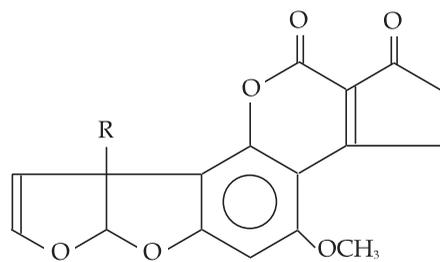


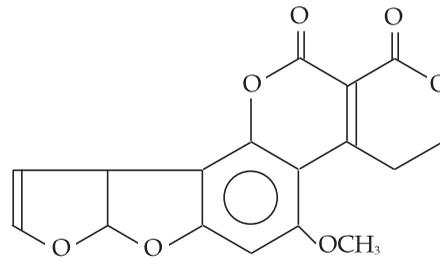


一、黃麴毒素

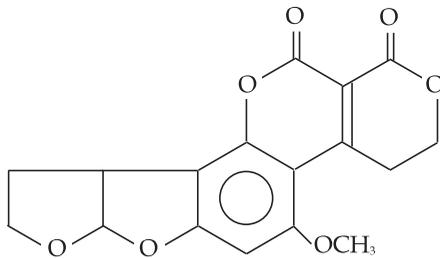
在西元 1960 年夏天，在英國發生多達 10 萬隻火雞死亡的火雞 X 病 (turkey-X Disease) 事件，經解剖火雞屍體後，發現其肝臟細胞變性、壞死，腎臟細胞壞死，罹患腎絲球體腎炎、腸道黏膜發炎等症狀。經詳細調查後，發現致死原因是來自於飼料中巴西出產的花生，而花生已被黃麴菌 (*Aspergillus flavus*) 的代謝產物汙染，因此將這些代謝產物命名為黃麴毒素 (圖 3-18)。當時從這些有黃麴菌寄生汙染的花生中，分離出呈藍色螢光的黃麴毒素 B₁、B₂，呈綠色螢光的黃麴毒素 G₁、G₂。以後發現若以被黃麴毒素汙染的飼料餵食乳牛，在乳牛所產的牛奶中可分離出呈紫色螢光的黃麴毒素 M₁、M₂。在之後的研究中又發現它們的代謝產物 B₂a、G₂a、P₁、Q₁、L、LH₁、GM₁、GM₂ 等，而且由研究結果得知其中以黃麴毒素 B₁ 和 G₁ 為主要毒性物質，且毒性以 B₁ 為最強。



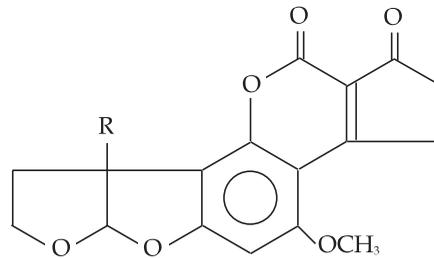
黃麴毒素 B₁ R : H
M₁ R : OH



黃麴毒素 G₁



黃麴毒素 G₂



黃麴毒素 B₂ R : H
M₂ R : OH

圖 3-18 各種黃麴毒素的構造



黃麴毒素通常在較乾燥、酸性較高、細菌不易生長、保存過程不當（溫度、濕度過高）的食物中出現。這些油溶性的黃麴毒素和其代謝產物之穩定性非常高，對熱、酸和鹼都相當安定，要加熱到 280°C 以上才會被破壞分解，因此，用一般加熱烹煮的方式不會對黃麴毒素的毒性有任何緩解的影響，目前尚未找到任何實際可行、可以分解黃麴毒素的方法，以解除受黃麴毒素污染的飼料或食品。

除黃麴菌會產生黃麴毒素外，變種黃麴菌 (*Aspergillus flavus* var.)、黑麴菌 (*Aspergillus niger*)、赤麴菌 (*Aspergillus ruber*)、褐黃麴菌 (*Aspergillus ochraceus*)、淡藍色麴菌 (*Aspergillus glaucus*)、青麴屬的桔青黴菌 (*Penicillium citrinum*)、軟毛青黴菌 (*Penicillium puberulum*)、藍色青黴菌 (*Penicillium glaucum*) 和酒麴菌屬與鏈黴菌屬的黴菌都有可能產生，造成黃麴毒素中毒 (aflatoxicosis)。但幸好的是，並未發現最常用作酒麴和豆麴的米麴菌 (*Aspergillus oryzae*) 會產生黃麴毒素。

黃麴毒素對各種動物均有強力致癌性，但各動物之感受性不同，LD₅₀ 也有數 10 倍的差別（如小鴨和兔子口服劑量 0.3mg/kg 體重，一日大之幼雌大鼠 17.9mg/kg 體重），可能與毒素種類、出現濃度、家畜品種等因素有關。黃麴毒素會與細胞核內的去氧核糖核酸 (DNA) 或蛋白質等物質結合，造成細胞出現潰瘍、出血、組織壞死或癌性病變等異常現象。由非洲各國、泰國和印尼的流行病學資料中可知，若短期內大量食入黃麴毒素，對人類的主要影響是對肝、腎等器官有急性毒害，會造成營養素消化、代謝異常、內臟器官出血、急性肝障礙、肝腫大、脂肪肝、肝硬化、體內水分蓄積、腹水、腳部水腫，甚至因此死亡。此外，人類若長期暴露在較小劑量的黃麴毒素之下，其主要影響亦是對肝、腎等器官有致癌性和致突變性。在動物實驗中可知，黃麴毒素對大鼠、小鼠、虹鱒 (rainbow trout)、猿等動物和對人類一樣，具有強力致肝癌性和致突變性；而對其他飼養動物的影響是降低飼料換肉率 (feed-to-meat ratio)、增加肝臟與腎臟罹病率、免疫力降低、增加死亡率，因加速自體分解酵素的作用而縮短屠體儲藏時間、影響產卵或產乳力，且可在動物的肌肉、內臟（尤其是肝臟）、乳汁和蛋中發現黃麴毒素的蹤影。

目前世界各國對於在五穀和動物飼料中的黃麴毒素都有制定最高容許量標準；根據行政院衛生福利部公告之「食品中黃麴毒素限量標準」，



我國的黃麴毒素最高容許量總量標準是米、高粱、豆類、麥類及堅果類為 10ppb 以下，花生、玉米為 15ppb 以下，食用油脂為 10ppb 以下，鮮乳為 0.5ppb 以下（以 M_1 計），乳粉為 5.0ppb 以下（以 M_1 計），其他食品為 10ppb 以下。

二、黃黴毒素

黃黴毒素（圖 3-19）是在受黃麴菌、小巢狀麴菌 (*Aspergillus nidulans*) 和 *Aspergillus rugulosus* 污染的穀物中產生的代謝產物，其在農作物中的分佈、毒性作用與構造都和黃麴毒素相似，會對肝臟、膽管有致癌性，唯其親油性不如黃麴毒素那麼強，因此毒性較黃麴毒素弱（其急性毒性為黃麴毒素 B_1 的 5% 以下）。甲基黃黴毒素 (O-methylstrigmatocystin) 為黃麴菌和 *Aspergillus versicolor* 的代謝產物，其親油性像黃麴毒素一樣強，以致其毒性與黃麴毒素不相上下。

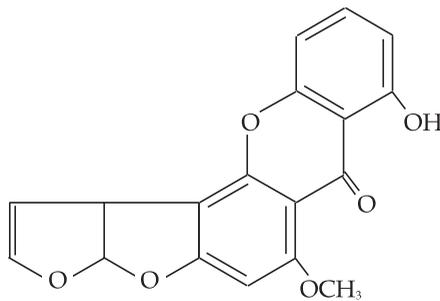
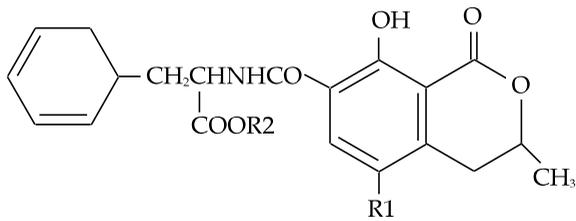


圖 3-19 黃黴毒素

三、赭麴毒素

赭麴毒素是由褐黃麴菌和青黴屬的 *Penicillium viridicatum* 與 *Penicillium citreo-viride* 產生的代謝產物，是由苯丙胺酸 (phenylalanine) 和同香豆素碳酸 (isocoumarine carbonic acid) 結合而成的醯胺類化合物，有赭麴毒素 A、赭麴毒素 B 和赭麴毒素 C 等三種形式（圖 3-20）；以赭麴毒素 A 的毒性最強，已知對大鼠的 LD_{50} 口服劑量為 22mg/kg 體重。褐黃麴菌於自然界中是在玉米中生長的黴菌，對動物體的影響是造成肝臟、腎臟和腸道遭受毒害，對人的確切影響還不確定，但可能是在巴爾幹半島地區引起流行性腎炎的主兇。



- 赭麴黴毒素 A R1 = Cl, R2 = H
 B R1 = H, R2 = H
 C R1 = Cl, R2 = C₂H₅

圖 3-20 赭麴毒素

四、黃麴菌毒素

黃麴菌毒素是在受黃麴菌污染的碎小麥中產生，已知會對雞胚胎產生致畸胎性或對魚內臟器官致毒性反應。

五、棒麴毒素

在米、蘋果及其製品和動物飼料中的黃麴菌、大麴菌 (*Aspergillus giganteus*)、紅青黴菌 (*Penicillium urtica*) 和青黴屬 *Penicillium expansum* 等黴菌會產生棒麴毒素這種物質 (圖 3-21)。棒麴毒素具有神經毒性、致突變性與致癌性，牛若誤食含棒麴毒素的飼料，會出現神經麻痺、肝臟、腎臟障礙、眼睛極度不適、敏感、內臟器官出現病理變化等現象。

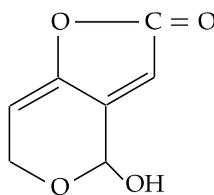


圖 3-21 棒麴毒素

貳、青黴毒素

Penicillium Mycotoxins

由各種青黴菌在五穀類中所產生的青黴毒素是在 20 世紀中所發現。目前已知的重要青黴毒素有黃氯青黴素 (citreoviridin)、luteoskyrin、islanditoxin、環氯素 (cyclochlorotine)、細皺青黴素 (rugulosin)、檸檬



色黴素 (citrinin)、紅青黴毒素 (rubratoxins)、軟毛青黴素 (puberulum Toxin)、青黴酸 (penicillic acid)、cyclopiazonic acid、皺縮素 (griseofulvin) 和赭麴黴毒素 A、散黴素、致震顫毒素等數種 (最後三種毒性物質已在黃麴毒中介紹)。

一、黃氯青黴素

西元 1937 年在台灣庫存米中發現有黃色的變質米，當時統治台灣的日本人將其稱為「黃變米」，稍後在日本生產的米中也發現相同黃變的情形。經過一連串的研究，終於在西元 1964 年確定黃變現象是由青黴屬的黃氯青黴菌 (*Penicillium citreonigrum*，即 *Penicillium citreo-viride*，又稱台灣黃變米菌) 所代謝生長的黃氯青黴素 (又稱台灣黃變米素，圖 3-22) 所造成。黃氯青黴素具有極強的神經毒性，小鼠的 LD₅₀ 口服劑量為 30mg/kg 體重。若不幸誤食，會使誤食者從周邊到中心、從四肢到軀幹發生麻痺、血液循環障礙、呼吸困難、肌肉痙攣，最終死亡等不幸事件。

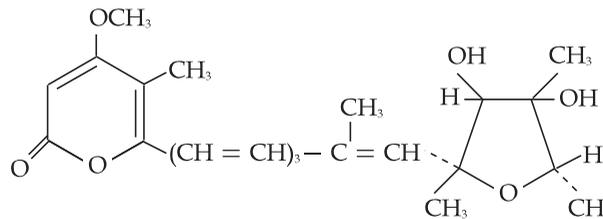


圖 3-22 黃氯青黴素

二、Luteoskyrin 和 Islanditoxin

西元 1948 年，在埃及的黃變米中發現另一種青黴屬的青黴菌 *Penicillium islandicum*，此青黴菌的毒性代謝產物其中之一為屬雙蔥醌類 (bianthraquinone)、脂溶性的黃色色素 luteoskyrin。若不慎誤食，會在 3 天內使誤食者出現肝臟細胞壞死、脂肪肝、肝障礙、肝癌等嚴重影響；小鼠的 LD₅₀ 口服劑量為 221mg/kg 體重。除 luteoskyrin 之外，*Penicillium islandicum* 還會產生細皺青黴素 (細皺青黴菌 *Penicillium rugulosum* 也會產生)、islanditoxin 和環氯素等毒性物質。油溶性的細皺青黴素與 luteoskyrin 同樣具有強力肝毒性和致肝癌性；而水溶性的 islanditoxin 和環氯素能在 3 小時內造成所有肝細胞壞死，但其致肝癌性不像 luteoskyrin 那麼強。



三、橘黴素

西元 1951 年，在泰國黃變米中發現青黴屬的桔青黴菌 *Penicillium citrinum* 與其毒性代謝產物橘黴素 (圖 3-23)。橘黴素為一種具腎臟毒性的黃色色素，黃青黴菌和黃黴屬的土麴菌 (*Aspergillus terreus*) 也會產生。若不慎誤食，會使誤食者腎絲球體受損、罹患腎炎、破壞腎小管、使其對水分再吸收的能力變差，排尿量大增。

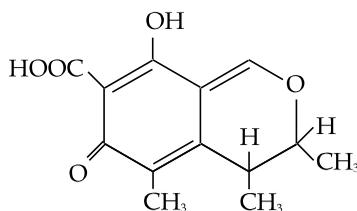


圖 3-23 橘黴素

四、紅青黴毒素

由紅青黴菌 (*Penicillium rubrum*) 和 *Penicillium purpurogenum* 在受汙染的米、玉米、小麥、燕麥、黑麥、長穗麥和動物飼料中所分離出的多種紅青黴毒素 (圖 3-24)，會使長期誤食含紅青黴毒素的牛隻出現肝臟、腎臟壞死、血尿、臟器出血，甚至死亡的情形。

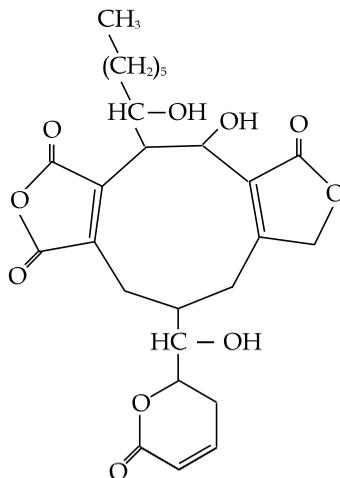


圖 3-24 紅青黴毒素