

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 環境學科

佳作

052606

「塑」戰「塑」決——*Aspergillus* 屬分解
塑膠能力測試

學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者： 高二 林奕帆 高二 賴琦麗 高二 陳澤睿	指導老師： 馮淑卿
---	------------------

關鍵詞：塑膠降解、真菌

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。

壹、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。

貳、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。

參、研究設備及器材

一、菌種

- (一)、*Aspergillus tubingensis* (塔賓麴黴)
- (二)、*Aspergillus oryzae* (米麴菌)
- (三)、*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

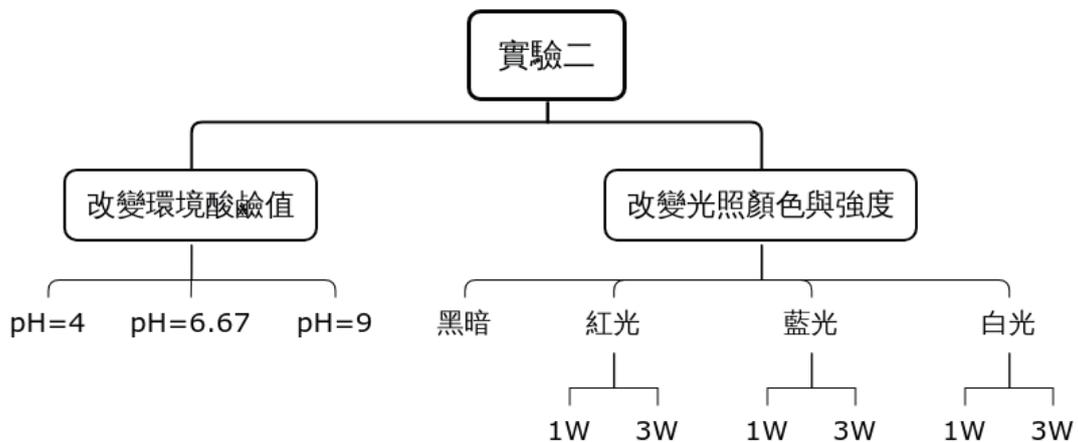
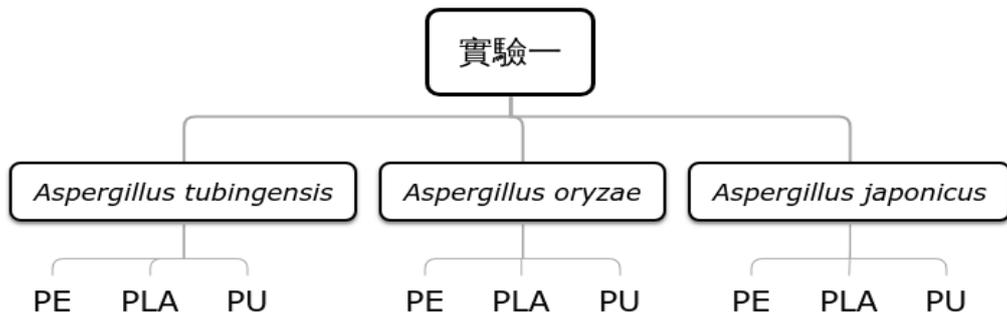
肆、研究過程及方法

一、前置作業

(一)、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。



(二)、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。

(三)、菌株活化

1. 菌體來源

(1) *Aspergillus tubingensis*

<https://catalog.bcrc.firdi.org.tw/BcrcContent?bid=32169>

(2) *Aspergillus oryzae*

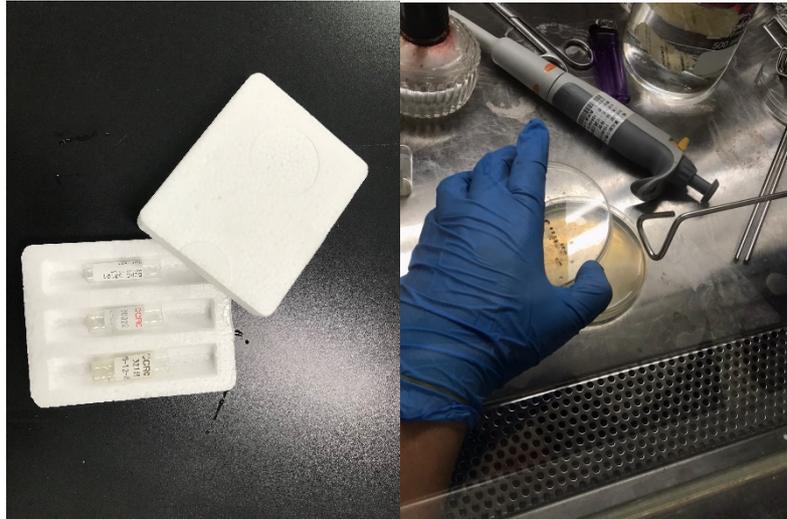
<https://catalog.bcrc.firdi.org.tw/BcrcContent?bid=30123>

(3) *Aspergillus japonicus*

<https://catalog.bcrc.firdi.org.tw/BcrcContent?bid=30022>

2. 活化過程

- (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

(四)、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 1cm² 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。

(五)、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。

(六)、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。

(七)、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。

(八)、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。

(九)、製作不同 pH 的 BSM 培養基

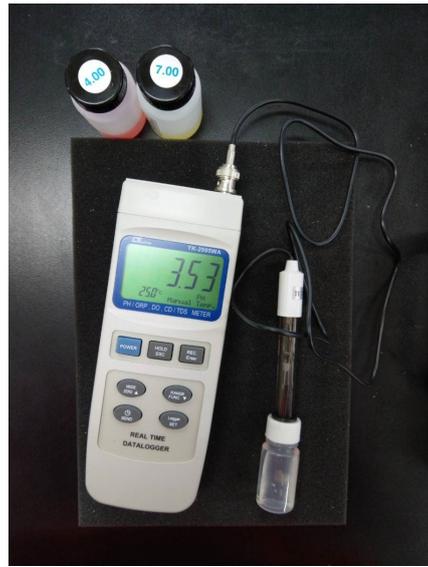
1. pH=9：將 TRIS 粉末加水以 TRIS 粉末:水=1:50(單位:公克)比例調製，再將 25.8mL TRIS 水溶液加入 25mL BSM 培養基調成 pH=9 之 BSM 培養基。
2. pH=4：將 1mL 的 37%濃鹽酸加入 25mL BSM 培養基調成 pH=4 之 BSM 培養基。

二、開始實驗

- (一)、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。
- (二)、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。
- (三)、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。
- (四)、秤完後再將塑膠分別放回培養基中。
- (五)、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

伍、研究結果

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

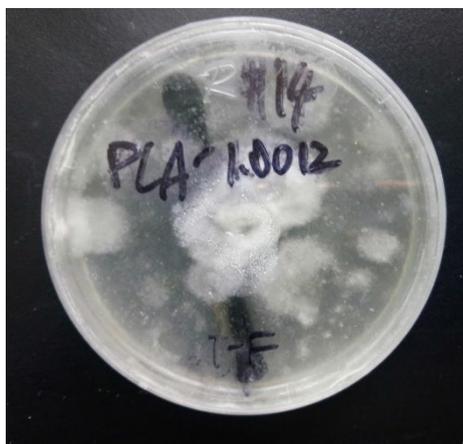
Aspergillus tubingensis 在白光的環境下生長最多，藍光次之，接著為黑暗環境下，紅光環境下則生長的最少，如圖七至圖十。



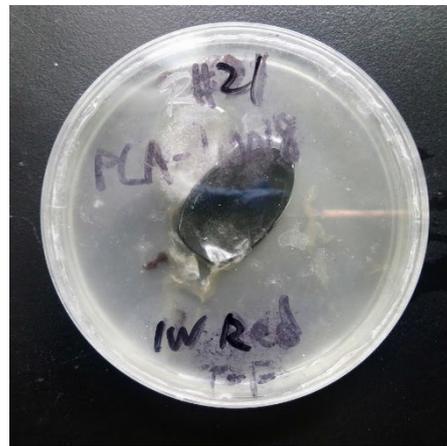
圖七、1W 白光



圖八、1W 藍光



圖九、黑暗環境下



圖十、1W 紅光

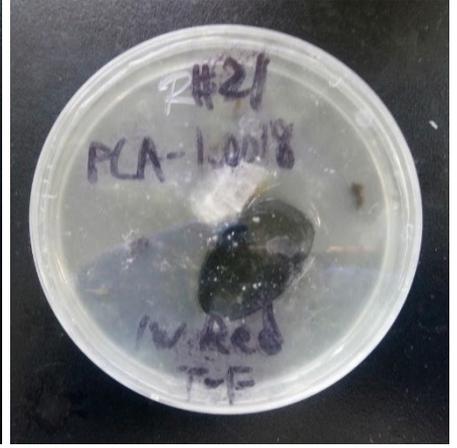
(二)、相同色光不同瓦數下，1W 的生長速率較 3W 快，如圖十一至圖十六。



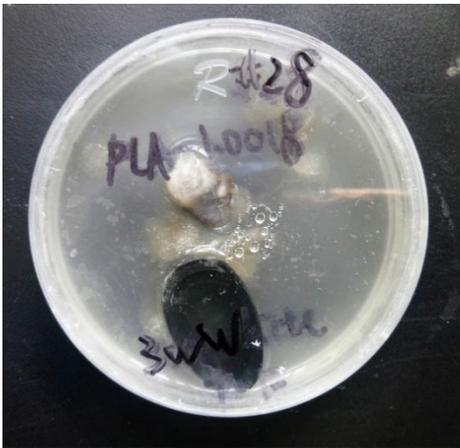
圖十一、1W 白光



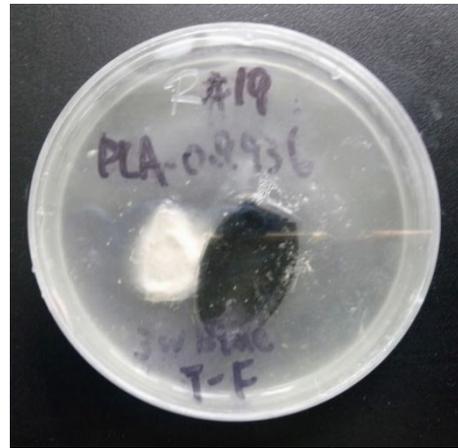
圖十二、1W 藍光



圖十三、1W 紅光



圖十四、3W 白光

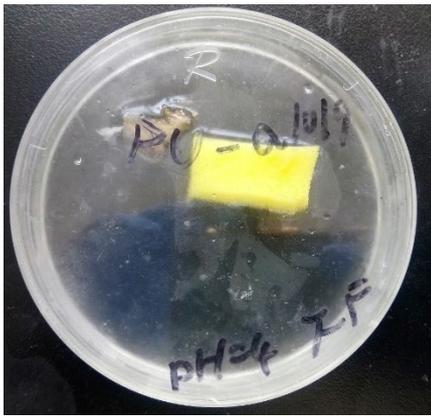


圖十五、3W 藍光

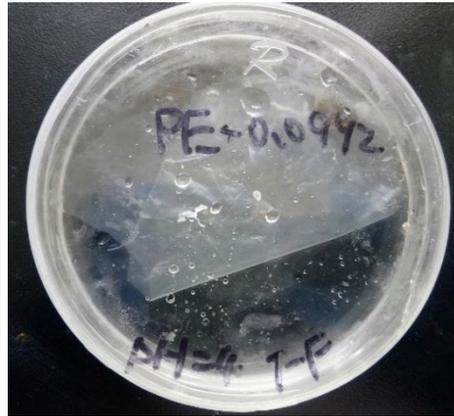


圖十六、3W 紅光

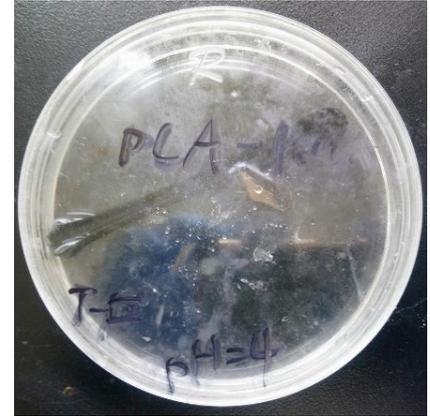
(三)、在 pH=4 及 pH=9 的環境下，*Aspergillus tubingensis* 幾乎完全無法生長，如圖十七至圖二十二。



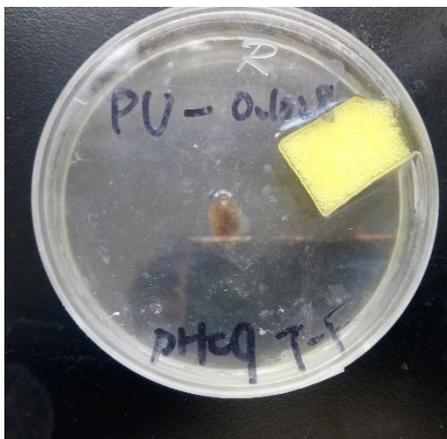
圖十七、pH=4 PU



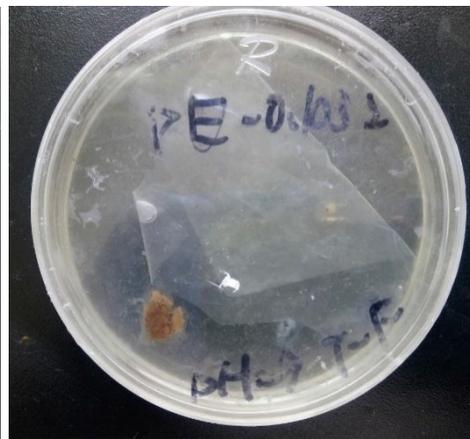
圖十八、pH=4 PE



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

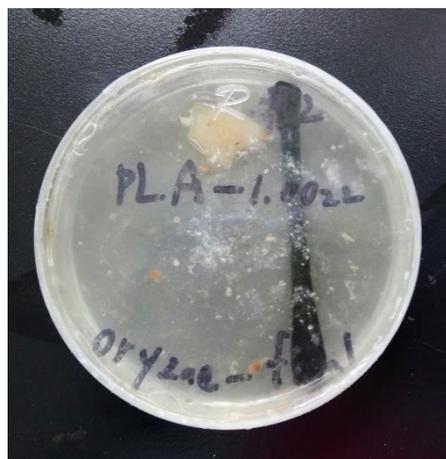
(四)、第二次測量時，在 pH=6.67 組別中，發現半數以上的 PU 組別，菌絲緊密附著在海綿上。另外有觀察到粉紅色口香糖狀物體，如圖二十三。



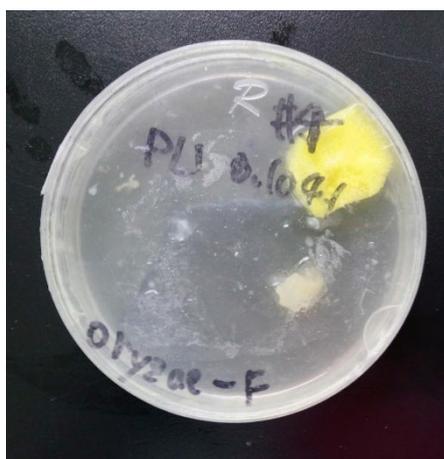
圖二十三

二、*Aspergillus oryzae* 的生長情況。

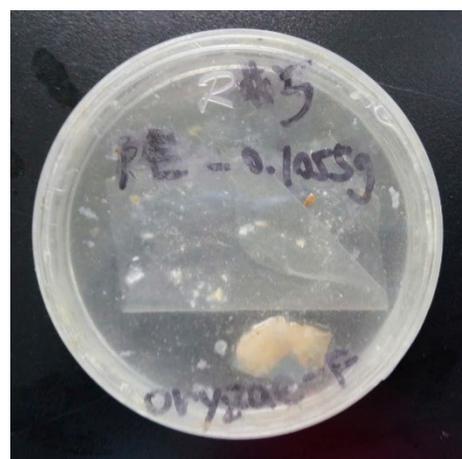
在黑暗、25.5°C 環境下，在不同塑膠存在環境下，真菌生長皆無明顯差異。



圖二十四、PLA



圖二十五、PU



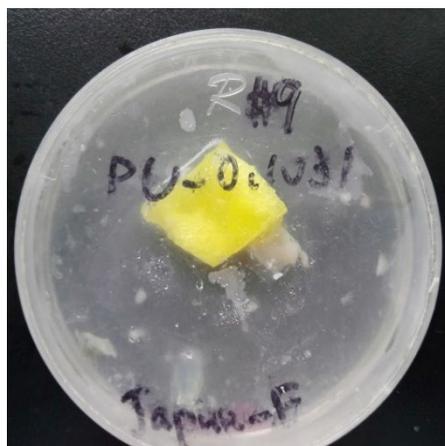
圖二十六、PE

三、*Aspergillus japonicus* 的生長情況。

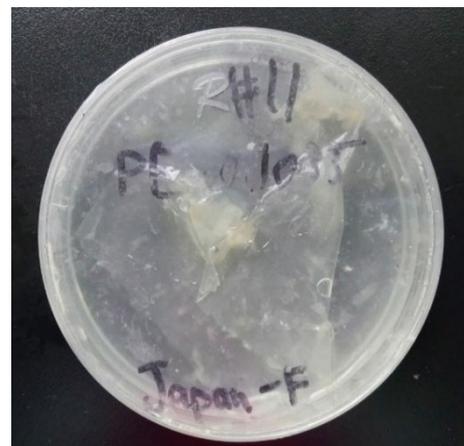
在黑暗、25.5°C 環境下，在不同塑膠存在環境下，真菌生長皆無明顯差異。



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。

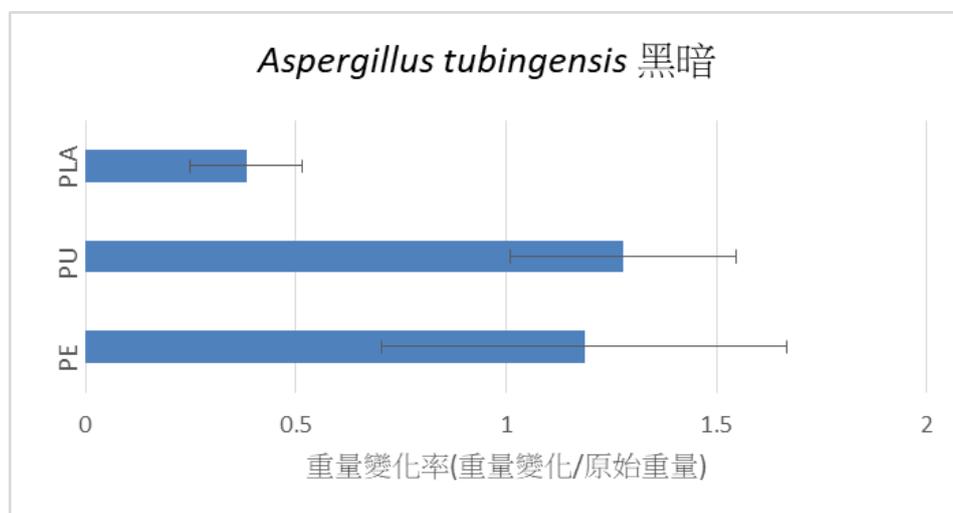
(一)、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、黑暗環境下分解塑膠之結果

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

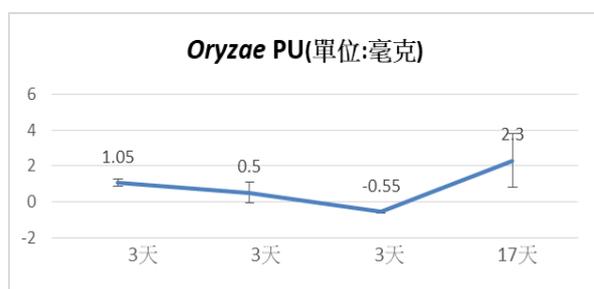
(二)、*Aspergillus oryzae* 在 25.5°C、黑暗環境下降解塑膠之結果

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

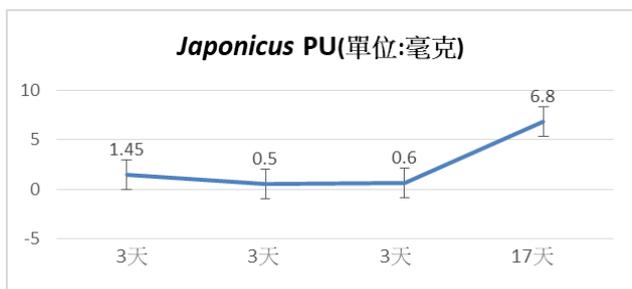
(三)、*Aspergillus japonicus* 在 25.5°C、黑暗環境下降解塑膠之結果

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

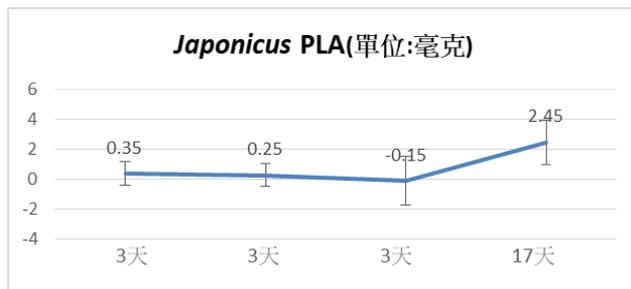
表五、*Aspergillus japonicus* 在 25.5°C、黑暗環境下降解塑膠之重量變化(單位:毫克)

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

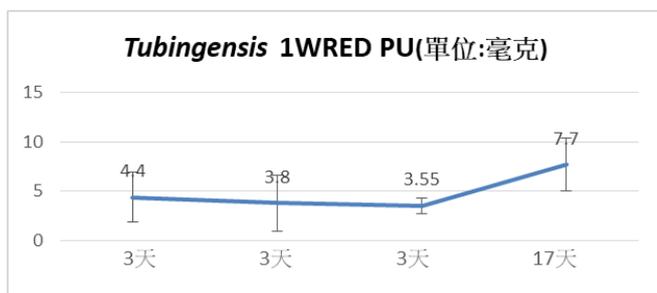
(四)、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 紅光環境下分解塑膠之結果

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

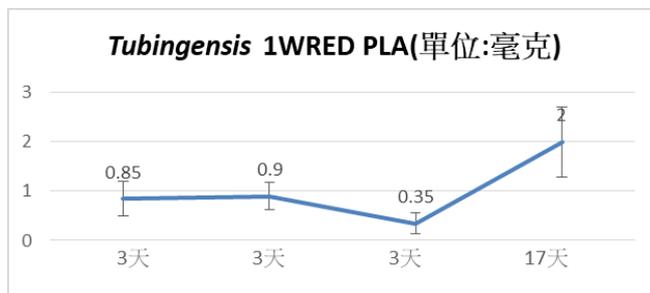
表七、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 紅光環境下分解塑膠之重量變化(單位:毫克)

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

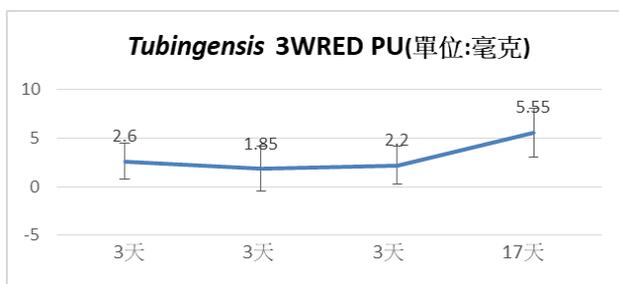
(五)、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 紅光環境下分解塑膠之結果

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

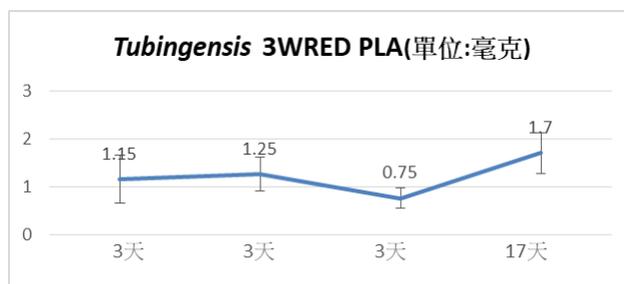
表九、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 紅光環境下分解塑膠之重量變化(單位:毫克)

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

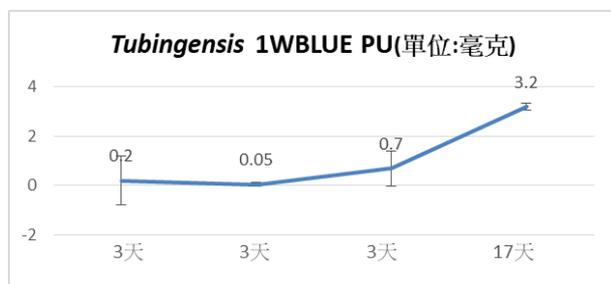
(六)、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 藍光環境下分解塑膠之結果

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

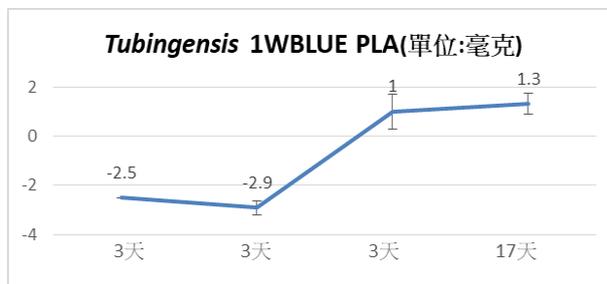
表十一、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 藍光環境下分解塑膠之重量變化(單位:毫克)

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

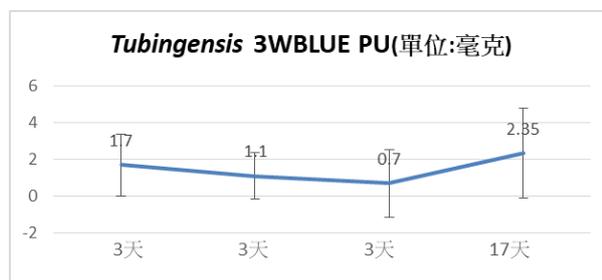
(七)、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 藍光環境下分解塑膠之結果

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

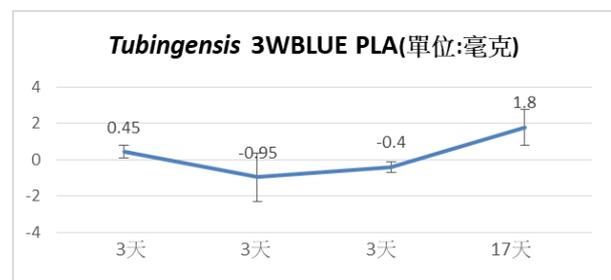
表十三、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 藍光環境下分解塑膠之重量變化(單位:毫克)

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

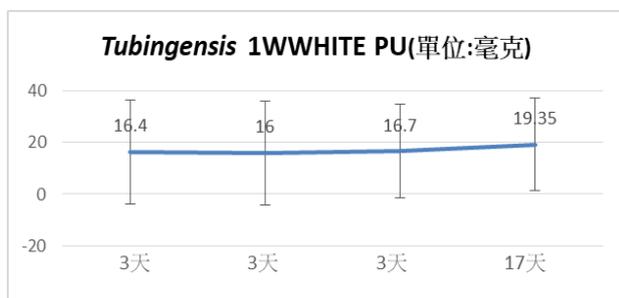
(八)、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 白光環境下分解塑膠之結果

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

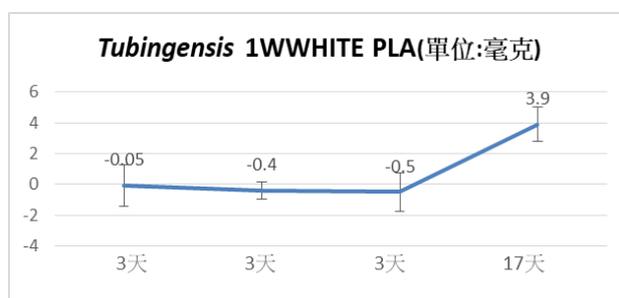
表十五、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、1W 白光環境下分解塑膠之重量變化(單位:毫克)

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

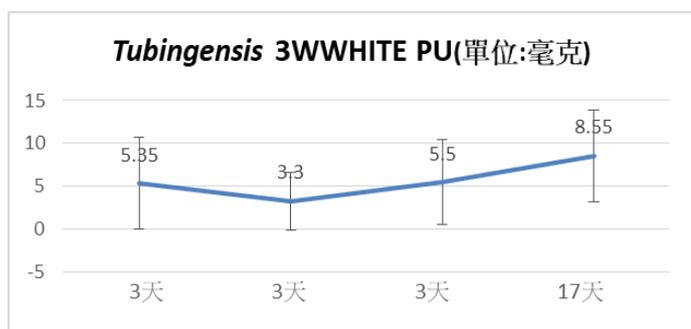
(九)、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 白光環境下分解塑膠之結果

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

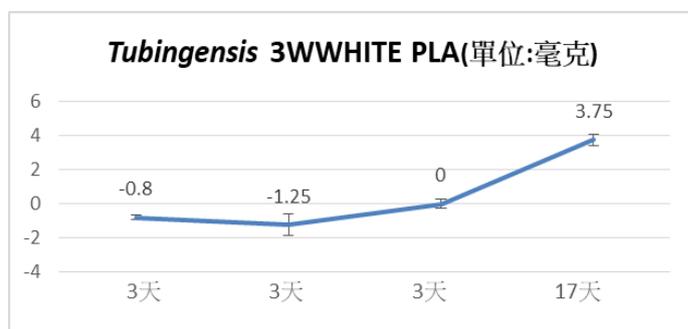
表十七、*Aspergillus tubingensis* 在 25.5°C、3W 白光環境下分解塑膠之重量變化(單位:毫克)

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

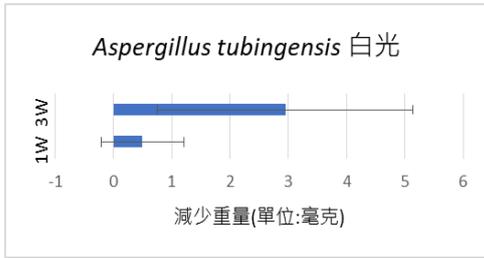


圖四十四

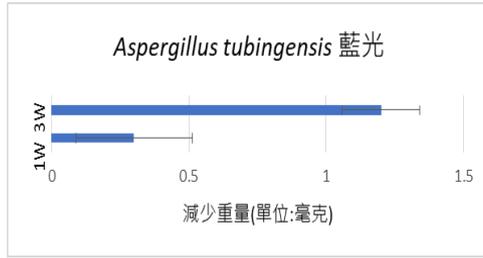
Aspergillus tubingensis 在 3W 白光下隨著時間增長與對照組相比降解 PU,PLA 的效果逐漸明顯

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

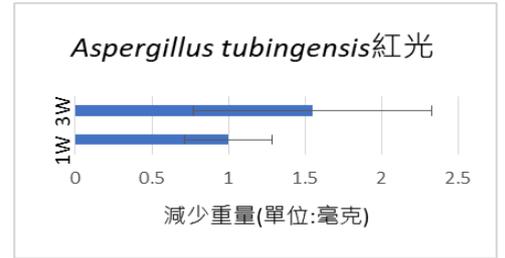
(一)、在相同色光不同瓦數情況下



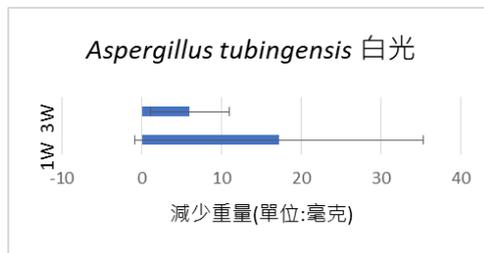
圖四十五、
PE 白光:3W>1W



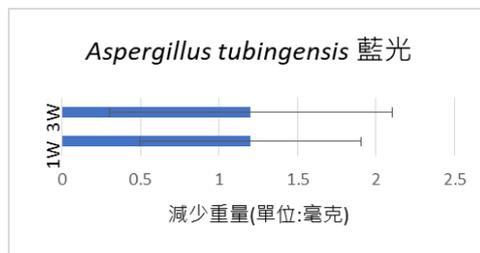
圖四十六、
PE 藍光:3W>1W



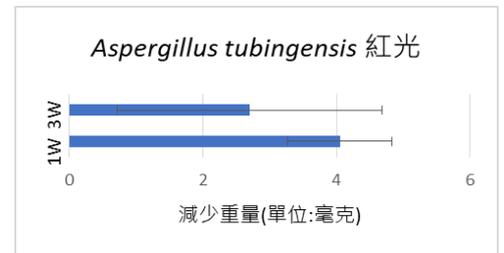
圖四十七、
PE 紅光:3W>1W



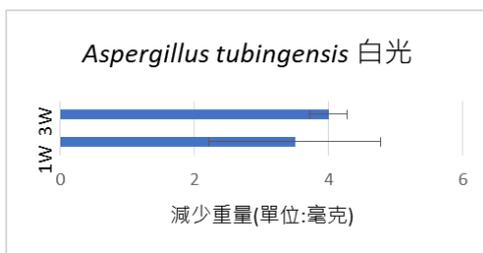
圖四十八、
PU 白光:1W>3W



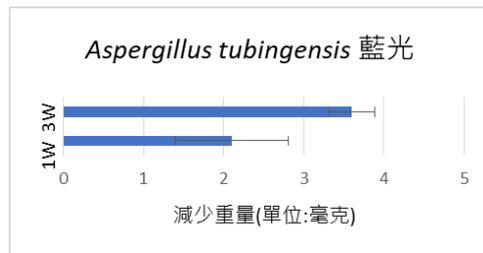
圖四十九、
PU 藍光:無明顯差異



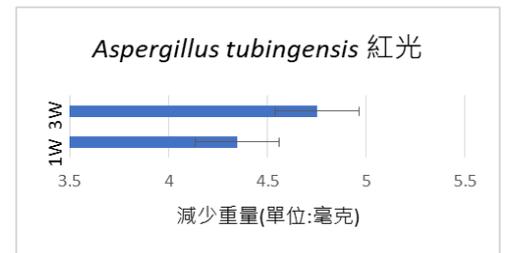
圖五十、
PU 紅光:1W>3W



圖五十一、
PLA 白光:無明顯差異

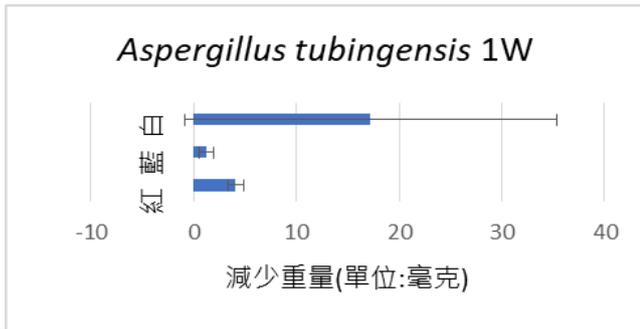


圖五十二、
PLA 藍光:3W>1W

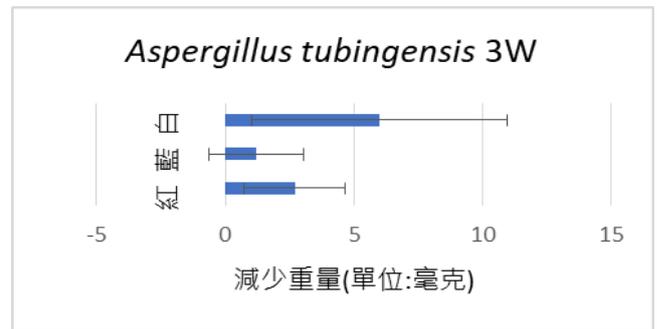


圖五十三、
PLA 紅光:3W>1W

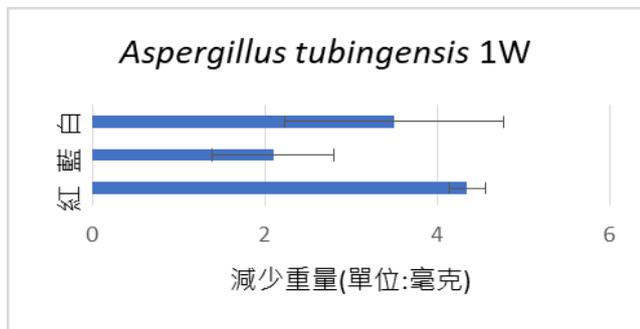
(二)、在相同瓦數不同色光的情況下
PE:有降解效果但與色光無明顯相關。



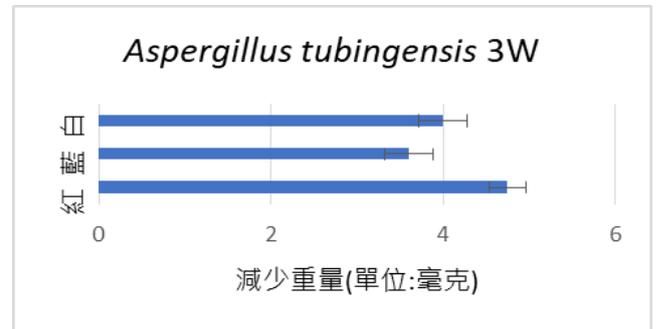
圖五十四、1W PU:白光>紅光>藍光



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。

陸、討論

一、*Aspergillus tubingensis* 的生長情況

(一)、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。

(二)、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

(一)、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，以減少對環境的汙染。

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。

(二)、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。

柒、結論

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 tubingensis* 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。

捌、參考資料及其他

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

玖、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】 052606

1. 本研究選用 *Aspergillus tubingensis*、*Aspergillus oryzae* 與 *Aspergillus japonicus* 三種真菌作為研究對象，探討是否能降解 PU、PE、PLA 三種塑膠。結果發現 *Aspergillus tubingensis* 在黑暗中與白光、紅光、藍光不同色光下，對三種塑膠具有不同降解性。
2. 本研究雖非創新性研究，但在解決塑膠廢棄物的環境議題仍具有科學應用之潛力。
3. 建議使用統計方法，進一步分析真菌在不同色光下，降解塑膠效果之顯著差異性，並進一步說明解釋可能的機制。
4. 本實驗未來若增加對 *Aspergillus oryzae* 與 *Aspergillus japonicus* 的測試資料分析，將更具創新性。

作品簡報

「塑」戰「塑」決——
Aspergillus 屬分解塑膠能力測試

高級中等學校組·環境學科

前言：研究問題

一、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%，其餘則進入自然環境中。台灣2018年塑膠袋使用量約150億個，在2009年到2019年短短十年間塑膠用量增加了22.8%，使我們十分震驚，決定為地球盡一份心力。

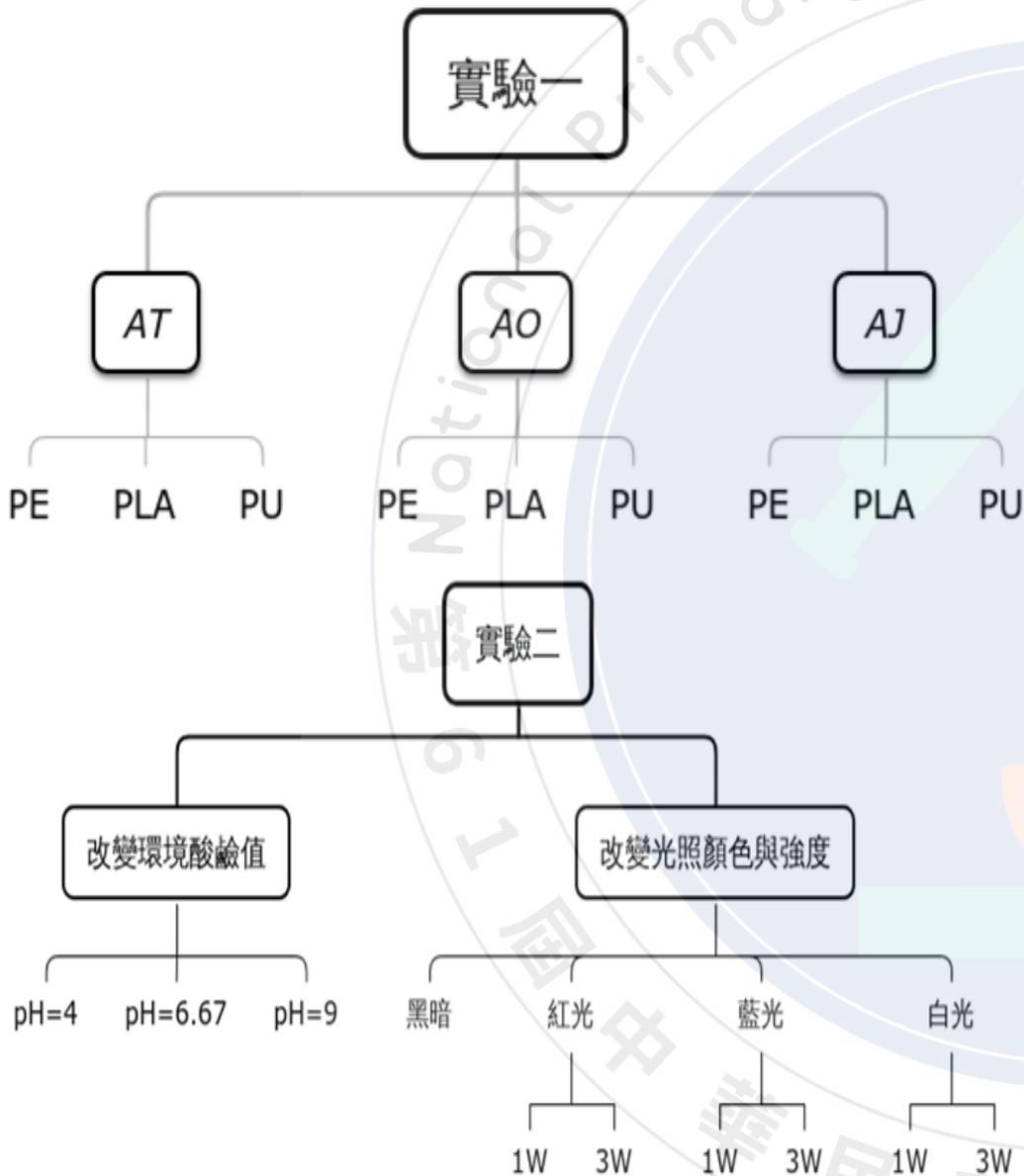
二、文獻探討

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。另外也參考第五十八屆全國科展作品-純化出可分解PLA的細菌且為新種（黃怡華等。第58屆全國科展）。

三、研究問題及目的

- (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。

研究方法



一、實驗架構如左圖。

二、實驗環境

將培養箱隔成七個隔間，用鋁箔紙隔絕光源以避免相互干擾，分別為1W、3W的白光、藍光、紅光及黑暗。

三、培養基製作

為確認菌種能在液態環境中生長良好，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。

確認菌株能在液態培養基環境中生長良好後，開始製作BSM培養基。

四、開始實驗

加入定量塑膠

培養

三天測量一次塑膠重量

(一)、使用精密天平分別秤量

$1 \pm 0.008\text{g}$ PLA、 $0.1 \pm 0.005\text{g}$ PU、 $0.1 \pm 0.006\text{g}$ PE。

(二)、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。

(三)、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。

實驗：培養在 25.5°C 環境下並觀察其降解塑膠能力。

研究結果

一、*Aspergillus tubingensis* 的生長情況

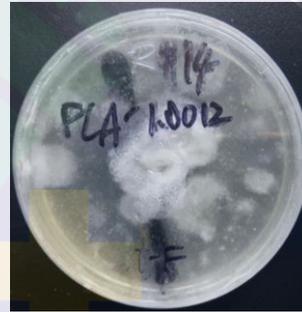
(一)、相同瓦數不同色光 白>藍>黑>紅



(1W白光)



(1W藍光)



(黑暗)



(1W紅光)

(二)、相同色光不同瓦數下 1W>3W



(1W白光)



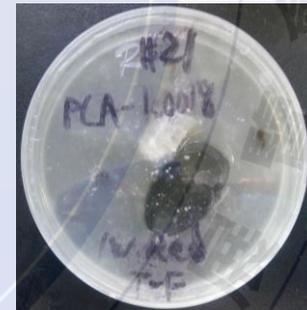
(3W白光)



(1W藍光)



(3W藍光)



(1W紅光)



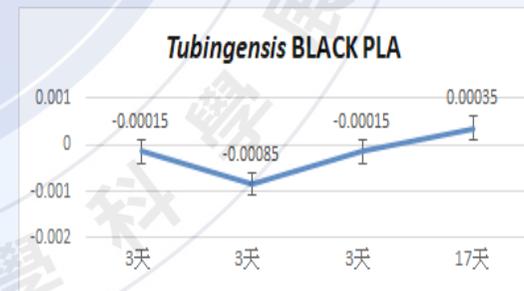
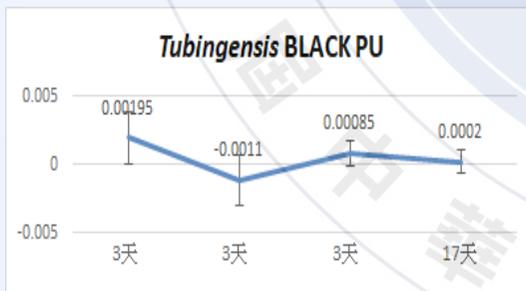
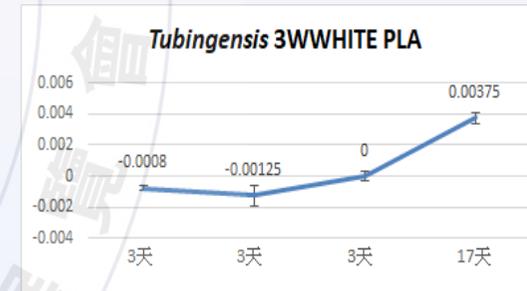
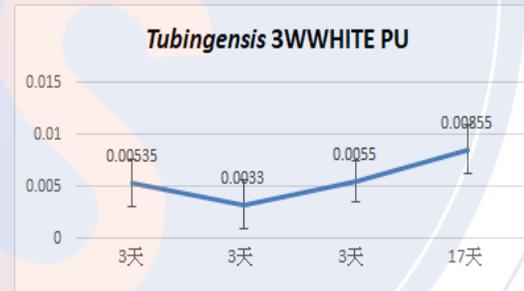
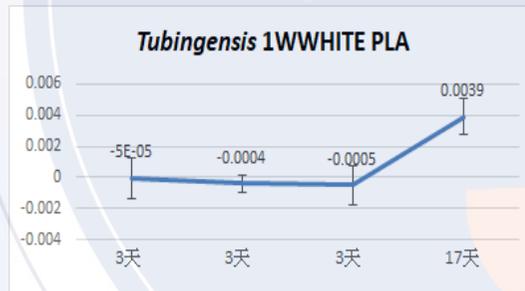
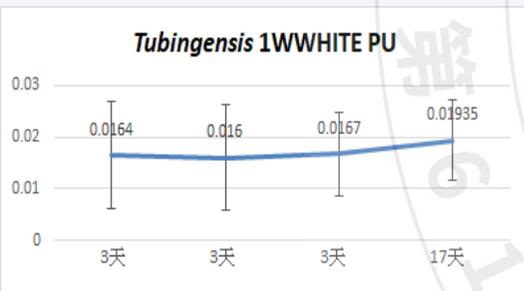
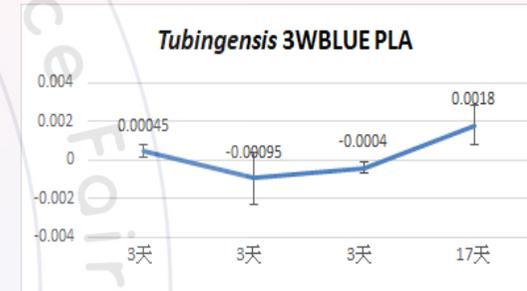
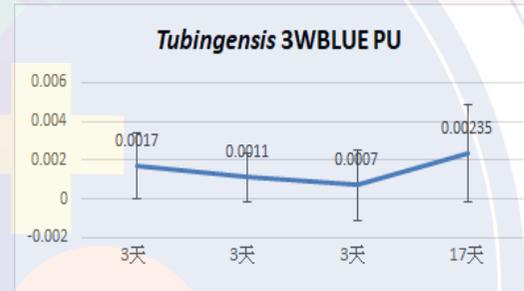
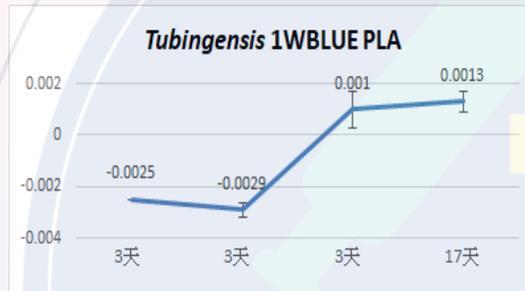
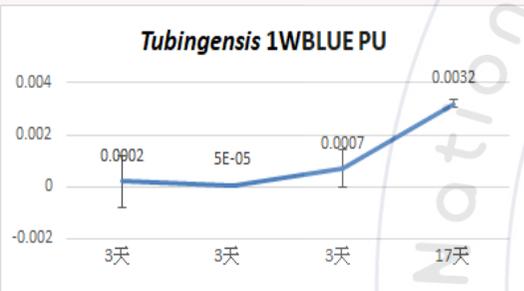
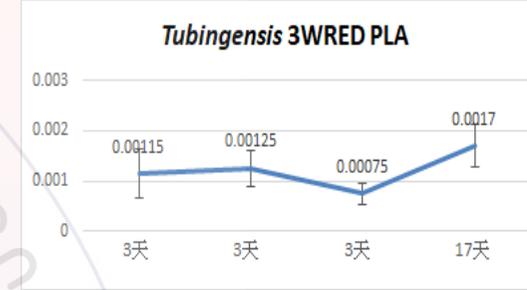
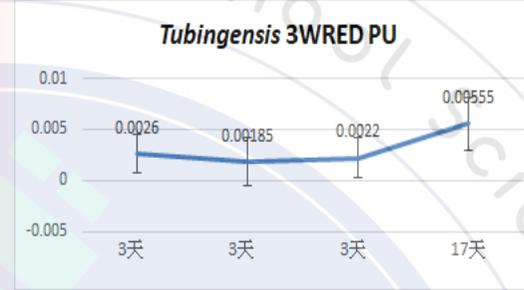
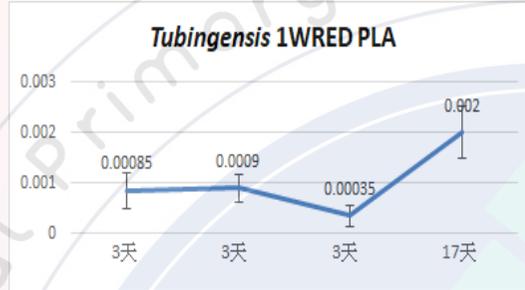
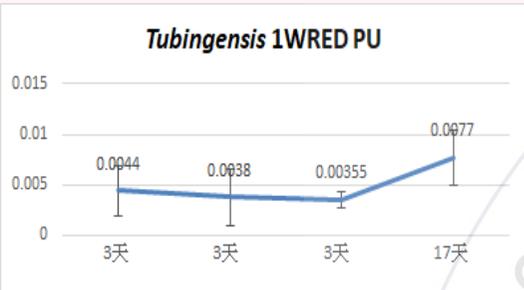
(3W紅光)

(三)、第二次測量時發現半數以上PU組別的菌絲緊密附著在海綿上。

另外還有觀察到似粉紅色口香糖狀物體。

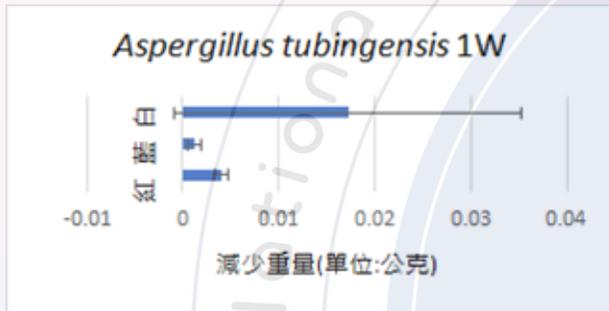
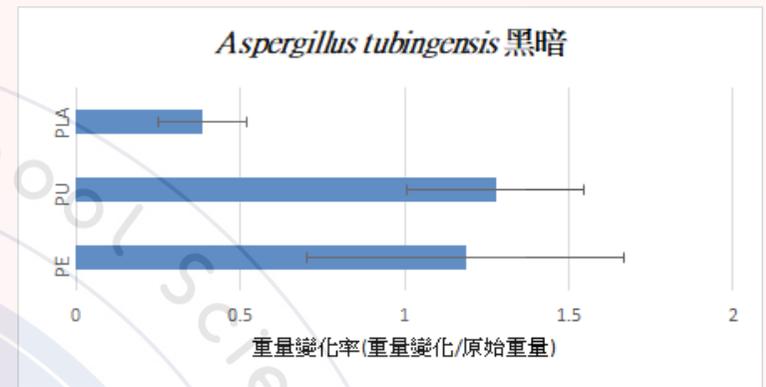


二、探討 *Aspergillus tubingensis* 在不同環境下降解塑膠的能力

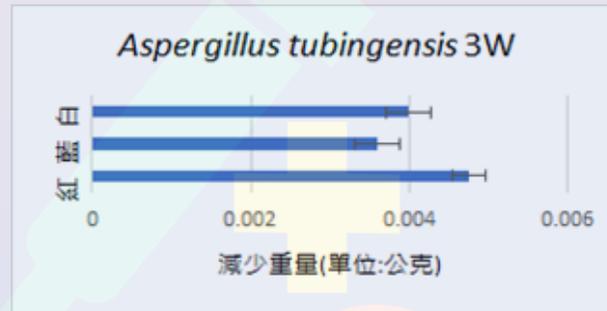


(一)、黑暗環境下AT 降解能力為PE、PU>PLA

(二)、在相同瓦數不同色光情況下，
降解PE無特別規律，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。

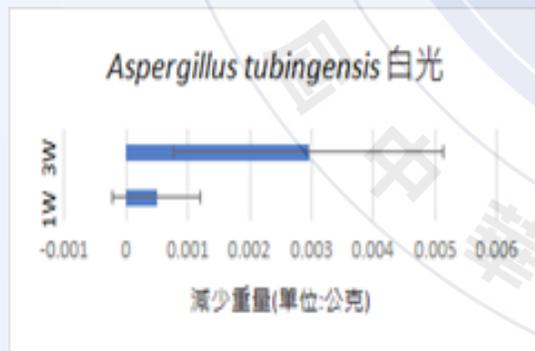


PU

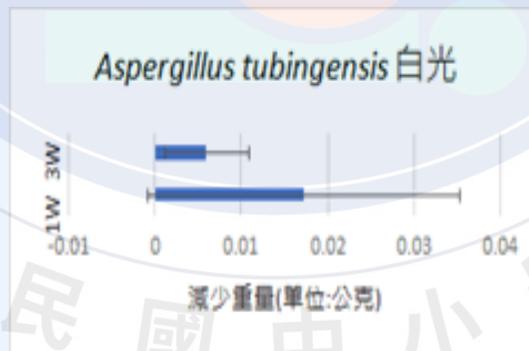


PLA

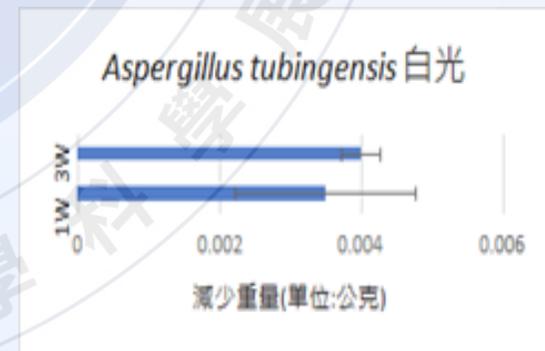
(三)、在相同色光不同瓦數情況下，
降解PE能力為3W>1W、
降解PU能力為1W>3W、
降解PLA能力為3W>1W。



PE



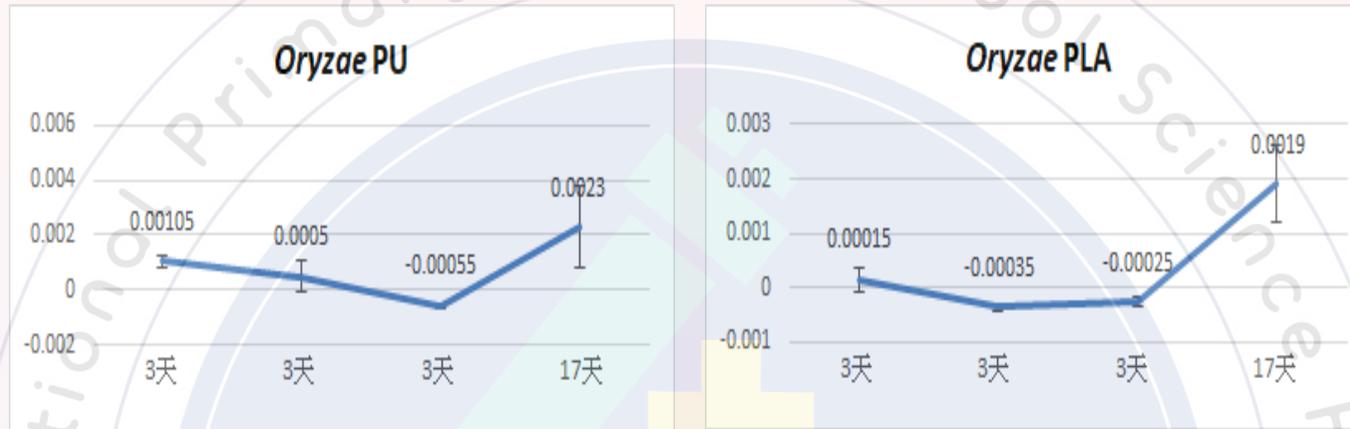
PU



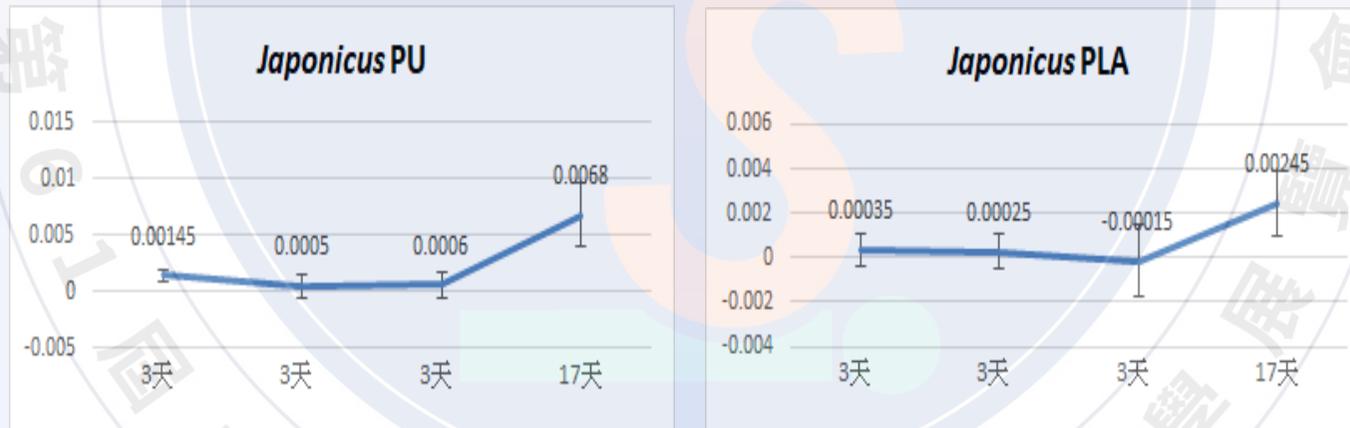
PLA

三、探討 *Aspergillus oryzae*、*Aspergillus japonicus* 在黑暗環境下降解塑膠的能力。

(一)、*AO* 有降解PU、PLA的能力



(二)、*AJ* 有降解PU、PLA的能力



研究結果解釋

一、*Aspergillus tubingensis* 的生長情況

(一)、同瓦數不同色光，白光 > 藍光 > 黑暗 > 紅光；同色光不同瓦數，1W > 3W

- 可能原因：菌株有相關的光受器、調節機制（未查到相關文獻）
- 生長速度不同，但不影響其降解塑膠的能力

(二)、第二次測量時，發現半數以上降解 PU 的組別，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。

研究結果解釋

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

(一)、黑暗環境下 *AT* 皆可一定程度降解 PE.PU.PLA (圖三十)

先前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，*AT* 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，以減少環境汙染。

在降解 PLA 的實驗中，*AT* 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，我們從文獻中 (Khan et al., 2017) 得知了 *AT* 具降解 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。

(二)、表八、表十、表十二、表十四、表十六、表十八中 *AT* 於同色光不同瓦數的條件下稍有降解 PE 效果，但數據仍不穩定，可以再繼續探討。

研究結果解釋

三、探討 *Aspergillus oryzae* 降解塑膠的能力。

- 可降解 PU 與 PLA (表四)，未來會增加數據組數以繼續探討
- 降解 PE 能力不明顯，可待後續實驗繼續探討

四、探討 *Aspergillus japonicus* 降解塑膠的能力

- 可降解 PU 與 PLA (表六)，未來會增加數據組數以繼續探討
- 降解 PE 能力不明顯，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。

結論

一、生長情況

(一)、*AT*

- 同瓦數不同色光下：白光 > 藍光 > 黑暗 > 紅光
- 同色光不同瓦數下：1W > 3W
- 在 pH=4 及 pH=9 的情況下幾乎無法生長。

(二)、*AO* 生長情形：各組大約相同。

(三)、*AJ* 生長情形：各組大約相同。

二、降解特定塑膠的能力及速率

(一)、*AT* 在黑暗環境下皆可降解 PE、PU、PLA

- 同瓦數下，降解PU：白光 > 紅光 > 藍光；
降解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，*AO* 及 *AJ* 皆可降解 PU 與 PLA

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

三、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