誰知道你吃下去的是什麼？

—現代微量分析檢驗科學如何為食品安全把關

環境醫學研究所特聘教授／廖寶琦

AB science 提供

前言

二十年前初回到臺灣任職的時候，在因緣際會下，在成功大學建立了以高解析質譜儀分析量測人體與食物中微量戴奧辛的技術。從此之後，就與食品安全這個議題結下了不解之緣。目前我在大學部開設食品安全與衛生的通識課程，同時在環境醫學研究所開設食品安全風險評估、毒物學、儀器分析、質譜學等專業課程，也執行過三次科技部關於食品安全與分析化學為主題的科普計畫，甚至接受大專院校和各級中小學或社區教育活動的邀請，進行通俗演講。今天很高興利用這個難得的機會，來跟大家談談關於食品安全議題的科普知識。

「誰」知道你吃下去的是什麼？如何能「食」在「安」心！

對信教的朋友來說， 答案應該是「神」或是「上帝」。對沒有特定信仰的人， 他們會說，「天知道」你吃下去的是什麼？也就是說，誰會知道呢？對古時候的人來講，這就是他們面臨的情況。隨著醫藥科學發達，人均壽命普遍提高，大家開始認真的追究食品安全問題起來了：到底誰會知道我們日常吃的食物安不安全呢？有的，有兩種科學家，就是毒物學家與分析化學家，他們追求的知識，讓我們能夠確保吃下去的食物是安全無虞的！毒物學家思考什麼是毒？嚴謹定義毒性作用，並建立劑量與安全的關係。另一方面，分析化學家研發

出靈敏的檢測儀器，讓食物中的不安全成分無所遁形。結合毒物學與分析化學，輔以良好的食品安全風險控管與溝通模式，我們的社會大眾才有可能安心的享受美食。

什麼樣的食品叫做「安全食品」？

安全的食品應該是不含任何可能危害人體健康的化學物質。但是，可能嗎？畢竟有許多化學物質是現在的科技無法將其完全移除的。以致癌物戴奧辛為例，戴奧辛普遍存在於環境與食物鏈中，幾乎所有的食物都含有微量的戴奧辛，我們無法將它完全移除。更遑論食品加工時，常刻意添加化學物質，如防腐劑，可降低食品變質的風險，但吃多了也危害健康。

雖然食品中免不了會含有微量的化學物質，但我們可以選擇相對安全的食品，就是將食品中的化學物質含量進行有效的控管，並由公權力或商業公會來訂定標準。如何訂定標準呢？目前的做法是，將消費者對化學物質的暴露，控制在小於某個「門檻」，只要不超過這個門檻，終其一生攝取符合標準的食品，造成健康危害的風險可以降到最低。這個門檻是又如何訂定的呢？毒物科學家利用動物實驗，觀察動物暴露化學物質的反應，低於某個劑量時動物並不會產生任何不良反應(死亡、器官受損等)，這個劑量則用來推估危害人體健康的門檻。

吃合乎標準的食品就不會對健康造成任何風險嗎？科學家提出兩個在實務上被各國廣泛採用的原則：1.暴露非致癌物質的量低於門檻，即視為對健康不具風險，也可以保守地說，風險太低不予考量；2.對致癌物的風險則採較保守的看法，暴露致癌物質的量即使低於門檻，也視為有致癌風險，只不過風險隨著暴露量降低而減少。諾貝爾獎得主赫爾曼•穆勒(Hermann Muller)在1950年代，提出線性無閾值模式(linear no-threshold model)，推估低劑量輻射暴露時的致癌風險，後來的科學家也將這套模式應用至可能致癌的化學物質上。但該理論在被普遍應用長達60年後，最近還是受到了挑戰，根據2013年8月號Science News的報導，毒物學家德華•卡拉布雷斯(Edward Calabrese)提出數據，說明穆勒的模式並非完全正確。

先不論科學家們如何爭論，對一個消費者來說，既然食品中無法完全免除微量的化學物質，就要對生產者嚴格要求食品符合品質標準，盡可能降低風險，這就得仰賴現代微量分析科學來做檢驗了。

肉眼看不見的危機，消費者如何選擇安全食品？—食品檢驗制度

用肉眼並無法看出食品中是否含微量化學物質，因此要確保食品安全，就需仰賴食品檢驗告訴你化學物質含量有多少。食品檢驗目的有多種，例如：遵守法律和標籤要求、評估產品質量、確定營養價值、摻假、添加物、汙染物。而食品檢驗又可分為生物與化學物質的檢驗，本文僅介紹化學物質的檢驗。先進國家為確保市場上販售的食品安全，皆訂有權責機關管理食品安全。

各國食品安全管理機關

國家	機關
美國	食品藥物管理局(FDA) 農業部(USDA) 食品安全檢驗局(FSIS)
日本	厚生勞動省　農林水產省 食品安全委員會
臺灣	衛生福利部食品藥物管理署(TFDA) 農業委員會

如何檢驗？—現代微量分析檢驗科學如何為食品安全把關

許多添加到食品或因環境背景而存在食品中的化學物質含量很低，往往在ppm或ppb，甚至達ppt的微量等級，但已經對我們產生健康危害疑慮，故需借助微量分析科學來檢驗出食品中化學物質的含量。1999年比利時發生總量約1克的戴奧辛汙染了500噸的飼料，造成牛、豬、家禽、雞蛋與牛奶等食品汙染，科學家估算可能有40至8000人因此次的汙染事件引發癌症(van Larebeke et al. 2001)。要知道當時汙染的肉品中，戴奧辛含量只有約在ppt到ppb等級，也就是兆分之幾到十億分之幾的範圍。幸好當時科學家已經在1990年前後，發展出檢驗微量戴奧辛含量的儀器與相關的微量分析科學知識，才得以發現真相，並即時有效的控管汙染事件所造成的影響。可以想像，古早的人類沒有現代微量分析檢驗科學的知識，吃的食物是否安全無從得知，也只能聽天由命了！

食品檢驗常使用的微量分析儀器包括：液相層析儀、離子層析儀、氣相層析質譜儀與液相層析質譜儀等，目前新開發的檢驗方法皆採用質譜儀為主。臺灣有許多的檢驗機構擁有微量分析儀器，並設置潔淨的實驗室，提供食品中化學物質檢驗服務，例如我在本校設置的Analytical Laboratory for Trace Environmental Pollutants (ALTEP)，就有檢驗各種食品中微量戴奧辛含量的能力；另一個大家耳熟能詳的是臺灣檢驗科技股份有限公司(SGS)，提供各種食品安全檢驗的服務。

質譜儀基本原理是先使樣本中化學物質在離子源中離子化後進入質量分析裝置，質量分析裝置利用電場或磁場使不同的離子分離，最後這些離子分別聚焦到偵測器而得到質量資訊。質譜儀相較其他分析儀器具有兩大優點：1.能精確解析化學物質質量，不易誤判；2.降低背景干擾，使靈敏度超過大多數的分析技術。

目前食品中微量化學物質檢驗最常使用的儀器為液相層析質譜儀(liquid chromatography-mass spectrometry, 簡稱LC-MS)，它可檢驗動物用藥殘留、農藥殘留、三聚氰胺與塑化劑等。液相層析質譜儀是將LC和MS串聯使用，簡單的說，LC將樣本送入儀器並分離不同種類的化學物質，

微量濃度單位

濃度單位	定義	舉例
1 ppm	百萬分率（parts per million），定義為100 萬分之幾	1公斤（kg）的高麗菜中有1毫克（mg）的農藥達滅芬，即為1(mg/kg)=1($10^{-3}/10^{3}$) =1 (10^{-6})=1 ppm
1 ppb	10億分率（parts per billion），定義為10億分之幾	1公斤（kg）的牛肉中有1微克（μg）的萊克多巴胺，即為1(μg /kg)=1($10^{-6}/10^{3}$) =1 (10^{-9})=1 ppb
1 ppt	兆分率（parts per trillion），定義為兆分之幾	1公克（g）的肉品脂肪中有戴奧辛1皮克（pg），即為1 (pg /g)= 1(10^{-12})=1 ppt

什麼是質譜儀？

什麼是質譜儀？

質譜儀就像一個可以量測化學物質質量的特殊天平，具有定性(分辨化合物種類)與定量(知道化合物濃度)的功能。質譜儀(如圖一)可以分成三個部分：離子源(ionization source)、質量分析裝置(mass analyzer)與離子偵測器(ion detector)。近年來許多食品安全醜聞爆發，多歸功於質譜儀檢測能力提升。在2011年發生的著名食安事件中，食品藥物管理局楊明玉技正在檢驗益生菌飲料時，利用質譜儀意外發現其中有不該出現的化學物質DEHP，經追查發現是不肖廠商以工業用塑化劑取代合法食品添加物以節省成本。

而MS則是末端化學物質檢測器(質譜儀裝置照片見圖1)。質譜儀運作的卡通示意圖如圖2，想像你手上捧著一堆數量、顏色與大小不一的彈珠，分別有L(大)、M(中)、S(小)三種尺寸的彈珠，而每種大小的彈珠又分黑色與白色，我們將這些彈珠一起送入液相層析儀，會把不同 顏色 的彈珠區分出。而質譜儀中的質量分析裝置就像篩子一樣，將不同大小的彈珠區分開後，再由偵測器偵測彈珠的數量。彈珠顏色表示不同的化學物質，彈珠的大小代表的是化學物質結構，數量代表的是化學物質的濃度。故當我們將食品樣本，送入LC-MS，LC會將食品中不同的化學物質(顏色)分類，再以MS偵測化學物質的化學組成(大小)與濃度(數量)。

食品中殘留多少化學物質才算安全？什麼是「最大殘留限量」？

食品檢驗讓我們知道食品中化學物質的含量，那食品中含多少量的化學物質才算安全呢？說來有些複雜，因為這跟每個人吃多少(種類與量)食物—也就是飲食習慣有關。我們該問的是，每人每天攝取到化學物質的量應低於多少才安全？為了回答這個問題，毒物科學家發展出每日容許攝取量(acceptable daily intake, ADI) 或每日耐受量(tolerable daily intake, TDI) 的概念，來了解每日攝取多少量的化學物質，終身不會造成健康風險。ADI用在食品添加物 ，而TDI用在不該存在於食品中的物質，因此看到TDI，就表示了該物質絕對不該被視為食品添加物，而應該被視為有害物質。

ADI與TDI的制訂先從動物毒性試驗獲得最低未觀察到不良效應之劑量(no-observable adverse effect level, NOAEL)，再考量物種與個體間的不確定因子(uncertainty factors, UFs)。為什麼要考量不確定因子？因ADI與TDI是從動物毒性試驗所獲得的結果推估至人體，故需考量不同物種間的差異，而人跟人之間又因基因不同存在著個體差異，故需再考量個體之不確定因子(如圖3)，物種與個體間差異係數一般以100倍來計算。舉例萊克多巴胺使用猴子進行毒理研究獲得NOAEL為每公斤體重0.125毫克，考量物種與個體間差異因子除上100倍，獲得ADI為每天每公斤體重0.00125毫克。若以60公斤體重計算，每日不得吃超過0.075 毫克萊克多巴胺。

圖 1. 質譜儀裝置

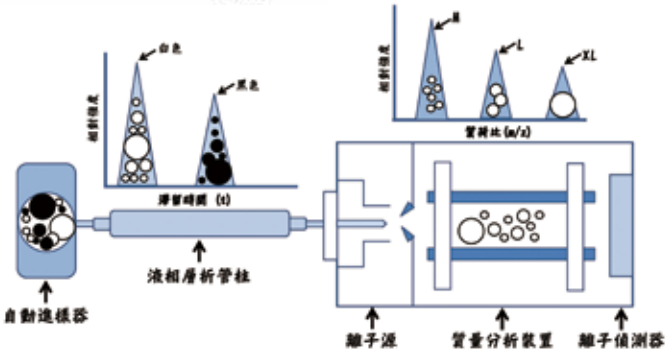

圖 2. 液相層析質譜儀運作示意圖

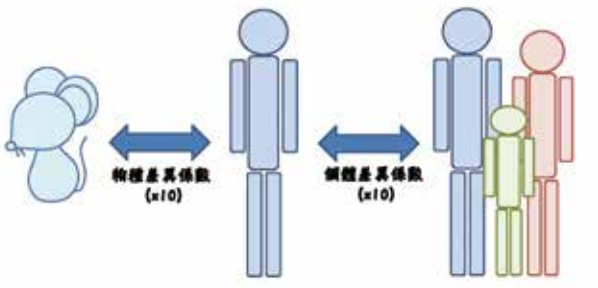

圖 3. 評估 ADI 與 TDI 需考慮物種之間差異與個體之間差異

毒物科學家經過研究，提供了ADI與TDI的知識，讓我們知道每日可以攝取多少量的化學物質。那麼，食品中容許含有多少量的化學物質呢？這就要介紹什麼是「最大殘留限量(maximum residue limit)」或「最大殘留容許量(maximum residue level, MRL)」。最早發展用來控管農藥在蔬果中的最大殘留容許量，後來才拓展至其他化學物質。MRL的制訂方法主要有兩種：1.先利用田野調查，瞭解農藥在蔬果上的殘留量，再制訂出MRL；2.若無法進行田野調查的化學物質，或該物質被認為不允許殘留，則儀器能偵測出最低濃度的兩倍來制訂，制訂流程圖如圖4。萊克多巴胺的MRL就是利用第二種模式制訂出來的，萊克多巴胺在牛肉中定量極限為每公斤0.005毫克，因此牛肉的MRL為每公斤0.01 毫克。

依據MRL乘以每日吃的食物量，即可計算出每日攝取化學物質量最多可能有多少，如果MRL所推估的每日攝取量小於ADI或TDI，這樣的風險就是可以接受的(參見圖4)。以前述萊克多巴胺為例，MRL為每公斤0.010 毫克，若每人每天吃1公斤牛肉，則暴露量為0.010毫克小於ADI (0.075毫克)，換言之，萊克多巴胺的MRL訂為每公斤0.010毫克，所造成之健康風險是可接受的。

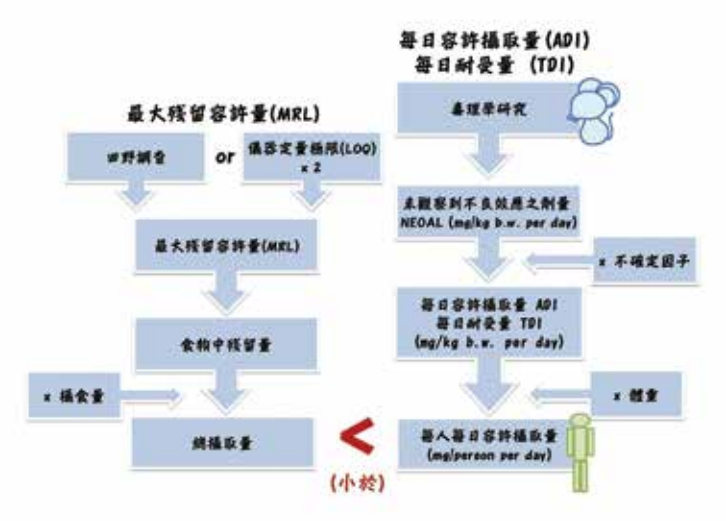

圖 4. ADI/TDI 與 MRL 制訂流程

值得特別強調的是，多數MRL值的制訂不是基於ADI/TDI的換算，而是依據田野調查或儀器能偵測到的最低量，因此殘留超過MRL並不一定意味著明顯的危害健康之風險；反之亦然，殘留低於MRL並不是表示完全沒有風險。在網路上搜尋「最大殘留容許量」，可以找到一份標題為「台美農業議題—最大殘留安全容許量」的經濟部簡報(2012年12月22日)，特別在此呼籲，將maximum residue level, MRL的中文表達為「最大殘留『安全』容許量」，可能會有誤導社會大眾的疑慮。沒錯！控管MRL是為了加強食品安全，MRL與食品安全議題有密不可分的關係，但是，MRL在概念上不是絕對安全的保證，在實務上大部分情況下，它也不是由與安全概念較接近的ADI/TDI換算推估得來的。畫蛇添足的冠上『安全』兩字，雖然始作俑者的用意可能是在強調『安全』，但這種作法，不是忠實於英文原意的翻譯，引用不慎時也恐誤導大眾。

控管食品安全從哪裡著手？從食材到食品的把關流程—產銷履歷

食品製造流程是一般大眾無法輕易接觸的，若食品具完善產銷履歷，即能讓消費者掌握食品狀況。食品產銷履歷制度的建立起源為1996年歐洲出現第二次狂牛症危機，歐盟決定導入生產履歷制度，讓消費者能知道所購買肉品的身家背景，包括來自於哪個畜牧場、餵食

飼料、編號、品種、屠宰場與加工場等，對食品追究根源。因此，食品產銷履歷制度可說是一種從「農場」到「餐桌」所有產銷資訊公開、透明的一貫化安心保證制度(《科學發展》第441期)。近年來臺灣、美國、日本、紐澳、韓國、泰國、印度等都已經在逐步推動中，各國產銷履歷標籤如圖5。

食品產銷履歷制度需搭配檢驗機制，以確保食品所使用的原料與成品皆受管控(如圖6)，例如稻米需檢測所使用的水與土壤是否含有重金屬，成品的農藥殘留是否符合規範。而在哪個階段管控最有效果呢？並沒有絕對的答案，但可簡單的朝食材(原料)與食品(成品)兩個階段管控。食品加工或製造公司由食材進行管控，以確保所購入的原料品質，避免末端成品受汙染無法得知汙染源。而從食品作管控，可直接反應消費者所購買的食品狀況，是最具效益的檢驗機制。

消費者如何選擇安全食品

你或許常聽到有人說某些食品含毒盡量少吃。如某些農產品由於甜度高，病蟲害問題也較嚴重，因此農藥噴灑和殘留會較多；或深海魚由於環境污染累積過多重金屬，應該避免食用等。但真的是如此嗎？光憑這些既定印象，就認為某些食物含有對人體有害的化學物質是不對的。透過本文前面所述食品檢驗機制，讀者應該建立不是什麼食物就一定含毒，應該由檢驗結果來判定的概念。選擇檢驗合格的食品，就能確保所購買的食品是安全的。

臺灣衛生福利部食品藥物管理署(TFDA)與臺灣各縣市衛生署的食品檢驗儀器的功能與

圖 5. 各國產銷履歷標籤

如何看懂產銷履歷標籤

數量是充足的，但食品安全專業人員及預算嚴重不足，造成檢驗與驗出問題後追查源頭的效率偏低。在食品多元化的時代潮流下，種類繁多的食品需要政府及專業人士為消費者把關，販賣食品的業者也應有其對食品相關添加物、原物料等進行有效的食品安全控管。此外，從教育著手也很重要，除了教育大眾食品安全相關知識外，也應該培養微量分析檢驗科學人才，增強我們社會對食品檢驗的科技能力。

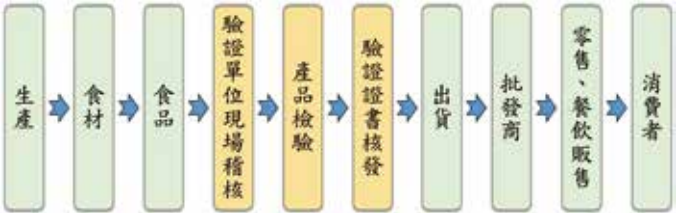

圖 6. 產銷履歷食品供應鏈