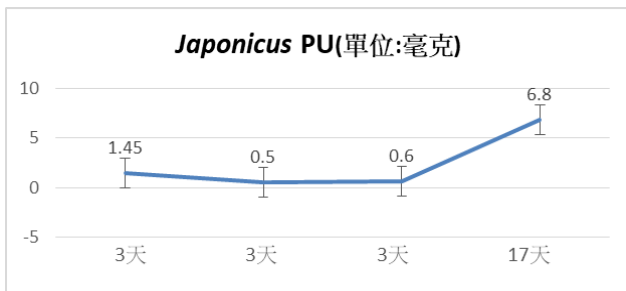
(三)、*Aspergillus japonicus* 在 25.5°C、黑暗環境下降解塑膠之結果

真菌	塑膠		$\Delta r1-2$	$\Delta r1-3$	$\Delta r1-4$	$\Delta r1-5$
<i>Japonicus</i>	PE		1.9	1.8	-0.4	-0.9
<i>Japonicus</i>	PE		2.1	1.8	-5.7	-8
		平均	2	1.8	-3.05	-4.45
N/A	PE		0.1	-0.6	1.5	-0.1
<i>Japonicus</i>	PU		0.9	0.3	6.4	6.7
<i>Japonicus</i>	PU		1.6	1.9	2.3	2.7
		平均	1.25	1.1	4.35	4.7
N/A	PU		-0.2	0.6	0.5	2.1
<i>Japonicus</i>	PLA		-0.6	0.1	2.7	0.2
<i>Japonicus</i>	PLA		0.5	1.2	5	2.3
		平均	-0.05	0.65	3.85	1.25
N/A	PLA		-0.4	0.4	4	1.2

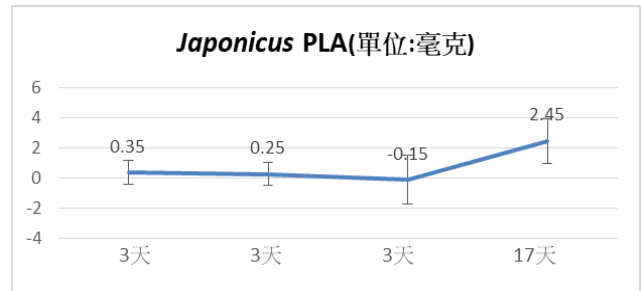
表五、*Aspergillus japonicus* 在 25.5°C、黑暗環境下降解塑膠之重量變化(單位:毫克)

真菌	塑膠		$\Delta 2-\Delta 2$ 無	$\Delta 3-\Delta 3$ 無	$\Delta 4-\Delta 4$ 無	$\Delta 5-\Delta 5$ 無
<i>Japonicus</i>	PE		1.8	2.4	1.9	-1
<i>Japonicus</i>	PE		2	2.4	1.9	-8.1
		平均	1.9	2.4	1.9	-4.55
<i>Japonicus</i>	PU		1.1	-0.3	-0.2	8.8
<i>Japonicus</i>	PU		1.8	1.3	1.4	4.8
		平均	1.45	0.5	0.6	6.8
<i>Japonicus</i>	PLA		-0.2	-0.3	-1.3	1.4
<i>Japonicus</i>	PLA		0.9	0.8	1	3.5
		平均	0.35	0.25	-0.15	2.45

表六、*Aspergillus japonicus* 在 25.5°C、黑暗下實驗組與對照組重量變化差(單位:毫克)



圖三十三



圖三十四

Aspergillus japonicus 隨著時間增長與對照組相比降解 PU,PLA 的效果逐漸明顯

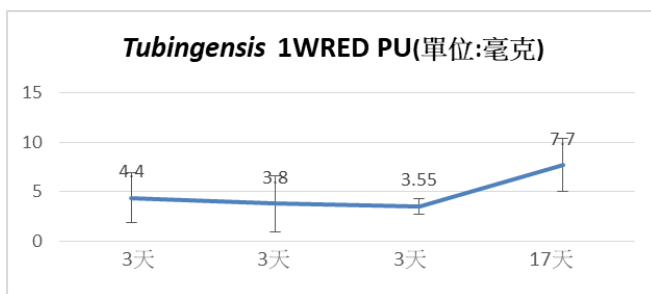
(四)、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 紅光環境下分解塑膠之結果

真菌	塑膠		$\Delta r1-2$	$\Delta r1-3$	$\Delta r1-4$	$\Delta r1-5$
<i>Tubingensis</i>	PE		-7.8	-6.1	-6.6	-6.4
<i>Tubingensis</i>	PE		-1.1	-0.5	-0.3	-0.8
		平均	-4.45	-3.3	-3.45	-3.6
N/A	PE		0.1	-0.6	1.5	-0.1
<i>Tubingensis</i>	PU		6	6.4	4.6	7.5
<i>Tubingensis</i>	PU		2.4	2.4	3.5	3.7
		平均	4.2	4.4	4.05	5.6
N/A	PU		-0.2	0.6	0.5	2.1
<i>Tubingensis</i>	PLA		0.7	1.1	4.2	1.3
<i>Tubingensis</i>	PLA		0.2	1.5	4.5	0.3
		平均	0.45	1.3	4.35	0.8
N/A	PLA		-0.4	0.4	4	1.2

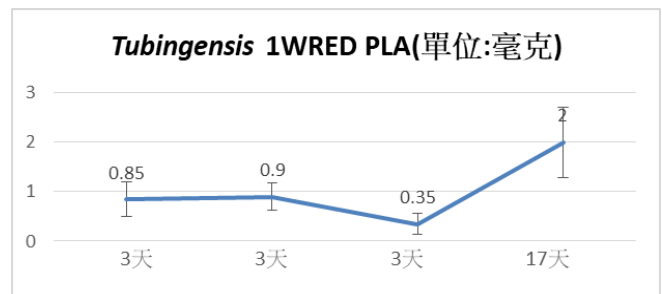
表七、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 紅光環境下分解塑膠之重量變化(單位:毫克)

真菌	塑膠		$\Delta 2-\Delta 2$ 無	$\Delta 3-\Delta 3$ 無	$\Delta 4-\Delta 4$ 無	$\Delta 5-\Delta 5$ 無
<i>Tubingensis</i>	PE		-7.9	-5.5	1.3	-6.5
<i>Tubingensis</i>	PE		-1.2	0.1	0.9	-0.9
		平均	-4.55	-2.7	1.1	-3.7
<i>Tubingensis</i>	PU		6.2	5.8	4.1	9.6
<i>Tubingensis</i>	PU		2.6	1.8	3	5.8
		平均	4.4	3.8	3.55	7.7
<i>Tubingensis</i>	PLA		1.1	0.7	0.2	2.5
<i>Tubingensis</i>	PLA		0.6	1.1	0.5	1.5
		平均	0.85	0.9	0.35	2

表八、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 紅光環境下實驗組與對照組重量變化差(單位:毫克)



圖三十一



圖三十二

Aspergillus tubingensis 在 1W 紅光下隨著時間增長與對照組相比降解 PU,PLA 的效果逐漸明顯

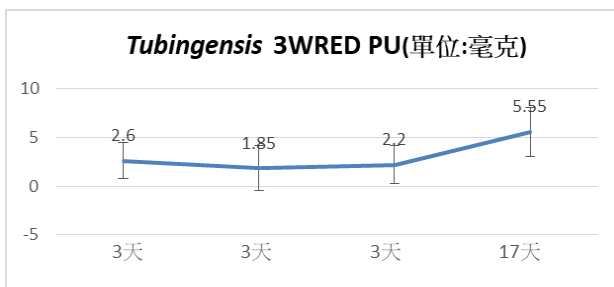
(五)、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 紅光環境下分解塑膠之結果

真菌	塑膠		$\Delta r1-2$	$\Delta r1-3$	$\Delta r1-4$	$\Delta r1-5$
<i>Tubingensis</i>	PE		0.7	2	1	1.2
<i>Tubingensis</i>	PE		3.4	4	2.1	2.4
		平均	2.05	3	1.55	1.8
N/A	PE		0.1	-0.6	1.5	-0.1
<i>Tubingensis</i>	PU		4.2	4.8	4.1	5.8
<i>Tubingensis</i>	PU		0.6	0.1	1.3	1.1
		平均	2.4	2.45	2.7	3.45
N/A	PU		-0.2	0.6	0.5	2.1
<i>Tubingensis</i>	PLA		0.4	1.9	4.9	0.8
<i>Tubingensis</i>	PLA		1.1	1.4	4.6	0.2
		平均	0.75	1.65	4.75	0.5
N/A	PLA		-0.4	0.4	4	1.2

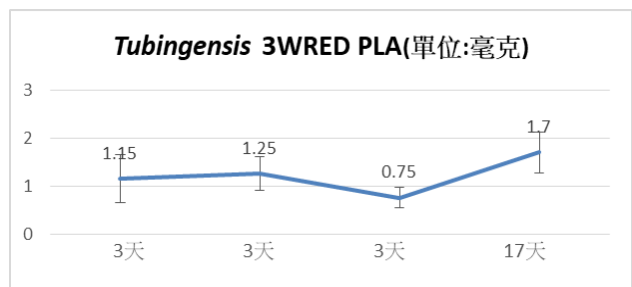
表九、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 紅光環境下分解塑膠之重量變化(單位:毫克)

真菌	塑膠		$\Delta 2-\Delta 2$ 無	$\Delta 3-\Delta 3$ 無	$\Delta 4-\Delta 4$ 無	$\Delta 5-\Delta 5$ 無
<i>Tubingensis</i>	PE		0.6	2.6	1.1	1.1
<i>Tubingensis</i>	PE		3.3	4.6	2.2	2.3
		平均	1.95	3.6	1.65	1.7
<i>Tubingensis</i>	PU		4.4	4.2	3.6	7.9
<i>Tubingensis</i>	PU		0.8	-0.5	0.8	3.2
		平均	2.6	1.85	2.2	5.55
<i>Tubingensis</i>	PLA		0.8	1.5	0.9	2
<i>Tubingensis</i>	PLA		1.5	1	0.6	1.4
		平均	1.15	1.25	0.75	1.7

表十、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 紅光環境下實驗組與對照組重量變化差(單位:毫克)



圖三十三



圖三十四

Aspergillus tubingensis 在 3W 紅光下隨著時間增長與對照組相比降解 PU,PLA 的效果逐漸明顯

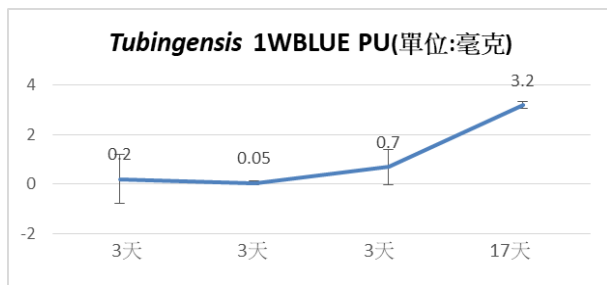
(六)、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 藍光環境下分解塑膠之結果

真菌	塑膠		$\Delta r1-2$	$\Delta r1-3$	$\Delta r1-4$	$\Delta r1-5$
<i>Tubingensis</i>	PE		-8.4	-7.9	-8	-8.6
<i>Tubingensis</i>	PE		7.4	7.6	9.1	7.4
		平均	-0.5	-0.15	0.55	-0.6
N/A	PE		0.1	-0.6	1.5	-0.1
<i>Tubingensis</i>	PU		0.7	0.6	0.7	1
<i>Tubingensis</i>	PU		-0.7	0.7	1.7	1.2
		平均	0	0.65	1.2	1.1
N/A	PU		-0.2	0.6	0.5	2.1
<i>Tubingensis</i>	PLA		-2.9	-2.7	1.6	-0.2
<i>Tubingensis</i>	PLA		-2.9	-2.3	2.6	0.4
		平均	-2.9	-2.5	2.1	0.1
N/A	PLA		-0.4	0.4	4	1.2

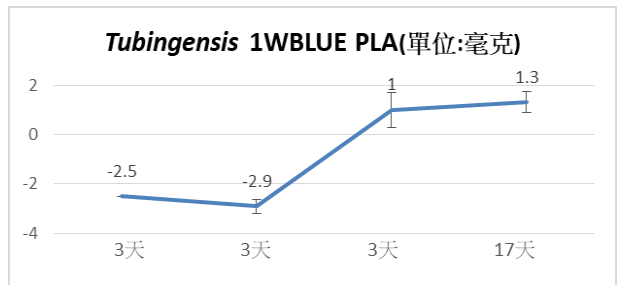
表十一、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 藍光環境下分解塑膠之重量變化(單位:毫克)

真菌	塑膠		$\Delta 2-\Delta 2$ 無	$\Delta 3-\Delta 3$ 無	$\Delta 4-\Delta 4$ 無	$\Delta 5-\Delta 5$ 無
<i>Tubingensis</i>	PE		-8.5	-7.3	0.5	-8.7
<i>Tubingensis</i>	PE		7.3	8.2	1.8	7.3
		平均	-0.6	0.45	1.15	-0.7
<i>Tubingensis</i>	PU		0.9	0	0.2	3.1
<i>Tubingensis</i>	PU		-0.5	0.1	1.2	3.3
		平均	0.2	0.05	0.7	3.2
<i>Tubingensis</i>	PLA		-2.5	-3.1	0.5	1
<i>Tubingensis</i>	PLA		-2.5	-2.7	1.5	1.6
		平均	-2.5	-2.9	1	1.3

表十二、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 藍光環境下實驗組與對照組重量變化差(單位:毫克)



圖三十七



圖三十八

Aspergillus tubingensis 在 1W 藍光下隨著時間增長與對照組相比降解 PU,PLA 的效果逐漸明顯

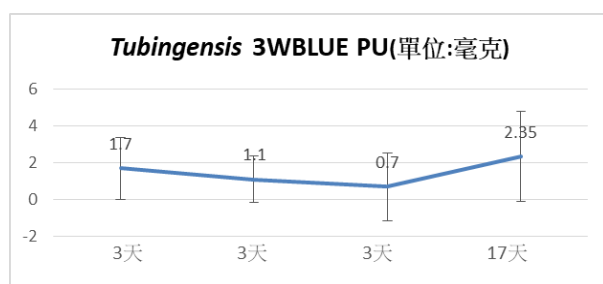
(七)、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 藍光環境下分解塑膠之結果

真菌	塑膠		$\Delta r1-2$	$\Delta r1-3$	$\Delta r1-4$	$\Delta r1-5$
<i>Tubingensis</i>	PE		-0.6	0.7	0.2	2.4
<i>Tubingensis</i>	PE		-0.2	0.9	0.1	-2.7
		平均	-0.4	0.8	0.15	-0.15
N/A	PE		0.1	-0.6	1.5	-0.1
<i>Tubingensis</i>	PU		0.3	0.8	-0.1	-2.2
<i>Tubingensis</i>	PU		2.7	2.6	2.5	2.7
		平均	1.5	1.7	1.2	0.25
N/A	PU		-0.2	0.6	0.5	2.1
<i>Tubingensis</i>	PLA		-0.2	-1.5	3.8	1.3
<i>Tubingensis</i>	PLA		0.3	0.4	3.4	-0.1
		平均	0.05	-0.55	3.6	0.6
N/A	PLA		-0.4	0.4	4	1.2

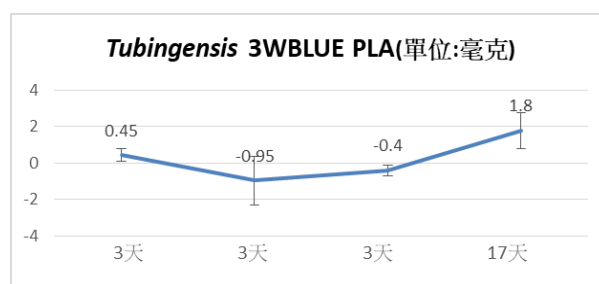
表十三、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 藍光環境下分解塑膠之重量變化(單位:毫克)

真菌	塑膠		$\Delta 2-\Delta 2$ 無	$\Delta 3-\Delta 3$ 無	$\Delta 4-\Delta 4$ 無	$\Delta 5-\Delta 5$ 無
<i>Tubingensis</i>	PE		-0.7	1.3	0.3	2.3
<i>Tubingensis</i>	PE		-0.3	1.5	0.2	-2.8
		平均	-0.5	1.4	0.25	-0.25
<i>Tubingensis</i>	PU		0.5	0.2	-0.6	-0.1
<i>Tubingensis</i>	PU		2.9	2	2	4.8
		平均	1.7	1.1	0.7	2.35
<i>Tubingensis</i>	PLA		0.2	-1.9	-0.2	2.5
<i>Tubingensis</i>	PLA		0.7	6.69E-14	-0.6	1.1
		平均	0.45	-0.95	-0.4	1.8

表十四、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 藍光環境下實驗組與對照組重量變化差(單位:毫克)



圖三十九



圖四十

Aspergillus tubingensis 在 3W 藍光下隨著時間增長與對照組相比降解 PU,PLA 的效果逐漸明顯

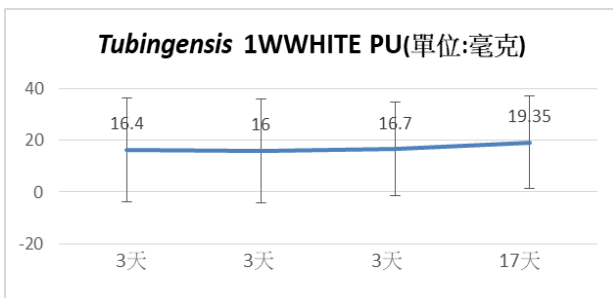
(八)、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 白光環境下分解塑膠之結果

真菌	塑膠		$\Delta r1-2$	$\Delta r1-3$	$\Delta r1-4$	$\Delta r1-5$
<i>Tubingensis</i>	PE		1.7	2.1	1.7	2.5
<i>Tubingensis</i>	PE		-4.1	-2.9	-3.1	-3
		平均	-1.2	-0.4	-0.7	-0.25
N/A	PE		0.1	-0.6	1.5	-0.1
<i>Tubingensis</i>	PU		1.8	2.3	4.4	4.6
<i>Tubingensis</i>	PU		30.6	30.9	30	29.9
		平均	16.2	16.6	17.2	17.25
N/A	PU		-0.2	0.6	0.5	2.1
<i>Tubingensis</i>	PLA		0.5	0.4	4.4	3.5
<i>Tubingensis</i>	PLA		-1.4	-0.4	2.6	1.9
		平均	-0.45	0	3.5	2.7
N/A	PLA		-0.4	0.4	4	1.2

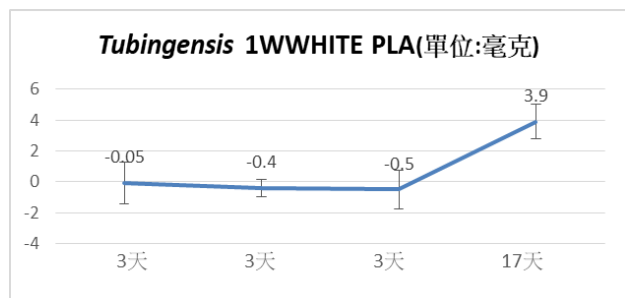
表十五、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 白光環境下分解塑膠之重量變化(單位:毫克)

真菌	塑膠		$\Delta 2-\Delta 2$ 無	$\Delta 3-\Delta 3$ 無	$\Delta 4-\Delta 4$ 無	$\Delta 5-\Delta 5$ 無
<i>Tubingensis</i>	PE		1.6	2.7	0.1	2.4
<i>Tubingensis</i>	PE		-4.2	-2.3	1.1	-3.1
		平均	-1.3	0.2	0.6	-0.35
<i>Tubingen</i>	PU		2	1.7	3.9	6.7
<i>Tubingensis</i>	PU		30.8	30.3	29.5	32
		平均	16.4	16	16.7	19.35
<i>Tubingensis</i>	PLA		0.9	0	0.4	4.7
<i>Tubingensis</i>	PLA		-1	-0.8	-1.4	3.1
		平均	-0.05	-0.4	-0.5	3.9

表十六、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 白光環境下實驗組與對照組重量變化差(單位:毫克)



圖四十一



圖四十二

Aspergillus tubingensis 在 1W 白光下隨著時間增長與對照組相比降解 PU,PLA 的效果逐漸明顯

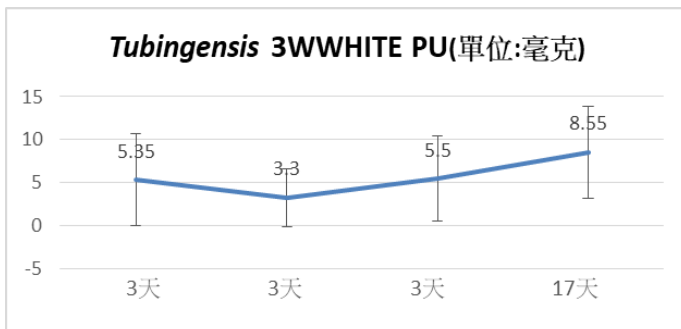
(九)、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 白光環境下分解塑膠之結果

真菌	塑膠		$\Delta r1-2$	$\Delta r1-3$	$\Delta r1-4$	$\Delta r1-5$
<i>Tubingensis</i>	PE		3.1	3.7	4.5	4
<i>Tubingensis</i>	PE		2.1	1.5	1.4	1.6
		平均	2.6	2.6	2.95	2.8
N/A	PE		0.1	-0.6	1.5	-0.1
<i>Tubingensis</i>	PU		1.4	1.5	2.5	2.7
<i>Tubingensis</i>	PU		8.9	6.3	9.5	10.2
		平均	5.15	3.9	6	6.45
N/A	PU		-0.2	0.6	0.5	2.1
<i>Tubingensis</i>	PLA		-1.1	-0.4	3.8	2.3
<i>Tubingensis</i>	PLA		-1.3	-1.3	4.2	2.8
		平均	-1.2	-0.85	4	2.55
N/A	PLA		-0.4	0.4	4	1.2

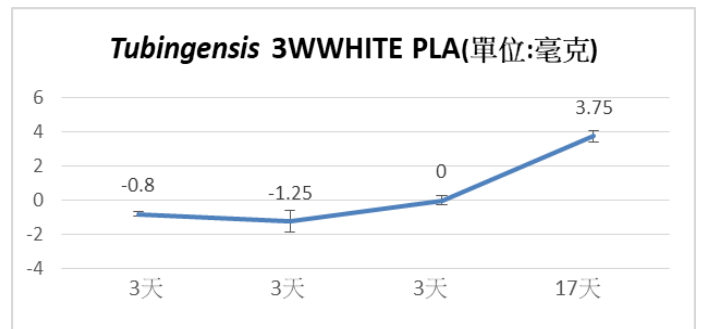
表十七、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 白光環境下分解塑膠之重量變化(單位:毫克)

真菌	塑膠		$\Delta 2-\Delta 2$ 無	$\Delta 3-\Delta 3$ 無	$\Delta 4-\Delta 4$ 無	$\Delta 5-\Delta 5$ 無
<i>Tubingensis</i>	PE		3	4.3	4.6	3.9
<i>Tubingensis</i>	PE		2	2.1	1.5	1.5
		平均	2.5	3.2	3.05	2.7
<i>Tubingensis</i>	PU		1.6	0.9	2	4.8
<i>Tubingensis</i>	PU		9.1	5.7	9	12.3
		平均	5.35	3.3	5.5	8.55
<i>Tubingensis</i>	PLA		-0.7	-0.8	-0.2	3.5
<i>Tubingensis</i>	PLA		-0.9	-1.7	0.2	4
		平均	-0.8	-1.25	0	3.75

表十八、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 白光環境下實驗組與對照組重量變化差(單位:毫克)



圖四十三

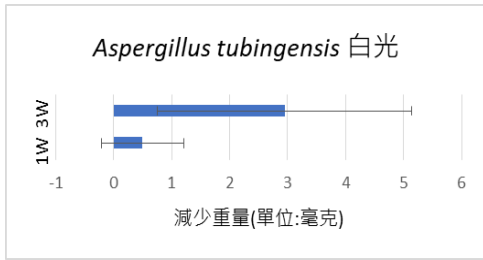


圖四十四

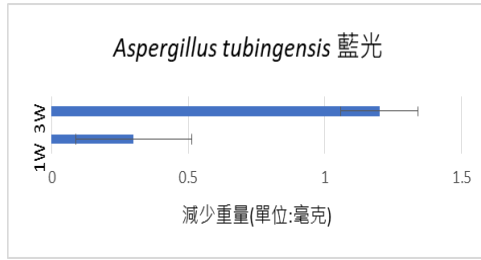
Aspergillus tubingensis 在 3W 白光下隨著時間增長與對照組相比降解 PU,PLA 的效果逐漸明顯

五、比較 *Aspergillus tubingensis* 在不同光照環境下降解塑膠的能力

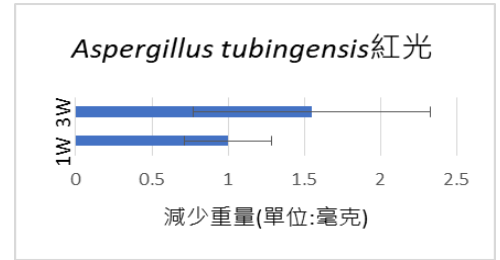
(一)、在相同色光不同瓦數情況下



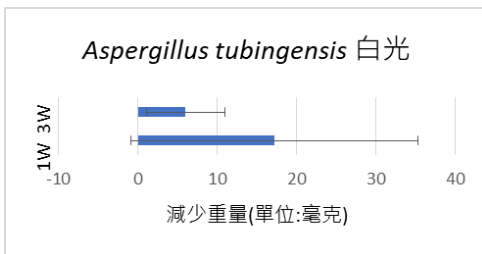
圖四十五、
PE 白光:3W>1W



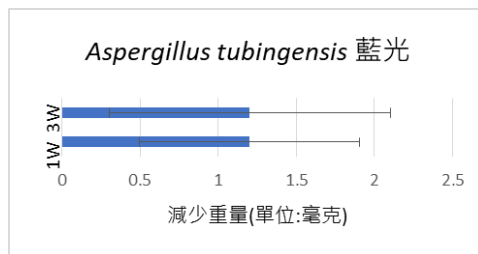
圖四十六、
PE 藍光:3W>1W



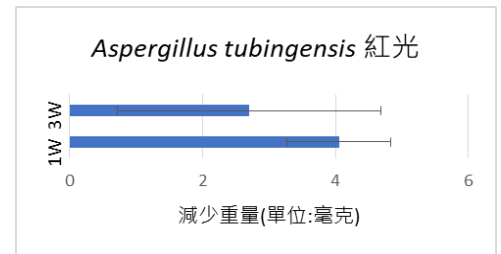
圖四十七、
PE 紅光:3W>1W



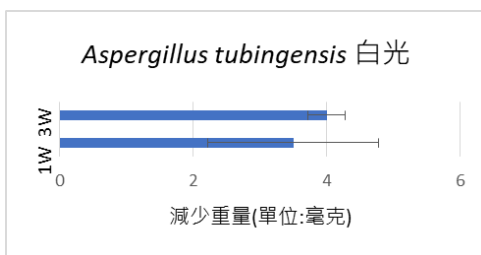
圖四十八、
PU 白光:1W>3W



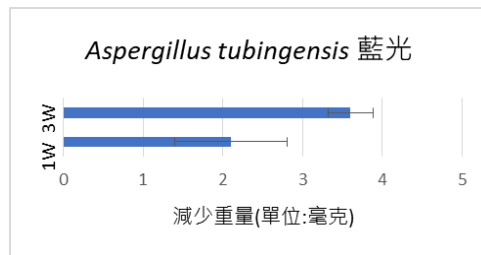
圖四十九、
PU 藍光:無明顯差異



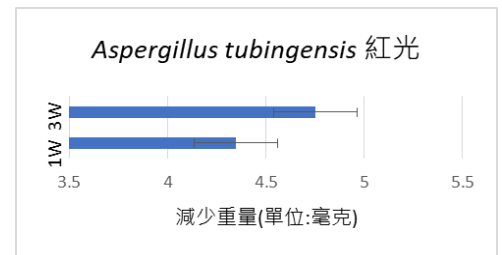
圖五十、
PU 紅光:1W>3W



圖五十一、
PLA 白光:無明顯差異



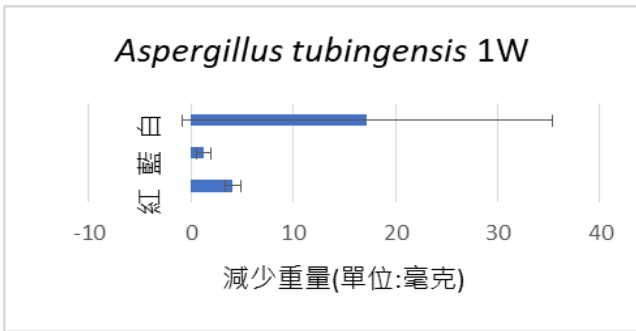
圖五十二、
PLA 藍光:3W>1W



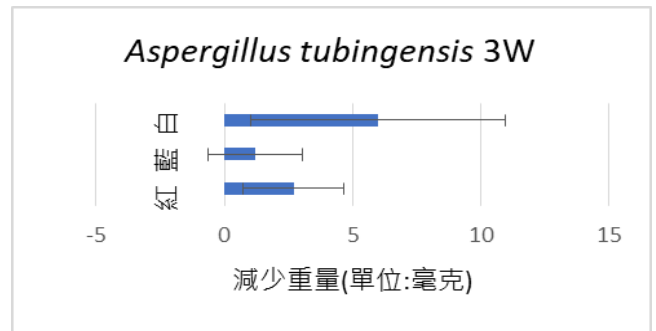
圖五十三、
PLA 紅光:3W>1W

(二)、在相同瓦數不同色光的情況下

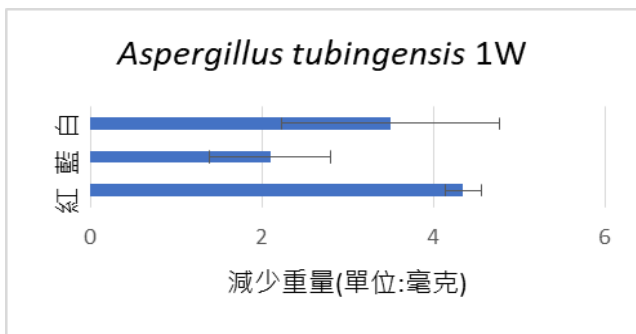
PE:有降解效果但與色光無明顯相關。



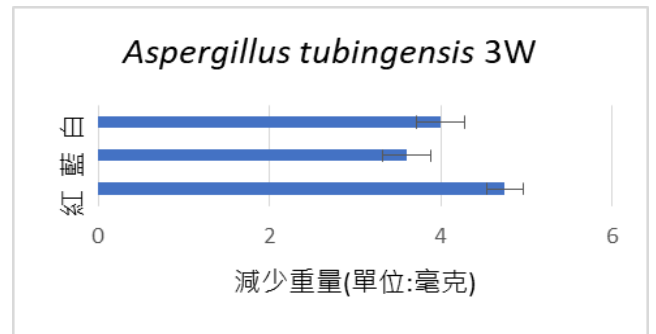
圖五十四、1W PU:白光>紅光>藍光



圖五十五、3W PU:白光>紅光>藍光



圖五十六、1W PLA:無明顯差異



圖五十七、3W PLA:無明顯差異

(三)、文字說明

- 1.在黑暗環境下 *Aspergillus tubingensis* 對於降解 PE.PU.PLA 有一定的能力。
- 2.在相同色光不同瓦數情況下：
 - (1) PE：3W>1W
 - (2) PU：無明顯差異
 - (3) PLA：白光:無明顯差異，藍光、紅光:3W>1W
- 3.在相同瓦數不同色光的情況下：
 - (1) PE:無明顯差異
 - (2) PU:白光>紅光>藍光
 - (3) PLA:無明顯差異
- 4.在 pH=4 及 pH=9 環境中皆無明顯降解塑膠之能力。

六、討論

(一)、*Aspergillus tubingensis* 的生長情況

1.比較同瓦數不同色光，在白光的環境下生長較多，再來是藍光，接著是黑暗環境下，紅光環境下則生長的最少；相同色光不同瓦數下的生長速率，1W 較 3W 快，可能原因為菌株有相關的光受器及其調節機制(目前未查到相關文獻)，導致其在 3W 環境下生長較慢，雖然生長速度不同，但不影響其降解塑膠的能力。

2.於第二次測量時，發現降解 PU 的組別半數以上，菌絲緊密附著在海綿上，並觀察到粉紅色口香糖狀物體，推測可能與其表面積較大且其本身即具有降解 PU 的能力相關。

(二)、探討 *Aspergillus tubingensis* 降解塑膠的能力

1.由圖三十可得知，在黑暗環境下 *Aspergillus tubingensis* 對於降解 PE.PU.PLA 都有一定的能力。

先前的文獻只測試了此菌種對 PU 的降解能力(Khan et al., 2017)，由圖三十可得知，黑暗環境下，*Aspergillus tubingensis* 對降解 PE 也有效果，由於 PE 的全球使用較 PU 廣泛許多，此為本實驗結果獨到之處，可後續研究增強降解效果，並將其應用於回收並降解 PE，以減少對環境的污染。

在降解 PLA 的實驗中，*Aspergillus tubingensis* 降解 PLA 平均重量變化與文獻中使用的細菌（黃怡華等。第 58 屆全國科展）約相同，皆可有效降解 PLA。

在降解 PU 實驗中，我們在文獻中(Khan et al., 2017)得知了 *Aspergillus tubingensis* 具有降解 PU 的能力，因此我們嘗試增加變因，例如色光，雖效果不明顯，但也得出其具有降解 PU 的能力。

2.表八、表十、表十二、表十四、表十六、表十八中相同色光不同瓦數的條件下稍有降解 PE 效果，但我們將減少的重量與對照組相比較時發現沒有明顯差距，所以此結果可再繼續探討。

(三)、探討 *Aspergillus oryzae* 降解塑膠的能力。

由表四，可看到 *Aspergillus oryzae* 有降解 PU 及 PLA 之能力，未來會增加數據組以繼續探討；*Aspergillus oryzae* 降解 PE 之能力並不明顯，可待後續實驗繼續探討。

(四)、探討 *Aspergillus japonicus* 降解塑膠的能力。

由表六得知，*Aspergillus japonicus* 有降解 PU 與 PLA 之能力，未來會增加數據組數以繼續探討；*Aspergillus japonicus* 降解 PE 能力並不明顯，可待後續實驗繼續探討。

(五)、目前探討分解塑膠的文獻都著重在細菌，對於真菌在此方面的研究較少，此實為值得開發的新興領域。

(六)、為了探討 *Aspergillus* 屬分解塑膠的能力，我們除了量測塑膠重量的減少外，也嘗試用乳化的方法，企圖藉由吸光值的改變反映其分解塑膠的能力，其中三氯甲烷可以成功乳化塑膠，但因毒性太強卻導致真菌無法存活，於是我們改用二氯甲烷，但我們嘗試的濃度其乳化塑膠的效果不佳，可待後續實驗繼續探究能讓真菌生長的最適當濃度。

肆、結論與應用

一、生長情況

(一)、*Aspergillus tubingensis* 在相同瓦數不同色光下的生長情況為白光>藍光>黑暗>紅光，相同色光不同瓦數下則為 1W>3W；在 pH=4 及 pH=9 的情況下幾乎無法生長。

(二)、*Aspergillus oryzae* 生長情形:各組大約相同。

(三)、*Aspergillus japonicus* 生長情形:各組大約相同。

二、降解特定塑膠的能力及速率

(一)、*Aspergillus tubingensis* 在黑暗環境下皆有降解 PE、PU、PLA 的能力；相同瓦數的情況，PU:白光>紅光>藍光；PLA:紅光 >白光 >藍光；在 pH=4 及 pH=9 環境中皆無明顯降解塑膠之能力。

(二)、在黑暗中，*Aspergillus oryzae* 及 *Aspergillus japonicus* 皆有降解 PU 與 PLA 的能力。

伍、參考文獻

一、未來展望

- (一)、日後在實驗方面將增加測試塑膠種類、改變溫度等環境因素。
- (二)、使用更精密的儀器及測量方法如乳化塑膠測量其 OD 值以確保結果可信度。
- (三)、菌種培養方面將嘗試使用無碳源的培養基(如 MSM 培養基)以確保其唯一碳源為塑膠，進一步測試塑膠提供的營養對降解塑膠之影響。
- (四)、分離能分解塑膠的酵素，比對先前文獻的結構、序列等性質。

二、參考資料

- (一)、黃怡華、鄭毓澤（2018 年）·「HEY!你這個吃塑膠的小傢伙」·第 58 屆科展高中組環境學科
- (二)、Khan, S., Nadir, S., Shah, Z.U., Shah, A.A., Karunarathna, S.C., Xu, J., ...Hasan, F.(2017). Biodegradation of polyester polyurethane by *Aspergillus tubingensis*. Environmental Pollution 225, 469-480. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.012>
- (三)、Wikipedia. Category:Organisms breaking down plastic, from https://en.m.wikipedia.org/wiki/Category:Organisms_breaking_down_plastic
- (四)、Judy 吳家鈴（2020 年 7 月 9 日）·台灣年用 150 億個塑膠袋，連口罩都是塑膠做的！生活離不開塑膠，為什麼我們更該「減塑」？·*今周刊*·取自 <https://www.businesstoday.com.tw/article/category/80393/post/202007090036/%E5%8F%B0%E7%81%A3%E5%B9%B4%E7%94%A8150%E5%84%84%E5%80%8B%E5%A1%91%E8%86%A0%E8%A2%8B%EF%BC%8C%E9%80%A3%E5%8F%A3%E7%BD%A9%E9%83%BD%E6%98%AF%E5%A1%91%E8%86%A0%E5%81%9A%E7%9A%84%EF%BC%81%E7%94%9F%E6%B4%BB%E9%9B%A2%E4%B8%8D%E9%96%8B%E5%A1%91%E8%86%A0%EF%BC%8C%E7%82%BA%E4%BB%80%E9%BA%BC%E6%88%91%E5%80%91%E6%9B%B4%E8%A9%B2%E3%80%8C%E6%B8%9B%E5%A1%91%E3%80%8D%EF%BC%9F>
- (五)、Bombelli, P., Howe, C.J, Bertocchini, F.(2017). Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current Biology* 27, R292-R293. doi: 10.1016/j.cub.2017.02.060

附錄

Aspergillus tubingensis 在 25.5°C、黑暗環境下分解塑膠原始數據(單位:毫克)

真菌	塑膠		原始重量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
<i>Tubingen</i>	PE		105.4	106.2	105.8	104.9	105.3	105
<i>Tubingen</i>	PE		103.6	104.6	103.4	102	103	103
		平均	104.5	105.4	104.6	103.45	104.15	104
<i>Tubingen</i>	PU		102.6	107.7	104.6	109.5	105.7	105.2
<i>Tubingen</i>	PU		104.1	103.5	103.1	102.7	102.8	102.2
		平均	103.35	105.6	103.85	106.1	104.25	103.7
<i>Tubingen</i>	PLA		1002	1004.5	1004.6	1003.8	999.7	1003.3
<i>Tubingen</i>	PLA		1001.2	1002.4	1003.4	1004	999.5	1001.9
		平均	1001.6	1003.45	1004	1003.9	999.6	1002.6

Aspergillus Oryzae 在 25.5°C、黑暗環境下分解塑膠原始數據(單位:毫克)

真菌	塑膠		原始重量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
<i>Oryzae</i>	PE		105.5	105.1	103.8	104.1	103.6	103.7
<i>Oryzae</i>	PE		103.8	104.4	103.6	103.2	104.5	104.2
		平均	104.65	104.75	103.7	103.65	104.05	103.95
<i>Oryzae</i>	PU		103.8	105	104	103.5	105.1	105.7
<i>Oryzae</i>	PU		104.1	103.9	103.2	103.2	103.9	102.8
		平均	103.95	104.45	103.6	103.35	104.5	104.25
<i>Oryzae</i>	PLA		1002.8	1004	1004.4	1004	1000.3	1002.6
<i>Oryzae</i>	PLA		1002.2	1001.6	1001.7	1001.5	997.8	1001.6
		平均	1002.5	1002.8	1003.05	1002.75	999.05	1002.1

Aspergillus Japonicus 在 25.5°C、黑暗環境下分解塑膠原始數據(單位:毫克)

真菌	塑膠		原始重量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
<i>Japonicus</i>	PE		103.1	103.8	101.9	102	104.2	104.7
<i>Japonicus</i>	PE		100.8	98.1	96	96.3	103.8	106.1
		平均	101.95	100.95	98.95	99.15	104	105.4
<i>Japonicus</i>	PU		103.1	103.1	102.2	102.8	96.7	96.4
<i>Japonicus</i>	PU		100.8	104.9	103.3	103	102.6	102.2
		平均	101.95	104	102.75	102.9	99.65	99.3
<i>Japonicus</i>	PLA		993.6	995.6	996.2	995.5	992.9	995.4
<i>Japonicus</i>	PLA		1001.2	1004.3	1003.8	1003.1	999.3	1002
		平均	997.4	999.95	1000	999.3	996.1	998.7

Aspergillus tubingensis 在 25.5°C、1W 紅光環境下分解塑膠原始數據(單位:毫克)

真菌	塑膠		原始重量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
<i>Tubingen</i>	PE		96.1	96.9	104.7	103	103.5	103.3
<i>Tubingen</i>	PE		102.5	103.7	104.8	104.2	104	104.5
		平均	99.3	100.3	104.75	103.6	103.75	103.9
<i>Tubingen</i>	PU		102.8	110.8	104.8	104.4	106.2	103.3
<i>Tubingen</i>	PU		101.5	103.4	101	101	99.9	99.7
		平均	102.15	107.1	102.9	102.7	103.05	101.5
<i>Tubingen</i>	PLA		1001.8	1003.7	1003	1002.6	999.5	1002.4
<i>Tubingen</i>	PLA		1001	1003	1002.8	1001.5	998.5	1002.7
		平均	1001.4	1003.35	1002.9	1002.05	999	1002.55

Aspergillus tubingensis 在 25.5°C、3W 紅光環境下分解塑膠原始數據(單位:毫克)

真菌	塑膠		原始重量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
<i>Tubingen</i>	PE		105.4	106.4	105.7	104.4	105.4	105.2
<i>Tubingen</i>	PE		109.7	103.1	99.7	99.1	101	100.7
		平均	107.55	104.75	102.7	101.75	103.2	102.95
<i>Tubingen</i>	PU		103.1	109.6	105.4	104.8	105.5	103.8
<i>Tubingen</i>	PU		104.8	106.1	105.5	106	104.8	105
		平均	103.95	107.85	105.45	105.4	105.15	104.4
<i>Tubingen</i>	PLA		999.7	1002.1	1001.7	1000.2	997.2	1001.3
<i>Tubingen</i>	PLA		997.1	1000.1	999	998.7	995.5	999.9
		平均	998.4	1001.1	1000.35	999.45	996.35	1000.6

Aspergillus tubingensis 在 25.5°C、1W 藍光環境下分解塑膠原始數據(單位:毫克)

真菌	塑膠		原始重量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
<i>Tubingen</i>	PE		96.7	95.2	103.6	103.1	103.2	103.8
<i>Tubingen</i>	PE		103.6	103.1	95.7	95.5	94	95.7
		平均	100.15	99.15	99.65	99.3	98.6	99.75
<i>Tubingen</i>	PU		102.5	103.3	102.6	102.7	102.6	102.3
<i>Tubingen</i>	PU		102.9	104.7	105.4	104	103	103.5
		平均	102.7	104	104	103.35	102.8	102.9
<i>Tubingen</i>	PLA		1003.3	1003.7	1006.6	1006.4	1002.1	1003.9
<i>Tubingen</i>	PLA		1001.2	1001.1	1004	1003.4	998.5	1000.7
		平均	1002.25	1002.4	1005.3	1004.9	1000.3	1002.3

Aspergillus tubingensis 在 25.5°C、3W 藍光環境下分解塑膠原始數據(單位:毫克)

真菌	塑膠		原始重量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
<i>Tubingen</i>	PE		104.7	103.6	104.2	102.9	103.4	101.2
<i>Tubingen</i>	PE		101.1	101.3	101.5	100.4	101.2	104
		平均	102.9	102.45	102.85	101.65	102.3	102.6
<i>Tubingen</i>	PU		100.4	101.4	101.1	100.6	101.5	103.6
<i>Tubingen</i>	PU		102.8	103	100.3	100.4	100.5	100.3
		平均	101.6	102.2	100.7	100.5	101	101.95
<i>Tubingen</i>	PLA		993.6	994.9	995.1	996.4	991.1	993.6
<i>Tubingen</i>	PLA		992	994.5	994.2	994.1	991.1	994.6
		平均	992.8	994.7	994.65	995.25	991.1	994.1

Aspergillus tubingensis 在 25.5°C、1W 白光環境下分解塑膠原始數據(單位:毫克)

真菌	塑膠		原始重量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
<i>Tubingen</i>	PE		104.3	105.6	103.9	103.5	103.9	103.1
<i>Tubingen</i>	PE		102.9	103.5	107.6	106.4	106.6	106.5
		平均	103.6	104.55	105.75	104.95	105.25	104.8
<i>Tubingen</i>	PU		104.3	108.5	106.7	106.2	104.1	103.9
<i>Tubingen</i>	PU		98.7	131.1	100.5	100.2	101.1	101.2
		平均	101.5	119.8	103.6	103.2	102.6	102.55
<i>Tubingen</i>	PLA		995.5	997.4	996.9	997	993	993.9
<i>Tubingen</i>	PLA		1001.5	1001	1002.4	1001.4	998.4	999.1
		平均	998.5	999.2	999.65	999.2	995.7	996.5

Aspergillus tubingensis 在 25.5°C、3W 白光環境下分解塑膠原始數據(單位:毫克)

真菌	塑膠		原始重量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
<i>Tubingen</i>	PE		102	108	104.9	104.3	103.5	104
<i>Tubingen</i>	PE		101.1	103.6	101.5	102.1	102.2	102
		平均	101.55	105.8	103.2	103.2	102.85	103
<i>Tubingen</i>	PU		97.1	99.6	98.2	98.1	97.1	96.9
<i>Tubingen</i>	PU		100.8	111.4	102.5	105.1	101.9	101.2
		平均	98.95	105.5	100.35	101.6	99.5	99.05
<i>Tubingen</i>	PLA		997.7	998.9	1000	999.3	995.1	996.6
<i>Tubingen</i>	PLA		1001.8	1002.2	1003.5	1003.5	998	999.4
		平均	999.75	1000.55	1001.75	1001.4	996.55	998

Aspergillus tubingensis 在 25.5°C、pH=4 黑暗環境下分解塑膠原始數據(單位:毫克)

真菌	塑膠		原始重量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
<i>Tubingen</i>	PE		99.2	97.3	97	97.1	97.2	96.5
<i>Tubingen</i>	PU		101.9	103.1	102.7	102.7	102.6	102.6
<i>Tubingen</i>	PLA		1001.5	1003.5	1002.9	1002.7	998	1003.4

Aspergillus tubingensis 在 25.5°C、pH=9 黑暗環境下分解塑膠原始數據(單位:毫克)

真菌	塑膠		原始重量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
<i>Tubingen</i>	PE		103.2	103.5	103.9	103	103	103.2
<i>Tubingen</i>	PU		102.8	118.3	101.7	101.1	100.7	101.3
<i>Tubingen</i>	PLA		999.9	1001.2	1001.4	1000.4	995.7	999.7

【評語】 200001

本作品選用三種真菌，探討對聚氨酯(PU)、聚乙烯(PE)及聚乳酸(PLA)之降解效果。研究方向清楚聚焦，實驗數據豐富。然而實驗組別雖多，但缺乏三重複實驗之證明，且討論仍以定性方式為主，建議加強圖表之呈現，並以統計方法分析實驗數據之差異。