

側流免疫層析快篩技術運用在食品安全探討

作者簡介



作者黃文鍵中校，畢業於陸軍官校 88 年班(化學系)、化校正規班 91 年班、國防大學陸爭學院 99 年班、理工學院應用化學研究所碩士 94 年班、國防科學研究所化學及材料工程組博士 108 年班；歷任排、連、營長、司令部化參官、化訓中心總務處長、化學組長、作發室主任，現職為國防大學理工學院助理教授。

提要

- 一、世界各國對於食品和水的安全供應越來越關注，有鑑於食品安全是軍事戰力的基礎，尤其在平戰時期，軍隊食品的污染對士兵的健康構成了嚴重的威脅，所以軍隊食品安全的檢測將顯得更為重要。
- 二、食品的污染源主要來自細菌、毒素和化學物質所引起，與傳統的檢測技術相比，快篩檢測技術具有靈敏、專一、省時和簡便等優點。
- 三、免疫學檢測方法是專一性的快速檢測和鑑定技術，已經對食品安全檢測產生了相當大的影響。其中又以側流免疫層析快篩檢測技術對食品和水的安全性檢測具有廣大的應用前景。
- 四、本文首先針對造成食品安全的威脅來源作介紹，然後討論當前運用於軍隊食品安全的快篩檢測技術。最後，提出三項建議作為政策參考。

關鍵詞：快篩檢測技術、食品安全、側流免疫層析快篩技術

前言

民以食為天，食以安為先，隨著食品安全問題的頻繁發生，不但危害到廣大民眾的生命健康，還影響到整個社會的繁榮穩定，致使國人對食品安全的重視程度也不斷加深。飲食和戰爭看似風馬牛不相干的事，但事實上兩者的關係密不可分。俗話說：「兵馬未動，糧草先行」，自古以來，兩軍交戰，食物比任何武器皆來的重要，主要是不論軍人或馱獸都需要不間斷的食物來維持生命，時至今日的戰爭型態雖然以機械取代馱獸，但操作戰爭機器的軍人仍需有食物的補充，得以維持戰力發揚。¹

由於軍隊任務特殊，若發生食品安全事件將產生許多連鎖效應，後果將極

1 劉晉，〈劉晉：飲食與戰爭〉，信報，<http://lj.hkej.com/lj2017/foodwine/article/id/1632471>
/劉晉：飲食與戰爭，2017 年 8 月 23 日。(檢索日期：109 年 1 月 12 日)

其嚴重。在平時，食品安全問題將直接危害廣大官兵身體健康，進而影響各種訓練，甚至讓官兵產生恐懼心理，影響到部隊穩定。在戰時，食品安全問題有時會對戰爭起到決定性作用。輕微的食品安全事件可能影響戰爭進程與部隊的士氣；嚴重的食品安全事故將可能左右整個戰爭的勝負，決定國家的存亡。可見確保軍隊飲食品質與安全，對於國防戰力的維護及保存具有關鍵性的樞紐。^{2,3}

傳統食品安全檢測技術及內容不僅十分複雜，流程更是繁瑣，如採用色譜檢測技術，其中最為常用的包含了氣相層析 (Gas Chromatography, GC)、高效液相層析 (High Performance Liquid Chromatography, HPLC)、氣相層析質譜 (Gas Chromatography–Mass Spectrometry, GC-MS)；光譜檢測技術，以近紅外光譜 (Near Infrared Spectroscopy, NIR)、螢光光譜 (Fluorescence Spectroscopy) 及拉曼光譜 (Raman Spectroscopy) 等在食品安全檢測中應用較為廣泛。隨著社會的快速發展與進步，人們對快篩檢測的要求也越來越高，由於快篩檢測具有操作簡單，使用範圍廣，成本低廉等諸多優點，尤其又以側流免疫層析快篩試紙快篩檢測技術受到了社會各界的認可與好評，快篩檢測在軍事及民生如食品、醫學以及其他各方面的應用也越來越廣泛。

本研究主要針對快篩檢測技術在食品安全應用實施介紹，進一步針對免疫分析法在國內外軍事運用現況說明，最後提出國軍應用側流免疫層析快篩試紙檢測食安建議，藉以提供即時、有效、快速的檢測方法，維護國軍戰力。

軍隊食品污染威脅來源

軍隊是國家的安全保障，敵人往往會利用一切機會對軍隊進行打擊，其中藉由飲食對軍隊造成傷害是最簡便及事半功倍的方法。平時和戰時的軍隊食品安全不僅攸關到廣大官兵的身體健康和生命安全，更關聯到部隊持續作戰能力的維持。就食品污染威脅來源區分為生物性污染、化學性污染和放射性污染等 3 種，^{4,5}其中又以生物性污染和化學性污染威脅較大。

一、生物性污染威脅

2 郭育、唐小建，〈軍隊食品安全問題淺探〉《中國集體經濟(下半月)》(北京)，第 8 期，2007 年 8 月，頁 199-200。

3 陳大康，〈對抓好戰時軍隊食品安全問題的幾點建議〉《中國高新技術企業》(北京)，第 14 期，2007 年，頁 188-192。

4 方邢有、高志賢，〈食品中污染物快速檢測方法的進展〉《中國衛生檢驗》(北京)，第 14 卷第 2 期，2004 年 4 月，頁 254-256。

5 劉晉，〈帶你瞭解什麼是食品污染〉，健康，<https://kknews.cc/health/85rq4jl.html>，2017 年 4 月 26 日。(檢索日期：109 年 1 月 12 日)

食品的生物性污染是指經由有害微生物及其毒素、病毒、寄生蟲及其蟲卵、昆蟲及其排泄物等對食品的污染所造成的食品安全問題。其中以微生物污染最為常見，微生物含有可分解各種有機物的酶類。這些微生物污染食品後，在適宜條件下可大量生長繁殖，食品中的蛋白質、脂肪和糖類，可在各種酶的作用下分解，使食品營養價值降低，甚至腐敗變質。污染源主要有細菌及其毒素、黴菌與黴菌毒素和病毒等。

(一)細菌污染

其污染的物質可能是病原體，包括細菌、病毒及寄生蟲，或其產生的毒素，中毒後的症狀以消化系統障礙為主，像是嘔吐、腹瀉、腹痛等是最為常見的情形，而常見引起細菌性食品中毒的細菌如表 1。⁶

表 1 細菌污染食品中毒症狀一覽表

種類	症狀
金黃色葡萄球菌 Staphylococcus Aureus	6 小時內出現噁心、噁吐、胃痙攣和腹瀉等現象。多數患者在 1~3 天後康復；少數患者會出現脫水、休克等嚴重情況。
肉毒桿菌 Clostridium Botulinum	從便秘開始、昏睡、倦怠、食慾不振、眼瞼下垂、吞嚥困難、失去頭部控制、肌肉張力低下及全身性虛弱，有時會發展至呼吸無力衰竭而死亡。
腸炎弧菌 Vibrio Parahaemolyticus	中毒後會出現腸胃道症狀及血便情形。
病原性大腸桿菌 Enteropathogenic Escherichia coli	出現的症狀有發燒、全身溶血、出血，甚至急性尿毒癥。
沙門氏菌 Salmonellosis	高熱、腹痛、嘔吐、腹瀉、大便為黃綠色水樣便、有惡臭，若發生在兒童，可能因急救治療不及而導致死亡。

資料來源：同註 6

6 Cecilia Hernández-Cortez, Ingrid Palma-Martínez, Luis Uriel Gonzalez-Avila, Andrea Guerrero-Mandujano, Raúl Colmenero Solís and Graciela Castro-Escarpulli, "Food Poisoning Caused by Bacteria (Food Toxins)," <https://www.intechopen.com/books/poisoning-from-specific-toxic-agents-to-novel-rapid-and-simplified-techniques-for-analysis/food-poisoning-caused-by-bacteria-food-toxins->, Accessed 25 April 2019.

(二)黴菌污染

受黴菌污染的農作物、空氣、土壤和容器等都可使食品受到污染。部分黴菌菌株在適宜條件下，能產生有毒代謝產物，即黴菌毒素。一次大量攝入被黴菌及其毒素污染的食品會造成食物中毒；長期攝入小量受污染食品則會引起慢性病或癌症，如表 2。^{7,8,9}

表 2 黴菌污染食品中毒症狀一覽表

種類	症狀
黃麴毒素 Aflatoxin	主要損傷肝臟，使肝細胞壞死、出血及膽管增生，有明顯的致癌作用。
玉米赤黴烯酮 Zearalenone	對人體的影響主要是引發腫瘤、誘導 DNA 收縮、導致染色體失常等。
脫氧雪腐鏟刀菌烯醇 Deoxynivalenol	主要表現為噁心、腹瀉、嘔吐等症狀。
赭麴黴毒素 A Ochratoxin A	對人體之肝組織造成傷害，此外對腎臟亦會產生機能性障害，如產生細尿管之腎病變症狀。

資料來源：同註^{7,8,9}

二、化學性污染威脅

食品的化學性污染是指由各種有害金屬、非金屬、有機物、無機物對食品的污染而造成的食品安全問題。目前，危害最嚴重的是化學、農藥、獸藥、有害金屬等污染物。其中以農藥和有害金屬對軍隊食安危害最大。

(一)農藥污染

-
- 7 Yan J. Xie, Yang Ying, Wei J. Kong, Shi H. Yang and Mei H. Yang, "Application of Nanoparticle Probe-Based Lateral Flow Immunochromatographic Assay in Mycotoxins Detection," Chinese Journal of Analytical Chemistry, Vol. 43, No. 4 (2015), p. 618-628.
 - 8 Anfossi Laura, D'Arco Gilda, Calderara Marianna, Baggiani Claudio, Giovannoli Cristina and Giraudi Gianfranco, "Development of a Quantitative Lateral Flow Immunoassay for the Detection of Aflatoxins in Maize," Food Additives and Contaminants, Vol. 28, No. 2 (2011), p. 226-234.
 - 9 Suquan Song, Na Liu, Zhiyong Zhao, Emmanuel Njumbe Ediage, Songling Wu, Changpo Sun, Sarah De Saeger and Aibo Wu, "Multiplex Lateral Flow Immunoassay for Mycotoxin Determination," Analytical Chemistry, Vol. 86, No. 10 (2014), p. 4995-5001.

農藥殘留是指農藥使用後殘存於生物體、農產品或食品及環境中的微量農藥，除農藥本身外，也包括農藥的有毒代謝物和雜質。殘存的農藥殘留數量稱為殘留量，以每千克樣本中有多少毫克 (mg/kg) 表示。農藥殘留是施藥後的必然現象，但如果超過最大殘留量，會產生對人畜不良影響或通過食物鏈對生態系中的生物造成毒害的風險 (如圖 1)。¹⁰而殘留農藥的類型主分為有機磷類、有機氯類和胺基甲酸鹽類等 3 類。一次攝入或接觸大量藥劑，可引起食用者急性中毒；食用少量的殘留農藥，人體自身會降解，不會突然引起急性中毒，但長期食用沒有清洗乾淨帶有殘留農藥的農產品，必然會對人體健康帶來極大的危害，導致身體免疫力下降、可能致癌、加重肝臟負擔及導致胃腸道疾病等危害，如表 3。¹¹

圖 1 農藥對環境危害循環圖



資料來源：筆者自繪

10 〈食品農藥殘留危害及其防控〉，每日頭條， <https://kknews.cc/zh-tw/agriculture/oxmnvo.html>，2016 年 8 月 9 日。(檢索日期：108 年 4 月 25 日)

11 李思齊，〈果蔬農藥殘留的危害〉，信報，<http://lj.hkej.com/lj2017/healthbeauty/article/id/914163/果蔬農藥殘留的危害>，2014 年 10 月 16 日。(檢索日期：109 年 1 月 14 日)

表 3 農藥污染食品中毒症狀一覽表

種類	症狀
有機磷類	人體肌肉震顫、痙攣、血壓升高、心跳加快等症狀，甚至昏迷死亡。
有機氯類	人體乏力、噁心、眩暈、失眠，慢性中毒、可造成人的肝腎和神經損傷，甚至有致癌性。
胺基甲酸鹽類	其毒性與有機磷相似，但毒性較輕。

資料來源：同註¹¹

(二)有害金屬污染

有些金屬，正常情況下人體只需極少的數量或者人體可以耐受極小的數量，劑量稍高，即可出現毒性作用，這些金屬稱為有毒金屬或金屬毒物。金屬毒物在體內不易分解，有的可在生物體內濃縮，有的可以轉化為毒性更大的化合物。就食品衛生學角度看，汞、鎘、鉛、砷為有害的重金屬。環保界將「鉛、砷、鎘、汞、鉻」等重金屬稱之為「五毒」¹²。它們是無色無臭的「隱形污染」，雖然在日常生活中極難被發現，但對環境及人體健康危害極大，如表 4。¹³

表 4 有害金屬污染食品中毒症狀一覽表

種類	症狀
鉛	損害人體的腎及神經系統
砷	造成自發性流產及神經紊亂
鎘	骨骼變形及血液系統中毒
汞	損害人體的肝臟及神經系統
鉻	引起貧血、腎炎及神經炎

資料來源：同註¹³

快篩檢測技術概述

一、快篩檢測定義

12 〈重金屬是如何一步步污染你喝的水〉，每日頭條，<https://kknews.cc/zh-tw/health/pq4zqe.html>，2016 年 7 月 19 日。(檢索日期：109 年 1 月 15 日)

13 〈重金屬鉛、汞、鎘、砷對食品的污染〉，每日頭條，<https://kknews.cc/zh-tw/health/qy9ezp8.html>，2017 年 4 月 10 日。(檢索日期：109 年 1 月 15 日)

快篩檢測沒有經典定義，而是約定俗成的概念。根據約定俗成的概念，快篩檢測是指包括樣品製備在內，能夠在短時間內獲得檢測結果的行為。通常認為，理化快速檢驗方法能在2小時內得出結果，即可視為實驗室快篩檢測方法，現場快篩檢測方法一般在30分鐘內能夠得出結果，如果能在10幾分鐘內甚至幾分鐘內得出具體結果，可將其視其為比較理想的現場快篩檢測方法。¹⁴

二、快篩檢測技術特點

快速檢測是相對於傳統經典的化學檢測、儀器檢測而言，其特點是檢測時間相對較短，對儀器設備要求不高，並且能夠攜帶到現場實施檢測，既方便快捷又經濟適用。快篩檢測法能快速、廣泛地篩查食用農產品，及時發現不合格食用農產品並加以控制，以提高監管人員工作效率。

三、快篩檢測技術分類

(一)化學比色分析技術

利用迅速產生明顯顏色的化學反應檢測待測物質，包括目視比色法和分光光度法。目視比色法是應用眼睛觀察，比較溶液顏色與標準色卡深淺，以確定物質濃度的分析方法。比爾-朗伯定律(Beer-Lambert Law)，又稱比爾定律，是光吸收的基本定律，適用於所有的電磁輻射和所有的吸光物質(氣體、固體、液體、分子、原子和離子)，也是吸光光度法、比色分析法和光電比色法的定量基礎。光被吸收的量正比於光程中產生光吸收的分子數目。目前，常用的化學比色原理的快檢產品包括各種檢測試劑和試紙。隨著檢測儀器的發展，與其配套的微型分光光度計檢測儀器相應出現。化學比色分析法與一般的儀器分析方法相比，價格便宜、操作相對簡便、結果顯示直觀、一次性使用，具有一定的靈敏度，適於食品安全的現場快篩檢測。化學比色分析技術在有機磷農藥、亞硝酸鹽、甲醛、二氧化硫、亞硫酸鹽等化學有害物質的快速篩檢測方面已經得到了廣泛應用。¹⁵

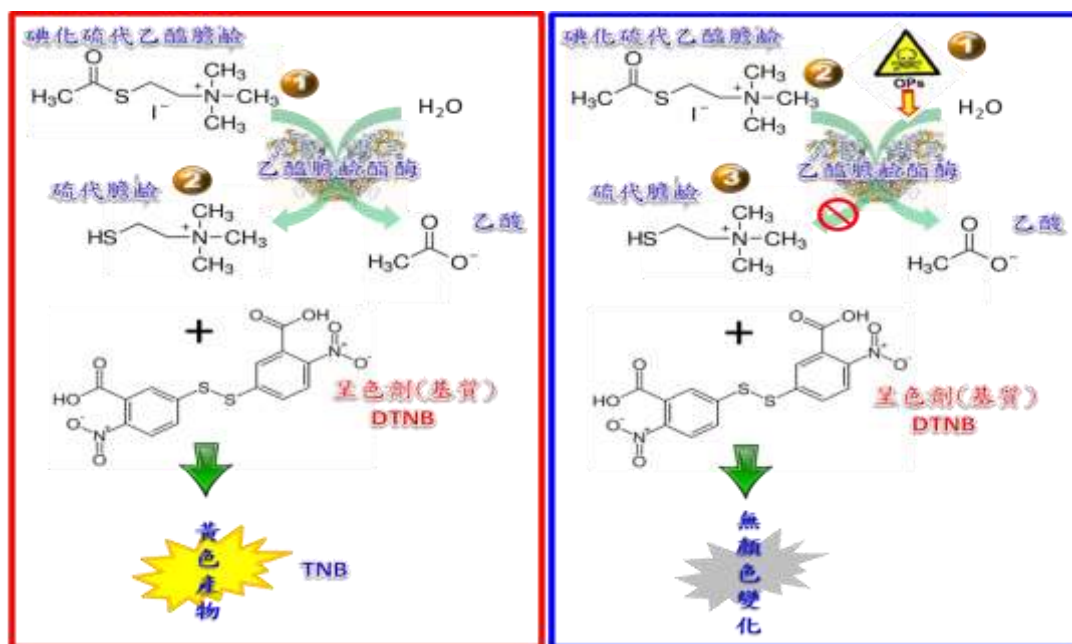
(二)酶抑制技術

14葉秋雄、陳佩儀、葉旭琪，〈快速檢測技術在食用農產品安全監管中的應用〉《現代食品》(河南)，第8期，2018年，頁82-84。

15周璿、何新葉、楊露峰、薛滿、張一青，〈基於化學比色原理的食品安全快檢產品評價方法的研究〉《食品安全品質檢測學報》(北京)，第10卷第5期，2019年3月，頁1278-1283。

有機磷類 (Organophosphates) 及胺基甲酸鹽類 (Carbamates) 農藥對乙醯膽鹼酯酶 (Acetylcholinesterase, AChE) 有特異性抑制作用，根據乙醯膽鹼酯酶活性受到抑制情況，加入特定顯色劑，通過顏色深淺變化，可判斷出樣品中是否含有此類農藥或殘留相對量，其抑制作用與農藥殘留量成正相關。按膽鹼酯酶分解底物和所用儀器的不同，可分為速測卡法¹⁶和分光光度法¹⁷反應機制如圖2。¹⁸

圖2 乙醯膽鹼酯酶與有機磷農藥反應機制圖



資料來源：筆者自繪。

(三)免疫分析技術

免疫分析法的建立是以一種抗原與一種抗體的交互作用為基礎，利用抗原抗體特異性結合反應來檢測各種物質 (藥物、激素、蛋白質、微生物等) 的分析方法，已經被廣泛應用於對大量化合物的檢測。其主要優點是價格便宜、快速、簡單，適用於高通量篩查。此外，它們並不需要高科技設備或專門的

- 16.速測卡法，利用速測卡中的膽鹼酯酶可催化靛酚乙酸酯(紅色)水解為乙酸與靛酚(藍色)，再依據顯色的不同，判斷樣品中農藥的殘留情況。
- 17.分光光度法，在正常情況下，乙醯膽鹼酯酶可將碘化硫代乙醯膽鹼(Acetyl Thiocholine C iodine, ATCI)水解為乙酸及硫代膽鹼(Thiocholine)，硫代膽鹼與呈色劑(5,5'-Dithiobis-2-Nitrobenzoic Acid, DTNB)反應會產生黃色產物(5-thio-2-nitro-benzoic acid, TNB)，藉由分光光度計在波長 412 nm 下吸光值的變化量計算出抑制率，可用來判斷樣品中是否有有機磷及胺基甲酸鹽類農藥殘留，
- 18 張淑貞、周桃美、高靜華，〈家蠅乙醯膽鹼酯酶活性及其對陶斯松、氧化態陶斯松與安丹之感受性〉，《台灣昆蟲》(臺北)，第 36 卷第 3 期，2016 年 12 月，頁 74-83。

操作人員，被認為是用於現場監測方案的最適合技術。其中抗原和抗體之間反應的特異性和靈敏性是免疫檢測技術的關鍵。目前常用的有酶聯免疫吸附試驗 (Enzyme-linked Immunosorbent assay, ELISA)、免疫螢光技術 (Immunofluorescence Technique)、放射免疫技術(Radioimmunoassay, RIA)、化學發光免疫分析技術(Chemiluminescence Immunoassay, CLIA)、電化學免疫分析技術(Electrochemical Immunoassay, EIA)、側流免疫層析分析技術(Lateral Flow Immunochromatographic Assay, LFICA)等。¹⁹

側流免疫層析快篩技術應用前景

基於色譜、光譜等原理的儀器分析方法，是針對食品中有無毒害物質檢測常用的方法之一，具有靈敏度高、準確性好等優點，但通常對樣品的前處理要求非常嚴格，且需要對檢測人員進行培訓，不適合現場及大量樣品的篩選和快篩測定。而側流免疫層析快篩技術具有低成本、簡便、快速、穩定性和便攜性等優勢而被廣泛使用，可用於定性及半定量待測物的分析。

一、組成與檢測原理

其組成可分為四個部分：樣品墊 (Sample Pad)、結合墊 (Conjugate Pad)、硝酸纖維素膜 (Nitrocellulose Membrane) 及吸收墊 (Absorbent Pad)。將含有待測物之溶液置於樣品墊，由於吸收墊的吸水能力及毛細管原理，溶液沿著硝酸纖維素膜移動至結合墊，其內含有奈米金等有色粒子 (偶聯體)，這些有色粒子上偶聯一級抗體可與待測物專一性結合；繼續往吸收墊移動，在檢測區，其測試線上含有可與待測物或偶聯體上一級抗體相結合的一級抗體或半抗原；而控制線上的二級抗體可與有色粒子上的一級抗體相結合而呈色。²⁰ 依分析方式的不同，可分為非競爭型或競爭型，此外根據抗體 (Antibody) 標定物的位置可分為直接型或間接型，其中常用於測定抗原 (Antigen) 和半抗原 (Hapten) 的方法有雙抗體夾心法和競爭法等兩種方式。²¹

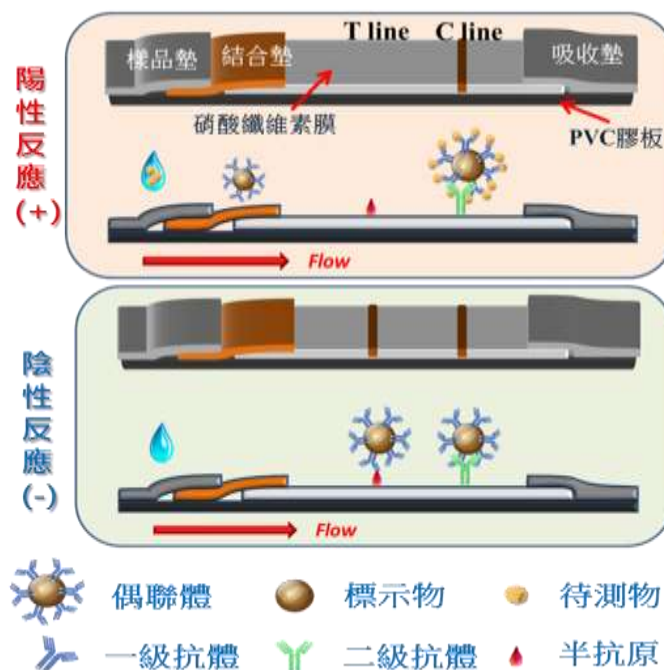
19 梁家傑，〈基於金、銀納米材料的新型免疫學檢測技術的建立與評價〉（廣州：暨南大學/碩士論文，2015）。

20 Xiaoxiang Fu, Rushan Xie, Jian Wang, Xiaojiao Chen, Xiaohan Wang, Weibo Sun, Jiajia Meng, Daowan Lai, Ligang Zhou and Baomin Wang, "Development of Colloidal Gold-Based Lateral Flow Immunoassay for Rapid Qualitative and SemiQuantitative Analysis of Ustiloxins A and B in Rice Samples," Toxins, Vol. 9 (2017), p. 79.

21 Tarmo Humppi, "Colloidal Gold and Paramagnetic Labels in Lateral Flow Assay De

對於檢測小分子半抗原選用競爭法(圖 3)，首先將抗體與有色粒子偶聯，然後噴在結合墊上；另將小分子半抗原偶聯大分子蛋白和二級抗體分別以條帶狀固定在硝酸纖維素膜上分別作為測試線(Test Line, T 線)和控制線(Control Line, C 線)。當待測物加到快篩試紙的樣品墊上後，藉由硝酸纖維素膜的毛細管作用向前流動，如果樣品中存在待測小分子，則待測小分子先和有色粒子標記的抗體相結合，然後通過硝酸纖維素膜的毛細管作用移動到 T 線，此時不會和 T 線上半抗原相結合，隨著待測物量的增加，使得 T 線的信號減弱或者消失；另外，沒有和 T 線結合的偶聯體繼續移動到 C 線，此時，偶聯體可以被 C 線上的二級抗體捕獲而呈色；如果待測物中不存在待測小分子，則有色粒子標記的抗體會和塗布在 T 線上的半抗原結合，此時 T 線有呈色，而 C 線上也有呈色現象。²²

圖 3 競爭法反應機制圖



資料來源：筆者自繪。

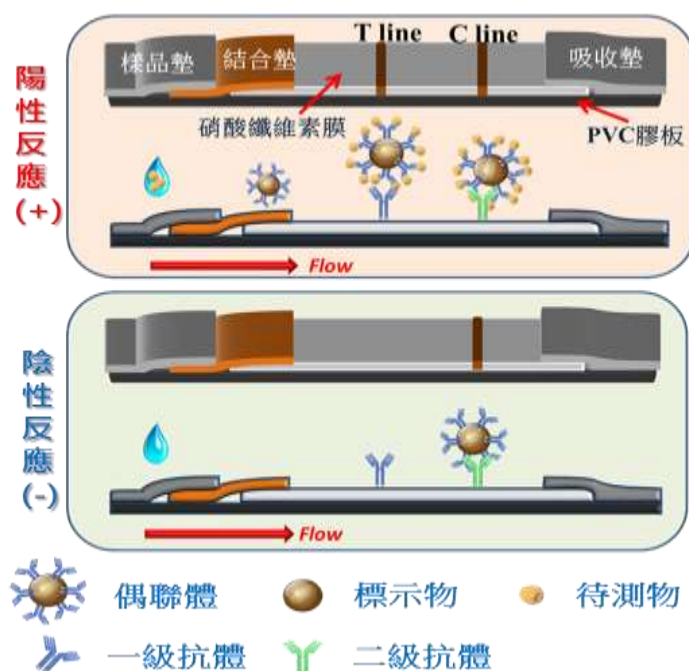
對於生物大分子，選用雙抗體夾心法(圖 4)，首先將抗體與有色粒子偶聯，然後噴在結合墊上；另將一個相同抗體和相對應的二級抗體分別以條帶狀固定

tecting Ricin” (Thesis, Faculty of Science and Environmental Engineering, Tampere University of Technology), 2012, p. 17.

22 Chunyan Liu, Qiaojuan Jia, Chunhui Yang, Ruirui Qiao, Lihong Jing, Libing Wang, Chuanlai Xu and Mingyuan Gao, “Lateral Flow Immunochromatographic Assay for Sensitive Pesticide Detection by Using Fe₃O₄ Nanoparticle Aggregates as Color Reagents,” Analytical Chemistry, Vol. 83 (2011), p. 6778-6784.

在硝酸纖維素膜上分別作為測試線 T 線和 C 線。當待測物加到快篩試紙的樣品墊上後，通過硝酸纖維素膜的毛細管作用向前流動，如果待測物中存在待測抗原，則待測抗原會先和有色粒子標記的抗體相結合，然後藉由硝酸纖維素膜的毛細管作用移動到 T 線，並且被塗布在 T 線上的抗體捕獲，在一定含量的待測抗原濃度範圍內，T 線信號強度和待測抗原濃度呈正相關；沒有和 T 線相結合的偶聯體繼續移動到 C 線，此時，偶聯體上的抗體將被 C 線上的相對應二級抗體捕獲；如果樣品中不存在待測抗原，則有色粒子標記的抗體和塗布在 T 線上抗體不會結合，但是和塗布在 C 線上的二級抗體仍能相結合，也就是說試紙上的 T 線無呈色，而 C 線則有呈色現象。²³

圖 4 雙抗體夾心法反應機制圖



資料來源：筆者自繪。

二、側流免疫層析快篩技術運用領域

(一)生化戰劑檢測

Lenz 等人在 1997 年的研究報告中指出，索曼、沙林和 VX 等三種含有機磷神經毒劑的化學戰劑，其單克隆和多克隆抗體均已開發完成，並且可藉由競爭型免疫檢測法對含水樣品中的索曼、沙林或 VX 等進行鑑定，在多數

23 Xiaoxiang Yan, "The optimization of a lateral flow immunoassay for detection of aflatoxin B1 in potable water samples" (Diss., School of Chemical Engineering and Analytical Science, University of Manchester), 2018, p. 38.

報告中顯示試驗時間為 10 至 30 分鐘，可提供化學戰劑銷毀人員針對儲存地點和周邊地區有沒有被污染實施檢測。²⁴2000 年 Slotved 等人以濃度範圍為 0.625~20 ng/mL 的蓖麻毒素比較六種市售蓖麻毒素檢測試驗盒，分別為 BADD、Pro StripsTM、ENVI、RAID DX、Ricin BioThreat Alert 和 IMASSTM，經測試後只有 ENVI、Ricin BioThreat Alert 和 IMASSTM 等三種試驗盒能夠檢測出濃度 20 ng/mL 的蓖麻毒素，而其中可達製造商規定的檢測極限僅有 BioThreat Alert 一種。²⁵2015 年 Zasada 等人運用濃度範圍為 10^3 至 10^8 cells/mL 的炭疽桿菌 (*Bacillus anthracis*)、土拉弗朗西斯菌 (*Francisella tularensis*) 和鼠疫耶爾森氏菌 (*Yersinia pestis*)，針對 11 種不同的市售快篩檢測試劑盒實施靈敏性、特異性和簡便性測試，發現以 ABICAP 檢測試劑盒較佳，土拉弗朗西斯菌和鼠疫耶爾森氏菌的檢測極限濃度可達 10^4 cells/mL，而炭疽桿菌的檢測極限濃度可達 10^6 cells/mL。²⁶

(二)毒素殘留檢測

2013 年 Pei-Yi 等人以 AuNPs 標記抗金黃色葡萄球菌腸毒素 B (SEB) 的抗體，並針對各式食品實施檢測，經驗證 SEB 測試片可以成功地檢測不同模擬食物樣品中的 SEB，分析結果在 10 分鐘內可直接通過肉眼讀取，檢測極限為 10~100 ng/mL。²⁷2015 年 Suria 等人以 AuNPs 標記的抗大腸桿菌 O157:H7 (*E.coli* O157:H7) 多克隆抗體，將 AuNPs 免疫層析法應用於 *E.coli* O157:H7 的現場快篩檢測中。結果表明：40 nm 大小的 AuNPs 和濃度 12.0 $\mu\text{g/mL}$ 抗 *E.coli* O157:H7 多克隆抗體結合後，可於 15 分鐘內檢測

24 David E. Lenz, Alan A. Brimfield and Lara A. Cook, "Development of Immunoassays for Detection of Chemical Warfare Agents," American Chemical Society, Vol. 657, No. 1 (1997), p. 77-86.

25 Hans Christian Slotved, Nadja Sparding, Julia T. Tanassi, Nina R. Steenhard and Niels H. H. Heegaard, "Evaluating 6 Ricin Field Detection Assays," Biosecurity and Bioterrorism: Biodefense Strategy, Practice, and Science, Vol. 12 (2014), p. 186-189.

26 Aleksandra Anna Zasada, Kamila Formińska, atarzyna Zacharczuk, Daniela Jacob and Roland Grunow, "Comparison of Eleven Commercially Available Rapid Tests for Detection of *Bacillus Anthracis*, *Francisella Tularensis* and *Yersinia Pestis*," Letters in Applied Microbiology, Vol. 60 (2015), p. 409-413.

27 Pei Yi Tsui, Der Jiang Chiao, Jiunn Jye Wey, Cheng-Che Liu, Cheng-Ping Yu and Rong-Hwa Shyu, "Development of Staphylococcal Enterotoxin B Detection Strips and Application of SEB Detection Strips in Food," Journal of Medical Sciences, Vol. 33 (2013), p. 285-291.

出結果，靈敏度可達 1×10^6 CFU/mL，具有特異性能力。²⁸2015 年 Yu 等人將銀離子藉由 AuNPs 催化成金屬銀沉積在 AuNPs 表面，不僅可以增大 AuNPs 的顆粒尺寸，並且在測試區域還有一個更明顯的黑色著色，進而成功開發了增強型膠體金側流免疫分析法，可同時檢測伏馬毒素 B1 和脫氧雪腐鏟刀菌烯醇，檢測極限分別為 2 和 40 ng/mL，與傳統 AuNPs 法相比靈敏度提高了 2 倍以上。²⁹2017 年 Wang 等人將水溶性 InP QDs 螢光奈米粒子包裹在二氧化矽殼中，製備出環保型態的 InP QDs/SiO₂ 螢光標記物運用於側流多重免疫層析分析試紙上，可同時檢測玉米赤黴烯酮和脫氧雪腐鏟刀菌烯醇等兩種農藥，檢測極限分別為 50 和 500 µg/kg。³⁰

(三)農藥殘留檢測

2011 年 Young 等人開發了 AuNPs 作為標記的競爭性抗原免疫層析測定，用於檢測有機磷殺蟲劑毒死蜱，其檢測結果於 10 分鐘內顯示，針對毒死蜱標準品及模擬樣品檢測極限分別為 10 和 50 ng/mL，適用於現場快速測試毒死蜱。³¹2014 年 Wang 等人提出了一種基於三種競爭性免疫反應的新型側向流動免疫分析，與傳統的 LFICA 不同處是該方法使用四個測試片組成測試盒，而每個測試片又分配三種不同的捕獲試劑，可同時檢測農藥吡蟲啉，甲基毒死蜱和水胺硫磷等三種農藥，檢測時間在 7 分鐘以內，檢測極限分別為 50、100 和 100 µg/L。³²2015 年王茵等人藉由鞣酸/檸檬酸鈉還原法製備出直徑

28 Mahmud Suria, A. T. Mohd Afendy, Masdor Noor Azlina and Ishak Zamri, "Lateral Flow Assay Strip for Detection of Escherichia Coli O157:H7," International Food Research Journal, Vol. 22 (2015), p. 2587-2593.

29 Qing Yu, Heng Li, Chenglong Li, Suxia Zhang, Jianzhong Shen and Zhanhui Wang, "Gold Nanoparticles-Based Lateral Flow Immunoassay with Silver Staining for Simultaneous Detection of Fumonisin B1 and Deoxynivalenol," Food Control, Vol. 54 (2015), p. 347-352.

30 Natalia V. Beloglazova, Aleksander M. Sobolev, Mickael D. Tessier, Zeger Hens, Irina Yu. Goryacheva and Sarah De Saeger, "Fluorescently Labelled Multiplex Lateral Flow Immunoassay Based on Cadmium-Free Quantum Dots," Methods, Vol. 116 (2017), p. 141-148.

31 Young A. Kim, Eun H. Lee, Kwang O. Kim, Yong T. Lee, Bruce D. Hammock and Hye S. Lee, "Competitive Immunochromatographic Assay for The Detection of the Organophosphorus Pesticide Chlorpyrifos," Analytica Chimica Acta, Vol. 693 (2011), p. 106-113.

32 Limin Wang, Jia Cai, Yulong Wang, Qingkui Fang, Suyan Wang, Qi Cheng, Dan Du, Yuehe Lin and Fengquan Liu, "A Bare-Eye-Based Lateral Flow Immunoassay Based on the Use of Gold Nanoparticles for Simultaneous Detection of Three P

16.08±0.64 nm、質地均一的 AuNPs，結果顯示檢測毒死蜱標準品最低檢測極限為 4 µg/mL，對甲基對硫磷的檢測極限為 10 µg/mL，檢測時間為 5 分鐘。³³ 2017 年蔡佳馨利用金奈米粒子免疫快篩試紙檢測益達胺 (imidacloprid)、可尼丁 (clothianidin)、亞滅培 (acetamiprid) 及賽速安 (thiamethoxam) 等四種新尼古丁類殺蟲劑，檢測時間可縮短至 15 分鐘，可尼丁的肉眼可辨極限為 10 ng/mL，亞滅培及賽速安則分別為 100 及 1000 ng/mL。³⁴

(四)金屬毒物檢測

2013 年 López_Marzo 等人成功利用以金奈米粒子標記 Cd-EDTA-BSA 共軛物合成 Cd-EDTA-BSA-AuNP 偶聯體，並結合於側流免疫層析分析試紙檢測飲用水和自來水中的 Cd²⁺，視覺檢測極限值分別為 0.1 和 0.4 ppb，該檢測值較飲用水所需的最大污染標準低 50 倍，且具有良好的特異性表現。

³⁵2014 年 Liang 等人將 SERS 引入 LFICA 中，由於 LFICA 的快速性、穩定性以及 SERS 的高靈敏度，經驗證，對重金屬鉻 (Cr³⁺) 檢測極限可達 10-5 ng/mL，較以往的檢測靈敏度提高 105 倍。³⁶2018 年 Sun 等人先行運用經 3-氨基丙基三甲氧基矽烷表面修飾後之 Fe₃O₄ 奈米粒子對 Pb 重金屬離子進行濃縮收集，再結合金奈米粒子側流免疫層析分析試紙進行檢測，可有效提高檢測靈敏度 5 倍，視覺檢測極限達到 10 ng/mL。³⁷

三、美軍及國軍部隊運用現況

esticides,” *Microchim Acta*, Vol. 181 (2014), p. 1565-1572.

- 33 王菡、李高華、張陽、陳濤、薛小平，〈膠體金側向流免疫層析技術檢測有機磷農藥殘留〉《食品安全品質檢測學報》(北京)，第 6 卷第 11 期，2015 年 11 月，頁 4409-4415。
- 34 蔡佳馨，〈開發新尼古丁類農藥殘留之快速免疫檢驗方法〉(臺北：臺灣大學昆蟲學研究所/碩士論文，2017)。
- 35 Adaris M. López_Marzo, Josefina Pons, Diane A. Blake and Arben Merkoçi, “High Sensitive Gold-Nanoparticle Based Lateral Flow Immunodevice for Cd²⁺ Detection in Drinking Waters,” *Biosensors and Bioelectronics*, Vol. 47 (2013), p. 190-198.
- 36 Jiajie Liang, Hongwu Liu, Caifeng Lan, Qiangqiang Fu, Caihong Huang, Zhi Luo, Tianjiu Jiang and Yong Tang, “Silver Nanoparticle Enhanced Raman Scattering-Based Lateral Flow Immunoassays for Ultra-Sensitive Detection of The Heavy Metal Chromium,” *Nanotechnology*, Vol. 25 (2014), p. 495501.
- 37 Menglu Sun, Peng Li, Xuexue Jin, Xingrong Ju, Wenjing Yan, Jian Yuan and Changrui Xing, “Heavy Metal Adsorption onto Graphene Oxide, Amino Group on Magnetic Nano-adsorbents and Application for Detection of Pb(II) by Strip Sensor,” *Food and Agricultural Immunology*, Vol. 29 (2018), p. 1053-1073.

(一)美軍快篩檢測裝備

1992 年美軍已採用螢光素標記的抗生素戰劑抗體、抗生素標記的抗生物戰劑抗體、尿素酶標記的抗螢光素抗體、分別用競爭法和雙抗體夾心法測定生物戰劑，可在 5~10 分鐘對 $0.01 \sim 10 \text{ mg/m}^3$ 的生物戰劑氣溶膠進行檢測，如檢測細菌、芽孢、病毒和毒素。2000 年美軍已針對炭疽芽孢桿菌 (*Bacillus anthracis*)、肉毒桿菌毒素 (*Botulinum ToxinA*)、金黃色葡萄球菌腸毒素 B (*SEB*)、蓖麻毒素 (*Ricin*) 及大腸桿菌 (*Escherichia coli*) 等五種生物污染源，完成五合一生物快篩試紙製備，配發部隊偵檢使用。³⁸ 此外，也將側流免疫層析快篩分析技術所製備之手持免疫快篩試紙 (*Hand Held Assays, HHAs*) 配置到生物綜合檢測系統 (*Biological Integrated Detection System, BIDS*)、聯合生物點檢測系統 (*Joint Biological Point Detection System, JBPDS*) 和聯合入口防護系統 (*Joint Portal Shield, JPS*) 等裝備中，提供第一線人員可即時對食品安全進行即時偵檢，以確保部隊安全 (如圖 5)。³⁹

圖 5 美軍食品安全快篩檢測裝備 (A) 聯合化生放戰劑水質監測器 (B) 生物檢測 IMASS™設備 (C) 生物樣品採集系統 (*DFU 100*)



資料來源：(A) United States Government US Army, “2012 US Army Weapon System Handbook,” <https://fas.org/man/dod-101/sys/land/wsh 2012/wsh2012.pdf>, Accessed 23 April, 2019.

38 李培進、張傳本、刁天喜、蔣銘敏、賈啟中，〈生物感測器及其在軍事醫學中的應用〉《人民軍醫》(北京)，第 45 卷第 5 期，2002 年 5 月，頁 249-251。

39 “Army Seeks Manufacture of Lateral Flow Immunoassays,” <https://globalbiodefense.com/2015/04/08/army-seeks-manufacture-of-lateral-flow-immunoassays/>, Accessed 27 April 2019.

(B) “IMASS™ – A unique detection platform for military and 1st responders,” <http://www.militarysystems-tech.com/suppliers/rapid-tests-detect-explosives-and-biothreat-agents/bbi-detection>, Accessed 23 April, 2019.

(C) “Dry Filter Unit (DFU) Overview,” <https://studylib.net/doc/5815426/%20ppt--dry-filter-unit>, Accessed 23 April, 2019.

(二)國軍部隊食品安全快篩檢測裝備

除專業化學兵部隊具生物快篩檢測裝備外(如圖 6)，^{40,41}國軍一般部隊僅能以 M34 核生化戰劑取樣包、TCX-2 飲水檢驗盒等裝備執行食品安全檢測作業(如圖 7)，⁴²但由於檢測步驟繁雜，操作人員須經專業訓練方能順利操作，另對食品生物污染僅能完成取樣後送作業，無法立即辨識生物污染種類及濃度。所以如何提升國軍一般部隊檢測人員在食品安全上能立即及簡便的完成檢測，並且在無化學知識背景條件下，也能僅依視覺辨識顏色變化或有無顏色呈現，即刻判定軍隊食品是否安全，是重要且急迫待解決的課題。

圖 6 國軍化學兵部隊快篩檢測裝備 (A) ATP 生物檢驗器 (B) DNA 生物檢驗器 (C) 生物病原辨識片套組



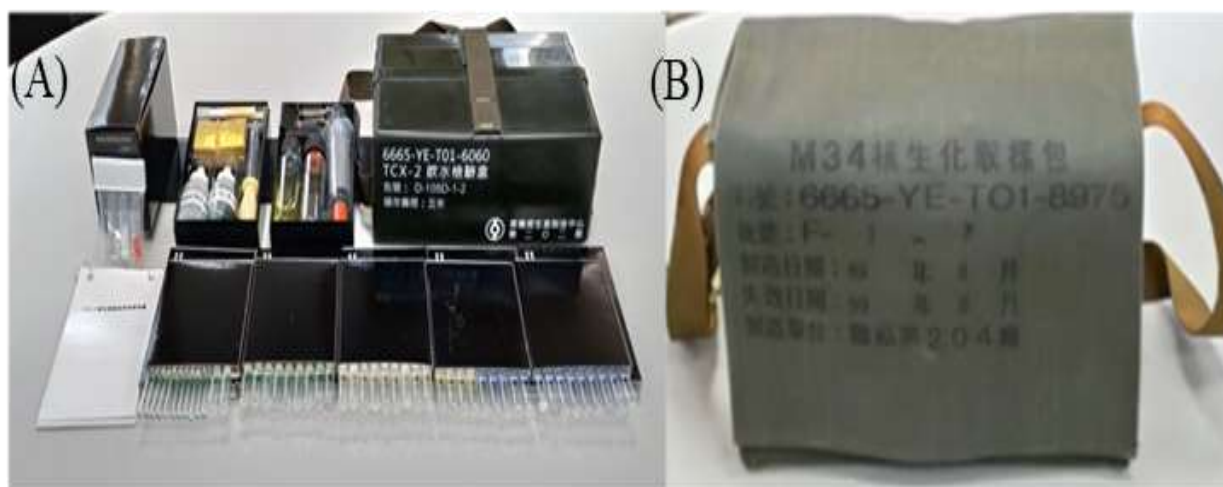
資料來源: 同註 ^{39、40}

40 《陸軍核生化偵檢車操作手冊(上冊)》(桃園：陸軍司令部，2017 年 11 月)。

41 《陸軍生物偵檢車操作手冊》(桃園：陸軍司令部，2018 年 10 月)。

42 《化學兵通用裝備操作手冊(第二版)》(桃園：陸軍司令部，2016 年 10 月)。

圖 7 國軍一般部隊食品安全檢測裝備 (A) TCX-2 飲水檢驗盒 (B) M34 核生化戰劑取樣包



資料來源:作者拍攝。

四、建議事項

(一)擴大快篩技術研發能量

對於免疫分析法，抗體的製備是關鍵。有鑑於農藥、重金屬和化學戰劑多屬於分子量較小之化學物質，要產生具有高度專一性之抗體進而生產相對之免疫檢驗試劑是相對困難。國內具有此種專業技術廠商並不多見，再加上此類試劑開發門檻與成本均高。因此高成本、高難度與低售價造成願意投入研發的廠商並不多。行政院農委會農業試驗所及國防醫學院是目前國內針對免疫快篩技術具有研發及產製能力的官方及學術單位，且已有相關實物運用之實例，如行政院農委會農業試驗所成功製備得克利、待克利、四氯異苯腈、芬普尼、達滅芬及佈飛松等多株抗體，並完成四氯異苯腈金奈米粒子側流免疫層析快篩試紙製備，靈敏度可達 0.5 mg/L，應用於棗子及蓮霧之亞滅培殘留檢測；另國防醫學院所成功研製抗肉毒桿菌 A 型毒素之高專一性單株抗體及檢測試劑套組，更榮獲國家生技醫療產業策進會「第十四屆國家新創獎」。再加上臺灣生技產業蓬勃發展，具有可觀的研發能量，政府行政主管部門若能規劃統整產官學界研發能量，訂定國家抗體抗原研發目標及關鍵種類，如台灣為農藥及水產品消費大國，有機氯、有機磷、除蟲菊劑等或各種化學添加劑往往殘留於蔬菜水果中進入人體，而重金屬如汞、砷等經食物鏈或其他途徑進入人體，所以可將有機磷農藥及砷列為優先研發項目，後續依期程推

展，定能建構完整的軍民通用食安免疫快篩技術防護網。

(二)加強快篩技術人才培養

不論是抗體及抗原合成或快篩技術研發都需要相關專業人才來執行，所需的各類人才，包括：微生物及免疫學專家、毒理學專家、生醫專家、化學及材料工程專家、食品工程專家和光電專家等等。藉由集結各類人才的專業及技術，經由個別研究進而擴展成整合型多面相的跨領域合作研發，方能提升整體快篩研發能量，由此可見，積極培育人才實是刻不容緩。

(三)結合智慧手機資訊傳輸

快篩檢測之目的無非是期盼第一線人員能在無專業訓練下也能迅速藉由簡易器材辨別食品有無污染，經檢測，若確認含有污染源，方才啟動後送檢測作業。隨著智慧手機硬體性能的提升和 APP 軟體發展的普及，透過智慧型手機 APP 軟體量化檢測數值，進而判定污染濃度，再藉由手機 GPS 定位系統對測試地點及測量數據上傳雲端系統，以供指揮官立即決策判斷及決心下達。有鑑於該項建議在戰時運用上仍有通資安全保密尚待解決，故現階段可著重於平時官兵食品安全檢測運用為主。

結語

相較於傳統儀器分析法進行食品安全檢測，快篩檢測技術的迅速發展，不僅能有效減少人力、物力及財力的消耗，更能藉由技術的整合，將檢測靈敏度更為提高，使得快篩檢測技術在食安檢測上具有廣大的應用前景，尤其是文中所探討之側流免疫層析快篩試紙技術，除了能提供作業人員快速、即時、簡便達成污染檢測外，更適用於污染現場直接檢測，不受場地的限制，此外，也能經由微型儀器的搭配確認當前污染濃度，不僅平時可應用於廣大國人及軍隊食品安全檢測，戰時更能確保軍隊飲食品質與安全，進而維護及保存國防戰力。

參考文獻

一、書籍、準則

- 1.陸軍司令部頒，《化學兵通用裝備操作手冊(第二版)》(桃園：軍備局401印製廠， 2016年10月)。
- 2.陸軍司令部，《陸軍核生化偵檢車操作手冊(上冊)》(桃園：軍備局401印製

廠，2017年11月)。

- 3.陸軍司令部，《陸軍生物偵檢車操作手冊》(桃園：軍備局401印製廠，2018年10月)。
- 4.Tarmo Humppi, "Colloidal Gold and Paramagnetic Labels in Lateral Flow Assay Detecting Ricin " (Thesis, Faculty of Science and Environmental Engineering, Tampere University of Technology), 2012.
- 5.Xiaoxiang Yan, "The optimization of a lateral flow immunoassay for detection of aflatoxin B1 in potable water samples " (Diss., School of Chemical Engineering and Analytical Science, University of Manchester), 2018.

二、期刊、論文

- 1.梁家傑，〈基於金、銀納米材料的新型免疫學檢測技術的建立與評價〉(廣州：暨南大學/碩士論文，2015)。
- 2.蔡佳馨，〈開發新尼古丁類農藥殘留之快速免疫檢驗方法〉(臺北：臺灣大學昆蟲學研究所/碩士論文，2017)。
- 3.郭育、唐小建，〈軍隊食品安全問題淺探〉《中國集體經濟(下半月)》(北京)，第8期，2007年8月。
- 4.陳大康，〈對抓好戰時軍隊食品安全問題的幾點建議〉《中國高新技術企業》(北京)，第14期，2007年。
- 5.方邢有、高志賢，〈食品中污染物快速檢測方法的進展〉《中國衛生檢驗》(北京)，第14卷第2期，2004年4月。
- 6.葉秋雄、陳佩儀、葉旭琪，〈快速檢測技術在食用農產品安全監管中的應用〉，《現代食品》(河南)，第8期，2018年。
- 7.周璿、何新葉、楊露峰、薛滿、張一青，〈基於化學比色原理的食品安全快檢產品評價方法的研究〉，《食品安全品質檢測學報》(北京)，第10卷第5期，2019年3月。
- 8.曾小嵐、張歆、付東亮、張娜，〈酶抑制法檢測蔬菜中的有機磷農藥〉《環境監測管理與技術》(江蘇)，第16卷第6期，2004年12月。
- 9.張淑貞、周桃美、高靜華，〈家蠅乙醯膽鹼酯酶活性及其對陶斯松、氧化態

- 陶斯松與安丹之感受性〉，《台灣昆蟲》(臺北)，第36卷第3期，2016年12月。
- 10.王茵、李高華、張陽、陳濤、薛小平，〈膠體金側向流免疫層析技術檢測有機磷農藥殘留〉《食品安全品質檢測學報》(北京)，第6卷第11期，2015年11月。
- 11.李培進、張傳本、刁天喜、蔣銘敏、賈啟中，〈生物感測器及其在軍事醫學中的應用〉《人民軍醫》(北京)，第45卷第5期，2002年5月。
- 12.Yan J. Xie, Yang Ying, Wei J. Kong, Shi H. Yang and Mei H. Yang, "Application of Nanoparticle Probe-Based Lateral Flow Immunochromatographic Assay in Mycotoxins Detection, " Chinese Journal of Analytical Chemistry, Vol. 43, No. 4 (2015).
- 13.Anfossi Laura, D' Arco Gilda, Calderara Marianna, Baggiani Claudio, Giovannoli Cristina and Giraudi Gianfranco, "Development of a Quantitative Lateral Flow Immunoassay for the Detection of Aflatoxins in Maize, " Food Additives and Contaminants, Vol. 28, No. 2 (2011).
- 14.Suquan Song, Na Liu, Zhiyong Zhao, Emmanuel Njumbe Ediage, Songling Wu, Changpo Sun, Sarah De Saeger and Aibo Wu, "Multiplex Lateral Flow Immunoassay for Mycotoxin Determination, " Analytical Chemistry, Vol. 86, No. 10 (2014).
15. Xiaoxiang Fu, Rushan Xie, Jian Wang, Xiaojiao Chen, Xiaohan Wang, Weibo Sun, Jiajia Meng, Daowan Lai, Ligang Zhou and Baomin Wang, "Development of Colloidal Gold - Based Lateral Flow Immunoassay for Rapid Qualitative and SemiQuantitative Analysis of Ustiloxins A and B in Rice Samples," Toxins, Vol. 9 (2017).
16. Chunyan Liu, Qiaojuan Jia, Chunhui Yang, Ruirui Qiao, Lihong Jing, Libing Wang, Chuanlai Xu and Mingyuan Gao, "Lateral Flow Immunochromatographic Assay for Sensitive Pesticide Detection by Using Fe₃O₄ Nanoparticle Aggregates as Color Reagents,"

- Analytical Chemistry, Vol. 83 (2011).
17. David E. Lenz, Alan A. Brimfield and Lara A. Cook, "Development of Immunoassays for Detection of Chemical Warfare Agents," American Chemical Society, Vol. 657, No, 1 (1997).
 18. Hans Christian Slotved, Nadja Sparding, Julia T. Tanassi, Nina R. Steenhard and Niels H. H. Heegaard, "Evaluating 6 Ricin Field Detection Assays," Biosecurity and Bioterrorism: Biodefense Strategy, Practice, and Science, Vol. 12 (2014).
 19. Aleksandra Anna Zasada, Kamila Formińska, atarzyna Zacharczuk, Daniela Jacob and Roland Grunow, "Comparison of Eleven Commercially Available Rapid Tests for Detection of Bacillus Anthracis, Francisella Tularensis and Yersinia Pestis," Letters in Applied Microbiology, Vol. 60 (2015).
 20. Pei Yi Tsui, Der Jiang Chiao, Jiunn Jye Wey, Cheng-Che Liu, Cheng-Ping Yu and Rong-Hwa Shyu, "Development of Staphylococcal Enterotoxin B Detection Strips and Application of SEB Detection Strips in Food," Journal of Medical Sciences, Vol. 33 (2013).
 21. Mahmud Suria, A. T. Mohd Afendy, Masdor Noor Azlina and Ishak Zamri, "Lateral Flow Assay Strip for Detection of Escherichia Coli O157:H7," International Food Research Journal, Vol. 22 (2015).
 22. Qing Yu, Heng Li, Chenglong Li, Suxia Zhang, Jianzhong Shen and Zhanhui Wang, "Gold Nanoparticles-Based Lateral Flow Immunoassay with Silver Staining for Simultaneous Detection of Fumonisin B1 and Deoxynivalenol," Food Control, Vol. 54 (2015).
 23. Natalia V. Beloglazova, Aleksander M. Sobolev, Mickael D. Tessier, Zeger Hens, Irina Yu. Goryacheva and Sarah De Saeger, "Fluorescently Labelled Multiplex Lateral Flow Immunoassay Based on Cadmium-Free Quantum Dots," Methods, Vol. 116 (2017).

- 24.Young A. Kim, Eun H. Lee, Kwang O. Kim, Yong T. Lee, Bruce D. Hammock and Hye S. Lee, "Competitive Immunochromatographic Assay for The Detection of the Organophosphorus Pesticide Chlorpyrifos," *Analytica Chimica Acta*, Vol. 693 (2011).
- 25.Limin Wang, Jia Cai, Yulong Wang, Qingkui Fang, Suyan Wang, Qi Cheng, Dan Du, Yuehe Lin and Fengquan Liu, "A Bare-Eye-Based Lateral Flow Immunoassay Based on the Use of Gold Nanoparticles for Simultaneous Detection of Three Pesticides, " *Microchim Acta*, Vol. 181 (2014).
- 26.Adaris M. López_Marzo, Josefina Pons, Diane A. Blake and Arben Merkoçi, "High Sensitive Gold-Nanoparticle Based Lateral FlowImmunoassay for Cd²⁺ Detection in Drinking Waters," *Biosensors and Bioelectronics*, Vol. 47 (2013).
- 27.Jiajie Liang, Hongwu Liu, Caifeng Lan, Qiangqiang Fu, Caihong Huang, Zhi Luo, Tianjiu Jiang and Yong Tang, "Silver Nanoparticle Enhanced Raman Scattering-Based Lateral Flow Immunoassays for Ultra-Sensitive Detection of The Heavy Metal Chromium," *Nanotechnology*, Vol. 25 (2014).
- 28.Menglu Sun, Peng Li, Xuexue Jin, Xingrong Ju, Wenjing Yan, Jian Yuan and Changrui Xing, "Heavy Metal Adsorption onto Graphene Oxide, Amino Group on Magnetic Nanoadsorbents and Application for Detection of Pb(II) by Strip Sensor," *Food and Agricultural Immunology*, Vol. 29 (2018).
- 29.Cecilia Hernández-Cortez, Ingrid Palma-Martínez, Luis Uriel Gonzalez-Avila, Andrea Guerrero-Mandujano, Raúl Colmenero Solís and Graciela Castro-Escarpulli, "Food Poisoning Caused by Bacteria (Food Toxins), " <https://www.intechopen.com/books/poisoning-from-specific-toxic-agents-to-novel-rapid-and-simplified-techniques-for-analysis/food-poisoning-caused-by-bacteria>

-food-toxins-, Accessed 25 April 2019.

三、網路資料

1. 劉晉,〈劉晉：飲食與戰爭〉, 信報, <http://lj.hkej.com/lj2017/foodwine/article/id/1632471/>劉晉：飲食與戰爭, 2017年8月23日。。
2. 劉晉,〈帶你瞭解什麼是食品污染〉, 健康, <https://kknews.cc/health/85rq4jl.html>, 2017年4月26日。
3. 〈食品農藥殘留危害及其防控〉, 每日頭條, <https://kknews.cc/zh-tw/agriculture/oxmnvo.html>, 2016年8月9日。
4. 李思齊,〈果蔬農藥殘留的危害〉, 信報, <http://lj.hkej.com/lj2017/healthbeauty/article/id/914163/>果蔬農藥殘留的危害, 2014年10月16日。
5. 〈重金屬是如何一步步污染你喝的水〉, 每日頭條, <https://kknews.cc/zh-tw/health/pq4zqe.html>, 2016年7月19日。
6. 〈重金屬鉛、汞、鎘、砷對食品的污染〉, 每日頭條, <https://kknews.cc/zh-tw/health/qy9ezp8.html>, 2017年4月10日。
7. "Army Seeks Manufacture of Lateral Flow Immunoassays," <https://global.biodefense.com/2015/04/08/army-seeks-manufacture-of-lateral-flow-immunoassays/>, Accessed 27 April 2019.