

# 昆蟲糞便作為生物刺激素材料之開發

古金台（助理研究員）

## 前言

近年來因氣候變遷引發極端氣候事件頻率增加，農業生產面臨產量不穩定與資源利用效率下降等挑戰；同時，聯合國亦預估至2050年全球人口將接近100億人，糧食與蛋白質需求將持續攀升。在此背景下，各類具備低環境衝擊及高生產效率之新型蛋白來源研究相繼發展，包括植物性來源之藻類、菇類與植物肉，以及動物性來源之人造肉與食用昆蟲。其中，食用昆蟲產業於近十年間已於歐洲及北美建立規模化飼養與加工體系，成為新興蛋白產業中發展最快速的領域之一。

但隨著食用昆蟲大量飼養一同產生的各種副產物，以昆蟲糞便（insect frass）之產量最為可觀。昆蟲糞便除包含昆蟲排泄物外，尚混合未完全消化之飼料殘渣及昆蟲蛻皮（exuviae），使其成分同時含有養分、含氮廢物、微生物及幾丁質等多種有機質。近幾年相關的研究顯示，昆蟲糞便除可作為土壤改良資材外，亦可能透過影響根圈環境誘導作物防禦反應，展現類似生物刺激素（biostimulants）之功能。

生物刺激素係指某一類資材，其本身不一定直接提供作物所需之營養元素，但可透過其所含之活性成分或微生物，促進作物生長發育、提升養分利用效率、增強對非生物逆境（如乾旱、鹽害、高低溫）之耐受性，或提高作物對病蟲害的防禦能力。相較於肥料著重於營養供給與利用效率，生物防治資材以抑制病蟲害為主要目的，生物刺激素更強調對作物生理反應與根圈環境的調節功能。目前以歐盟對

生物刺激素的定義最為明確，並已建立相對完整之管理架構；然而在國內，相關資材仍多被歸類於生物肥料或土壤改良資材，對其功能定位與作用機制之界定仍有待進一步釐清。

現行研究與商品化程度較高之生物刺激素材料，主要包括海藻萃取物、胺基酸製劑、腐植酸類物質及微生物製劑等；近年亦逐漸出現對新興資材的關注，例如幾丁質及其衍生物、農業副產物萃取液，以及昆蟲糞便（圖一）等。這類新型材料多具有來源多元、可循環利用之特性，並被視為兼顧作物生產與環境永續的潛在選項。



圖一、國外昆蟲糞便產品。圖片出處：<https://www.amazon.nl/-/en/Frassor-Insects-Frass-All-one/dp/B0CR1FGK9Q>

歐盟近期批准了昆蟲糞便的農業應用規範，並制定了具體的生產與市場標準，可望推動其作為生物刺激素之應用，擴大其在全球市場的規模。2023年相關資材規模為9,600萬美元，預計2030年將超過1.35億美元。將昆蟲糞便開發為生物刺激素加以應用，除了可提升農業生產的可持續性外，亦可增強昆蟲產業的

經濟效益。故本文整理其組成特性、農業應用研究案例及使用上的注意事項，作為後續研究與推廣應用之參考。

## 昆蟲糞便的定義與組成特性

食用昆蟲之糞便，如前述為一種複合性材料，其成分除昆蟲排泄物外，尚包含未完全攝食之飼料殘渣及昆蟲蛻皮。經成分分析顯示，其通常富含氮、磷、鉀等主要元素及多種微量元素；經腸道消化後所排出的糞便中，往往帶有昆蟲腸道的共生微生物；昆蟲糞便中常含有一定比例之蛻皮，其主要成分為幾丁質。正因具備多元組成，使昆蟲糞便相較於動物糞便，具有更為多樣的農業應用潛力。但需要特別注意，昆蟲糞便之實際成分與比例，會隨昆蟲種類、飼料來源、飼養條件及糞便處理方式而有所差異。

## 昆蟲糞便作為生物刺激素的作用機制

昆蟲糞便作為生物刺激素之可能作用機制可依其主要內含成分，歸納為三種：

- 一、其豐富的有機質，具有類似肥料之基礎特性，能改善土壤理化性質，且被認為具有可作為緩釋型養分來源的潛力。並可能透過改善土壤團粒結構與保水性，影響作物根系生長環境。
- 二、內含昆蟲部分腸道微生物菌種，其功能與現行農產業應用之根圈益生菌（plant growth-promoting rhizobacteria, PGPR）相似，能透過分泌有機酸、植物荷爾蒙類物質或促進養分溶解，改善根圈環境並提升作物養分吸收效率。
- 三、所含之幾丁質或其衍生物可作為植物的誘導抗性因子，刺激作物啟動防禦反應，提升對病原菌與害蟲的抵抗能力。

上述機制可能單獨或交互作用，使昆蟲糞便在低施用量下即對作物生長與抗逆境能力

產生影響，亦為其被歸類為生物刺激素的重要依據。

## 昆蟲糞便的應用案例

### 一、供給養分及改善土壤理化性質

多項研究顯示，在高氮需求作物如菠菜、萵苣、白菜及豆類之栽培試驗中，於溫室或盆栽條件下施用昆蟲糞便，能有效促進作物生長表現。如以麵包蟲或黑水虻乾燥糞便作為基肥，與土壤混拌施用，並於生育中期搭配表面撒施乾燥蟲糞，或以蟲糞浸泡水後過濾之萃取液進行土壤澆灌或葉面處理，相較於僅施用化學肥料之對照組，葉菜類作物在地上部與地下部生物量、葉綠素含量及光合效率上皆有顯著提升；而於豆類作物中，則可觀察到花朵數、莢果數及種子產量增加。

除對作物生長的直接影響外，施用昆蟲糞便能顯著提高土壤有機質含量，改善土壤團粒結構與保水性，進而優化根系生長環境。綜合而言，此類成效主要歸因於昆蟲糞便中所含之微量元素與有機質等，能以相對緩釋的形式釋放，兼具養分供應與土壤改良之功能。

### 二、促進根圈微生物與根圈益生菌活性

針對土壤微生物對環境較為敏感，且易受土傳性病害影響之作物（如十字花科植物），研究嘗試將昆蟲糞便及昆蟲蛻皮分別或混合施入土壤作為基肥。結果顯示，施用後根圈範圍內的土壤微生物群落結構發生顯著變化，益生菌及具幾丁質分解能力之細菌族群比例明顯增加。

而微生物群落轉變，可進一步提升土壤中氮、磷等養分的生物有效性，並影響植物體內碳氮比例與營養分配狀態，使作物整體營養利用效率獲得改善。上述結果顯示，昆蟲糞便除作為植物養分來源外，亦可能透過調控根圈微生物組成與活性，間接促進作物生長與健康。

### 三、誘導防禦反應

在誘導抗性相關研究中，於玉米播種前將昆蟲糞便與土壤混拌施用作為基肥，結果顯示，該處理可啟動玉米體內與防禦反應相關之訊息傳遞路徑，特別是與茉莉酸 (jasmonic acid) 相關的防禦機制，使植株在害蟲取食前即處於防禦預備狀態。

另外經由取食試驗顯示，害蟲在取食經昆蟲糞便處理之植株後，其體重增長速度明顯降低，葉片受損程度亦顯著減輕。此結果顯示，昆蟲糞便並非透過直接殺蟲作用，而是藉由誘導植物內在防禦反應，提升作物對害蟲危害的耐受能力，進而降低害蟲對作物造成的實質損失。

### 使用昆蟲糞便的注意事項與限制

儘管昆蟲糞便具備成為生物刺激素之潛力，但於實際應用時仍須審慎評估，需要考量其相關的生物安全、化學與生態風險等不確定性。例如若昆蟲飼料含有未處理的有機廢棄

物，未經高溫處理的昆蟲糞便可能成為植物病原菌（如鐮刀菌）的傳播媒介；昆蟲糞便養分濃度極高且含有較多鹽分，若施用比例過高，可能導致肥傷或鹽分累積，反而抑制幼苗發芽或導致死亡；以及根圈微生物的誘發效果受原始土壤背景（如酸鹼度、既有菌群）影響較大，在過於貧瘠或污染嚴重的土壤中，效果可能不如預期。

### 結語

昆蟲糞便作為生物刺激素材料已應用於多種作物，且經驗證其生物刺激功能（表一），然而在實際農業大規模應用前，仍需建立標準化之處理流程，包含製程、施用濃度、適用期、施用方法及相關風險評估機制。未來研究可朝向依不同作物需求進行昆蟲糞便配方優化，透過調整糞便內不同成份比例，開發客製化的生物刺激素產品，加強昆蟲產業在永續農業發展的價值。

表一、昆蟲糞便組成與生物刺激功能

組成成分	主要作用機制	觀測指標（生物刺激效果）	相關應用作物
主要養分	緩釋型養分供應	提升光合效率、增加生物量	菠菜、萵苣、白菜
有益菌群	養分溶解與根圈調節	增加磷、鉀生物有效性	十字花科植物
幾丁質	誘導抗性	上調茉莉酸防禦基因表現、抑制害蟲體重	玉米、豆類
有機質與蛻皮	改善土壤理化性質	提升土壤團粒結構與保水性	各類作物

### 參考文獻

- Ferruzca-Campos, E. A., Rico-Chavez, A. K., Guevara-González, R. G., Urrestarazu, M., Cunha-Chiamolera, T. P. L., Reynoso-Camacho, R., and R. Guzmán-Cruz. 2023. Biostimulant and elicitor responses to cricket frass (*Acheta domesticus*) in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under protected conditions. *Plants*, 12(6), 1327. <https://doi.org/10.3390/plants12061327>
- Foughar, M., Arrobas, M., and M. Â. Rodrigues. 2024. Mealworm larvae frass exhibits a plant biostimulant effect on lettuce, boosting productivity beyond just nutrient release or improved soil properties. *Horticulturae*, 10(7), 711. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10070711>
- Lopes, I. G., Gómez-Brandón, M., Praeg, N., Claeys, J., Geilfus, C. M., and T. Klammsteiner. 2025. BugBook: Critical considerations for evaluating and applying insect frass. *Journal of Insects as Food and Feed*, 11, S507-S534. <https://doi.org/10.1163/23524588-bja10254>