

市售嬰兒食品及早餐穀類食品中丙烯醯胺含量調查

陳時欣¹ 高絹智² 康宏毅² 戚祖沅³ 鄭維智³ 葉安義²¹國立宜蘭大學食品科學系 ²國立台灣大學食品科技研究所 ³食品藥物管理署食品組

摘要

富含澱粉之食品經高溫加熱後會產生丙烯醯胺。丙烯醯胺具有神經、基因、生長發育等毒性，動物實驗亦證實丙烯醯胺具有致癌性，並被國際癌症研究署歸類為2A致癌物。因此，世界各國均投入相當人力調查食品中丙烯醯胺含量，作為飲食參考及暴露風險評估。本研究以液相層析串聯質譜儀分析市售嬰兒食品及早餐穀類食品中之丙烯醯胺含量。嬰兒食品總檢體數93件，結果顯示，澱粉類之丙烯醯胺含量介於N.D.-309 mg/kg，其中以嬰兒餅乾最多，次者為罐裝泥製食品，嬰兒的粉(精)狀副食品均未檢出。乳品類之丙烯醯胺含量介於N.D.-84 mg/kg，此類嬰兒配方奶食品中之丙烯醯胺含量大多較低。魚肉蛋類之丙烯醯胺含量為N.D.-49 mg/kg，此類原物料多為蛋白質，且檢體成份單純，8件樣品僅1件檢出。蔬菜類之丙烯醯胺含量介於N.D.-158 mg/kg，多數樣品為未檢出，而檢體中含有馬鈴薯成份者，具有較高丙烯醯胺含量。水果類之丙烯醯胺含量範圍介於N.D.-73 mg/kg，此類食品中之丙烯醯胺含量偏低。在早餐穀類食品方面，總檢體數為32件，依不同飲食類型區分成三大類，結果顯示乾燥類之丙烯醯胺含量介於N.D.-184 mg/kg，沖泡類之丙烯醯胺含量介於N.D.-342 mg/kg，即食類之丙烯醯胺含量介於N.D.-163 mg/kg，多數早餐穀類食品之AA含量均較低，早餐穀物的配方中含糖與否並非丙烯醯胺形成的關鍵因素。

關鍵詞：丙烯醯胺、嬰兒食品、早餐穀類食品、液相層析串聯質譜儀

前言

丙烯醯胺(acrylamide, AA)為一種乙烯基單體，可聚合成不可溶的聚合物—聚丙烯醯胺(polyacrylamide, PAA)，廣泛運用於工業上，作為飲用水淨化劑、製紙劑、土壤調節劑、電泳凝膠片等⁽¹⁾。國際癌症研究署(International Agency for Research on Cancer, IARC)早於二十年前(1994)即將AA歸類為「2A-可能會造成人類癌症」之致癌物，另有研究指出丙烯醯胺具有神經、基因、生長發育等毒性。世界衛生組織(World Health Organization, WHO)在1996年規定飲用水中的AA濃度不得超過0.5 µg/L。瑞典國家食品管理局(the Swedish National Food

Administration, SNFA)更於2002年證實食品經高溫加熱為AA產生的主要途徑；胺基酸與還原醣經梅納反應後會產生高量AA，如薯條中含有150-1500 µg/kg，表示飲食可能為民眾的暴露來源^(2,3)。因此，各國開始調查食品中AA含量，進一步估算各年齡層經由飲食的暴露量並進行風險評估。相關研究人員也致力於探討AA的生成途徑、毒性、分析定量方法及其減量策略等的研究。

近年來各國對於如何降低食品中AA之研究正如火如荼的進行中，歐盟的食品飲料工業聯盟(Confederation of the Food and Drink Industries of the European Union, CIAA)於2005-2009年分別彙整國際之相關研究，整理出14

個可能造成AA生成量多寡的影響因子，分別歸於四類，包括農業栽培(2項)、配方(6項)、加工(5項)以及烹調的控制(1項)，透過這些因子的交互控制，由生產端有效控制食品製造過程中AA的產生，減少消費者經由食品的暴露量⁽⁴⁾。顯示國外對於如何有效的控制食品加工中AA含量的生成，已經蒐集許多的資料，並提供相關的業者作為參考之工具。該Toolbox每年進行修正及更新，最近的一次更新是2011。我國亦於2012年編撰「降低食品中丙烯醯胺含量-加工參考手冊」，供相關業者製造、生產及加工參考⁽⁵⁾。

國外研究AA之重心集中於根莖類加工食品(如馬鈴薯製品)、穀類加工食品(小麥及穀類)及咖啡等。國內在衛生福利部食品藥物管理署的支持下，已針對一般食品的AA含量及暴露風險作過調查及評估，但是對於若干風險度較高的食品仍需做更深入的研究，以維護消費者的健康及降低可能之風險。依據國外文獻顯示，嬰兒食品和早餐穀類食品一直存在著AA暴露量的隱憂⁽⁶⁻⁹⁾。本研究針對台灣販售的嬰兒食品及早餐穀類食品進行AA含量分析調查。嬰兒食品依照原料成分分為：澱粉類、乳品類、魚肉蛋類、蔬菜類及水果類等五大類，抽驗各廠牌具代表性檢體，進行總檢體93件的AA含量背景值調查。早餐穀類食品，依飲食型態歸類為：乾燥類、沖泡類及即食類，共計三類，進行總檢體32件的AA含量背景值調查和分析。

材料與方法

一、樣品代表性

由於嬰兒食品與早餐穀類食品多為品牌行銷產品，均可於藥局、超級市場、量販店、網路商店等通路購得，且此類產品不具北中南地域性，故以隨機抽樣方式進行採樣。本研究優先於台北地區的連鎖藥局和超級市場或大型台式及美式量販店進行採購，若商品具有網路獨特性且為暢銷品，再進行網路採購。

二、分類

嬰兒食品依其主要成分，分成五類：澱粉類、乳品類、魚肉蛋類、蔬菜類、水果類。早餐穀類食品則依樣品的食用型態，分為三大類：乾燥類，指乾燥後的脆片、麥片，可直接加入牛奶或豆漿食用；沖泡類，指需經熱開水沖泡後食用的穀片包裝；即食類，直接打開包裝飲用的飲品。

三、樣品採樣流程

樣品購回後，記錄其品名、購置地點、製造公司或商號名稱、購置日期、製造日期或有效期限、商品標示之基本成分及組成成分等資料，依照樣品的種類進行編碼並拍照存檔。記錄後的樣品，取足量置入夾鏈袋，凍存於-20°C。樣品均於一個月內完成分析，以確保樣品的時效性。樣品使用粉碎機處理後，粉碎機均徹底以水清洗和酒精擦拭之，避免樣品間互相干擾並降低粉碎機的操作溫度。

(一)採購規劃

1. 選定採樣點，事先安排採樣路線，以節省人力、物力及時間。
2. 標示清晰商品列為優先選擇。
3. 傳統市場及大賣場等地之商品優先選購。

(二)採購原則

1. 以少量購買為原則。
2. 小包裝者優先購買，產品內容物至少大於25 g。
3. 基於樣品代表性，優先購買普遍性及知名度高之商品。
4. 同質商品盡量選購不同公司(店家)之產品，增加採樣的來源及普適性。

四、儀器設備

(一)液相層析串聯質譜儀：為Thermo Finnigan公司(Waltham, MA, USA)生產，型號：LXQ，配有LC pump、photodiode array detector (PDA)及autosampler。離子源為電

灑游離(ESI)適合游離高極性之待測物，離子阱(ion trap)質譜分析器之質量範圍100到4000 m/z 。

- (二)層析管柱：採用Thermo Scientific公司(Waltham, MA, USA)之AQUASIL C18管柱(250 × 1.0 mm, 5 μm)，移動相為0.1%甲酸之甲醇溶液：去離子水=1：9 (v/v)。
- (三)質譜分析條件以電灑游離法搭配多重反應偵測(multiple reaction monitoring, MRM)模式進行分析。

五、丙烯醯胺含量分析

- (一)內部標準溶液(5 $\mu\text{g}/\text{mL}$)：取碳13同位素AA標準品($^{13}\text{C}_3$ -AA)溶液(1 mg/mL) 1 mL，以乙腈定容至100 mL，作為內部標準原液，再以乙腈稀釋至濃度5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ，自動注射器注入量20 μL 、溫度25 $^{\circ}\text{C}$ 。
- (二)配製標準溶液：精稱AA標準品10 mg，以乙腈溶解並定容至100 mL (100 $\mu\text{g}/\text{mL}$)，作為標準原液，置於4 $^{\circ}\text{C}$ 下貯存備用。使用時取適量標準原液於10 mL定量瓶，加入內部標準溶液(5 $\mu\text{g}/\text{mL}$) 200 μL ，以乙腈稀釋定容，混合配製後 $^{13}\text{C}_3$ -AA濃度為100 ng/mL，AA濃度分別為10、30、50、100、150、200、250、300、400、500 ng/mL等共10組，作為標準溶液。
- (三)製作檢量線：精取標準溶液20 μL ，注入LC-MS/MS中，以半自動/自動功能選擇其分析條件。就AA之轉移質量 m/z 72 > 55離子波峰面積及 $^{13}\text{C}_3$ -AA之 m/z 75 > 58離子波峰面積之比值，與對應之AA濃度製作檢量線。
- (四)調製檢液：稱取樣品5 g，置於50 mL離心管內，依序加入無水硫酸鎂4 g、NaCl 0.5 g、內部標準溶液(5 $\mu\text{g}/\text{mL}$) 200 μL 、正己烷5 mL、去離子水10 mL及乙腈10 mL。立即封住管口，振盪1分鐘，再以5000 × g離心5分鐘。取乙腈層7 mL，移至含PSA (Primary Secondary Amine) 750 mg、C18 500 mg及無水硫酸鎂750 mg的15 mL離心

管中，振盪混合30秒後，以5000 × g離心1分鐘。取上清液3.5 mL，以0.22 μm 濾膜過濾，濾液以氮氣濃縮至120 μL ，供作檢液，進行LC-MS/MS分析。其檢測極限為10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，未檢出樣品以N.D. (not detected)標示。

六、回收試驗

四類樣品挑選出代表者，經均質後精稱5 g，分別添加AA 100及500 ng/mL各1 mL於檢體基質中，靜置20分鐘待AA滲入檢體基質，然後依五、(四)節進行檢液之調製及儀器分析，共進行3重複分析試驗，依分析結果計算平均回收率及變異係數，用以評估本研究所建立之分析方法之準確性。

七、品保試驗

每批樣品分析時之檢量線 R^2 均要求高於0.99以上，AA標準品與內部標準品($^{13}\text{C}_3$ -AA)之積分面積比值需控制於檢量線範圍內，如果檢體超過線性範圍，則增加或減少檢體取樣量以符合檢量線範圍。此外，檢液與標準溶液之波峰滯留時間及質譜圖必須滿足：(1) AA之訊號必須與基質干擾區分($S/N > 10$)；(2)參考歐盟2002/657/EC之規範，同一批次試驗，AA與內部標準品之滯留時間差異須小於2.5%；(3)參考歐盟2002/657/EC規範修飾之，檢體之AA轉移質量 m/z 72 > 55與72 > 72之相對強度百分比(relative intensity, %)，須比對標準品之相對強度百分比，其容許範圍為：當相對強度百分比 > 50時，其容許範圍為 ± 20 ；當相對強度百分比 > 20-50，其容許範圍為 ± 25 ；當相對強度百分比 > 10-20時，其容許範圍為 ± 30 ；當相對強度百分比 ≤ 10 時，其容許範圍為 ± 50 。

結果與討論

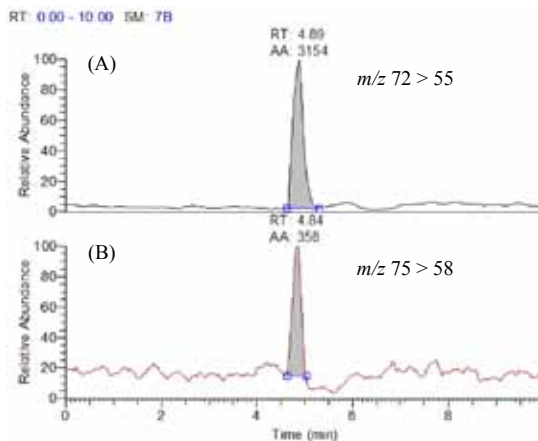
一、LC-MS/MS分析之評估

檢體經過萃取、淨化等前處理程序後，以LC-MS/MS進行分析，經由建立的檢量線推算

AA含量，並以檢出量低的特定檢體進行回收試驗，以確保數據的可靠性。先以標準品調整質譜儀之毛細管探針電壓、樣品錐電壓、萃取電壓、離子源溫度、去溶劑氣體溫度、去溶劑氣體流速及錐氣體流速，使AA之前驅離子的訊號最強，再調整碰撞能量，觀察前驅離子之碎片離子，用以建立LC-MS/MS之理想感度。AA (分子量為71)經ESI游離後，選取其[M+H]⁺離子(*m/z* 72)為前驅離子，該離子進入碰撞室後，與氫氣碰撞誘導解離產生之產物離子，其中以*m/z* 55 ([M+H-NH₃]⁺)為最主要的碎片離子，感度最強，碰撞能量則於21 eV之感度較佳；¹³C₃-AA條件(*m/z* 75 > 58)與AA標準品相同。因此選擇AA之轉移質量*m/z* 72 > 55作為定量用之特徵離子。樣品經LC-MS/MS依測定條件進行分析後，就檢液與標準溶液所得波峰之滯留時間及質譜圖比較鑑別。本研究中因質譜儀對AA之定性離子感度不佳，因此參考歐盟2002/657/EC規範並修飾之，以*m/z* 72 > 55及72 > 72離子對之相對含量百分比(0.61%)，作為分析結果的評估，其最大容許範圍須介於±50%。

二、檢量線

以LC-MS/MS分析食品中之AA時，為使

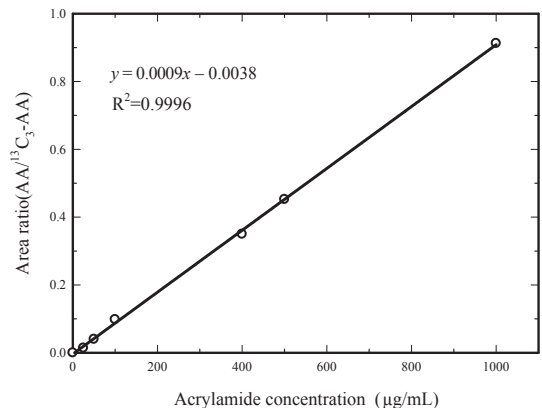


圖一、(A)丙烯醯胺定量用離子對及(B)同位素內標¹³C₃-丙烯醯胺離子對之液相層析串聯質譜圖

定量結果準確，添加物理化學特性與其相近的同位素¹³C₃-AA作為內部標準品。因¹³C₃-AA極性與AA相同，進行層析時會與之共同析出，具有相同的滯留時間，可作為判斷該次分析及鑑定的參考(圖一)。檢量線之建立，以AA之轉移質量*m/z* 72 > 55離子波峰面積及¹³C₃-AA之轉移質量*m/z* 75 > 58離子波峰面積之比值，與對應的AA標準品濃度製作成檢量線，其線性R² > 0.99 (圖二)。採用同位素內部標準品所製作之檢量線穩定性高，能避免儀器之不穩定或分析過程的誤差而影響分析結果，因此適合作為檢體定量分析之用。

三、回收試驗

因分析樣品的不同，可能造成回收率的差異，本研究針對四類樣品分別挑選出代表性樣品，於其中添加AA標準品(100及500 ng/kg)，進行回收率試驗，結果如表一。嬰兒食品中，澱粉類食品回收率介於94-113% (變異係數為5-12%)，乳品類食品回收率為81-92% (變異係數為2-12%)，魚肉蛋類食品回收率介於84-85% (變異係數為1-8%)，蔬菜類食品回收率為91-108% (變異係數為2-5%)，水果類食品回收率為95-109% (變異係數為3-5%)。早餐穀類食品中，乾燥類食品回收率介於91-104% (變異係數為4-5%)，沖泡類食品回收率為88-110% (變異係數為6-9%)，即食類食品回收



圖二、丙烯醯胺標準品之檢量線

表一、各類樣品添加丙烯醯胺之平均回收率

樣品總別	類別	AA added ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Recovery ^a (%)	C.V. ^b (%)
嬰兒食品	澱粉類	100	113	5.0
		500	94	12.0
	乳品類	100	92	2.2
		500	81	11.6
	魚肉蛋類	100	84	1.3
		500	85	8.3
蔬菜類	100	108	5.2	
	500	91	2.2	
水果類	100	109	5.4	
	500	95	3.4	
早餐穀類 食品	乾燥類	100	104	4.6
		500	91	4.2
	沖泡類	100	88	8.6
		500	110	6.4
	即食類	100	112	1.6
		500	91	5.1

^a n = 3.

^b C.V.: coefficient of variance.

率為91-112% (變異係數為2-5%)，本研究回收率介於81-113%，變異係數為1-12% 之間。不同種類的食品基質採用本檢驗方法分析，可能因淨化效果不同而造成回收率及變異係數有差異。整體評估，回收率及變異係數結果均在可接受範圍內，且與文獻值接近，本檢驗方法適用於市售食品之AA含量分析檢驗。

表二、嬰兒食品之丙烯醯胺含量

樣品類別	含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均值 \pm 標準偏差($\mu\text{g}/\text{kg}$)	檢出件數/抽樣件數	檢出率(%)
澱粉類	N.D. ^a - 309	49 \pm 68	17/35	49
乳品類	N.D.- 84	18 \pm 21	6/17	35
魚肉蛋類	N.D.- 49	6 \pm 10	1/8	13
蔬菜類	N.D.- 158	13 \pm 6	4/17	24
水果類	N.D.- 73	21 \pm 5	8/16	50
總計	N.D.- 309	21 \pm 68	36/93	39

^a N.D.: not detected.

四、台灣地區嬰兒食品中AA含量調查

調查台灣地區嬰兒食品中AA含量，分為五大類，包括澱粉類35件、乳品類食品17件、魚肉蛋類食品8件、蔬菜類食品17件及水果類食品16件，共計93件，其結果分述如下：

(一)澱粉類

本研究所檢測澱粉類共35件樣品檢體，其主要原料由米、麥、馬鈴薯、甘藷、玉米所組成，結果如表二。市售澱粉類嬰兒食品之AA含量檢出範圍介於N.D. - 309 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，檢出率佔本類總檢體數為49%，平均值為49 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。其中，嬰兒添加穀片副食品(如：米粉/精、麥粉/精、玉米精等)共8件，均未檢出；罐裝泥狀食品之平均值為77 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ；嬰兒餅乾類共19件檢體樣品之平均值為74 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。結果顯示，澱粉類含量高的食品，經由不同加工製程的條件及方式，最終產生之AA含量也不同。表示除原料外，加工方法與加工條件會顯著影響AA的生成。波蘭於2012年⁽⁸⁾調查其市售嬰兒食品AA含量，以餅乾含量最多，平均值為219 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 略高於本研究；國內調查點心食品之AA含量以澱粉為原料者含量最高，平均值為299 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ⁽¹⁰⁾。

(二)乳品類

乳品類所抽查的檢體多為模仿母乳所設計之嬰兒配方奶為主，其餘為優格、脫脂乳為主要原料的食品，其結果如表二。本研究共檢驗17件市售嬰兒奶粉與副食品，

檢出AA含量範圍介於N.D.-84 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，檢出率佔本類總檢體數為35%，平均值為18 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。Jiao等⁽¹¹⁾於2005年調查中國的嬰兒奶粉中AA含量，為3.01-9.06 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，顯示嬰兒亦有攝食AA之機會。針對非哺乳母乳的嬰兒而言，從出生至六個月者每日主食為嬰兒配方奶，直到六個月後，食用配方奶的比重才降為每日攝食量的43.3%，因此對於體型較小的嬰兒有相當的AA暴露風險。

(三)魚肉蛋類

魚肉蛋類所抽查的檢體之原料主要是富含蛋白質成分，其結果如表二。本研究共檢驗8件市售魚肉類之嬰兒食品，檢出AA含量範圍介於N.D.-49 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，僅1件鮭魚鬆檢出，檢出率佔本類總檢體數13%。瑞典調查嬰兒罐裝食品，肉類製品中AA含量為1.6-23.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ⁽¹²⁾。對肉類嬰兒食品而言，其澱粉含量較少，因此降低製造過程中產生AA的風險，致使AA檢出率低。

(四)蔬菜類

本研究所檢測蔬菜類嬰兒食品共17件樣品，包含有湯類和蔬菜泥之形式的產品，結果如表二。檢出AA含量範圍介於N.D.-158 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，檢出率佔本類總檢體數為24%，平均值為13 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。過去瑞典調查嬰兒罐裝食品，蔬菜類中AA含量平均值為14.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ⁽¹²⁾，本研究所測得之結果與之相似。

(五)水果類

本研究所抽查嬰兒副食品之水果類，其主原料如蘋果、梨子、鳳梨、香蕉、黑棗及其他水果等，共計檢驗16件樣品，結果如表二。所檢出AA含量範圍介於N.D.-73 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，檢出率佔本類總檢體數為50%，平均值為21 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。文獻⁽¹³⁾指出，加州梅(prunes)製品的AA含量中，嬰兒蘋果/加州梅汁的範圍為33-61 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，與本研究所測得結果相似。作者進一步發現，因為加州梅富含天門冬胺酸及果糖，故即使加

工過程反應溫度未超過100°C，依然會生成AA。由於嬰兒水果副食品所含水分較多，而AA生成反應會產生水分子，故根據勒沙特列原理，水分含量高不利於AA形成，因此也符合本類別所測得之結果。若為乾燥水果或果汁煮沸的情況，可能會提高最終產品中AA濃度。

由以上五大類嬰兒食品的AA分析結果比較得知，各類食品AA含量平均值以澱粉類之AA檢出結果最多，其次為乳品類、蔬菜類及水果類嬰兒食品，而魚肉蛋類製品AA含量較低。AA含量最高的檢體為嬰兒長牙餅(teething biscuit)，AA含量為309 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，與美國FDA (Food and Drug Administration)報導，嬰兒食品中以嬰兒牙餅為最高之結果相符合(14)。由結果可發現，澱粉類產品中，若為小麥麵粉製品者，其AA檢出結果較高。此應為原料富含澱粉及蛋白質，經高溫加熱後，有利於還原醣和胺基酸的結合，容易促進AA形成。相對於乳品類、魚肉蛋類、蔬菜類及水果類等製品，配方成分不含澱粉或含量極少，檢出AA較低。建議消費者可選用配方含澱粉較少的產品，以減少AA攝入之風險。

歐盟建議企業自主管理指引指出⁽¹⁵⁾，若嬰兒食品(加工穀類食品除外)之成分不含加州梅(prunes)，其AA指標值(Indicative value)為50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，成分含加州梅AA指標值為80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，嬰兒餅乾則為200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。當產品AA含量超過指標值時，業者應注意或改善產品製程。而本研究檢測結果皆低於歐盟之指標值。

五、台灣地區早餐穀類食品中AA含量調查

早餐穀類食品分為三大類，包括乾燥類11件、沖泡類11件及即食類食品10件，共進行32件檢體的AA含量分析，其結果分述如下：

(一)乾燥類

本研究所抽查早餐穀類-乾燥類共11件檢體，其主要原料由全穀小麥粉、玉米粉、糖等所組成，結果如表三。乾燥類的早餐

表三、早餐穀類食品之丙烯醯胺含量

樣品類別	含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均值 \pm 標準偏差($\mu\text{g}/\text{kg}$)	檢出件數/抽樣件數	檢出率(%)
乾燥類	N.D. ^a - 184	56 \pm 33	5/11	45
沖泡類	N.D.- 342	95 \pm 32	10/11	91
即食類	N.D.- 163	19 \pm 9	3/10	30
總計	N.D.- 342	57 \pm 41	18/32	56

^aN.D.: not detected

穀類食品，意指乾燥後的脆片、麥片，可直接加入牛奶或豆漿食用者。其檢出AA含量範圍介於N.D.-184 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，檢出率佔本類總檢體數45%，平均值為56 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。其中以雀巢-美祿可可球最高(184 $\mu\text{g}/\text{kg}$)，反觀同廠牌且主成分相似的可可脆片則為未檢出。文獻⁽¹⁶⁾指出，以膨發(puffed)的加工形式會比壓製成薄片(flake)的成品產生較高的AA，其原因主要因為膨發型產品於製造過程中所輸入的熱量多於薄片型。再次說明不同加工製程對終端產品AA含量的影響；慎選加工方法有利於AA含量的減少。

(二)沖泡類

本沖泡類早餐穀類食品之檢體數共11件，其主要原料由燕麥片、黑豆粉、黑芝麻、蔗糖等所組成，結果如表三。檢出AA含量範圍介於N.D.-342 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，檢出率佔本類總檢體數91%，平均值為95 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。本類產品型態多呈現粉末狀，研究指出產品最終的水分含量、加熱時間及溫度皆會影響AA多寡⁽¹⁷⁻¹⁹⁾；在低水分條件下，麥片類產品會於180-200°C時，達到最大AA生成值^(17,18)。

(三)即食類

本研究抽查即食類的早餐穀類食品檢體數共10件，其主要原料由水、薏仁、燕麥、糖等所組成，結果如表三。AA含量檢出範圍介於N.D.-163 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，檢出率佔本類總檢體數30%，平均值為19 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。由於此類即食飲品所含水量較多，故AA

含量檢出值均較低。

由以上三大類早餐穀類食品的AA分析結果得知，以沖泡類早餐穀類中AA的含量為最高，即食類則為最少。相較於國外的研究，瑞典調查其國內早餐穀類平均AA含量為220 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ⁽²⁰⁾；澳洲於2004年所調查之早餐穀類食品共28件，其中有16件樣品檢測出含有AA，檢出率佔總樣品數為57%，平均值為95 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ⁽²¹⁾；2013年，加拿大與土耳其調查其國內早餐穀類食品中之AA含量分別為102及290 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^(22,23)，皆略高於本研究之調查結果。研究指出早餐穀類原料中，若有添加發芽小麥或黑麥，則會含有較高的天門冬醯胺(asparagine, Asn)，進而增加AA形成之風險⁽²⁴⁾；穀類原料使用麩皮及全麥粉亦具有相似之結果⁽²⁵⁻²⁷⁾。歐盟建議企業自主管理指標指出，麩皮、全穀物與膨發穀物早餐麥片的AA指標值為400 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，小麥與黑麥穀物製品AA指標值為300 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，其餘早餐穀物則為200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ⁽¹⁵⁾。

結 論

本研究總共檢測93件嬰兒食品及32件早餐穀類食品的AA含量。嬰兒食品的檢出值介於未檢出與309 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之間，其中以澱粉類偏高，尤其是餅乾製品；35件檢體，檢出率49%。嬰兒食品的乳品類、魚肉蛋類、蔬菜類和水果類的檢出最高值均低於85 mg/kg ，唯一例外的是含馬鈴薯的蔬菜泥，檢出值158 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，顯示馬鈴薯的加工製品的確容易含高量AA。

早餐穀類食品區分成三類：乾燥類、沖泡類和即食類，總檢出件數18件，總檢出率

56%，其中以沖泡類檢出率91%最高，11件檢體中有10件檢出，應與其加工製程有極大關係，最高檢出值為342 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。整體說來，早餐穀類食品的AA含量大多在合理規範內。本研究提供國內市售嬰兒及早餐穀類食品共125件，除進一步完備我國食品中AA含量之資料庫外，期能對國人於飲食中攝入的AA有較全面性的了解，以利政府相關政策的擬定與檢討。此外，也有助於進一步作為國人飲食中AA攝入的安全性評估。

目前國際上均未對食品中的AA含量訂定限量標準，由於目前仍無實際有效的方法，可以完全避免食品於加熱過程中產生AA，因此，就各類食品中AA的減量及其方法，有必要再深入探討，藉以提升及保障國人的健康及飲食安全。

誌 謝

本研究經費係由衛生福利部食品藥物管理署經費補助，特誌謝忱。

參考文獻

1. International Agency for Reserch on Cancer (IARC). 1994. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Some industrial chemicals. Vol. 60. Acrylamide. Lyon, France: IARC 389-433.
2. Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P. and *et. al.* 2002. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.* 50: 4998-5006.
3. Varoujan, Y., Carolina, P. L., Andrzej, W. and *et. al.* 2005. Mechanistic pathways of formation of acrylamide from different amino acids. In: Friedman, M., and Mottram, D., edited. *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food*. New York, Springer Science+Business Media, Inc. *Adv. Exp. Med. Biol.* 561: 191-203.
4. FoodDrinkEurope 2011. *Acrylamide Toolbox 2011*. FoodDrinkEurope, September 30, 2011. Brussels, Belgium.
5. 行政院衛生署食品藥物管理局。2012。降低食品中丙烯醯胺含量-加工參考手冊。台北市，台灣。
6. Hilbig, A., Freidank, N., Kersting, M. and *et. al.* 2004. Estimate of the dietary intake of acrylamide by German infants, children and adolescents as calculated from dietary records and available data on acrylamide levels in food group. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 207: 463-471.
7. Rufián-Henares, J. A., Delgado-Andrade, C. and Morales, F. J. 2006. Relationship between acrylamide and thermal-processing indexes in commercial breakfast cereals: a survey of Spanish breakfast cereals. *Mol. Nutr. Food Res.* 50: 756-762.
8. Mojska, H., Gielecinska, I. and Stos, K. 2012. Determination of acrylamide level in commercial baby foods and an assessment of infant dietary exposure. *Food Chem. Toxicol.* 50: 2722-2728.
9. Cheng, W. C., Kao, Y. M., Shih, D. Y. C. and *et. al.* 2009. Validation of an improved LC-MS/MS method for acrylamide analysis in foods. *J. Food Drug. Anal.* 17: 190-197.
10. Cheng, W. C., Sun, D. C., Chou, S. S. and *et. al.* 2012. Acrylamide content distribution and possible alternative ingredients for snack foods. *J. Food Prot.* 75(12): 2158-2162.
11. Jiao, J., Zhang, Y., Ren, Y. and *et. al.* 2005. Development of a quantitative method of determination of acrylamide in infant powdered milk and baby foods in jars using isotope dilution liquid chromatography/electrospray ionization tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr. A* 1099: 198-202.
12. Fohgelberg, P., Rosén, J., Hellenäs, K. E. and *et. al.* 2005. The acrylamide intake via some common baby food for children in Sweden

- during their first year of life—an improved method for analysis of acrylamide. *Food Chem. Toxicol.* 43: 951-959.
13. Becalski, A., Brady, B., Feng, S. and *et. al.* 2011. Formation of acrylamide at temperatures lower than 100°C: the case of prunes and a model study. *Food Addit. Contam.* 28(6): 726-730.
 14. U.S. FDA (Food and Drug Administration). 2006. Survey Data on Acrylamide In Food: Total Diet Study Results. [<http://www.fda.gov/Food/FoodborneIllness-Contaminants/ChemicalContaminants/ucm053566.htm>]
 15. European Union. 2013. Commission recommendation of 8 November 2013 on investigations into the level of acrylamide in food. *Off. J. Eur. Union* no. L301: 15-17.
 16. Rufián-Henares, J. A., Delgado-Andrade, C. and Morales, F. J. 2006. Relationship between acrylamide and thermal-processing indexes in commercial breakfast cereals: a survey of Spanish breakfast cereals. *Mol. Nutr. Food Res.* 50: 756-762.
 17. Biedermann, M. and Grob, K. 2003. Model studies on acrylamide formation in potato, wheat flour and corn starch; ways to reduce acrylamide contents in bakery ware. *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene* 94: 406-422.
 18. Brathen, E. and Knutsen, S. H. 2005. Effect of temperature and time on the formation of acrylamide in starch-based and cereal model systems, flat breads and bread. *Food Chem.* 92: 693-700.
 19. Claus, A., Mongili, M., Weisz, G. and *et. al.* 2008. Impact of formulation and technological factors on the acrylamide content of wheat bread and bread rolls. *J. Cereal Sci.* 43(3): 546-554.
 20. Svensson, K., Abramsson, L., Becker, W. and *et. al.* 2003. Dietary intake of acrylamide in Sweden. *Food Chem. Toxicol.* 41: 1581-1586.
 21. Murkovic, M. 2004. Acrylamide in Austrian food. *J. Biochem. Biophys. Methods* 61: 161-167.
 22. Normandin, L., Bouchard, M., Ayotte, P. and *et. al.* 2013. Dietary exposure to acrylamide in adolescents from a Canadian urban center. *Food Chem. Toxicol.* 57: 75-83.
 23. Cengiz, M. F. and Gündüz, C. B. P. 2013. Acrylamide exposure among Turkish toddlers from selected cereal-based baby food samples. *Food Chem. Toxicol.* 60: 514-519.
 24. Claus, A., Schreiter, P., Weber, A. and *et. al.* 2006. Influence of agronomic factors and extraction rate on the acrylamide contents in yeast-leavened breads. *J. Agric. Food Chem.* 54: 8968-8976.
 25. Fredriksson, H., Tallving, J., Rosén, J. and *et. al.* 2004. Fermentation Reduces Free Asparagine in Dough and Acrylamide Content in Bread. *Cereal Chem.* 81(5): 650-653.
 26. Hamlet, C., Sadd, P. and Liang, L. 2007. Material variability: A tool to minimize acrylamide formation in baked cereal products. (AGFD 251) In: 234th ACS Meeting, Boston MA, August 19-23, 2007, Washington, DC: ACS.
 27. Claus, A., Carle, R. and Schieber, A. 2008. Acrylamide in cereal products: a review. *J. Cereal Sci.* 47: 118-133.

A Survey of Acrylamide in Infant foods and Breakfast Cereals

SHIH-HSIN CHEN¹, CHUAN-CHIH KAO², HONG-YI KANG²,
TSU-YUAN CHI³, WEI-CHIH CHENG³ AND AN-I YEH²

¹Department of Food Science, National I-Lan University

²Institute of Food Science and Technology, National Taiwan University

³Division of Food Safety, FDA

ABSTRACT

A significant level of acrylamide (AA) was found in heat-treated starch- rich foods. AA carries neurotoxicity, genotoxicity, and reproductive and developmental toxicity, and has been classified as a 2A carcinogen by the International Agency for Research on Cancer. The findings of AA in foods attracted interest and attention worldwide, and there were plenty of literatures published concerning the AA contents in varies foods and were used as the dietary information for risk evaluation. Purpose in our current study, the AA contents in infant foods and breakfast cereals were determined by the LC-MS/MS method. The results of total 93 samples of infant foods showed that the AA contents were in the range of N.D.-309 µg/kg in the starchy group, while the biscuit had the highest level of AA. The amounts of AA in the dairy group and protein group were in the range of N.D.-84 µg/kg and N.D.-49 µg/kg, respectively. For the vegetable group, the AA contents were within the range of N.D.-158 µg/kg; most samples were not detected, however, the sample containing potato had a high AA level. The AA contents in fruit group showed a lower level standing in the range of N.D.-73 µg/kg. For a total of 39 samples of the breakfast cereals, they were classified into three groups, and the AA contents were in the range of N.D.-184 µg/kg for the dry group, N.D.-342 µg/kg for the stewed group, and N.D.-163 µg/kg for the instant group, respectively. In the breakfast cereal samples, the high sugar content does not contribute to the high AA level.

Key words: acrylamide, infant foods, breakfast cereals, LC-MS/MS