

蜜蜂腸道菌對蜂群管理之重要性

陳好欣（國立中興大學昆蟲學系研究生）

吳明城（國立中興大學昆蟲學系副教授）

前言

蜜蜂因為人類活動及氣候變遷造成的不友善環境而增加生存壓力，這些問題的現況皆難以立即改變，因此從增加蜜蜂生理韌性著手，利用腸道共生菌協助蜜蜂消化食物、抵禦病原，是一個人類可以做得到的，且可協助蜜蜂抵禦外界不利環境之方法。益生菌研究如雨後春筍般出現，越來越多證據指出蜜蜂腸道菌與蜜蜂生理的正常運作息息相關，若腸道菌相紊亂失衡，蜜蜂生理也會弱化，例如：容易感染病原、易受環境化學物質影響。許多結果也指出腸道菌相多樣性（豐富度及均勻度）的高低會影響宿主之生理韌性，更有研究指出繁盛蜂群的腸道菌相較一般蜂群的腸道菌相豐富；且也有研究指出越接近冬天，蜜蜂腸道菌相多樣性越低，此現象是否與冬天容易有蜜蜂損失有相關連以及是否能夠藉由提升腸道菌相多樣性而改善，是現階段科學家積極釐清的問題。如何選用益生菌、施用益生菌於蜂群，這些資訊與觀念會是未來蜂群管理的一部分，並成為影響蜂群健康的重要因子。

西方蜜蜂腸道共生菌簡介

西方蜜蜂腸道由前腸、中腸和後腸組成，前腸又稱為蜜囊，用於暫時儲存蜜蜂採集的花蜜，會不斷經歷儲存及吐空的過程，因此蜜囊的菌群是依環境蜜粉源微生物而變化，菌種與菌數量變異很大；中腸為主要食物消化、吸收營養的場所，當食物進入中腸，隨

即有圍食膜生成，中腸會不斷產生新的圍食膜保護腸道，因此微生物不容易定殖於中腸；後腸為主要腸道共生菌生長的位置，可以達 10^8 CFU/ mL 以上的菌量，可協助蜜蜂進一步代謝醣類和花粉，讓蜜蜂更容易獲得所需之營養。

西方蜜蜂透過取食花蜜、花粉和水等環境資源而獲取微生物菌群；此外，西方蜜蜂亦會透過交哺行為 (trophallaxis) - 口對口交換彼此食物，或口對糞的清潔行為傳播彼此從環境中獲取的微生物菌群。蜜蜂腸道菌可分為核心菌群 (core bacteria) 和非核心菌群 (non-core bacteria)，核心菌群乃腸道共生菌和蜜蜂長時間共同演化後，穩定存在蜜蜂腸道內，共有五大核心菌群，分別為變形菌門之 *Snodgrassella alvi* 和 *Gilliamella apicola*、放線菌門的雙歧桿菌 *Bifidobacterium asteroides*，以及厚壁菌門的 Firm-4 和 Firm-5 乳酸桿菌群；Firm-4 乳酸桿菌群最常見的為 *Lactobacillus mellifer* 及 *Lactobacillus mellis*，而 Firm-5 乳酸桿菌群最常見的為 *Lactobacillus apis*、*Lactobacillus helsingborgensis*、*Lactobacillus melliventris*、*Lactobacillus kimbladii* 及 *Lactobacillus kullabergensis*。非核心菌群不會穩定存在，但常見於蜜蜂腸道內，例如：變形菌門之 *Frischella perrara* 和 *Bartonella apis*、醋桿菌科 Alpha 2.1 菌群 *Parasaccharibacter apium*、厚壁菌門之 *Fructobacillus fructosus* 和 *Lactobacillus kunkeei*。

蜜蜂腸道菌之功能

腸道菌本身可以刺激蜜蜂免疫反應，此外，也協助代謝蜜蜂所取食的食物（花粉和花蜜），以及於腸道內生合成代謝物，進而影響蜜蜂多方面之生理反應，例如：可以幫助蜜蜂消化，增加體重、提升蜜蜂胃口、轉化有毒醣類、提升宿主免疫力、協助代謝農藥，以及增加學習能力等，以下針對腸道菌對於醣、花粉、病原和農藥之作用進行簡介。

研究顯示，透過基因體分析可得知蜜蜂腸道菌 *G. apicola*、*F. perrara*、*B. asteroides*、Firm-4 乳酸桿菌群及 Firm-5 乳酸桿菌群等，擁有豐富的碳水化合物代謝基因組，推測可協助蜜蜂代謝醣類。其中 *Bifidobacterium* 及 *Gilliamella* 的基因體，鑑定出可降解多醣的基因組。透過代謝分析可得知 *G. apicola* 可代謝對蜂有毒醣類、大分子之多醣體，以及花粉壁上的醣類、半纖維素及果膠質等。本研究團隊分析蜜蜂乳酸菌 (*Leuconostoc mesenteroides* TBE-8) 的醣類代謝能力時，發現所分析的 49 種醣類中，該菌可代謝 23 種；此外，在黑酵母菌 (*Aureobasidium melanogenum* CK-CsC) 試驗結果中，亦可推測花粉中含有變形菌門、擬桿菌門和放線菌門等可協助蜜蜂降解多醣體。

蜂花粉為蜜蜂主要的蛋白質、脂質、維生素及礦物質來源，蜜蜂除了用自身中腸消化系統將花粉壁分解，也透過後腸腸道內微生物將尚未被中腸破壁的花粉進一步消化利用，推測花粉的醣類與組成花粉內壁的半纖維素及果膠質在後腸前端的迴腸被 *G. apicola* 代謝，代謝所產生的有機酸則會被 *S. alvi* 利用，最後剩餘的花粉粒到後端直腸，由

Firm-4 及 Firm-5 的乳酸菌群進行分解代謝，所生成的代謝物則進一步影響蜜蜂的生理反應。

腸道菌除扮演代謝營養的角色之外，越來越多研究也發現其可以抑制病毒、細菌、真菌等的生長，例如：蜜蜂腸道菌 *S. alvi* 可藉由提升蜜蜂免疫系統有效抑制病毒增生；許多從蜜蜂腸道分離的乳酸菌已被發現可抑制美洲幼蟲病病原、歐洲幼蟲病病原、西方蜂微粒子病病原和東方蜂微粒子病病原，甚至從蜂王漿分離的 *P. apium* 醋酸菌亦可有效協助蜜蜂抵抗微粒子病；沙烏地阿拉伯研究團隊從蜜蜂腸道分離一種桿菌 (*B. subtilis*) 與一種螢光假單胞菌 (*Pseudomonas fluorescense*) 可有效抑制白堊病的發生。除了協助對抗病原，腸道菌也被發現可分解農藥或是提升蜜蜂對農藥的抵抗力，例如：已發現 7 種蜜蜂內共生菌可以分解農藥可尼丁 (Clothianidin)；亦有研究團隊發現當蜜蜂腸道內如有 *G. apicola* 及 *L. kunkeei* 這兩種菌定殖時可增加蜜蜂對農藥第滅寧 (Deltamethrin) 的抵抗力，蜜蜂存活率可從 16.7 % 提升至 66.7 %，證明腸道共生菌可提高宿主生理韌性來抵禦農藥。

市售蜜蜂益生菌簡介

目前美國可找到 7 種市售蜜蜂益生菌產品 (表一)，皆為美國本地生產之產品，不過菌種多為人類常用益生菌，如：嗜酸乳桿菌 A 菌 (*Lactobacillus acidophilus*)、比菲德氏菌 B 菌 (*Bifidobacterium bifidum*)、糞腸球菌 F 菌 (*Enterococcus faecium*)、枯草桿菌 (*Bacillus subtilis*) 及釀酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) 等，菌粉菌數約為 $10^8 \sim 10^{10}$ CFU/g，

每巢每次推薦使用約 10 g；推薦使用方法有三種：(1) 直接塗抹或靜置於巢框上，(2) 混入糖水或蜂糧餵食，(3) 直接噴灑於蜜蜂身上。通常推薦春秋兩季或遷徙期間餵食，餵食頻率從 2 周到 1 個月餵食 1 次，亦有 4 個月餵食 1 次。這些直接採用人類常用的益生菌而開發成蜜蜂益生菌產品，對於蜜蜂是否有幫助其實未知，研究蜜蜂微生物的專家對於這類產品也抱懷疑的態度。

上述 7 種蜜蜂益生菌產品僅有 1 種商品為使用蜂群環境分離之菌種，是由加拿大學者 Gregor Reid 開發的蜜蜂益生菌 BioPatty™，其包含 3 種從健康蜂群分離出來的菌株：*Lactiplantibacillus plantarum* Lp39、*Lacticaseibacillus rhamnosus* GR-1，以及 *Apilactobacillus kunkeei* BR-1。由試驗結果可知這款益生菌商品混入人工蜂糧中來餵食蜂群，可協助蜂群對抗美洲幼蟲病，此外，研究比較這 3 株菌透過人工蜂糧餵食及直接噴灑於蜜蜂身上兩種方式對蜂群的影響，結果發現含有 3 株菌的處理組中，蜂群蜂蓋蛹的比例、族群大小及蜂蜜產量皆高於對照組及未添加的組別，並且以人工蜂糧餵食的途徑為效果最佳的方法，同時也發現食用 BioPatty™ 的蜂群被蜂蟹蟎感染的程度較低。

Chmiel 的團隊統整 2004~2020 年間蜜蜂益生菌的研究，並針對蜜蜂免疫功能、病原抗性、蜂群生產力進行綜合分析，結果表明「非致病性微生物」的使用可以提高蜜蜂抵抗美洲幼蟲病及微粒子病的能力，並提高蜂蜜的產量。證據指出從蜂群中分離的菌種更優於其他來源的菌種，而篩選出的微生物需透過試驗分析根據其特徵、施用有效劑量，

對蜜蜂造成有效影響，才能真正被稱做「蜜蜂益生菌」。

益生菌投放蜂群的考量

益生菌產品使用需了解該產品的有效成分，例如：活菌、死菌或菌的發酵代謝物等。若是想提升蜜蜂免疫系統，上述 3 種製劑皆可達到目標；若是要幫助蜜蜂消化、解毒等生理反應，需要餵食蜜蜂活菌才能達成，且活菌數多寡將會是影響成效的關鍵。餵食的方式也會影響該活性物質的傳播，例如：(1) 利用糖水餵食，蜂群內所有蜂 24 小時內皆可平均取得；(2) 利用蜂糧餵食，大部分蜂糧會由羽化後 9 日齡內的內勤蜂取食，但仍然於 24 小時內該群所有蜂皆可獲得，差異在每隻蜂獲得該活性物質的量變異較大。如果考慮用活菌餵食，也需要考慮該菌種是否能存活於高張的糖水溶液或蜂糧中。

結語

氣候變遷劇烈，蜂群除了需要面臨環境蜜粉資源的變異，以及因氣候暖化害蟲增生導致農藥使用頻率增加的威脅，也需要面對巢內蜂蟹蟎、蜜蜂病原增生等生存壓力，也因此近年養蜂人家可深刻感受到蜜蜂越來越難養。現今的環境條件考驗養蜂者的蜂群管理技術 - 如何培育最健康的蜂后、如何有效防治蜂蟹蟎及如何增加蜂群面對環境的生理韌性等。期待本篇文章能讓讀者更了解蜜蜂腸道共生菌，也期望本研究團隊潛心探討的蜜蜂腸道菌能在未來派上用場，協助蜂群維持健康。

表一、美國市面蜜峰益生菌產品列表 (引用自陳妤欣碩士論文, 2023)

產品名	廠商	劑型	劑量	菌種
SuperDFM®-Honeybee™	Strong Microbials	粉劑	10g / 巢	共 7 種: <i>Bacillus subtilis</i> 、 <i>Bacillus licheniformis</i> 、 <i>Bacillus pumilus</i> 、 <i>Lactobacillus acidophilus</i> 、 <i>Enterococcus faecium</i> 、 <i>Bifidobacterium bifidum</i> 、 <i>Lactobacillus plantarum</i>
ProDFM Microbial Supplement	Mann Lake Bee & Ag	粉劑	10g / 巢	標示 10 種, 但僅查到 8 種: <i>L. acidophilus</i> 、 <i>E. faecium</i> 、 <i>B. bifidum</i> 、 <i>L. Plantarum</i> 、 <i>B. subtilis</i> 、 <i>B. licheniformis</i> 、 <i>B. pumilus</i> 、 <i>S. cerevisiae</i>
Fat Bee Probiotic Mineral Supplement	Slide Ridge	液劑	1 瓶蓋/巢	共 11 種: <i>B. subtilis</i> 、 <i>B. bifidum</i> 、 <i>Bifidobacterium longum</i> 、 <i>Enterococcus lactis</i> 、 <i>E. Thermophilus</i> (可能標示錯誤, 推測為 <i>Streptococcus thermophilus</i>)、 <i>L. acidophilus</i> 、 <i>Lactobacillus bulgaricus</i> 、 <i>Lactobacillus casei</i> 、 <i>Lactobacillus fermentum</i> 、 <i>L. plantarum</i> 、 <i>S. cerevisiae</i>
Fat Bee Probiotic	Slide Ridge	液劑	2~4oz / 巢 (60~120mL)	共 11 種: <i>B. subtilis</i> 、 <i>B. bifidum</i> 、 <i>B. longum</i> 、 <i>E. lactis</i> 、 <i>S. cerevisiae</i> 、 <i>E. Thermophilus</i> (可能標示錯誤, 推測為 <i>Streptococcus thermophilus</i>)、 <i>L. acidophilus</i> 、 <i>L. bulgaricus</i> 、 <i>L. casei</i> 、 <i>L. fermentum</i> 、 <i>L. plantarum</i> 、 <i>L. acidophilus</i>
Probiotics Microbial Powder	Durvet	粉劑	6g / 1quart 糖水或蜂糧	共 7 種: <i>B. bifidum</i> 、 <i>B. longum</i> 、 <i>E. faecium</i> 、 <i>L. acidophilus</i> 、 <i>L. plantarum</i> 、 <i>L. casei</i> 、 <i>Lactobacillus lactis</i>
Probiotic Bee Syrup Supplement	Homer's Honeybee and supplies	液劑	1 Gallon 糖水 3 Tablespoon (14.79ml)	標示不明
BioPatty™	Seed (SeedLabs)	添加益生菌之人工蜂糧	1 份(250 g) / 巢	共 3 種: <i>L. plantarum</i> Lp39、 <i>Lacticaseibacillus rhamnosus</i> GR-1、 <i>Apilactobacillus kunkeei</i> BR-1