

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

國小組 生活與應用科學科(二)

082912

黑水虻蟲糞作為生質燃料的可行性研究

學校名稱： 臺東縣臺東市知本國民小學

作者：	指導老師：
小四 林品辰	林子殷
小四 張耘珩	程思愉

關鍵詞： 黑水虻蟲糞、碳排放、生質燃料

## 摘要

延續去年飼養黑水虻實驗，討論如何利用黑水虻處理生質廢棄物後產生的衍生物--蟲糞。在實驗中利用蟲糞和黃泥混合後製作蟲糞蜂窩煤。探討最適合的原料比例。並比較以蟲糞、木屑、煤碳為原料的燃燒顆粒，碳排放量的差異。

## 壹、前言

### 一、研究動機

去年利用釋迦果來飼養黑水虻，學習黑水虻的養殖方法，觀察瞭解黑水虻的習性，利用黑水虻處理釋迦落果。在飼養過程中確實解決了釋迦落果，並轉換成蟲體和蟲糞。蟲體可以當成飼料餵食牲畜，具有較高的經濟價值。而文獻探討後發現蟲糞除了可做肥料外，還可以做為生質燃料。因此想要探究其做成燃料的可行性。

### 二、研究目的

為找出最合適的黑水虻蟲糞與黃泥的製作比例，並比較黑水虻蟲糞與煤碳、木屑的燃燒效應，列出了三個研究目的進行探究：

研究一：測試各種不同比例黑水虻蟲糞蜂窩煤的耐用性。

研究二：比較各種不同比例黑水虻蟲糞蜂窩煤的燃燒效能。

研究三：比較黑水虻蟲糞、煤碳、木屑的碳排放量。

### 三、文獻探討

#### (一)黑水虻蟲糞（虻糞）

虻糞會隨著飼養黑水虻食物材料基質的不同，具有不同的料源特性，依其料源特性可將虻糞利用做為肥料化、能源化、材料化和飼料化之應用。將虻糞直接做為土壤改良資材使用，或堆肥化製成有機質肥料，提供作物生產栽培所需營養或改善土壤物化性質使用，即肥料化應用；將虻糞直接固化造粒製成固態衍生性燃料燃燒發電，即能源化應

用(有機質含量達 81.8%)；將蚯糞轉化為生物降解材料或直接做為栽培介質材料，如一次性包材或栽培板材，即材料化應用，將蚯糞直接或間接藉由混拌、青貯或氨化等調製處理，製成動物飼料使用，即飼料化應用。(梁世祥、李佳馨、廖曉涵、王思涵，2020)

## (二)生質燃料

是指由富含有機物的生物質 (Biomass：活著或剛死去的有機體中，能夠當做燃料或者工業原料的物質) 組成，由其萃取出的固體、液體或氣體，可做為產生能源的燃料。例如：木屑、稻桿、炭屑、動物糞便、沼氣等。

## (三)蜂窩煤

是一種由煤和黃泥做成的蜂窩狀煤塊，曾經是東亞許多居民的主要家用燃料。人們將煤塊做成蜂窩狀，是要讓煤在燃燒過程中，增加煤與氧氣的接觸面積，使煤燃燒更充分。因其外形有多孔洞類似蜂窩狀，故名蜂窩煤。而在蜂窩煤裡加入黃泥的原因，是因為煤炭是粉狀的，即便是用水濕潤後，也是不易成型，加入黃泥是為了起到黏著塑型的作用。其次是可以增加蜂窩煤的燃燒時間。煤炭加入了黃泥所製作的蜂窩煤就能燃燒更長一段時間。燃燒完後蜂窩煤也會因黃泥保持塊狀不會散成粉狀，方便清理。

近年來人們也會以蜂窩煤的製作原理，以牛糞、木屑等生質燃料代替煤，製成蜂窩煤來當燃料，效果也很不錯。

## (四)碳排放

碳排放是指所有溫室氣體排放量，其中二氧化碳占絕大多數，因此常被稱為「碳排放」。它主要來自於燃燒化石燃料和人類活動，導致全球氣溫上升，加速氣候變遷，引發極端氣候事件和生態系統破壞。

## 貳、研究設備及器材



煤碳



黑水虻蟲糞（蛇糞）



木屑



黃泥



針筒(壓條器)



蜂窩煤機



蠟



燒杯



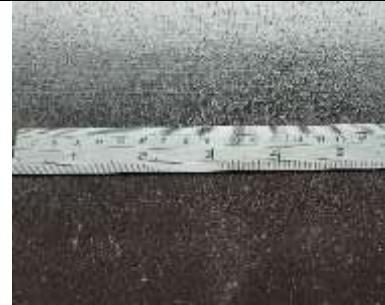
燒杯架



溫度計



電子秤



尺



打火機



鐵罐



燃燒罐



量勺



研磨機



篩網



烤箱



烘焙紙



塑膠盆

(圖片來源：自行拍攝)

## 參、研究過程

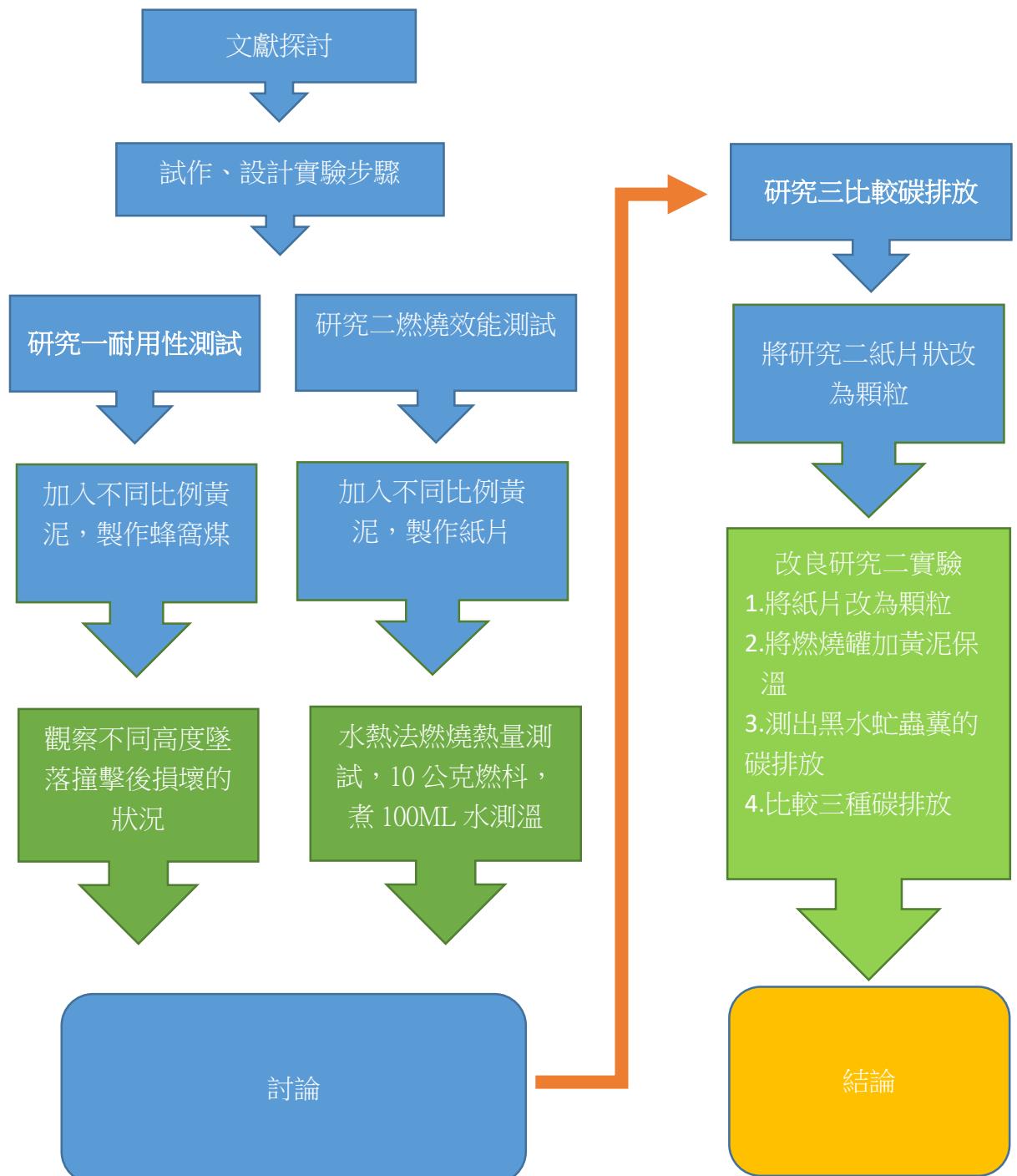


圖 3-1 研究架構 (圖片來源：自行繪製)

## 研究一：耐用性測試

由於黑水虻蟲糞的黏著性能很低，如果只是單獨加水後還是無法塑型，很容易散開。而做出的蜂窩煤需要能承受運送和便用過程中的碰撞持不損壞。因此加入黃泥是為了起到黏著作用，此實驗測試加入不同比例黃泥後黑水虻蟲糞蜂窩煤的耐用性。

一、實驗目的：找出黑水虻蟲糞與黃泥混合製成蜂窩煤中，最能兼顧可塑性與耐用性的比例組合。

二、實驗材料：黑水虻蟲糞、黃泥、水、蜂窩煤模具（蜂窩煤機）、尺、塑膠盆

三、實驗步驟：

(一)製作蜂窩煤：

將蟲糞和黃泥以不同比例製作成蜂窩煤在文獻上查出，一般蜂窩煤中泥和煤的比例大多為 2 : 8，因此此次實驗設定以 2 : 8 為中心比例，再增加前後各兩組，總共五組來做比較。(此實驗為體積比)

表 3-1 蜂窩煤製作步驟（圖片來源：自行拍攝）



1、混合原料：(0 : 10、1 : 9、2 : 8、3 : 7、4 : 6)

將收集的蟲糞和黃泥以一定比例拌成一堆，混合均勻。



2、加水拌勻：

視混合物乾濕狀況，逐量加水並充分攪拌至可塑狀態（能壓模成型為準）



3、製作蜂窩煤：

把蜂窩煤機按壓在原物堆上，砸實後把蜂窩煤壓實後脫模。



4、曬乾：

夏季：於陽光下曝曬約 1 週

冬季：放置陰涼通風處晾乾 2~3 週

## (二)墜落法測試：

- 1、將製成的蟲糞蜂窩煤置於預定高度（例如：10 cm、20 cm、30 cm）。
- 2、使其自然落下至硬質地面（如水泥地板），模擬實際搬運或使用時的碰撞情境。
- 3、觀察蜂窩煤落地後的破壞情形。
- 4、根據下列評分標準進行紀錄與分類。
- 5、設計實驗觀察結果，將撞擊後的情形，分門別類給分，最後統計分數。

數值	撞擊後的情形
3	撞擊時無變化
2	擊時有碎屑飛出
1	撞擊時示有裂痕產生
0	撞擊時裂開或損毀

表 3-2 墜落法測試步驟（圖片來源：自行拍攝）



- 
- 1、將蟲糞蜂窩煤放置於測試高度，從不同高度掉落，
  - 2、觀察蟲糞蜂窩煤落下的狀況。
-

## 研究二：燃燒效能測試——水熱法燃燒熱量測試

研究不同比例黑水虻蟲糞做出的紙的燃燒效能。因為如果使用黑水虻蟲糞蜂窩煤直接燃燒需要很長時間，且不好測量所產生的熱能。所以以不同黃泥黑水虻蟲糞做成的紙來燃燒，以方便測量。

一、實驗目的：找出蟲糞和黃泥燃燒的最好效能比例。

二、實驗材料：不同黃泥比例的黑水虻蟲糞紙片、燒杯、水、溫度計、燒杯架、鐵罐、電子秤、蠟、打火機

三、實驗步驟：

(一) 製作紙片狀燃料

表 3-3 製作紙片狀燃料步驟（圖片來源：自行拍攝）



1、混合原料：

將收集的蟲糞和黃泥以一定比例拌成一堆，混合均勻。



2、加水拌勻：

視混合物乾濕狀況，逐量加水並充分攪拌至可塑狀態（能壓模成型為準）



3、製作紙片：

在紙箱上撒上泥粉防沾，再將定量混合物攤平成紙狀。



4、曬乾：

夏季：於陽光下曝曬約 1 週

冬季：放置陰涼通風處晾乾 2~3 週

## (二)水熱法燃燒熱量測試

表 3-4 水熱法燃燒熱量測試步驟（圖片來源：自行拍攝）



1、先量 10 公克



2、放置在燃料杯中



3、燒杯裝水 100 毫升置於燒杯架上



4、測量未加溫的水溫



5、將蟲糞點燃後放放燒杯架下



6、等蟲糞燒完後再量一次水的溫度

### 研究三：比較黑水虻蟲糞、煤碳、木屑的碳排放量

本實驗以三種原料（煤碳、黑水虻蟲糞、木屑）各 10 公克為單位，進行燃燒與熱量測量，結合已知熱值與碳排放係數來估算二氧化碳排放量，進行比較分析，探討可替代性生質能源的效果。

#### 一、比較黑水虻蟲糞、煤碳、木屑的碳排放量。

#### 二、實驗原理

1. 各種燃料燃燒時會釋放不同熱量與  $\text{CO}_2$  排放。
2. 熱值（燃燒產生能量）和碳排放具有正相關。
3. 根據各燃料碳排放係數或碳含量，可估算其  $\text{CO}_2$  排放。
4. 以相同質量（10g）下的燃燒熱量與碳排進行比較。

#### 三、實驗器材：煤碳、黑水虻蟲糞、木屑樣本各 10g、燒杯、水、溫度計、燒杯架、鐵罐、電子秤、蠟、打火機

#### 四、實驗步驟：

##### （一）製作燃燒顆粒

表 3-5 燃燒顆粒製作步驟（圖片來源：自行拍攝）



1、將原料打粉



2、將原料用篩子過篩，讓原料大小均勻



2、混合原料：(10公克原料2公克黃泥)

將收集的蟲糞和黃泥以一定比例拌成一堆，混合均勻。



3、加水拌勻：

視混合物乾濕狀況，逐量加水並充分攪拌至可塑狀態（能壓模成型為準）



4、製作顆粒：

將針筒前端切除，填入原料後擠壓出條狀。



5、烘乾：

因夏季於陽光下需曝曬約1週左右，為節省時間並確認實驗物的乾燥程度，因此使用烤箱以80度烘烤一小時。

## (二) 燃燒效能測試—水熱法燃燒熱量測試

1. 分別取10公克煤碳、黑水虻糞、木屑樣本。
2. 在裝水的金屬容器下方燃燒樣本，記錄燃燒時間及水溫變化。
3. 計算每種燃料釋放的熱量。
4. 對照其碳排放係數或碳含量，估算CO<sub>2</sub>排放量。
5. 將三種燃料的熱量與碳排放結果進行比較分析。

## 肆、研究結果與討論

### 研究一：耐用性測試

一、按撞擊的程度給予數值區別

數值	撞擊後的情形
3	撞擊時無變化
2	擊時有碎屑飛出
1	撞擊時示有裂痕產生
0	撞擊時裂開或損毀

二、依不同高度墜落撞擊結果記錄，加總不同比例之耐用性指數。

表 4-1 蟲糞蜂窩煤墜落損毀程度表

墜落高度	0%泥+100%糞	10%泥+90%糞	20%泥+80%糞	30%泥+70%糞	40%泥+60%糞
10cm	0	3	3	3	2
20cm	0	2	2	2	2
30cm	0	2	2	2	2
40cm	0	2	2	2	2
50cm	0	2	2	1	1
耐用性指數	0	11	11	10	9

三、實驗結果

(一)耐用性優劣： $10\% \text{泥} = 20\% \text{泥} > 30\% \text{泥} > 40\% \text{泥} > 0\% \text{泥}$

(二)我們在實驗中發現隨著黃泥的份量越多，蜂窩煤越重，質地也會越堅硬，但也會變脆沒有彈性。

(三)蟲糞本身沒有黏著性，因此 100%的蟲糞沒法塑型。

## 研究二：燃燒效能測試

在前期的試驗中發現，黑水虻蟲糞中雖然含有 80%以上的有機質，但做成蜂窩煤後，依然很難將其點燃，在查閱檔後發現，需要增加助燃劑幫助蜂窩煤點燃。因此在正式實驗時添加蠟來作為助燃劑。再者由於整塊蜂窩煤燃燒後時間過長，不方便測量。所以燃燒實驗改為每次以不同比例的片狀蜂窩煤 10 公克來代替。

表 4-2 蟲糞蜂窩煤燃燒效能表

試次	起始水溫 (°C)	終點水溫 (°C)	ΔT (°C)	平均上升溫度	熄火次數
0%泥+100%糞	24	71	47	48.2°C	0
	24	74	50		2
	24	69	45		1
	24	73	49		2
	24	74	50		2
10%泥+90%糞	24	62	38	35.8°C	2
	24	61	37		3
	24	59	35		5
	24	59	35		5
	24	58	34		4
20%泥+80%糞	24	53	29	31°C	7
	24	55	31		7
	24	56	32		9
	24	56	32		8
	24	55	31		9
30%泥+70%糞	24	45	21	19.2°C	15
	24	43	19		16
	24	44	20		15
	24	41	17		17
	24	43	19		15
40%泥+60%糞	24	24	0	0	無法燃燒
	24	24	0		無法燃燒
	24	24	0		無法燃燒
	24	24	0		無法燃燒
	24	24	0		無法燃燒

### 一、實驗結果

(一) 燃燒效能優劣：0%泥 > 10%泥 > 20%泥 > 30%泥 > 40%泥

(二) 實驗中我們發現 蟲糞含量越多越好燒，相反黃泥越多越燒不起來，熄火次數也越多，因此 溫度就較低。而含黃泥 40%以上就無法升火。

### 研究三：比較黑水虻蟲糞、煤碳、木屑的碳排放量

#### 一、實驗結果

##### 熱值計算公式

水的比熱容 (specific heat capacity) 是  $4.18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$ 。這表示要讓 1 克的水的溫度升高 1 摄氏度，需要 4.18 焦耳的能量。

$$\text{吸收熱量 } Q : Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

- $m=100 \text{ g}$  (水重)
- $c=4.18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- $\Delta T=\text{最終水溫}-\text{初始水溫}$

表 4-3 煤碳燃燒實驗紀錄表

試次	起始水溫 ( $^\circ\text{C}$ )	終點水溫 ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^\circ\text{C}$ )	熱量 $Q$ (kJ)
1	30	100	70	29.26
2	30	99	69	28.84
3	30	100	70	29.26
4	30	101	71	29.68
5	30	100	70	29.26
平均值				29.26

表 4-4 木屑燃燒實驗紀錄表

試次	起始水溫 ( $^\circ\text{C}$ )	終點水溫 ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^\circ\text{C}$ )	熱量 $Q$ (kJ)
1	30	70	40	16.72
2	30	71	41	17.13
3	30	72	42	17.56
4	30	70	40	16.72
5	30	71	41	17.13
平均值				17.05

表 4-5 黑水虻糞燃燒實驗紀錄表

試次	起始水溫 (°C)	終點水溫 (°C)	$\Delta T$ (°C)	熱量 Q (kJ)
1	30	61	31	12.96
2	30	61	31	12.96
3	30	62	32	13.38
4	30	63	33	13.79
5	30	62	32	13.38
平均值				13.29

表 4-6 不同燃料的碳排放係數

燃料	CO <sub>2</sub> 排放係數 (g/kJ)
煤炭	0.094
木屑	0.075
黑水虻糞	0.071

資料來源：環境部於中華民國 113 年 2 月 5 日依環部授氣字第 1139101231 號公告「溫室氣體排放係數」

$$\text{碳排放量 (g)} = \text{燃料產生的能量 (kJ)} \times \text{CO}_2 \text{ 排放係數 (g/kJ)}$$

表 4-7 以熱值與碳排放係數換算每單位熱能所排放的 CO<sub>2</sub>

原料	燃料使用量 (g)	平均熱量 (kJ)	CO <sub>2</sub> 排放 / kJ (g/kJ)	碳排放量 (g)	評價
煤碳	10	29.26	0.094	2.75	高熱值／高碳
木屑	10	17.05	0.071	1.21	中熱值／中碳
黑水虻糞	10	13.29	0.075	0.99	低熱值／低碳

表 4-8 結論比較

比較指標	最佳者	原因說明
熱值最高	煤碳	每單位質量釋放最多能量 (29.26kJ/10g)
碳排最少	黑水虻糞	同樣質量燃料產生的 CO <sub>2</sub> 最少 (0.99g)
永續與環保性	黑水虻糞、木屑	屬於生質資源，可再生，不用開採化石燃料

- 1 · 黑水虻糞雖熱值較低，但因來自有機廢棄物（廚餘處理副產物），碳排量低、來源永續，是兼具環保與再利用價值的綠色燃料。
- 2 · 煤碳雖擁有極高熱值，但碳排放量過大，應逐步由生質或再生能源取代。

## 伍、結論

- 一、從實驗可知蟲糞的比例越多燃燒效能越好，但還是需要黃泥來塑型。而黃泥比例在 10% 時就足以滿足塑型的效能。因此可得到黃泥 10%+蟲糞 90% 是最適合的比例。
- 二、本實驗中用黑水虻蟲糞和黃泥來製作蜂窩煤，不是很理想的搭配方式，在燃燒的過程中常常會熄滅，需要重複點燃，使用不方便。在文獻中有找到可以利用澱粉(麵粉、樹薯粉、地瓜粉等)來替代黃泥當黏著劑，而澱粉本身也是可以燃燒，所以可以增加其可燃性。但使用澱粉成本又會增加，且燃燒後會全部化為灰燼，不似黃泥為原料的可以整個夾起方便清理。
- 三、本次燃燒實驗時為方便起火，需加入蠟為助燃劑，所以在測量燃燒效能時，前期的溫度上升，一部份熱能是來自於蠟，而非黑水虻蟲糞，這會造成實驗誤差，需避免或是將其也列入成份計算。
- 四、文獻探討時有發現利用造粒機來製造木屑顆粒燃燒，成效頗高。如果有造粒機就可以 100% 利用蟲糞來製作生質能燃料，燃燒效能應該也能有較好的表現。
- 五、透過實驗比較可得：黑水虻糞作為替代燃料，不僅碳排放量顯著較低，且具再生性與資源循環優勢，適合發展為綠色能源。

## 陸、參考文獻資料

- 一、朱芬 2019，黑水虻 Black soldier fly，中國農業科學技術出版社。
- 二、梁世祥，2014，黑水虻研發成果報告，台灣畜產所，新竹分所。
- 三、梁世祥;李佳馨;廖曉涵;王思 2020，特刊第 141 號\_6\_虻糞生產技術及其應用，行政院農業委員會畜產試驗所。
- 四、簡浩原、蔡元睿、梁軒章、魯天辰何、奕菲。”啡”比尋常～研究咖啡渣紙容器之環保實用表現。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書（編號：082931）。
- 五、劉冠妤、鄭元皓、吳欣融、張 澤、莊凱歲、陳為京。『渣』很大—殼殼渣渣站起來—探討椰子殼、茶渣、甘蔗渣等廢棄物再利用。中華民國第 49 屆中小學科學展覽會 作品說明書（編號：080804）。

## 【評語】082912

1. 延續去年利用釋迦果飼養黑水虻實驗，研究者討論如何利用黑水虻處理生質廢棄物後產生的衍生物—蟲糞，研究主題明確。
2. 具實用價值，亦具環保意義。黑水虻糞作為替代燃料，不僅碳排放量顯著較低，且具再生性與資源循環優勢，適合發展為綠色能源。
3. 摘要太短，應該對結果有精簡的敘述。
4. 依實驗結果未優於其他市售商品。可能因其碳元素比例低，運用有先天之不足，可考慮往其他方向應用。

作品海報

# 黑水虻蟲糞作為生質燃料 的可行性研究



圖片來源：由指導老師拍攝



圖片來源：由指導老師拍攝

## 摘要

延續去年飼養黑水蛇實驗，討論如何利用黑水蛇處理生質廢棄物後產生的衍生物—蟲糞。在實驗中利用蟲糞和黃泥混合後製作蟲糞蜂窩煤。探討最適合的原料比例。並比較以蟲糞、木屑、煤碳為原料的燃燒顆粒，碳排放量的差異。

## 壹、研究動機

去年利用釋迦果來飼養黑水蛇，學習黑水蛇的養殖方法，觀察瞭解黑水蛇的習性，利用黑水蛇處理釋迦落果。在飼養過程中確實解決了釋迦落果，並轉換成蟲體和蟲糞。蟲體可以當成飼料餵食牲畜，具有較高的經濟價值。而文獻探討後發現蟲糞除了可做肥料外，還可以做為生質燃料。因此想要探究其做成燃料的可行性。

## 貳、研究目的

- 研究一：測試各種不同比例黑水蛇蟲糞蜂窩煤的結構耐用性
- 研究二：比較各種不同比例黑水蛇蟲糞蜂窩煤的燃燒效能
- 研究三：比較黑水蛇蟲糞、煤碳、木屑的碳排放量。

## 參、文獻探討

### 一、黑水蛇蟲糞（蛇糞）

蛇糞會隨著餵養黑水蛇食物材料基質的不同，具有不同的料源特性，依其料源特性可將蛇糞利用做為肥料化、能源化、材料化和飼料化之應用。將蛇糞直接做為土壤改良資材使用，或堆肥化製成有機質肥料，提供作物生產栽培所需營養或改善土壤物化性質使用，即肥料化應用；將蛇糞直接固化造粒製成固態衍生性燃料燃燒發電，即能源化應用(有機質含量達81.8%)；將蛇糞轉化為生物降解材料或直接做為栽培介質材料，如一次性包材或栽培板材，即材料化應用，將蛇糞直接或間接藉由混拌、青貯或氣化等調製處理，製成動物飼料使用，即飼料化應用。

(梁世祥、李佳馨、廖曉涵、王思涵，2020)

### 二、碳排放

碳排放是指所有溫室氣體排放量，其中二氧化碳占絕大多數，因此常被稱為「碳排放」。它主要來自於燃燒化石燃料和人類活動，導致全球氣溫上升，加速氣候變遷，引發極端氣候事件和生態系統破壞。

## 三、生質燃料

是指由富含有機物的生物質(Biomass：活著或剛死去的有機體中，能夠當做燃料或者工業原料的物質)組成，由其萃取出的固體、液體或氣體，可做為產能源的燃料。例如：木屑、稻桿、炭屑、動物糞便、沼氣等。

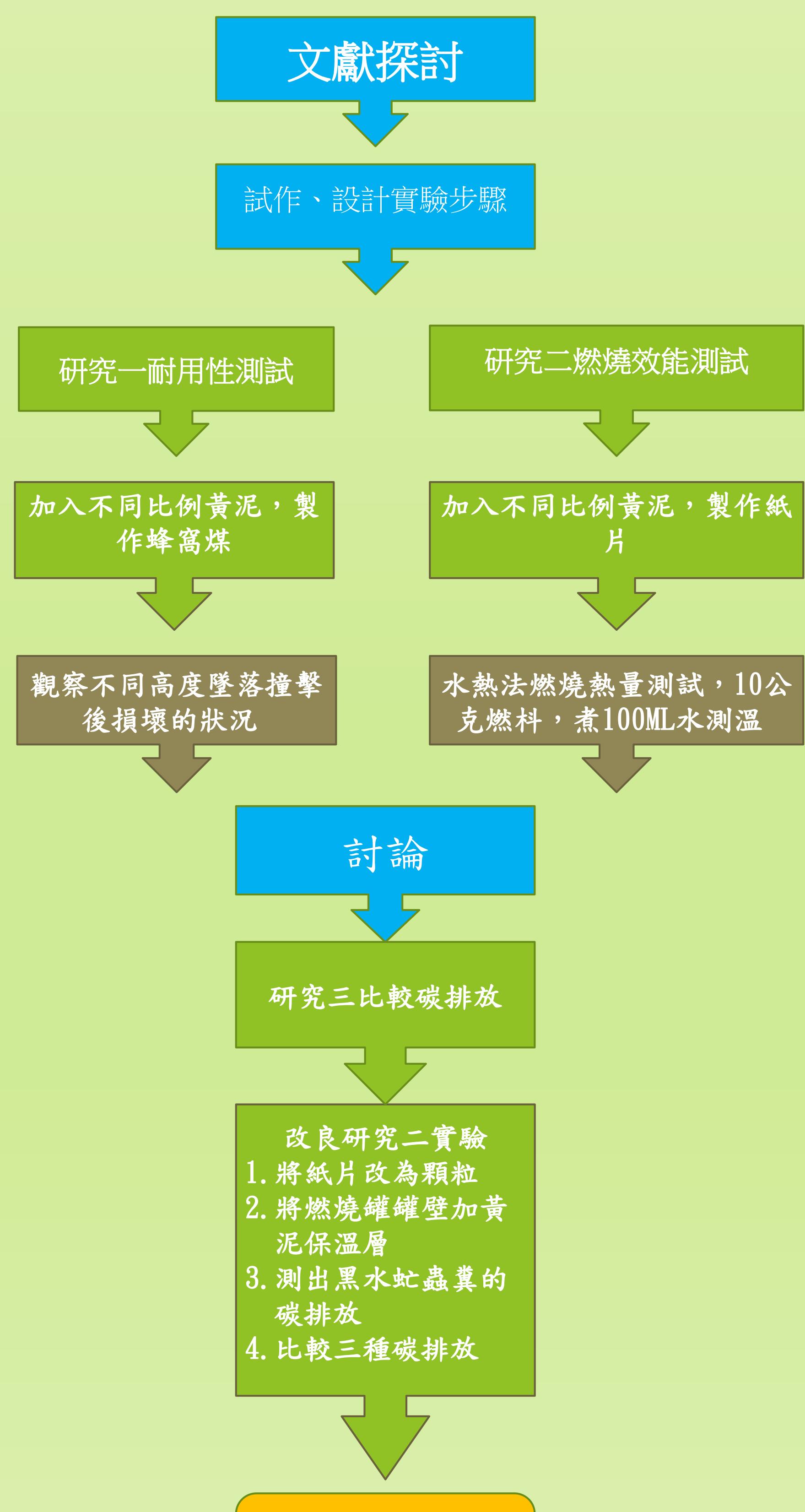
## 四、蜂窩煤

是一種由煤和黃泥做成的蜂窩狀煤塊，曾經是東亞許多居民的主要家用燃料。人們將煤塊做成蜂窩狀，是要讓煤在燃燒過程中，增加煤與氧氣的接觸面積，使煤燃燒更充分。因其外形有多孔洞類似蜂窩狀，故名蜂窩煤。而在蜂窩煤裡加入黃泥的原因，是因為煤炭是粉狀的，即便是用水濕潤後，也是不易成型，加入黃泥是為了起到黏著塑型的作用。其次是可以增加蜂窩煤的燃燒時間。煤炭加入了黃泥所製作的蜂窩煤就能燃燒更長一段時間。燃燒完後蜂窩煤也會因黃泥保持塊狀不會散成粉狀，方便清理。

近年來人們也會以蜂窩煤的製作原，以牛糞、木屑等生質燃料代替煤，製成蜂窩煤來當燃料，效果也很不錯。

## 肆、研究過程

### 一、研究流程



圖片來源：自行繪製

## 二、研究設備及器材

圖片來源：由指導老師拍攝

煤碳	黑水蛇蟲糞 (蛇糞)	木屑
黃泥	針筒(壓條器)	蜂窩煤機
蠟	燒杯	燒杯架
溫度計	電子秤	尺
打火機	鐵罐	燃燒罐
量勺	研磨機	篩網
烤箱	烘焙紙	塑膠盆

## 製作蜂窩煤

圖片來源：由指導老師拍攝

1	混合原料：(0:10、1:9、2:8、3:7、4:6) 將收集的蟲糞和黃泥以一定比例拌成一堆，混合均勻。	
2	視混合物乾濕狀況，逐量加水並充分攪拌至可塑狀態（能壓模成型為準）	
3	把蜂窩煤機按壓在原物堆上，砸壓實後把蜂窩煤按壓出來。	
4	夏天有太陽曬約一週會乾 冬天約二～三週陰乾。	

## 製作紙片狀燃料

圖片來源：由指導老師拍攝



## 三、實驗步驟

### 研究一：測試各種不同比例黑水蛇蟲糞蜂窩煤的耐用性

圖片來源：由指導老師拍攝

1	準備不同黃土比例的蜂窩煤。	
2	將蜂窩煤置於10公分高度後放開，讓其自由落下。	
3	逐步提高蜂窩煤高度後放開，讓其自由落下。	
4	觀察落下後蜂窩煤的狀態後，轉換成指數後記錄	

### 研究二：比較各種不同比例黑水蛇蟲糞蜂窩煤的燃燒效能好

圖片來源：由指導老師拍攝

1	將不同黃土比例的片狀蜂窩煤撕成小片置於燃燒罐中。	
2	在燒杯內放入100ml的水	
3	先測量沒有加熱的水溫	
4	將蜂窩煤點燃後放在燒杯架下，將水加熱。	
5	等蜂窩煤燃燒完後，記錄水溫。	

### 研究三：比較黑水蛇蟲糞、煤碳、木屑的碳排放量

將研究二紙片燃料改為顆粒狀，改善燃燒效能。再依研究二步驟燃燒後計算每種燃料釋放的熱量，和碳排量後進行比較分析。



圖片來源：由指導老師拍攝

1	使用研磨機將原料打粉	
2	將原料用篩子過篩，讓原料大小均勻	
3	混合原料以10公克原料(煤、木屑、黑水蛇糞)加2公克黃泥例拌成一堆，混合均勻。	
4	視混合物乾濕狀況，逐量加水並充分攪拌至可塑狀態（能壓模成型為準）	
5	製作顆粒：將針筒前端切除，填入原料後擠壓出條狀。	
6	因夏季於陽光下需曝曬約1週左右，為節省時間並確認實驗物的乾燥程度，因此使用烤箱以80度烘烤一小時	

# 伍、研究結果

## 研究一：耐用性測試

### 一、按撞擊的程度給予數值區別

數值	撞擊後的情形
3	撞擊時無變化
2	擊時有碎屑飛出
1	撞擊時示有裂痕產生
0	撞擊時裂開或損毀



圖片來源：由指導老師拍攝

### 二、依不同高度墜落撞擊結果記錄，加總不同比例之耐用性指數

墜落高度	0%泥 100%糞	10%泥 90%糞	20%泥 80%糞	30%泥 70%糞	40%泥 60%糞
10cm	0	3	3	3	2
20cm	0	2	2	2	2
30cm	0	2	2	2	2
40cm	0	2	2	2	2
50cm	0	2	2	1	1
耐用性指數	0	11	11	10	9

### 三、實驗結果

- (一) 耐用性優劣： $10\% \text{泥} = 20\% \text{泥} > 30\% \text{泥} > 40\% \text{泥} > 0\% \text{泥}$
- (二) 我們在實驗中發現隨著黃泥的份量越多，蜂窩煤越重，質地也會越堅硬，但也會變脆沒有彈性。
- (三) 蟲糞本身沒有黏著性，因此100%的蟲糞加水塑型後，結構鬆散，一捏就碎。

## 研究三：比較碳排放量

### 一、煤碳燃燒實驗紀錄表

試次	起始水溫 ( °C )	終點水溫 ( °C )	ΔT ( °C )	熱量 Q ( kJ )
1	30	100	70	29.26
2	30	99	69	28.84
3	30	100	70	29.26
4	30	101	71	29.68
5	30	100	70	29.26
平均值				29.26

### 二、木屑燃燒實驗紀錄表

試次	起始水溫 ( °C )	終點水溫 ( °C )	ΔT ( °C )	熱量 Q ( kJ )
1	30	70	40	16.72
2	30	71	41	17.13
3	30	72	42	17.56
4	30	70	40	16.72
5	30	71	41	17.13
平均值				17.05

### 三、黑水虻糞燃燒實驗紀錄表

試次	起始水溫 ( °C )	終點水溫 ( °C )	ΔT ( °C )	熱量 Q ( kJ )
1	30	61	31	12.96
2	30	61	31	12.96
3	30	62	32	13.38
4	30	63	33	13.79
5	30	62	32	13.38
平均值				13.29

水的比熱容是  $4.18 \text{ J/g} \cdot \text{°C}$ 。這表示要讓1克的水的溫度升高1攝氏度，需要4.18焦耳的能量。  
 $m=100 \text{ g}$  (水重)  $c=4.18 \text{ J/g} \cdot \text{°C}$   $\Delta T=\text{最終水溫}-\text{初始水溫}$   
吸收熱量  $Q: Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

### 四、以熱值與碳排放係數換算每單位熱能所排放的 CO<sub>2</sub>

原料	燃料使用量 (g)	平均熱量 (kJ)	CO <sub>2</sub> 排放 / kJ (g/kJ)	碳排放量 (g)	評價
煤碳	10	29.26	0.094	2.75	高熱值 / 高碳排
木屑	10	17.05	0.071	1.21	中熱值 / 中碳排
黑水虻糞	10	13.29	0.075	0.99	低熱值 / 低碳排

### 不同燃料的碳排放係數

燃料	CO <sub>2</sub> 排放係數 (g/kJ)
煤炭	0.094
木屑	0.075
黑水虻糞	0.071

$$\text{碳排放量 (g)} = \text{燃料產生的能量 (kJ)} \times \text{CO}_2 \text{ 排放係數 (g/kJ)}$$

### 結論比較

比較指標	最佳者	原因說明
熱值最高	煤碳	每單位質量釋放最多能量 (29.26 kJ/10g)
碳排最少	黑水虻糞	同樣質量燃料產生的 CO <sub>2</sub> 最少 (0.99g)
永續與環保性	黑水虻糞、木屑	屬於生質資源，可再生，不用開採化石燃料

### 五、實驗結果

- (一) 黑水虻糞雖熱值較低，但因來自有機廢棄物（廚餘處理副產物），碳排量低、來源永續，是兼具環保與再利用價值的綠色燃料。
- (二) 煤碳雖擁有極高熱值，但碳排放量過大，應逐步由生質或再生能源取代。

## 研究二：燃燒效能測試

試次	起始水溫 ( °C )	終點水溫 ( °C )	ΔT ( °C )	平均上升溫度	熄火次數
0%泥 100%糞	24	71	47	48.2°C	0
	24	74	50		2
	24	69	45		1
	24	73	49		2
	24	74	50		2
10%泥 90%糞	24	62	38	35.8°C	2
	24	61	37		3
	24	59	35		5
	24	59	35		5
	24	58	34		4
20%泥 80%糞	24	53	29	31°C	7
	24	55	31		7
	24	56	32		9
	24	56	32		8
	24	55	31		9
30%泥 70%糞	24	45	21	19.2°C	15
	24	43	19		16
	24	44	20		15
	24	41	17		17
	24	43	19		15
40%泥 60%糞	24	24	0	0	無法燃燒
	24	24	0		無法燃燒
	24	24	0		無法燃燒
	24	24	0		無法燃燒
	24	24	0		無法燃燒



圖片來源：由指導老師拍攝

## 陸、結論

- 從實驗可知蟲糞的比例越多燃燒效能越好，但還是需要黃泥來塑型。而黃泥比例在10%時就已能滿足塑型的效能。而且當黃泥加到30%以後會變的沒有彈性而變脆。因此可得到黃泥10%+蟲糞90%是最適合的比例。
- 本實驗中用黑水虻蟲糞和黃泥來製作蜂窩煤，不是很理想的搭配方式，在燃燒的過程中常常會熄滅，需要重複點燃，使用不方便。在文獻中有找到可以利用澱粉(麵粉、樹薯粉、地瓜粉等)來替代黃泥當黏著劑，而澱粉本身也是可以燃燒，所以可以增加其可燃性。但使用澱粉成本又會增加，且燃燒後會全部化為灰燼，不似黃泥為原料的可以整個夾起方便清理。
- 本次燃燒實驗時為方便起火，需加入蠟為助燃劑，所以在測量燃燒效能時，前期的溫度上升，一部份熱能是來自於蠟，而非黑水虻蟲糞，這會造成實驗誤差，需避免或是將其也列入成份計算。
- 文獻探討時有發現農改場是利用造粒機來製造100%的蟲糞顆粒，燃燒效能頗高。所以如果有造粒機來製作100%的蟲糞生質能燃料，仍然是可嘗試的方式。
- 透過實驗比較可得：黑水虻糞作為替代燃料，不僅碳排放量顯著較低，且具再生性與資源循環優勢，適合發展為綠色能源。