

快速篩檢技術在農水畜產品

之環境污染管控的應用與演進

1 曾昭銘

一、前言

隨著國民的收入和消費水準的提高，對於食品的需求除了高品質及營養均衡外，更留意從農水畜產原料到食品加工過程會威脅到食品安全的議題，包含食源性致病菌、毒素、殘留物、化學污染和摻假（圖1）。為了保護人民的健康和安全，食品化學家和檢測分析實驗室陸續開發多種食品安全檢測方法，目前最為熟知的檢測技術，多以氣相層析儀（GC）或液相層析儀（LC）搭配質譜（MS）的模式分析食品污染物；然而，這些方法的所需的建置經費、操作門檻及環境要求，遠非一般民眾或企業能夠負擔，這也限制了檢測把關在實際生活中的普及



| 註1：行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所。

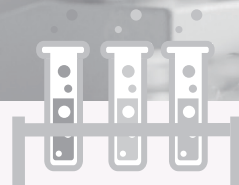




圖 1. 食品安全的重要議題包含食源性致病菌、毒素、殘留物、化學污染和摻假。

資料來源：王志豪，食品安全檢測方法的最新進展。

性，因此，一個快速、靈敏、平價的檢測工具，從民眾健康、食品加工乃至全球貿易的角度來看，都有強勁的市場需求。

在眾多的食安議題中，農藥、動物用藥及防腐劑等人為添加的化合物，可從毒理代謝、半衰期及膳食量制定出合理的使用量及安全容許量，然而環境中存在的污染物，如戴奧辛、多氯聯苯、多環芳香烴、重金屬乃至真菌毒素等，卻可能在生產者未留意的情況下，透過多重途徑累積於農作物、水產品及禽畜產品中，若在產製運銷過程中未做好把關，往往會造成消費者恐慌。因此導入快速、經濟且夠準確的快速檢測技術，監測這類源自環境的污染物，在食品安全的管理政策上更有其重要性。

本文即針對當前較受矚目的環境污染物，簡介其快速檢測方法的發展。

二、快速檢測方法的發展

目前食品安全的快速檢測的發展，都須克服兩個瓶頸：樣品前處理效率低和檢測儀器效能不足。在準確、方便、快速、靈敏的前提下，檢測儀器多被要求能一次分析多種不同污染物，然而對於基質比較複雜的樣品，樣品前處理的流程才是決定能否快速檢出的關鍵，不僅要盡可能完全地提取待測物質，還要能儘量除去同時存在的其他雜質物質對檢測的干擾，因此簡單、高效、省時、便宜的前處理方法不斷推陳出新，例如：原本用於農藥檢測的 QuEChERS 方法近來也被用於多環芳香烴分析，微波萃取消化技術用於重金屬檢測，高壓萃取溶劑用於戴奧辛多氯聯苯分析，透過高效的樣品前處理方法，才能提高檢測儀器的效率及效能。目前熟知的快速偵測技術，主要以酵素抑制、電化學感測及免疫分析等應用最多，樣品的分離純化則以基質固相分散、免疫親和層析分離、分子印模、基質固相分散為主，此外，為了能夠在現場快速檢測，化學比色法、酵素免疫法 (ELISA) 和免疫膠體金試紙檢測方法也是較常見的技術及商品，隨著食品安全相關檢測裝備的進步，搭載層析質譜儀的食品安全檢測車已出現，

此外，由於材料科學、微電子工程及人工智慧軟體的發展，過去的快速檢測技術，如：生物晶片、電子鼻電子舌、拉曼光譜儀和可攜式層析質譜儀等，無論在靈敏度、解析度及功能上都逐步提升，為現場檢測提供了更廣闊的發展空間。

三、快速檢測技術在食品污染物檢測中的應用

(一) 環境荷爾蒙檢測

多環芳香烴碳氫化合物 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) 為生活上容易接觸到的環境荷爾蒙，包含 100 多種不同化學物質，人體暴露於 PAHs 之來源，最主要是透過食物之攝入，除了源自加工過程產生外，也來生鮮農漁畜產品，其中存在之 PAHs 多來自空氣及土壤之污染，我國早在 102 年就公布「降低食品中多環芳香族碳氫化合物含量之作業指引」，除了參採歐盟規定的 PAH4 之規定含量提供食品業者加強自主管控風險，更明訂食品中 BaP 之限量值，對此，國內學者開發一種快速同步分離歐盟優先規範之 15+1 多環芳香烴碳氫化合物的檢測技術 (江舟峰，2018)，利用 QuEChERS 方法大幅縮短每個樣品處理的時間，可在 30 分鐘

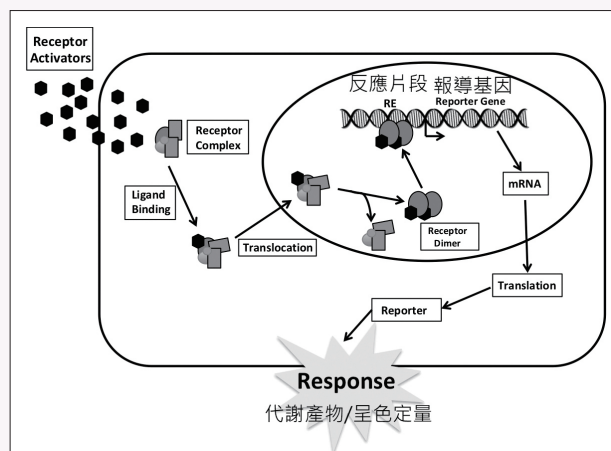


圖 2. 用以篩檢 PAHs 及戴奧辛化合物的細胞感測法之機制示意圖，透過 ERα 或 AhR 核受體依賴基因，調控報告基因的表達量，反應出細胞受到污染的程度。

資料來源：National Water Research Institute (2020)。

以內完成樣品的萃取淨化程序，適用於豬肉、魚肉、熟麵糰、豆皮、馬鈴薯及咖啡等樣品，再以高效液相層析 (HPLC) 搭配螢光／紫外光檢測器 (Fluorescent Detector (FD)/ Ultraviolet Detector (UVD)) 即可在 18 分鐘內完成儀器分析，比現行同樣用 FD/UVD 測定的方法有更高的效率，例如：Germán-Hernández 等人 (2011) 需 40 分鐘，Molle 等人 (2017) 分離 13 PAHs 需時 55 分鐘，我國食藥署 (2008) 分離 14 PAHs，需 60 分鐘。

目前用於檢測環境荷爾蒙快速檢測的研究多以細胞感測器為主，利用微生物或單一細胞的多種酵素調控反應，對應於環境污染物引起的異常代謝產物或發光物質變化，建立此含量變化與污染物毒性程度或劑量的線性關係 (圖 2)。常見以雌激素反應元件 (Estrogen Response Element,

ERE) 的核酸序列連接半乳糖苷酶 (Galactosidase) 報導基因 (LacZ)，轉殖於酵母細胞，經由調控雌激素受體 (Estrogen Receptor, ER) 表現量，可估算環境雌激素的污染程度，若以含有 lac::luxCDABE 報導基因的重組大腸桿菌，固化於瓊脂培養基上可有效監測 PAHs。國內也利用上述基因調控原理開發出可篩檢農水畜及土壤中戴奧辛類毒性當量濃度的檢測套組。

(二) 戴奧辛類化合物檢測

歐盟自 2002 年 7 月公布許多種食物及飼料中戴奧辛類化合物之標準，相關產品上市前都需經過戴奧辛檢測，尤其在比利時及愛爾蘭禽畜產品爆發戴奧辛污染事件後，待檢的生鮮樣品數量急速增加且須在短時間完成，難以依賴高解

析度質譜儀在短時間內大批次分析，因為這種精準分析方法其成本相對昂貴且耗時，對此，荷蘭 BioDetection Systems (BDS) 公司開發的細胞檢測方法 Chemically Activated Luciferase Expression (CALUX)，就是利用細胞受體對戴奧辛類化合物毒性機制而設計的，由於具有快速、準確、易操作及成本低等特性，加上適用的樣品種類包括農水畜產品、飼料、環境樣品、水樣等優點，行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所 (簡稱藥毒所) 自 2006 年引進荷蘭 DR-CALUX 建置戴奧辛生物快篩實驗室，歷年來已協助幾起戴奧辛食安事件的緊急篩檢。雖然戴奧辛含量可藉由其對生物產生毒性而推估，然而在整體檢測流程上，最耗時的瓶頸仍在於待檢樣品的前處理，包含冷凍乾燥 (多於 24 小時)、萃取 (多於 8 小時) 以

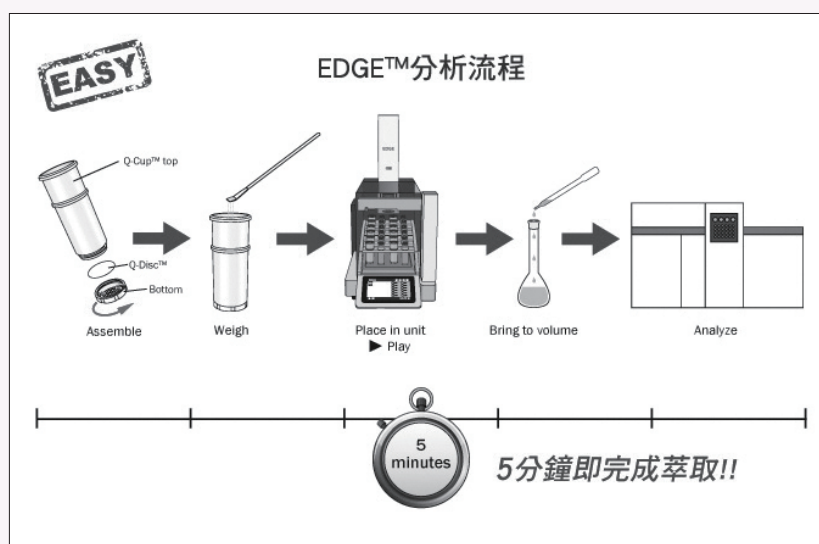


圖 3. 高壓溶劑萃取技術提升戴奧辛的前處理效能。
資料來源：CEM 公司官網。

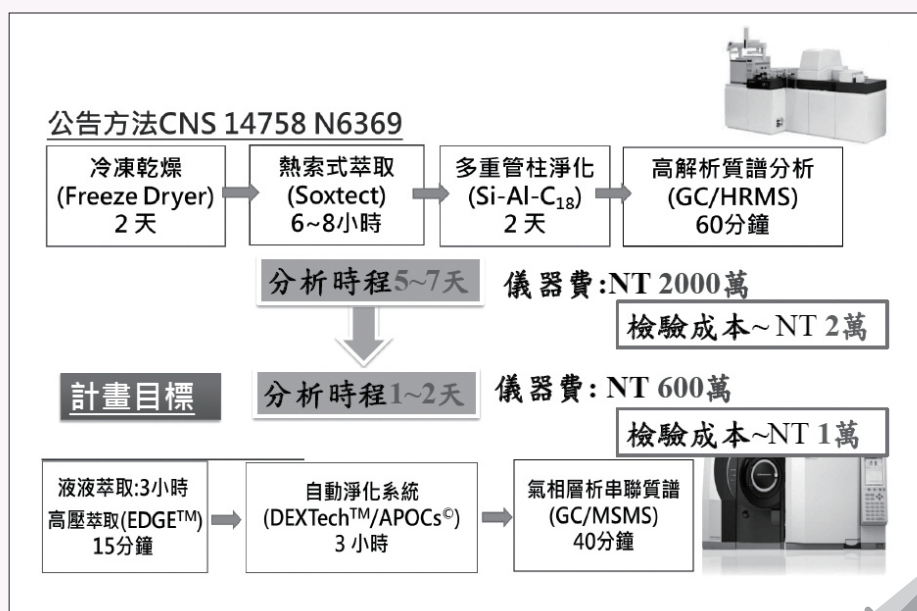


圖4. 戴奧辛整合快速分析流程與公告認證方法的比較。

及淨化(2~3天)，主要是因為戴奧辛分析是一種超微量(絕對值量低於 10^{-12} 公克)的分析方法，力求最少的實驗室系統背景量及基質干擾，且對分析人員、試劑材料、儀器設備、分析環境和實驗室管理等各方面都有嚴格的要求，此外在分析儀器方面所採用的高解析氣相層析質譜儀價格逾千萬，近來隨著歐盟認可GC-MS/MS用於戴奧辛分析，已有取代傳統GC-HRMS之趨勢，可加快樣品的分析速度。此外，在樣品淨化方面，目前國外有發展3套全自動淨化系統，藥毒所近3年整合高壓溶劑萃取(圖3)及自動淨化技術應用於各類農水畜產品的確效驗證，可將肉類及水產類樣品分析流

程由過去所需約1周的工作天數大幅降至1、2天內完成(圖4)，不僅已實際應用大閘蟹的邊境檢驗，也用在國內養殖水產、牛奶、雞蛋及飼料的年度監測計畫，年檢驗量能最高可達到400件。

(三) 重金屬檢測

食品中常見對人體有危害的微量重金屬，包含砷、汞、鎘、鉛、鋅、銅、鎳，由於環境導致的重金屬超標污染，來源很難控制，半衰期長且不易移除，如何達到快速有效檢測重金屬污染物是食安的重要議題之一，然而在實際可應用的快速檢測方法，目前主要集中在環境的水質和液體樣本，而農水畜產等固態

樣品中重金屬污染物的萃取較難，主要是存在於生物體組織當中的重金屬，難以通過表面洗滌或簡單浸泡進行提取，因此許多研究專注於簡化萃取步驟並提高目標物質的萃取回收率，自從美國 CEM 公司在 1985 年開發出全世界第一臺微波消化器以後，密閉式微波消化法逐漸取代已沿用多年的濕式消化及乾式灰化法，消化試劑在密閉的容器中進行加熱，基於壓力越大則沸點越高的物理現象，常壓沸點為 121℃ 的硝酸在密閉式消化瓶中可被加熱到 200℃ 以上，所以能將消化時間從數小時壓縮到 1 小時內，密閉萃取方式可避免外界污染物落入反應瓶中造成污染，並改善揮發性元素回收率偏低的問題，相較於傳統的消化前處理方法，更為快速、安全、且有高穩定性及再現性。重金屬檢測儀器一般為原子吸收光譜法 (AA)、離子層析法 (IC)、感應耦合電漿原子發射光譜法 (ICP-AES) 及感應耦合電漿質譜儀 (ICP-MS) 等。為解決長時間的樣品處理、高門檻的操作技術及昂貴的檢測儀器等限制，利用 X 射線螢光光譜 (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) 的非破壞性分析優點，可快速定性和定量分析樣品中的重金屬，過去 XRF 多局限在環境檢測，主要受限於偵測靈敏度在 1 ppm 以下的不準確性會顯著增加，因此

不適用於容許量介於 0.01~0.4 ppm 的農糧作物，而對於國內訂定的中藥材重金屬限量在 1.0~5.0 ppm 的中藥材而言，若能透過嚴謹的標準檢量線及品保品管作業，預期可應用於中藥材貿易篩檢的進出貨管理。

四、結語

現場快速檢測方法與國家公告的標準方法相比，具有前處理簡單、分析快速及成本較低等優點，兼具快速和準確兩大優點是快速檢測方法追求的目標，但是在生鮮樣品的前處理、操作流程及儀器品管等方面還有許多待規範之處，目前宜作為自主快篩的手段工具，而不能作為最終判定的依據，歸結目前的農水畜產物的食品快速檢測趨勢為：(一) 檢測靈敏度越來越高，殘留物的超微量分析水準已可達到 1×10^{-7} 公克或更低；(二) 檢測速度不斷加快，大幅縮短檢測期程；(三) 辨識率不斷提高，能夠針對複雜混合基質更有效率區別污染物種類；(四) 檢測儀器趨向小型可攜化，以利現場能進行即時動態判讀。總言之，面對複雜的農水畜產原料及加工品，建立更快速的前處理方法，開發更易移動且精確的檢測儀器，同時達成縮短測定時間及提高檢測的準確性，是當今分析化學家的挑戰與機會。

(參考文獻請逕洽作者)