



☒ 公開
☐ 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：0302010100

農業部苗栗區農業改良場114年度科技計畫研究報告

計畫名稱：**鱗翅目幼蟲及蛹做為寵物飼料產品之開發模式建立 (第1年/全程4年)**
(英文名稱) **Establishment of development model for Lepidopteran larvae and pupae as pet feed products**

計畫編號：114農科-3.2.1-苗-01

全程計畫期間：自 114年1月1日 至 117年12月31日
本年計畫期間：自 114年1月1日 至 114年12月31日

計畫主持人：古金台
執行機關：農業部苗栗區農業改良場



1140991



一、執行成果中文摘要：

全球因氣候變遷、人口成長與畜牧減碳壓力，使替代性蛋白與永續飼料的需求增加。食用昆蟲具有生長快、營養佳與環境負荷低等優勢，鱗翅目昆蟲種類多、人工飼育技術成熟，具開發為寵物飼料原料的潛力。本研究旨在建立家蠶 (*Bombyx mori*) 及斜紋夜蛾 (*Spodoptera litura*) 幼蟲乾燥粉末之標準化加工流程，並探討不同乾燥溫度對其粉末物理特性之影響，最後結合國內寵物食品產業現況分析其開發潛力。研究首先確立參考家蠶粉末之標準加工技術，透過震盪清洗與熱燙殺菁處理，鈍化酵素並降低微生物載量。以不同溫度進行乾燥試驗結果顯示，乾燥率隨溫度升高而增加，65°C 雖具最高初期速率 (11.64 %/hr)，但易導致表面硬化。綜合評估顯示，60°C 為最適溫度，處理後之蟲粉含水量 (4.85%) 與水活性 (0.32) 均顯著優於 55°C 組別，且色澤劣化程度較 65°C 輕微。產業調查顯示，國內寵物食品市場龐大且以貓犬零食為主流，而昆蟲產品尚處於起步階段。本研究之結果證實斜紋夜蛾幼蟲作為新型蛋白來源之技術可行性，可為後續寵物機能性食品開發提供科學依據。

二、執行成果英文摘要：

Due to climate change, population growth, and the pressure on the livestock industry to reduce carbon emissions, the global demand for alternative proteins and sustainable feed has significantly increased. Edible insects offer advantages such as rapid growth, high nutritional value, and low environmental impact. Specifically, Lepidopteran insects-with their vast species diversity and mature mass-rearing techniques-possess great potential as raw materials for pet food. This study aims to establish a standardized processing procedure for the powdered larvae of the silkworm (*Bombyx mori*) and the tobacco cutworm (*Spodoptera litura*), evaluate the effects of different drying temperatures on their physical properties, and analyze their development potential based on the current status of the domestic pet food industry. Initially, a standardized processing technique was established based on silkworm powder, utilizing oscillatory washing and blanching to inactivate enzymes and reduce microbial loads. Results from drying experiments at varying temperatures showed that the drying rate increased with temperature. Although 65°C exhibited the highest initial rate (11.64%/hr), it tended to cause case hardening. Comprehensive assessment indicated that 60°C is the optimal temperature; at this level, the moisture content (4.85%) and water activity (0.32) of the insect powder were significantly better than those of the 55°C group, while the degree of color degradation was milder than that of the 65°C group. Industry surveys reveal that the domestic pet food market is vast, with dog and cat snacks being the mainstream, while insect-based products are still in the nascent stages. The findings of this study confirm the technical feasibility of using *S. litura* larvae as a novel protein source, providing a scientific basis for the subsequent development of functional pet foods.

三、計畫目的：

1. 建立鱗翅目昆蟲幼蟲與蛹之標準化加工處理流程，作為後續研發鱗翅目昆蟲用於寵物飼料或其他應用之基礎技術指引。
2. 開發鱗翅目昆蟲之寵物飼料產品並評估市場接受度，以確認其產品化可行性與產業需求。



1140991



3. 進行鱗翅目昆蟲產業化之成本效益及環境影響評估，提供未來有意投入之上下游廠商作為決策參考。

四、重要工作項目及實施方法：

一、家蠶粉末加工技術流程整理

於Google Scholar以「Bombyx mori」、「Processing」、「edible」、「drying」、「silkworm」及「powder」等關鍵字進行檢索，蒐集家蠶作為食用昆蟲之粉末加工技術流程，以建構標準化技術流程。經摘要篩選後，以Anuduang et al.(2020)及 Loo et al. (2022) 2篇文獻為主要結構進行內容整理。後續並以斜紋夜蛾幼蟲進行流程測試，確認可將同一套加工技術流程應用於不同種類之鱗翅目幼蟲。

二、斜紋夜蛾蟲源及飼養

本試驗於農業部苗栗區農業改良場進行，斜紋夜蛾飼養環境之光照週期為 12D : 12L，平均溫度及相對溼度分別為 $27 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、70~80% RH。實驗室內飼養之種源為2025年於中興大學循環經濟學院唐政綱老師實驗室取得，幼蟲以480ml昆蟲飼養杯飼養，並以人工飼料進行餵飼，飼養至六齡之幼蟲作為供試蟲源。羽化之成蟲取30隻於直徑15公分之產卵桶中進行交配產卵，並提供20%的稀釋糖水作為食物源。收集的卵片約3日後孵化為一齡幼蟲，重複相同步驟取得供試蟲源及繼代。

三、斜紋夜蛾幼蟲之前處理

幼蟲飼養至六齡之後，於飼養杯中收集，置於 -18°C 冷凍櫃中2小時致死。置於超音波震盪器(Delata, D80H, Taiwan) 中以43 KHz去離子震盪10分鐘，去除體表殘餘之飼料或髒污。將清洗後之幼蟲及蛹以 100°C 之熱水熱燙，處理時間分別為1分鐘及3分鐘。以擦手紙吸附表面水分後，冰存於 -18°C 冷凍櫃中待後續實驗使用。

三、乾燥溫度對斜紋夜蛾幼蟲乾燥速率之影響

取10g解凍之斜紋夜蛾六齡幼蟲，以單層平方式置於熱風乾燥機 (Aroma, AFD-825PU, USA) 中，分別於進行55、60及 65°C 3種不同溫度的條件下進行乾燥，每種溫度各3重複，乾燥過程中定時取出樣品秤重，於開始烘乾後每隔30分鐘取出秤重，重複相同步驟至蟲體重量恆重。乾燥速率定義為單位時間內含水率之改變量，計算公式如下：

乾燥速率 = (本次測量時刻之含水率 - 前次測量時刻之含水率) / 時間間隔 (0.5小時)。
將計算所得之各階段烘乾速率對應其測量時間點，Microsoft Excel繪製「乾燥速率曲線圖」，以 Y 軸表示乾燥速率 (%/hr)，X 軸表示乾燥時間 (hr)，藉此評估不同熱風溫度對幼蟲乾燥之影響。

四、不同乾燥溫度粉末之色澤比較

將55、60及 65°C 熱風乾燥之六齡幼蟲以粉碎機 (Rong Tsong, RT-02SF, Taiwan) 研磨15秒後得到均質粉末。將樣品粉末均勻填充於量測容器中，並輕壓整平表面後，以分光色度儀 (BYK-Gardner, Spectro-guide, Germany) 測定其顏色與光澤度。量測時採用積分球量測幾何，以降低樣品表面粗糙度及顆粒不均對量測結果之影響。測定條件設定為標準光源 D65 及 10° 觀察者角度，記錄樣品之 CIE L^* 、 a^* 、 b^* 色彩參數。

五、不同乾燥溫度粉末之水分測定



1140991



取1g 以55、60及65°C熱風乾燥之六齡幼蟲粉末樣品，均勻鋪展於水分分析儀（AMD，MX-50，Japan）之樣品盤上，測量其含水量，並以重量百分比（%）表示。每一樣品重複測定三次，取其平均值作為該樣品之含水量。

六、不同乾燥溫度粉末之水活性測定

取適量之55、60及65°C熱風乾燥之六齡幼蟲粉末樣品，均勻鋪平於水活性專用樣品盤中，以水活性測定儀（AquaLab PRE, water activity analyzer, USA），測量其水活性值（aw）。每一樣品進行三次重複測定，並以其平均值作為該樣品之水活性結果。

七、統計分析

使用SPSS V22 套裝軟體進行實驗數據統計分析，不同乾燥溫度對斜紋夜蛾幼蟲乾燥速率、粉末色澤（L*、a*、b*）、水分含量及水活性之影響，採用單因子變異數分析進行差異性檢定。若組間達顯著差異，則以 Duncan 氏多重範圍檢定進行事後比較，並以 $p < 0.05$ 作為具統計學顯著差異之判定標準。

八、國內寵物食品廠商名單及產品整理

以「農業部寵物食品申報網」之公開登記資訊收集國內寵物食品廠商名單，先利用「政府資料開放平臺」下載「寵物食品業者申報資訊」取得業者名稱、負責人、聯繫電話及地址。再以申報網之寵物業者查詢及寵物食品查詢功能，調查及統計(1)各縣市業者分布、(2)產品適用對象之占比、(3)產品來源、(4)產品類別及(5)昆蟲製成產品。最後以Microsoft Excel 進行資料彙整，以圖呈現國內寵物食品產業之現況。相關資料預計作為後續年度執行問卷調查之抽樣或實地訪談名單以及後續產品開發之參考。

五、結果與討論：

一、家蠶粉末加工技術流程

本研究參考文獻建立之標準化加工流程(附檔)，經實驗證實可應用於斜紋夜蛾幼蟲。已知食用昆蟲之安全性與品質會受到加工處理過程的影響。其中震盪清洗時，能藉由使用之去離子水觀察到幼蟲體表沾黏之殘餘物所造成的水質濁化。而以100°C熱燙處理，可產生殺菁效果，鈍化蟲體內導致褐變的酵素，降低腸道內的微生物數量，使蟲體定型，有利於後續乾燥程。以斜紋夜蛾六齡幼蟲依循標準化流程進行加工後，可獲得良好之樣品，故以家蠶為標的加工流程，對於同屬鱗翅目昆蟲具有應用參考價值。

二、乾燥溫度對斜紋夜蛾幼蟲乾燥速率之影響

由實驗結果可知斜紋夜蛾末齡幼蟲之乾燥效率隨烘乾溫度升高而增加(圖一)。各組別之含水率均隨乾燥時間呈現指數型下降，並伴隨明顯的減速烘乾期。在乾燥初期（0-1.5 小時），65°C 組別表現出最強的乾燥率達，其最高烘乾速率達 11.64 %/hr，優於 55°C（6.22 %/hr）與 60°C（6.62 %/hr）組別。至 4.5 小時，65°C 組別已降至平衡含水率（3.64%），而 55°C 組別即便至 6 小時仍維持在 4.07%，顯示低溫環境需消耗更長的乾燥時間。但也可觀察到，雖然 65°C 可顯著縮短前期工時，可是高溫易使幼蟲之表皮過度收縮並造成通透性下降，類似於食品加工中的表面硬化現象，可能會阻礙中後期內部水分之滲透擴散。另外考慮到昆蟲體內含有豐富的脂肪酸與蛋白質，為維持脫水效率，並減少因高溫導致的油脂氧化與熱敏性營



1140991



養成分降解，確保樣品作為後續分析或飼料開發之品質穩定性，故建議以60℃ 做為斜紋夜蛾六齡幼蟲之最佳烘乾溫度。

三、不同乾燥溫度粉末之色澤比較

實驗結果顯示色澤受烘乾溫度的影響顯著(表一)。在亮度 (L^*) 方面，受溫度影響極顯著 ($p < 0.001$)，隨溫度升高顯著下降。55℃ 處理組之亮度最高 (47.58 ± 0.94)，而 65℃ 組別最暗 (40.17 ± 1.25)，顯示高溫導致蟲粉顏色明顯加深。在黃藍度 (b^*) 方面亦受溫度顯著影響 ($p < 0.05$)，數值隨溫度升高呈下降趨勢，55℃ 組別之黃色調最為明顯 (16.48 ± 0.35)。而各組間在紅綠度 (a^*) 上並無顯著差異 ($p = 0.567$)。亮度下降與黃色度降低，推測是因幼蟲含有豐富蛋白質，在高溫乾燥過程中與體內微量醣類發生梅納反應所致。

四、不同乾燥溫度粉末之含水量及水活性

含水量與水活性均顯著受溫度影響(表二)。其中55℃ 處理組之含水量 ($6.17 \pm 0.23\%$) 與水活性 (0.45 ± 0.01) 均顯著高於其他兩組。經事後檢定發現，60℃ 與 65℃ 處理組在含水量及水活性上無顯著差異，表示60℃ 之乾燥效果已足以使蟲粉達到良好的物理穩定性。故建議以 60℃ 作為最適烘乾溫度。雖然 55℃ 能使樣品維持較佳亮度，但其較高之水活性不利長期貯藏；而 65℃ 雖然縮短時程，卻褐變較強。以60℃ 處理能在維持低水活性(確保微生物穩定性)之同時，減緩色澤劣化，是在加工效率與品質間取得平衡之最佳選擇。

五、國內寵物食品廠商名單及產品整理

根據「農業部寵物食品申報網」之統計資料顯示，國內寵物食品業者在地域分布上呈現高度都市化特徵。全國共有 3,723 筆業者申報資訊，其中以新北市(743 筆)、臺北市(626 筆)及臺中市(572 筆)位居前三名(圖二)，顯示產業聚落高度集中於北部與中部都會區，這與都會地區龐大的寵物飼養需求及完善的物流體系密切相關。而在產品適用對象方面(圖三)，市場仍以犬、貓為絕對主流。其中貓類產品(55,370 筆)略多於犬類(46,680 筆)，反映出近年來「養貓潮」的興起；其餘對象如鼠、兔及鳥類產品合計僅佔極小比例，顯示特殊寵物市場仍有發展空間。從產品來源看(圖四)，輸入產品(36,445 筆)與國內製造加工(31,807 筆)為兩大支柱，而「委託代工廠製造」亦佔有 19,128 筆，顯示許多品牌商採行代工模式以降低生產成本並靈活因應市場趨勢。產品類別分析顯示(圖五)，市場以「零食」類別為大宗(43,702 筆)，其次為「乾飼糧」(16,121 筆)及「罐頭」(13,139 筆)。此結果說明飼主對於增進寵物互動與獎勵性質的產品需求旺盛。針對本研究關注的昆蟲製成產品(表三)，目前市場申報數量尚處於起步階段。數據顯示，相關產品以「蜂蜜」(180 筆)、「黑水虻」(59 筆)及「蜂王乳」(43 筆)為主，而麵包蟲(30 筆)、家蠶(10 筆)與蟋蟀(4 筆)之應用相對稀少。由於昆蟲蛋白具有高營養價值、低環境負擔(低溫室氣體排放)及低致敏性等優點，目前市場上以黑水虻與麵包蟲為主的飼料產品雖已有基礎，但對比整體數萬筆的寵物食品市場，昆蟲蛋白在主食糧(乾飼糧)及機能性零食的開發上，仍具備極大的成長潛力與市場差異化空間。

六、結論：

本研究整理家蠶粉末加工技術流程，並利用斜紋夜蛾六齡幼蟲測試其標準化加工與乾燥程序。藉由相關實驗結果，確認熱燙殺菁能有效穩定蟲體品質，而 60℃ 為最適烘乾溫度，能在維持高效乾燥速率之同時，減少高溫引起的褐變與表面硬化，確保加工為蟲粉後之物理穩定性與營養價值。而國內寵物食品產業現況調查，已知市場雖以傳統肉類產品及零食為主，但昆蟲產品(如黑水虻及家蠶)已有初步應用。本研究之加工參數可提供未來開發低致敏、高營養之昆蟲



1140991

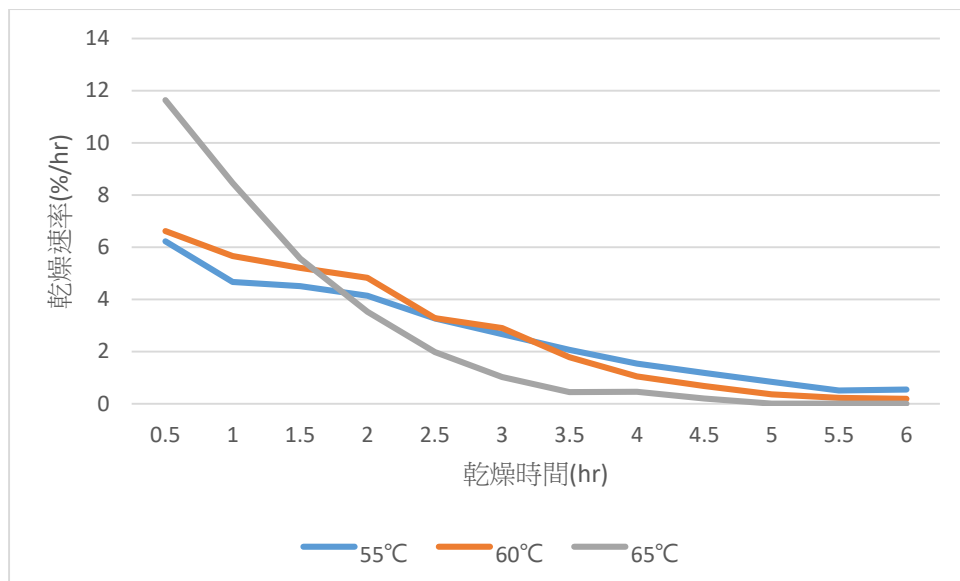


基底寵物食品（特別是市場需求量大的零食與乾糧）重要的技術參考，具有高度的產業應用潛力。

七、參考文獻：

1. 李育明。2003。國內推動生命週期評估應用之回顧與展望。工安環保報導15:11-13。
2. 李啟陽、石憲宗、姚美吉、王泰權及張淑貞。2021。昆蟲應用於食品與飼料之國外相關法規回顧。2021 昆蟲應用於動物飼料產業現況研討會專刊。23-30。
3. 林俊成、陳溢宏、王培蓉及吳孟珊。2019。小果油茶經營成本效益調查與分析。台灣林業科學。34(1): 1-11。
4. Anuduang, A., Loo, Y. Y., Jomduang, S., Lim, S. J., & Wan Mustapha, W. A. 2020. Effect of thermal processing on physico-chemical and antioxidant properties in mulberry silkworm (*Bombyx mori* L.) powder. *Foods*, 9(7), 871.
5. Halloran, A., N. Roos, J. Eilenberg, A. Cerutti and S. Bruun. 2016. Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 36: 57.
6. Krongdang, S., P. Phokasem, K. Venkatachalam and N. Charoenphun. 2023. Edible Insects in Thailand: An Overview of Status, Properties, Processing, and Utilization in the Food Industry. *Foods*. 12: 2162.
7. Larouche, J., B. Campbell, L. Henault-Ethier, I. J. Banks, J. K. Tomberlin, C. Preyer, M. Deschamps and G. W. Vandenberg. 2023. The edible insect sector in Canada and the United States. *Animal Frontiers*. 13: 4.
8. Melgar-Lalanne, G., A. Hernandez- Alvarez and A. Salinas-Castro. 2019. Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. at: <https://www.researchgate.net/publication/334132289>
9. Razali, S. M. 2022. Physicochemical characteristics and microbiological quality of silkworm (*Bombyx mori*) larval and pupae powder: comparative study. *Sains Malaysiana*, 51(2), 547-558.
10. Vollrath, F., R. Carter, G. K. Rajesh, G. Thalwitz and M. F. Astudillo. 2013. Life Cycle Analysis of Cumulative Energy Demand on Sericulture in Karnataka, India. 6th BACSA International Conference: Building Value Chains in Sericulture. at: <https://www.researchgate.net/publication/263238924>





圖一、不同溫度下斜紋夜蛾末齡幼蟲之烘乾速率曲線。

以熱風乾燥機分別於 55°C、60°C 及 65°C 處理之斜紋夜蛾末齡幼蟲。Y 軸為烘乾速率 (%/hr)，X 軸為乾燥時間 (hr)，分別以藍色、橘色及灰色線條代表 55、60 及 65°C 的變化情形。結果顯示隨乾燥溫度升高，初期烘乾速率顯著增加，且所有處理組別均在乾燥 2 小時後進入減速烘乾階段。

表一、不同乾燥溫度粉末之色澤比較

處理溫度 (°C)	亮度 (L*)	紅綠度 (a*)	黃藍度 (b*)
55°C	47.58 ± 0.94a***	4.29 ± 0.24a	16.48 ± 0.35a*
60°C	43.51 ± 0.82b***	4.48 ± 0.22a	16.03 ± 0.37ab*
65°C	40.17 ± 1.25c***	4.49 ± 0.24a	15.68 ± 0.14b*

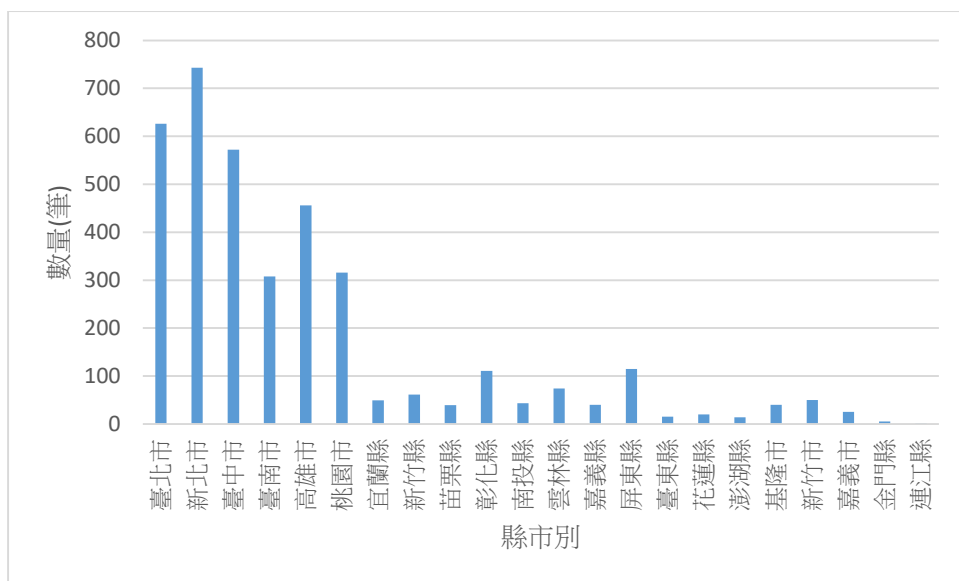
P.S. ***: $p < 0.001$; **: $p < 0.01$; *: $p < 0.05$

表二、不同乾燥溫度粉末之含水量

處理溫度 (°C)	水分含量 (%)	水活性 (a_w)
55°C	6.17 ± 0.23a**	0.45 ± 0.01a***
60°C	4.85 ± 0.33b**	0.32 ± 0.01b***
65°C	4.74 ± 0.35b**	0.31 ± 0.01b***

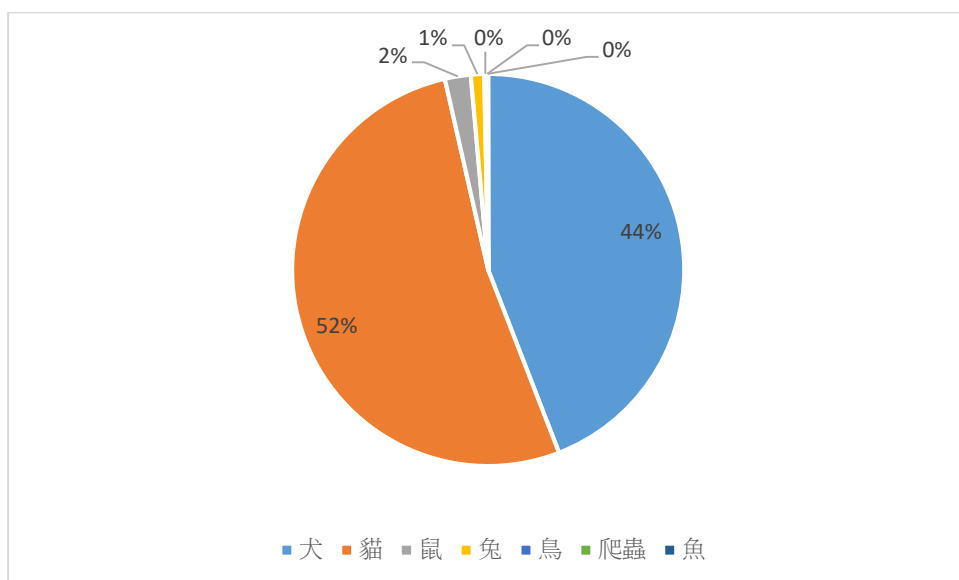
P.S. ***: $p < 0.001$; **: $p < 0.01$; *: $p < 0.05$





圖二、各縣市寵物食品廠商數量。

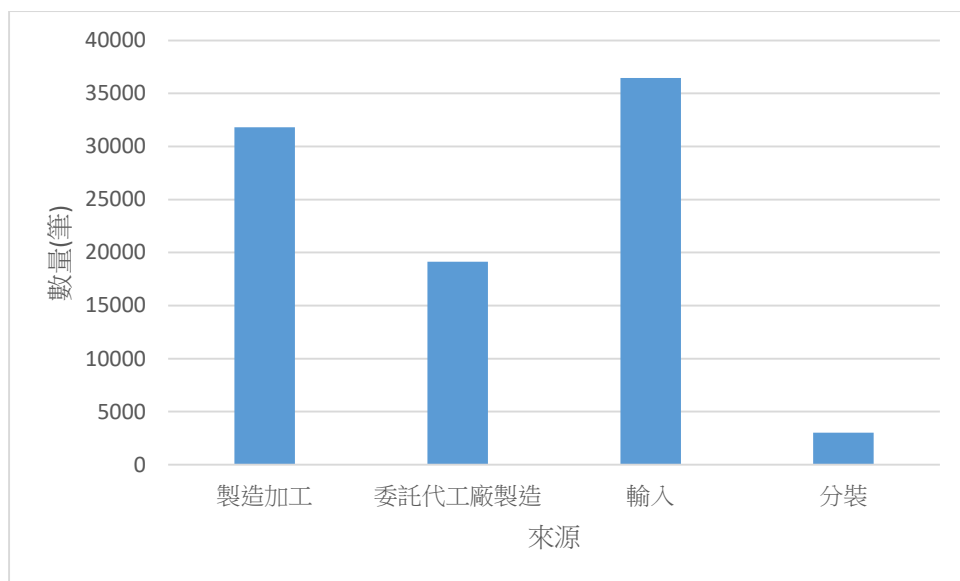
資料來源：農業部寵物食品申報網。



圖三、不同寵物產品適用對象占比圖。

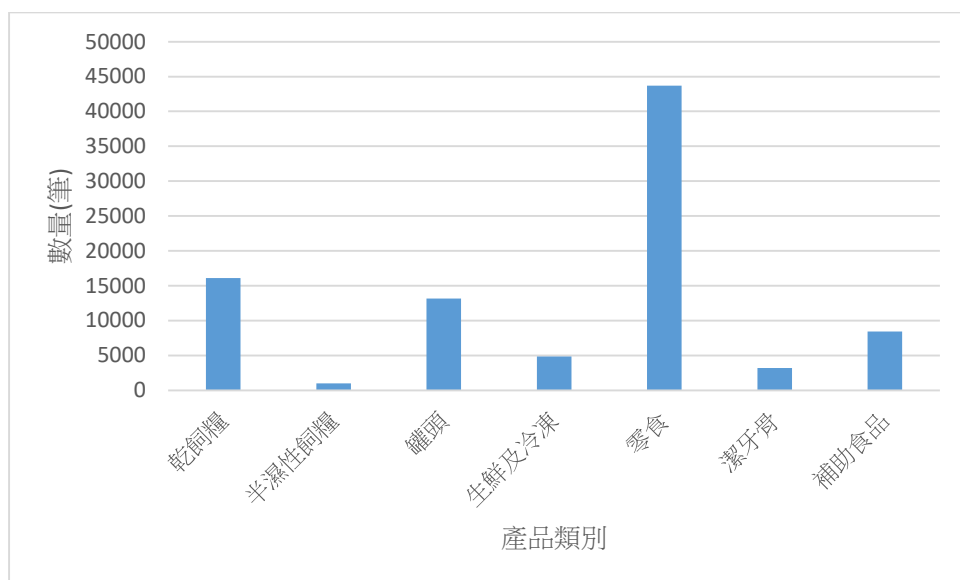
資料來源：農業部寵物食品申報網。





圖四、國內寵物食品來源。

資料來源：農業部寵物食品申報網。



圖五、國內寵物食品類別。

資料來源：農業部寵物食品申報網。





表三、國內昆蟲基質寵物產品統計表

昆蟲(產品)種類	數量(筆)
家蠶	10
蜂子	7
蜂蜜	180
蜂王乳	43
黑水虻	59
麵包蟲	30





一、家蠶粉末加工技術流程

1. 原料準備與前處理
 - 篩選與清洗：挑選健康的家蠶幼蟲或蛹，首先使用自來水清洗以除去體表雜質。
 - 震盪清洗：為確保純淨度，使用去離子水進行更深層的震盪清洗，移除沾黏於蟲體表面的殘餘物。
2. 熱燙殺菁 (Blanching)
 - 條件：將清洗後的蟲體置於 100°C 的沸水中處理約 5 分鐘。
 - 目的：
 - 鈍化酵素：有效鈍化會導致褐變的酵素（如多酚氧化酶），維持粉末色澤。
 - 微生物控制：顯著降低腸道及體表的微生物載量，確保食品安全性。
 - 定型：使蟲體組織凝固、定型，有利於後續的乾燥與研磨。
3. 乾燥處理 (Drying)
 - 方式：多採用熱風乾燥（Hot-air drying）。
 - 溫度選擇：文獻中探討了不同溫度（如 50°C、60°C、70°C）。
 - 標準：乾燥至含水量低於安全標準（通常目標含水量 < 5% 或水活性 < 0.6），以利長期貯存。
4. 研磨與篩分 (Grinding and Sieving)
 - 研磨：使用高速研磨機將乾燥後的蟲體粉碎。
 - 篩分：利用標準篩（如 40-60 mesh）進行篩分，以獲得粒徑均一、質地細緻的家蠶粉末。
5. 包裝與儲存 (Packaging and Storage)
 - 將成品存放於密封、避光且防潮的包裝（如鋁箔袋）中，置於低溫（4°C 或室溫乾燥處）保存，以防止油脂氧化或吸濕結塊。



1140991



二、流程圖

