

台灣雜糧發展基金會 114 年度補助計畫

結案報告

計畫名稱：以國產硬質玉米為主原料開發黑水虻幼蟲
飼養之基質

計畫編號：114-02-005

執行期間：114 年 1 月 1 日至 114 年 12 月 31 日

計畫主持人：魏恒巍博士

執行機關：中華民國飼料檢驗學會

中華民國 114 年 12 月

目次

一、前言

二、工作實施要點

三、成果效益

四、結論

五、檢討與改進

六、參考文獻

一、前言

由於世界人口正急遽成長，估計於 2050 年時，全球總人口數將達到近 100 億人 (United Nations, 2017)，屆時糧食需求將急遽上升、致使供不應求，最終會導致畜牧業使用之飼料所需求之原料不再被滿足。國內家禽飼料中的動物性蛋白質來源係以魚粉與肉骨粉為大宗，兩者皆以進口為主要取得管道，除此之外，還有國產的水解羽毛粉，其在家禽的生長時期提供胱胺酸，以滿足家禽生長羽毛之所需。魚粉或肉骨粉之貨源供應與價格之波動，深受到海洋資源的枯竭、化製廠產量多寡、石油價格起伏不定或國際局勢動盪等諸多因素之影響。倘若能開發出本土之動物性蛋白質補充原料，不僅能穩定貨源之供應，還可避免進口原料之高額碳足跡。近年來農政單位在國內推動硬質玉米之種植，雖然立意良善，但卻發生在種植期間遭受鐮孢菌 (*Fusarium spp.*) 所感染之情事，致使所含伏馬鐮孢毒素 (fumonisins) 之濃度高居 2500 ppb 以上，造成飼料廠之採購意願低下而滯銷。倘若能以硬質玉米為主原料，開發國產之動物性蛋白質補充原料，不僅產品之碳足跡低，更能加速國產硬質玉米之去化。李 (2019) 曾以高粱酒粕搭配芝麻粕飼養黑水蛇幼蟲，發現經高濕度之基質飼養，所採集到的黑水蛇幼蟲與預蛹之體內，均檢測不到伏馬鐮孢毒素、黃麴毒素、赭麴毒素、玉米赤烯酮、新月毒素或嘔吐毒素其中的任何一種，此意味著黑水蛇之體內機制或消化道中的微生物可能具有降解黴菌毒素之能力。黑水蛇 (*Hermetia illucens L.*) 為雙翅目水蛇科之昆蟲，其幼蟲之飼養為國內去化廚餘手段之一，由於具有耐粗食之特性，又因成長快速、蟲體營養分含量高，有發展成為新興動物性蛋白質補充原料之潛力。過往文獻 (Chia et al., 2020; Fitriana et al., 2022) 觀察到黑水蛇幼蟲之成長速度與體組成，受到培養基質組成之影響甚鉅。而本研究室在無意間發現黑水蛇幼蟲會採食生羽毛，且餵飼一段時間後之生長表現尚可。由於羽毛佔家禽體重 5-7%，其組成中蛋白質超過 90%，其中角蛋白含量約 90%，而角蛋白之氨基酸組成中胱胺酸含

量高，因此可當成家禽生長羽毛時之飼料原料。但角蛋白之胱胺酸間會形成雙硫鍵，家禽消化系統之腺體無法分泌能將其破壞之消化酶，因此若要利用生羽毛為飼料原料，則必須先進行化製。目前生羽毛之處理，包含物理、化學、酵素水解或生物轉化法，前三種方法在使用上具有一定的局限性，包括致使羽毛的蛋白質產生過度變性、氨基酸結構被破壞或酵素之分離及純化的高成本。而生物轉化法則可避免上述的缺點 (Huang et al., 2021; Safari et al., 2024)。綜上所述，本研究旨在利用富含伏馬鐮孢毒素之國產硬質玉米與電宰場副產物之生羽毛，經調配後供作飼料基質，培養黑水虻幼蟲，檢測出可使該幼蟲達到最佳生長表現之混合比例，以期能為富含伏馬鐮孢毒素之國產硬質玉米，與電宰場副產物之生羽毛，提供去化的途徑，並能產出安全、衛生、碳足跡低之國產動物性蛋白質補充原料。

二、工作實施要點

(一)、材料與方法

試驗一：評估飼養黑水蛇幼蟲之基質中所含國產硬質玉米與生羽毛之適當組合比例

本年度試驗所使用之國產硬質玉米與羽毛分別購買自中央畜產會與電宰場，並一次性購足試驗所需要量。原料之近似分析結果如表一，本次試驗將兩原料以國產硬質玉米遞減、羽毛遞增之方法進行混和，共配製六組飼養基質，並將每組基質以額外添加水的方式將其水分調整至 50%（表二）。配製之飼養基質亦進行營養成分之近似分析（表三），以利後續與黑水蛇幼蟲分解後之基質進行比較。

試驗用之黑水蛇幼蟲則來自於外購之黑水蛇蟲卵，自行進行孵化所得。蟲卵置於由 20%玉米粉、30%苜蓿粉、50%麩皮所組成之育苗基質並將水分調整至 70%，餵飼孵化後之幼蟲直到 4 日齡後進行分組試驗。

試驗之國產硬質玉米與羽毛以 100：0、80：20、60：40、40：60、20：80、0：100 之比例進行混合，並調整水分至 50%，配製為黑水蛇幼蟲之飼養基質，隨後以飼養基質之乾基粗蛋白質百分比，計算各組基質所含之粗蛋白質濃度，以為後續判斷幼蟲最佳生長表現之指標。

每組基質飼養 6 盆（即 6 個重複）。基質量供給量以 200 隻幼蟲，每日每隻給予 200 mg，飼養 20 天為原則。將所計算出之基質量置入長、寬、高分別為 18、14、7 cm 之塑膠方盆中。

於 4 日齡時，群秤 200 隻的黑水蛇幼蟲（蟲隻平均重量大約會落於 3.4-3.6 mg 之間），將之置入前述的方盆中飼養。在方盆上方覆蓋廚房紙巾後，置入塑膠網袋中，以免其他蟲類孳生與太快蒸散水分。環境溫度設定為 27°C，每日提供 12 小的時光週期（08：00 至 20：00）。每日於 13：00 以湯勺均勻翻攪整盆飼養基質，並觀察幼蟲之生長情形。每隔兩日則對基質採樣，於篩除蟲體後，以水分快速測定儀檢測其水分含量，若發現基質所含水分降至 35-40% 之間，則加水

於方盆中，使基質的含水量重新回到 50%。當方盆壁出現第一隻預蛹（蟲體外觀顏色由乳白轉為黑褐）時，即終止該方盆之實驗，以搭配 6 mesh 篩網之振動過篩機（LS-450A 三次元震動篩分過濾機，老松機械，台灣）篩除殘餘基質、蟲糞與蛻皮，藉以採集蟲體。記錄殘餘基質、蟲糞與蛻皮之合計重量，也記錄幼蟲數（含預蛹）、蟲體總重與實驗終止時之日齡，以供評估國產硬質玉米與生羽毛適當的組合比例，及基質中應有粗蛋白質含量。所生產出之幼蟲（含預蛹）與殘餘基質、蟲糞、蛻皮，皆保存在-20°C 冰箱中，以供後續分析之用。

試驗二：飼養黑水蛇幼蟲之基質中粗蛋白質適當濃度之再評估

第二階段試驗接續試驗一，將前次所得之最佳解（粗蛋白質濃度=33.56%）做為中心點，進行正、負 5 或 10%的調整（表六），共為五組。意將粗蛋白質濃度範圍縮小，得出更精確之最適粗蛋白質濃度以飼養黑水蛇幼蟲。試驗分組之方法、使用之方盆尺寸、每組方盆中基質給予量之計算與試驗期間的飼養管理、各方盆之實驗終止標準、樣品之收集、檢驗與數據之分析，皆如同實驗一者。

試驗三：基質餵飼量對黑水蛇幼蟲生長表現與對殘餘基質、蟲糞、蛻皮過篩率之影響

本階段擴大規模飼養，每盒飼養由 0.05 克蟲卵所孵出之幼蟲數（經估算每克約孵出 15000 之黑水蛇幼蟲），約為 750 之黑水蛇幼蟲。以試驗二之最佳解（粗蛋白質濃度=27.64%）做為配方依據（表十），並以 750 隻黑水蛇幼蟲進行計算，將每日每隻幼蟲餵飼 200 毫克作為中心點，進行正、負 50 或 100 毫克之調整，欲求得最適餵飼量。試驗分組之方法、使用之方盆尺寸、每組方盆中基質給予量之計算與試驗期間的飼養管理、各方盆之實驗終止標準、樣品之收集、檢驗與數據之分析，皆如同實驗一者。除此之外，每個密林盆在試驗終止時，隨機秤取約 100 克由蟲體、殘餘基質、蟲糞與蛻皮所構成之內容物，以供評估過篩率之用。密林盆內容物乃以搭配 6 mesh 篩網之前述振動過篩機進行篩選採收，藉以將幼蟲體從殘餘基質、蟲糞與蛻皮中分離出來。由源自同一密林盆逢機挑取約 100 隻幼蟲秤重，計算平均蟲重，隨後將源自同一密林盆所收穫之幼蟲一起秤重後均質之，以供後續檢測蟲粉之近似分析、胺基酸組成與黴菌毒素含量之用。

(二)、結果

試驗一：評估飼養黑水蛇幼蟲之基質中所含國產硬質玉米與生羽毛之適當組合比例

黑水蛇幼蟲的生長，顯著受基質中硬質玉米與羽毛之比例影響（表四）。完以 100% 羽毛組成之組別（F 組），在飼養數週後皆無發現有幼蟲進入預蛹期，並在經過一段時間後全數死亡，故無數據，亦不進行分析。而 100% 硬質玉米（A 組）組別，其生長天數顯著低於其餘四組，意即其僅需較短天數即可進入預蛹期，其餘組別間皆無顯著差異。在存活率方面，各組間皆無顯著差異。而單隻與整組活蟲濕重，以及整組蟲體乾重部分，當羽毛添加量上升至 80% 時（E 組）將顯著低於其餘組別，並且在其餘組別中並無顯著差異。

另一方面，將分解前、後之飼養基質進行比較（表三、五），經分解後之粗蛋白質皆有所上升，除 B 組外，粗脂肪亦呈相同趨勢。而在碳氮比方面，A 組以外之組別，基質經分解後皆有下降趨勢，直至硬質玉米比例降至 20% 時方不再下降。

為藉由本次試驗求得飼養黑水蛇幼蟲之最適粗蛋白質比例，將各組之粗蛋白質濃度與飼養後蟲體之整組總乾基重進行迴歸分析（表三、圖一），可得 R-square 值為 0.7194 之二次曲線關係 ($P < 0.05$)，接著進一步計算此二次曲線之頂點，即可藉由本次試驗得知，當粗蛋白質濃度為 33.56，得以飼養出最佳生長表現之黑水蛇幼蟲。

表一、國產硬質玉米與生羽毛之近似分析成分

成分 (%)	水分	乾物質	粗蛋白	粗脂肪	粗纖維	灰分	無氮抽出物
國產硬質玉米	8.74	91.26	9.34	3.76	1.63	1.36	81.10
生羽毛	5.91	94.19	82.73	3.89	0.45	1.97	9.30

表二、黑水蛇幼蟲飼養基質配方表

組別	硬質玉米：	國產硬質玉米	生羽毛	水分	總和
	生羽毛	%	%	%	%
A	100 : 0	54.8	0.0	45.2	100.0
B	80 : 20	43.6	10.9	45.5	100.0
C	60 : 40	32.5	21.6	45.9	100.0
D	40 : 60	21.5	32.3	46.2	100.0
E	20 : 80	10.7	42.8	46.5	100.0
F	0 : 100	0.0	53.1	46.9	100.0

表三、黑水蛇幼蟲飼養基質各營養成分之計算值與實測值（以乾基為基礎，%）

組別	粗蛋白		粗脂肪		粗纖維		灰分		無氮抽出物		可消化 碳氮比值	
	計算值	實測值	計算值	實測值	計算值	實測值	計算值	實測值	計算值	實測值	計算值	實測值
	A	9.34	9.34	3.76	3.76	1.63	1.63	1.36	1.36	81.47	81.47	0.69
B	24.01	24.07	3.88	3.88	1.39	1.31	1.55	1.49	67.46	67.44	0.28	0.28
C	38.69	39.12	3.81	3.46	1.16	1.16	1.66	1.61	52.61	52.67	0.18	0.18
D	53.37	53.64	3.84	3.26	0.92	0.93	1.78	1.73	37.79	37.85	0.13	0.14
E	68.05	67.55	3.87	3.92	0.68	0.68	1.85	1.85	25.66	25.21	0.11	0.11
F	82.73	82.73	3.89	3.89	0.45	0.45	1.97	1.97	11.08	11.08	0.10	0.10

表四、不同硬質玉米與生羽毛組合比例對黑水蛇幼蟲生長表現之影響

組別 [#]	粗蛋白質	生長時間	存活率	活蟲濕重	活蟲濕重	蟲體總乾基重	生產指數 ¹
	(%)	(天)	(%)	(克/組)	(克/隻)	(克/組)	
A	9.34	11.0 ^b	84.75	27.43 ^a	0.16 ^a	8.63 ^a	2.11 ^a
B	24.01	13.5 ^a	82.67	32.68 ^a	0.20 ^a	11.74 ^a	2.00 ^a
C	38.69	13.5 ^a	87.50	36.52 ^a	0.21 ^a	13.09 ^a	2.37 ^a
D	53.37	14.7 ^a	78.67	27.16 ^a	0.17 ^a	8.63 ^a	1.46 ^{ab}
E	68.05	13.2 ^a	84.50	16.98 ^b	0.10 ^b	4.35 ^b	1.09 ^b
F	82.73	-	-	-	-	-	-
SEM	-	0.60	1.46	3.29	0.019	1.51	0.24

同一行中，不同英文字母存在顯著差異 ($P < 0.05$)¹ 生產指數：(存活率 (%) * 平均活蟲濕重 (克/隻)) / 生長天數 (天)

n=6

表五、殘餘基質與蟲糞之各成分分析（%，以乾基為基礎）

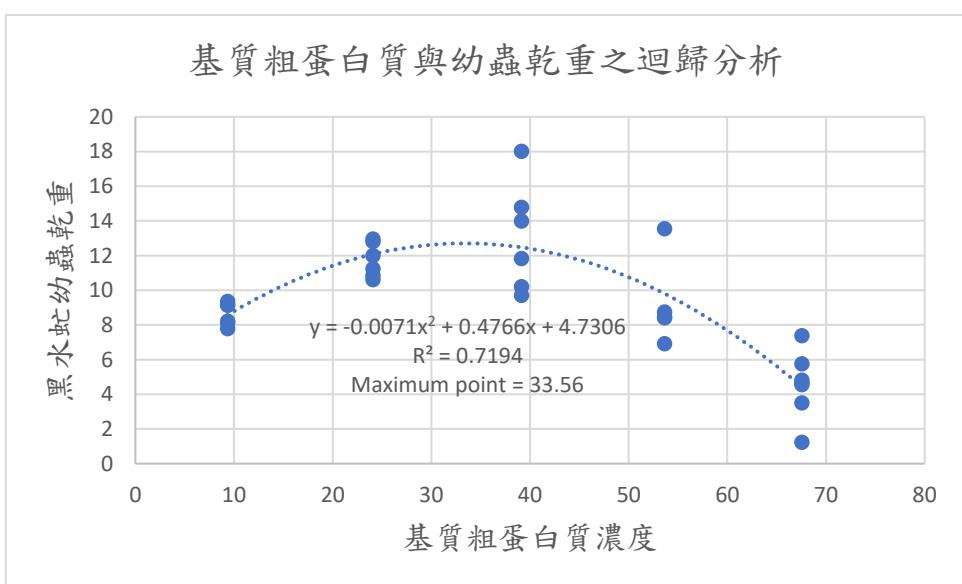
組別 [#]	粗蛋白	粗脂肪	粗纖維	灰分	無氮抽出物	可消化 碳氮比值 ¹
A	9.45 ^c	3.59	0.94 ^a	1.40	82.91 ^a	0.69 ^a
B	30.95 ^b	4.97	3.54 ^a	3.66	55.18 ^b	0.22 ^b
C	42.01 ^b	2.75	1.61 ^a	3.10	46.44 ^{ab}	0.16 ^{bc}
D	71.99 ^a	2.12	0.59 ^{ab}	2.67	21.00 ^c	0.10 ^c
E	71.24 ^a	3.22	0.40 ^b	2.12	21.29 ^c	0.11 ^c
F	-	-	-	-	-	-
SEM	12.01	0.48	0.57	0.39	5.51	0.13

同一行中，不同英文代表存在顯著差異 ($P<0.05$)

¹ 可消化碳氮比值=(粗蛋白*0.512)+(粗脂肪*0.746)+(無氮抽出物*0.4) / (粗蛋白

*6.25

[#] n=6



圖一、基質粗蛋白質與黑水蛇幼蟲總乾基體重之迴歸分析

試驗二：飼養黑水蛇幼蟲之基質中粗蛋白質適當濃度之再評估

於表八中可以得知，試驗中以不同濃度之粗蛋白質飼養黑水蛇幼蟲，對其之生長天數或存活率皆無顯著影響，而以整組之活蟲濕重，以 CP 38.23% 組 (D 組) 顯著低於 CP 23.63 或 27.74% 組 (A、B 組)，其餘組別則未出現顯著差異。而以單隻活蟲濕重做為指標，則 D 組同樣顯著低於 A 或 B 組，然 CP 44.28% 組 (E 組) 亦顯著低於 A、B 或 C 組，其中又以 B 組顯著優於 C 組。接著在同樣將分解前、後飼養基質之營養成分進行對比（表七、九），可發現分解後之粗蛋白質或粗脂肪皆與分解前相比較為增加，此結果與試驗一中相似，而本次亦發現，粗纖維與粗蛋白質或粗脂肪相同，皆在分解後出現上升的情況。無氮抽出物與碳氮比方面，經分解後之無氮抽出物與碳氮比皆較分解前下降，亦如同試驗一所觀察。

此階段亦將各組之粗蛋白質濃度與飼養後蟲體之整組總乾基重進行迴歸分析（表八、圖二），得 R-square 值為 0.4901 之二次曲線關係 ($P<0.05$)，進一步計算此二次曲線之頂點後，即得若粗蛋白質濃度為 27.64%，得以飼養出最佳生長表現之黑水蛇幼蟲。

表六、黑水蛇幼蟲飼養基質配方表

組別	粗蛋白質	國產硬質玉米	生羽毛	水分	總和
		%	%	%	%
A	23.56	43.8	11.2	45.0	100.0
B	58.56	40.2	14.7	45.1	100.0
C	33.56	36.6	18.2	45.2	100.0
D	38.56	33.0	21.7	45.3	100.0
E	43.56	29.4	25.2	45.4	100.0

表七、黑水蛇幼蟲飼養基質各營養成分分析（以乾基為基礎，%）

組別	粗蛋白	粗脂肪	粗纖維	灰分	無氮抽出物	可消化 碳氮比值 ¹
A	23.10	4.22	1.36	2.80	66.89	0.29
B	27.09	4.17	1.06	2.70	63.30	0.25
C	33.15	3.74	1.14	2.79	57.45	0.21
D	37.29	3.85	1.15	2.63	52.77	0.19
E	43.17	3.86	0.93	2.85	46.12	0.16

¹ 可消化碳氮比值=(粗蛋白*0.512)+(粗脂肪*0.746)+(無氮抽出物*0.4) / (粗蛋白)

*6.25

表八、不同粗蛋白質對黑水蛇幼蟲生長表現之影響

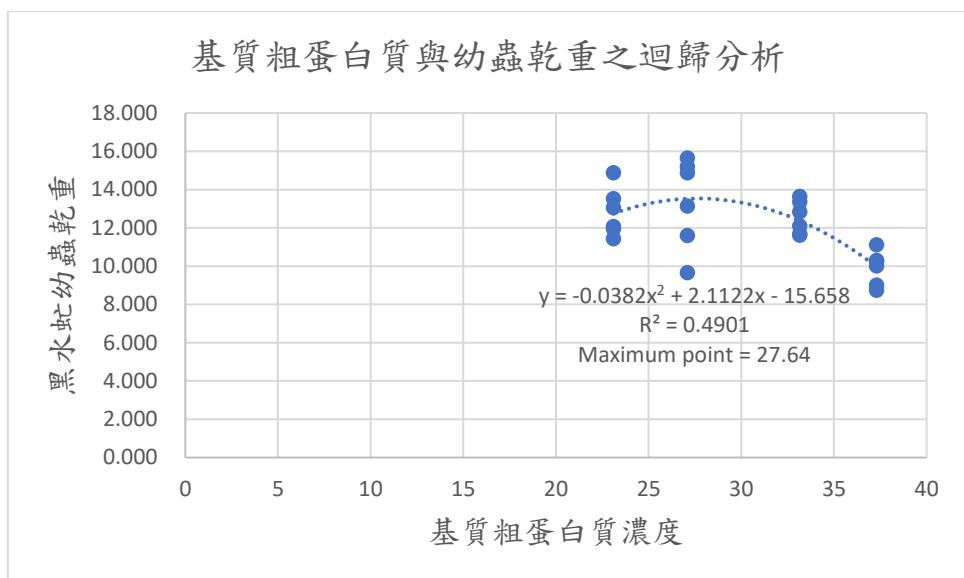
組別 [#]	粗蛋白質	生長時間	存活率	活蟲濕重	活蟲濕重	蟲體總乾基重	生產指數
	(%)	(天)	(%)	(克/組)	(克/隻)	(克/組)	
A	23.63	13.7	81.83	36.66 ^a	0.225 ^{ab}	12.817 ^{ab}	2.21
B	27.74	13.7	81.75	37.51 ^a	0.229 ^a	13.356 ^a	2.28
C	33.94	14.2	83.92	35.44 ^{ab}	0.211 ^{bc}	12.536 ^{abc}	2.13
D	38.23	13.7	73.17	29.34 ^b	0.201 ^{cd}	9.908 ^c	1.59
E	44.28	14.7	87.17	33.05 ^{ab}	0.189 ^d	10.605 ^{bc}	1.97
SEM	-	0.20	2.32	1.47	0.01	0.67	0.12

同一行中，不同英文代表存在顯著差異 ($P<0.05$)¹ 生產指數：(存活率 (%)) * 平均活蟲濕重 (克/隻)) / 生長天數 (天)[#] n=6

表九、殘餘基質與蟲糞之各成分分析 (以乾基為基礎，%)

組別	粗蛋白	粗脂肪	粗纖維	灰分	無氮抽出物	可消化 碳氮比值
A	31.06 ^d	3.15	4.22 ^a	1.37 ^e	55.18 ^a	0.21 ^a
B	37.36 ^c	2.68	4.17 ^{ab}	3.73 ^a	46.53 ^b	0.17 ^b
C	39.88 ^{bc}	2.82	4.14 ^{ab}	3.27 ^b	47.17 ^c	0.16 ^{bc}
D	42.14 ^b	2.64	3.72 ^b	2.81 ^c	47.11 ^b	0.16 ^{bc}
E	45.90 ^a	2.52	3.11 ^c	2.24 ^d	44.67 ^b	0.15 ^c
SEM	2.49	0.11	0.21	0.4	0.01	0.01

同一行中，不同英文代表存在顯著差異 ($P<0.05$)¹ 可消化碳氮比值=(粗蛋白*0.512)+(粗脂肪*0.746)+(無氮抽出物*0.4) / (粗蛋白*6.25)[#] n=6



圖二、基質粗蛋白質與黑水蛇幼蟲乾基體重之迴歸分析

試驗三：基質餵飼量對黑水蛇幼蟲生長表現與對殘餘基質、蟲糞、蛻皮過篩率之影響

表十一中，以每日每隻餵飼 100 毫克之組別（A 組），其生長天數顯著低於以 300 毫克餵飼組（E 組），其餘組別皆無顯著差異。而整組隻活蟲濕重在各組間皆無顯著差異。然在每 100 隻活蟲重量方面，以餵飼量最少之 A 組顯著低於最多之 E 組，其餘組別之間仍無顯著差異。而過篩率部分，由於羽毛間互相交纏，僅以過篩機無法將其進行分離，故於過篩過程中輔以沖水進行，以此方式所得之過篩率每組相當，各組間無顯著差異存在。試驗中之歐洲效益指數隨著餵飼量增加而有所上升，當餵飼量增加至 250 毫克後則上升情形趨緩。

將分解前、後之營養成分進行比較（表十、十二），在分解後之粗蛋白質如前其試驗所觀察，高於餵飼前之粗蛋白質濃度，而粗脂肪方面，隨餵飼量的增加，經黑水蛇幼蟲分解後之基質粗脂肪亦隨之上升，粗纖維則與之相反。無氮抽出物與碳氮比方面，經分解後之數值皆低於餵飼前之，亦與試驗一、二相同。

將餵飼量與黑水蛇幼蟲之平均濕重進行迴歸分析，並計算出其之頂點，所得之數值，R-square 為 0.5304，餵飼量則為 225 毫克/隻/日，故可得知，當飼養基質之粗蛋白質濃度為 27.64%，並以每日每隻之幼蟲餵飼 225 毫克之基質時，即可飼養出最佳生長表現之黑水蛇幼蟲。

表十、黑水蛇幼蟲飼養基質餵飼量與各營養成分分析（以乾基為基礎，%）

組別	餵飼量 (毫克/隻/日)	粗蛋白		粗脂肪	粗纖維	灰分	無氮抽 出物	可消化碳 氮比值
		計算值	實測值					
A	100							
B	150							
C	200	27.64	27.80	3.58	1.58	2.76	63.70	0.254
D	250							
E	300							

所有組別水分皆調至 50%

國產硬質玉米：羽毛：水 = 42.0 : 12.8 : 45.2

表十一、不同餵飼量對黑水虻幼蟲生長表現之影響

組別	餵飼量 (毫克/隻/日)	生長時間 (天)	活蟲濕重 (克/組)	活蟲濕重 (克/100 隻)	過篩率	生產指數
A	100	14.7 ^{bc}	57.99	5.80 ^b	0.92	20.98 ^b
B	150	15.7 ^{abc}	76.04	7.87 ^{ab}	0.93	35.41 ^{ab}
C	200	16.7 ^{ab}	91.29	9.42 ^a	0.93	48.20 ^{ab}
D	250	16.8 ^{ab}	101.37	9.80 ^a	0.94	55.62 ^{ab}
E	300	17.3 ^a	110.04	9.47 ^a	0.95	56.95 ^a
SEM	-	0.5	9.27	0.75	0.006	6.79

同一行中，不同英文代表存在顯著差異 ($P<0.05$)

¹ 生產指數：(存活率 (%) *平均活蟲濕重 (克/隻)) / 生長天數 (天)

[#] n=6

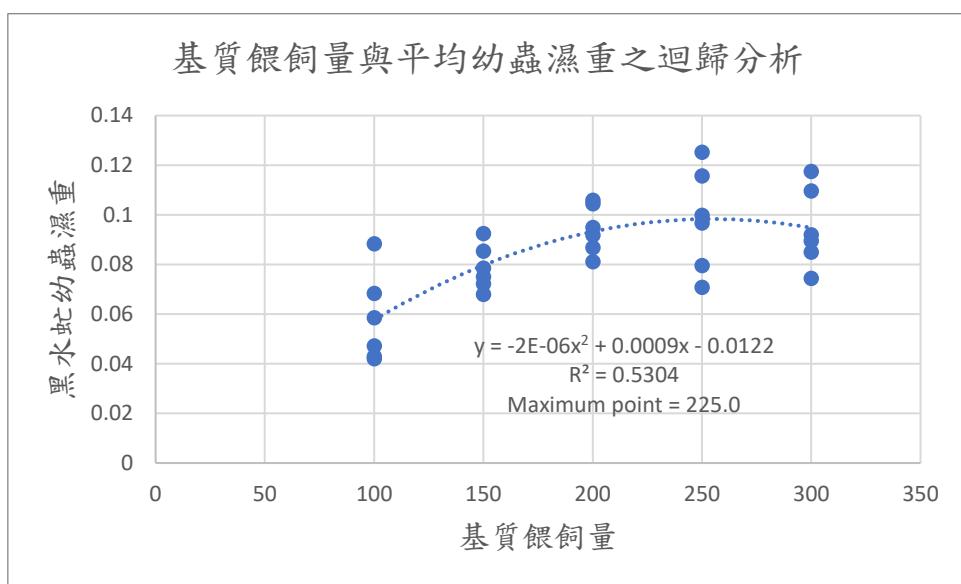
表十二、殘餘基質與蟲糞之各成分分析（%，以乾基為基礎）

組別	粗蛋白	粗脂肪	粗纖維	灰分	無氮抽出物	碳氮比
A	44.08 ^{ab}	2.58 ^c	7.59 ^a	3.11	29.05 ^b	0.11 ^c
B	44.79 ^a	3.64 ^{bc}	5.88 ^{ab}	3.52	27.25 ^b	0.13 ^c
C	40.82 ^{ab}	5.00 ^{ab}	5.42 ^b	3.98	30.07 ^{ab}	0.15 ^b
D	38.35 ^b	5.31 ^a	3.93 ^b	3.62	30.21 ^{ab}	0.16 ^b
E	34.04 ^c	5.67 ^a	3.79 ^b	3.99	35.58 ^a	0.18 ^a
SEM	1.97	0.85	0.54	0.16	0.89	0.003

同一行中，不同英文代表存在顯著差異 ($P<0.05$)

¹ 可消化碳氮比值=(粗蛋白*0.512)+(粗脂肪*0.746)+(無氮抽出物*0.4) / (粗蛋白*6.25)

n=6



圖三、基質餵飼量與平均黑水蛇幼蟲濕重之迴歸分析

三、 成果效益

(一) 供國產硬質玉米另一去化途徑，並提供家禽屠宰後之廢棄羽毛一較節省能源之去化選擇。

(二) 藉由黑水虻幼蟲對農業副產物或廢棄物進行生物轉化，可優化畜牧相關產業對於環境之污染。

(三) 結果可供中、小型家禽電宰場，將其餘屠宰後所生產之羽毛自行進行去化，避免仰賴清運業者。

(四) 農民及相關業者可參考黑水虻幼蟲消化後基質之營養成分分析結果，將其作為有機肥料之氮來源，以供作物生長所需之養分，亦可進一步以此為基礎加以調整，製備更利於作物生長之肥料。

四、 結論

經由本年度三個試驗可得知，以國產硬質玉米搭配屠宰後羽毛對黑水虻幼蟲進行飼養，當粗蛋白質濃度為 27.64%，且基質餵飼量為 225 毫克/隻/日時，可使黑水虻幼蟲之生長表現達最佳化。

五、 檢討與改進

於試驗三進行大規模飼養時，黑水虻幼蟲之生長表現不如先前小規模者，故需針對大規模飼養黑水虻幼蟲進行相關研究，建立飼養條件，使生產效益最佳化。

六、 參考文獻

- 李昱成（2019）。以高粱酒粕及芝麻粕飼養黑水虻幼蟲及其在白肉雞飼糧之應用〔碩士論文，國立臺灣大學〕。華藝線上圖書館。doi: 10.6342/NTU201902157
- Chia, S. Y., C. M. Tanga, I. M. Osuga, X. Cheseto, S. Ekesi, M. Dicke, and J. J. Van Loon. 2020. Nutritional composition of black soldier fly larvae feeding on agro-industrial by-products. *Entomol. Exp. Appl.* 168: 472–481. doi: 10.1111/eea.12940
- Fitriana, E. L., E. B. Laconi, D. A. Astuti, and A. Jayanegara. 2022. Effects of various organic substrates on growth performance and nutrient composition of black soldier fly larvae: a meta-analysis. *Bioresour. Technol. Rep.* 18: 10106. doi: 10.1016/j.biteb.2022.101061.
- Huang, H. J., B. C. Weng, Y. D. Hsuuw, Y. S. Lee, and K. L. Chen. 2021. Dietary Supplementation of Two-Stage Fermented Feather-Soybean Meal Product on Growth Performance and Immunity in Finishing Pigs. *Animals.* 11:1527. doi: 10.3390/ani11061527
- Safari, H., A. Mohit, and M. Mohiti-Asli. 2024. Feather meal processing methods impact the production parameters, blood biochemical indices, gut function, and hepatic enzyme activity in broilers. *J. Anim. Sci.* 102. doi: 10.1093/jas/skae068
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division . 2017. World Population Prospects 2017 – Data Booklet (ST/ESA/SER.A/401)

