

蜂王漿蛋白含量影響因子

黃子豪（助理研究員）

前言

蜂王漿（Royal Jelly, RJ）是年輕工蜂（5至15日齡育幼蜂）下咽腺及大顎腺分泌的乳白色酸性物質。蜂王漿做為蜜蜂幼蟲和蜂王的食物，同時也是幼蟲發育為蜂王的關鍵營養來源，影響蜂群的階級分工和繁殖能力。蜂王漿化學成分複雜，主要包含水分（60~78%）、蛋白質（9~18%）、碳水化合物（7~18%）和脂質（3~8%），並富含礦物質、維生素及多酚等。其富含營養價值和廣泛的生物活性使其在全球保健品市場上具有極高商業價值。

蜂王漿蛋白（MRJPs）

蜂王漿蛋白（Major Royal Jelly Proteins, MRJPs）是蜂王漿中最主要的蛋白質家族，佔總蛋白質的80%至90%。該家族包含9個成員（MRJP1~9），其中MRJP1、MRJP2、MRJP3、MRJP4和MRJP5含量較高。MRJP1含量最多，約佔水溶性蜂王漿蛋白的45~48%。MRJPs家族成員間氨基酸序列同源性高達70%，並與黑果蠅和細菌的黃蛋白（Yellow protein）家族同源。

MRJPs被視為蜂王漿多種生物活性的主要貢獻者，包括抗菌、抗炎、免疫調節、抗糖尿病、抗腫瘤、促進細胞生長、傷口癒合、延長壽命和抗衰老等，並在蜜蜂幼蟲的蜂王分化和腦功能（如記憶、學習和社會行為）中扮演重要角色。因此，MRJPs含量不僅和蜂王漿的「量」息息相關，更直接影響其

「質」和生物活性，進而影響其商業價值和應用潛力。

影響 MRJPs 含量的主要因子

一、營養與飼料因素

蜂王漿的生產依賴蜜蜂攝入的營養物質，蜂花粉是蜜蜂蛋白質和微量營養素的主要來源，其種類和品質直接影響MRJPs的生物合成。研究顯示，飼餵甘藍型油菜花粉（*Brassica napus* pollen）的蜜蜂下咽腺發育更佳，並增加關鍵蜂王漿蛋白MRJP1的基因表現。儘管不同花粉餅（橡樹與油菜花粉餅）對蜂王漿總體化學成分或10-HDA含量無顯著差異，但特定MRJP成員的量仍受其影響，例如MRJP3前體和MRJP3類蛋白的密度在橡樹花粉餅組中顯著高於油菜花粉餅組。



圖一、蜂花粉種類及品質影響特定蜂王漿蛋白（MRJP）成員的量。

在缺乏外在食物的季節，補充人工飼料是養蜂常見做法。研究發現，飼餵糖漿和蜂蜜對蜂王漿的10-HDA、氨基酸組成和總蛋白

表一、主要蜂王漿蛋白（MRJPs）家族成員及生理功能簡述

MRJPs	生理功能 / 表現模式
MRJP1	蜂王分化關鍵因子，促進蜜蜂生長、卵巢發育；影響蜜蜂神經功能與學習；具有免疫調節作用；具有抗菌、抗氧化作用。通常與蜂毒素 (apisimin) 和牡蠣固醇 (Ostreasterol, Osl) 結合。
MRJP2	在新生成蜂的腦部高量表現；促進蜂王幼蟲發育；具有免疫調節作用；具有抗菌、抗氧化作用。
MRJP3	含五肽重複單元，可儲存豐富可用氮；有助於蜜蜂幼蟲的快速生長和蜂王的高繁殖能力；具免疫調節作用；能結合並穩定蜂王漿中的 RNA。
MRJP4	具有抗菌作用；有助於蜂王的高繁殖能力。
MRJP5	含有三肽重複單元，其中包含甲硫氨酸殘基，是儲存硫的重要區域；在外勤蜂中活性更高；具有高遺傳變異性，可能與蜜蜂的基因分型有關。
MRJP6	在蜜蜂腦部相對穩定，但在外勤蜂階段的下咽喉腺中表現達到高峰。目前對其具體生物功能的描述相對較少，尚待研究以釐清在蜜蜂生理中的確切作用。
MRJP7	在蜜蜂腦部表現水準和蜜蜂日齡有關；蜜蜂攝入細菌後，MRJP7 在育幼蜂下咽喉腺中的表現會顯著上調，顯示 MRJP7 和蜜蜂的跨代免疫啟動有關。
MRJP8	家族中最古老成員，缺乏重複區；由育幼蜂腦部的肯揚細胞（葷狀體）產生；在蜜蜂其他身體部位（如毒腺）中存在，其功能可能不限於下咽喉腺或腦部；蜜蜂蜂毒的成分之一。
MRJP9	家族中最古老成員，缺乏重複區；在所有雌蜂的頭部、胸部和腹部都有活性，暗示可能具有和營養功能不同的作用；蜜蜂蜂毒的成分之一。

質水平（包括 MRJPs）無顯著差異，主要影響碳水化合物組成。

二、蜂群與生理因素

蜂群的內部生理狀態和組織結構對蜂王漿的生產具有決定性影響，工蜂數量與蜂王漿總產量呈正相關。而當工蜂數量較低時，每隻工蜂的蜂王漿產量會增加，顯示蜜蜂可能具有調節分泌的機制。無蜂王蜂群的蜂王漿產量更高，可能與緊急培育新蜂王的需求相關。

蜜蜂的種類和遺傳背景也是影響蜂王漿化學成分的重要參數，不同蜜蜂物種，如東方蜜蜂（*Apis cerana*）和西方蜜蜂（*Apis mellifera*），在 MRJP2 和 MRJP3 多態性上存在差異。用東方蜜蜂的蜂王漿餵養西方蜜蜂

幼蟲無法使其發育為蜂王，表示 MRJPs 是蜂王分化的關鍵控制因素。MRJPs 的合成和分泌是一個高度動態且受生理狀態精確調控的過程，MRJP1~5 和 MRJP7 的表現量和蛋白質含量在工蜂的下咽喉腺和腦部表現與工蜂日齡相關。例如 MRJP1~4 和 MRJP7 在育幼蜂中活性更高，而 MRJP5 和 MRJP6 則在外勤蜂中活性較高。

三、環境與氣候條件

蜂王漿的化學成分會因養蜂季節、蜂場地理位置等外部環境與氣候條件而異。花期變化會導致蜂王漿代謝和蛋白質體學特徵的變化，其中 MRJP5 被鑑定為導致這些變化的關鍵性成分。氣象條件（如溫度、濕度、降雨量）直接影響蜜源植物的生長、開花時間

和花蜜/花粉的品質與數量，同時也影響蜜蜂的採集活動、生理代謝和健康狀況，進而影響 MRJPs 的生產效率。蜂場的地理位置不僅代表蜜源植物的種類，也代表特定的環境條件和潛在的環境壓力（如污染），共同塑造蜂王漿的獨特化學「指紋」，包括 MRJPs 的組成。

四、病原體暴露

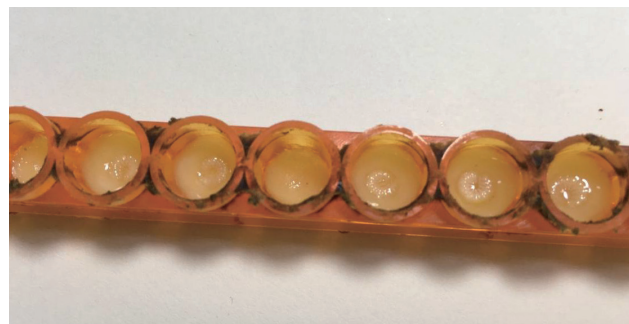
研究發現，病原體對蜂群健康和蜂王漿成分產生影響，當育幼蜂攝入具活性或熱滅活的美洲幼蟲病病原體（*Paenibacillus larvae*）後，其下咽喉腺中 MRJP1~7、防禦素-1（defensin-1）的表現和脂肪體中的卵黃蛋白原（vitellogenin, Vg）表現均顯著上調。攝入活菌在 12 小時內導致更高的 MRJPs 和防禦素-1 表現，而熱滅活菌在 24 小時內影響更大。顯示這種表現模式的變化和細菌攝入時間及細菌狀態有關。

五、採收與後處理因素

採收時間對蜂王漿的產量和化學成分有顯著影響。根據 Al-Kahtani 及 Taha 於 2021 年的研究指出，移蟲後 72 小時採收的蜂王漿產量最高，且粗蛋白、灰分、果糖和葡萄糖濃度最高，水分含量最低。然而 Liu 等人於 2008 的研究指出在移蟲後 24 小時採收的蜂王漿中蛋白質、多酚類化學物質等有益成分含量較高。這種差異可能源於實驗條件、蜜蜂種類、養蜂地域因素的變化。

採收後的儲存條件對蜂王漿的品質十分關鍵，良好的儲存條件可有效防止包括 MRJPs 在內的寶貴營養物質的降解和流失。研究指出，MRJP1 對儲存溫度敏感，在 40°C 下儲存的蜂王漿，MRJP1 含量顯著降解，隨著儲存時間的延長（7 天至 49 天），降解率從 37.3% 增至 73.1%。此外，MRJP1、MRJP2、MRJP3 和 MRJP5 的降解率與儲存時間呈正相關。低溫儲存（4°C 冷藏或 -18°C

冷凍）有助於維持酶活性，這些酶活性可作為蜂王漿新鮮度的良好指標。



圖二、移蟲後 72 小時採收的蜂王漿產量最高。

未來研究方向

未來研究應聚焦於影響 MRJPs 含量與組成的機制，強化基因與環境交互作用的探討，特別是在氣候變遷與病原壓力下的表現調控。此外，整合蛋白質體、代謝體與轉錄體等多體學技術，將有助於全面掌握 MRJPs 變化與蜂王漿品質的關聯。針對特定功能 MRJPs 的生產策略亦具潛力，如透過營養補充或環境調控提升特定蛋白含量，以滿足市場的健康需求。另一方面，儲存條件對 MRJPs 穩定性具有一定影響，開發新型保鮮與非熱加工技術將有助延長蜂王漿保存期限。完善並標準化 MRJPs 的定量分析方法，是確保研究可比性與產品品質控制的基礎，有助於產業發展與市場信任。

總結

蜂王漿中主要蛋白（MRJPs）的含量與組成受營養來源、蜂群狀態、環境氣候、病原體暴露及採收儲存方式等多重因素影響。透過系統性掌握這些因素及其交互作用，不僅有助於提升蜂王漿的品質與功能性，也能促進產品標準化、生產效率與市場競爭力。未來應強化功能性 MRJPs 的應用研究與品質控管機制，帶動蜂王漿生產邁向高值化與永續化發展。