

風險評估研究

第 56 號報告書

化學物危害評估

# 食物中的吡咯里西啶類生物鹼

香港特別行政區政府

食物環境衛生署

食物安全中心

2017 年 1 月

本報告書由香港特別行政區政府食物環境衛生署  
食物安全中心發表。未經食物安全中心書面許  
可，不得翻印、審訂或摘錄或於其他刊物或研究  
著作轉載本報告書的全部或部分研究資料。若轉  
載本報告書其他部分的內容，須註明出處。

通訊處：

香港金鐘道 66 號

金鐘道政府合署 43 樓

食物環境衛生署

食物安全中心

風險評估組

電子郵箱：[enquiries@fehd.gov.hk](mailto:enquiries@fehd.gov.hk)

# 目錄

	<u>頁數</u>
<b>摘要</b>	1
<b>目的</b>	4
<b>背景</b>	4
吡咯里西啶類生物鹼的化學性質	4
吡咯里西啶類生物鹼的來源	7
膳食攝入來源	7
毒性	8
健康參考值	11
規管情況	11
<b>研究範圍</b>	12
<b>研究方法及化驗分析</b>	12
研究方法	12
化驗分析	12
分析值低於檢測限的處理方法	13
<b>結果及討論</b>	14
不同食物組別的吡咯里西啶類生物鹼總量	14
從膳食攝入吡咯里西啶類生物鹼的情況	15
主要膳食來源	17
沒有納入攝入量評估的食物	18
研究的局限	20
<b>結論及建議</b>	20
<b>參考資料</b>	22
<b>附錄</b>	27
附錄 1： 不同食物組別和食物中 28 種 1,2-不飽和吡咯里西啶類生物鹼的總和(微克 / 公斤)	27

附錄 2：	按年齡及性別組別列出攝入量一般和攝入量高的 市民從膳食攝入 1,2-不飽和吡咯里西啶類生物鹼 的總和(下限和上限)	29
-------	---	----

## 摘要

這次研究的目的，是從選取的食物中檢測 1,2-不飽和吡咯里西啶類生物鹼的總和，以估算本港成年人從膳食攝入這些物質的分量，同時評估相關的健康風險。

2. 吡咯里西啶類生物鹼(PA)是一組由植物製造的次級化合物，有關植物遍布世界各地，目前已在 6 000 多種植物中發現超過 660 種 PA 及其相應的 N-氧化衍生物。PA 是分布最廣的天然毒素，有報告指出，人類會因使用有毒的植物品種配製草本茶或傳統藥物，又或因食用被含有 PA 的種子所污染的穀物或穀物製品(麵粉或麵包)而中毒。海外研究顯示，人類進食蜂蜜、奶、蛋和動物內臟，亦會攝入 PA；不過，至今尚未有這些膳食來源引致人類中毒的個案報告。

3. PA 屬酯類物質，由千里光次鹼基和一種或一種以上的千里光次酸組成。千里光次鹼基可處於飽和狀態，又或不飽和狀態(即在 1,2 位形成雙鍵)。具有毒性的 PA 均含不飽和千里光次鹼基，而含飽和千里光次鹼基者則無毒性。

4. 1,2-不飽和 PA 處於原來的結構形式時不帶毒性，須經過代謝作用活化才會致毒。在動物研究中，1,2-不飽和 PA 呈現肝毒性、致癌性和基因毒性，而基因毒性主要影響肝臟。不過，目前尚無人類流行病學數據顯示，攝入 PA 與人類患癌有關。

5. 在 2015 年，糧農組織/世衛組織食品添加劑專家聯合委員會 (“專家委員會”)對 PA 進行評估，認為 PA 具基因毒性的作用模式，故不能就慢性毒性設定健康參考值。就此，專家委員會選用暴露限值的方法，以瑞德靈(一種 PA)誘發雌性大鼠肝血管肉瘤發病率增加 10%的基準劑量可信限下限(BMDL<sub>10</sub>)，來評估從膳食攝入 PA 誘發癌症的潛在風險。一般而言，若根據動物研究建立的 BMDL<sub>10</sub> 計算所得的暴露限值≥10 000，從公共衛生角度觀之，值得關注的程度不高，並無採取風險管理措施的急切需要。

## 結果

6. 這次研究合共檢測 234 個食物樣本(涵蓋 48 種食品)，以測定 28 種 1,2-不飽和 PA 的含量。經分析後，該批樣本有 118 個(50%)驗出含有至少一種 1,2-不飽和 PA，其中大部分(即 91 個樣本)屬於“乾製香料”、“蜂蜜”

和“茶葉(已沖泡)”食物組別。其餘驗出含 PA 的食品，還有小麥和黑麥麵粉、鴨蛋、酸乳酪、芝士、茶飲料等。

7. 就不同食物組別的 PA 含量而言，以“乾製香料”的 1,2-不飽和 PA 總量最高，其次是“蜂蜜”和“茶葉(已沖泡)”。至於該三個食物組別的平均含量上限，“乾製香料”為每公斤 300 微克，“蜂蜜”為每公斤 7.5 微克，“茶葉(已沖泡)”則為每公斤 0.46 微克。

8. 香港成年人從膳食攝入 PA 的分量方面，這次研究發現，攝入量一般的市民估計每日攝入 PA 總量的下限和上限，分別為每公斤體重 0.00033 微克和 0.0015 微克；攝入量高的市民則分別為每公斤體重 0.0015 微克和 0.0043 微克。至於食物中 PA 總量的相應暴露限值(以 BMDL<sub>10</sub> 為每日每公斤體重 182 微克計算)，攝入量一般的市民介乎 560 000 至 120 000 (下限至上限)，而攝入量高的市民則介乎 120 000 至 42 000 (下限至上限)。

9. “茶葉(已沖泡)”是市民攝入 PA 總量的主要來源，佔總攝入量達 50.3%(即攝入量下限為每日每公斤體重 0.00016 微克)。本港成年人從“茶葉(已沖泡)”攝入 PA 總量相對較高，很可能是因為這個食物組別的食品量高，和其他食物組別所檢測到 PA 的含量則相對較低。就“穀物及穀物製品”和“蜂蜜”這兩個食物組別而言，攝入量下限分別為每日每公斤體重 0.000079 微克和 0.000077 微克，兩者合計只佔總攝入量不到 48%。

10. 這次研究發現，“一般茶”(即常見的完全發酵茶、半發酵茶和非發酵茶)含有的 PA 相對較低；但一些“特色茶”(例如路依保斯茶、馬鞭草茶和薄荷茶)及“乾製香料”(例如孜然籽、牛至和龍蒿)，則含量相對較高。目前，由於欠缺所需資料，例如有關產品受污染的成因、不同批次所含 PA 的變化，以及本港市民的相關食物消費量模式等，因此我們不能個別評估食用這些產品的長期風險。不過，與海外研究結果相比，這次研究發現“特色茶”的 PA 含量明顯較低，其對本地消費者的健康影響預計亦會較為輕微。值得注意的是，根據德國聯邦風險評估研究所的報告，從德國市場收集的一些茶的樣本，檢測到高水平的 PA。該研究所認為，消費者如長期飲用這些茶，可能對健康構成風險，遂建議公眾的膳食應涵蓋不同種類食物，擴大選擇範圍，轉換口味，避免因偏食某幾類食物而攝入過量的污染物，包括 PA。至於某些乾製香料含 PA 的問題，乾製香料通常只會在食品製作過程中被少量用作輔料，故預期不是市民從膳食攝入 PA 總量的主要來源。儘管如此，PA 在動物實驗中具有基因毒性和致癌作用，我們應盡量減低這些物質在食物中的含量。

## 結論及建議

11. 就食物中的 PA 總量而言，攝入量一般和攝入量高的成年人的暴露限值遠高於 10 000，因此，從公共衛生的角度來看，一般市民的健康受影響不大。

12. 由於 PA 具有基因毒性，我們應盡量減低這些物質在食物中的含量。我們須找出 PA 污染食物的成因，然後採取措施，從源頭防止和減少食物受這些物質污染。生產乾製香料和茶葉的公司應查明產品受污染的原因，並參考食品法典委員會的《防止和減少食物及飼料受吡咯里西啶類生物鹼污染的除草守則》(Codex Code of Practice for Weed Control to Prevent and Reduce Pyrrolizidine Alkaloid Contamination in Food and Feed)，改良培植、採收和潔淨產品的方法，從而減低產品的 PA 含量。

13. 根據這次研究從膳食攝入 PA 總量的結果，並無充分理據建議市民改變基本的健康飲食習慣。市民應保持均衡和多元化的飲食，包括進食多種蔬果，避免因偏食某幾類食物而攝入任何過量的污染物。

## 風險評估研究 -

### 食物中的吡咯里西啶類生物鹼

---

#### 目的

這次研究的目的，是從所選取的食物中檢測 1,2-不飽和吡咯里西啶類生物鹼的總和，以估算本港成年人從膳食攝入這些物質的分量，同時評估相關的健康風險。

#### 背景

2. 吡咯里西啶類生物鹼(PA)是一組由植物製造的次級化合物，可保護有關植物不為草食動物啃食。目前，人類已在 6 000 多種植物中發現超過 660 種 PA 及其相應的 N-氧化衍生物，這些植物遍布世界各地，約佔全球有花植物的 3%<sup>1-5</sup>。研究指出，PA 是分布範圍最廣的天然毒素，人類如進食受這類毒素污染的食物，可能有損健康<sup>2</sup>。人類中毒個案包括以有毒植物品種配製草本茶或傳統藥物<sup>6,7</sup>，以及食用被含有 PA 的種子所污染的穀物或麵粉或麵包等穀物製品(例如阿富汗和印度鄉郊的村民集體中毒事件)<sup>8</sup>。有些研究指出其他食物如蜂蜜、奶、茶、蛋和肉等也含有 PA，可能是攝入毒素的食物來源；不過，至今尚無該等食物引致人類中毒的報告<sup>1,9,10</sup>。

3. 超過 12 個科的植物含有 PA，特別是紫草科(*Boraginaceae*)、菊科(*Asteraceae*)和豆科(*Fabaceae*)植物<sup>5</sup>。目前，已知紫草科植物的每一個屬(例如天芥菜屬(*Heliotropium*)或藍薊屬(*Echium*))均含有 PA，而菊科植物的千里光屬(*Senecio*)和澤蘭屬(*Eupatorium*)含有該類有毒物質則最廣為人知<sup>2</sup>。至於豆科植物的豬屎豆屬(*Crotalaria*)，則包羅了大多數含 PA 的品種<sup>2</sup>。雖然研究發現含有 PA 的植物逾 6 000 種，但直接引致人類和動物中毒的品種只有少數<sup>2</sup>。

#### 吡咯里西啶類生物鹼的化學性質

4. PA 屬酯類物質，由千里光次鹼基(necine base)和一種或一種以上的千里光次酸(necic acid)組成(圖 1(a))。千里光次鹼基有兩個五員環，在位置 4 共享一個氮原子。在不少情況下，千里光次鹼基都在 C-1 位置連



附一個羥甲基基團，並在 C-7 位置上連附一個羥基基團(圖 1(b))。羥基基團與千里光次酸酯化後，形成單酯、開鏈二酯或巨環二酯生物鹼(圖 2)。PA 中的千里光次酸(乙酸除外)具有 5 至 10 個碳原子<sup>11</sup>，可以是單羧酸或二羧酸，其碳支鏈可帶有羥基、環氧、羧基、乙酰氧基、甲氧基或其他烷氧基等取代基團。

5. 千里光次鹼基可處於飽和狀態，又或處於不飽和狀態(在 1,2 位置形成雙鍵)。不飽和的千里光次鹼基可再分為倒千里光裂鹼(retronecine)、天芥菜定(heliotridine)和奧索千里光裂鹼(otonecine)，前兩者在 C-7 位置上為非對映異構體(圖 3)。1,2-不飽和千里光次鹼的酯類物質具有毒性，而飽和千里光次鹼基的酯類物質(即闊葉千里光裂鹼(platynecine)則無毒性<sup>5,11</sup>。

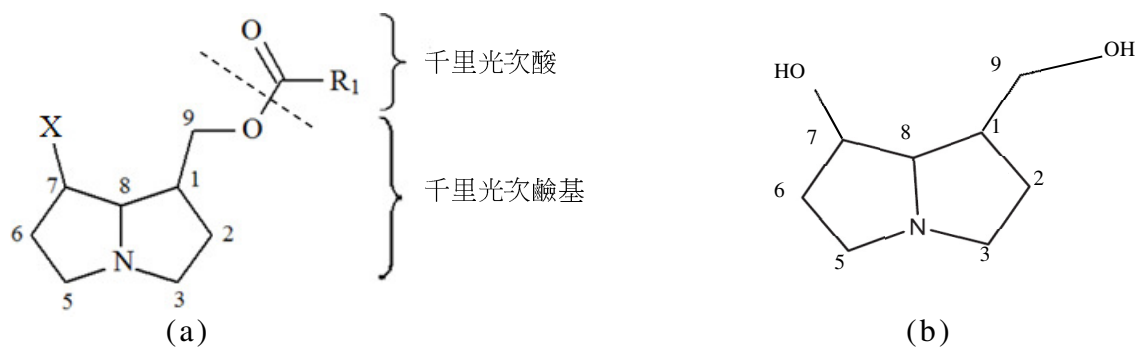


圖 1. (a)PA 分子的一般結構 (b)千里光次鹼基分子的一般結構。  
X = RCO=O、HO 或 O。

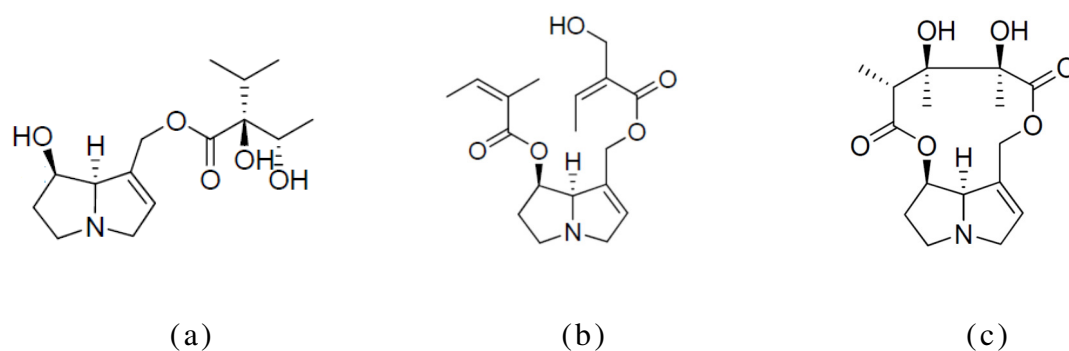
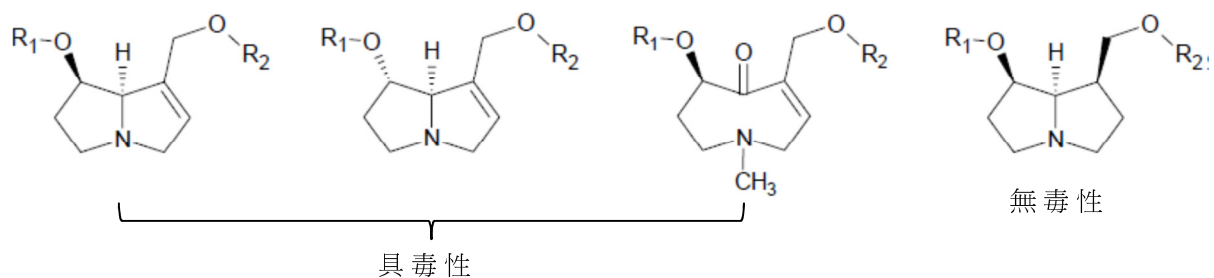


圖 2. (a)單酯生物鹼 (b)開鏈二酯生物鹼 (c)巨環二酯生物鹼



倒千里光裂鹼類      天芥菜定類      奧索千里光裂鹼類      闊葉千里光裂鹼類

圖 3. PA 的千里光次鹼基。

6. 目前已知約有 660 種 PA。由於千里光次鹼基有不同種類(圖 3)，而千里光次酸的種類更多，兩者因此組成了種類繁多的 PA。此外，單酯可在不同位置(例如 C-7 或 C-9 位置)形成，又可形成開鏈二酯或環狀二酯(圖 2)，增加了 PA 的多樣性。再者，PA 亦可以 N-氧化物的形態存在於多個植物品種中 (圖 4)，進一步擴大其複雜性<sup>8</sup>。

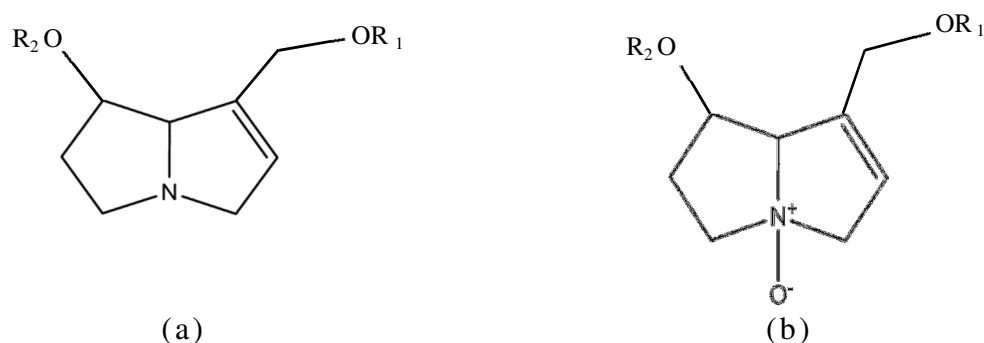


圖 4. (a)PA (b)PA 的 N-氧化物

7. PA 毒性的最基本結構如下<sup>8,11</sup>：

- 在千里光次鹼基的 1-2 位置形成雙鍵；
- 在千里光次鹼基的 C-7 和 C-9 位置有一個或最好兩個羥基基團；
- 在千里光次鹼基中有至少一個羥基基團酯化；以及
- 羥基基團與含支鏈的單羧酸或二羧酸酯化。

8. PA 的 N-氧化物經進食被人體攝入後，會在消化道內轉化為 PA，繼而引致典型的 PA 中毒<sup>8</sup>。

## 吡咯里西啶類生物鹼的來源

9. 雖然研究發現含有 PA 的植物逾 6 000 種，但直接引致人類和動物中毒的品種只有少數。根據研究，與人類中毒有關的植物品種有豬屎豆屬、菊三七屬(*Gynura*)、天芥菜屬、千里光屬、聚合草屬(*Symphytum*)和毛束草屬(*Trichodesma*)<sup>11</sup>。一般而言，以乾製樣本計，植物中 PA 的含量由每公斤 100 毫克至 40 000 毫克不等，但最高記錄見於瑞德千里光(*Senecio riddelli*)這種植物，含量高達每公斤 180 000 毫克<sup>10</sup>。PA 在植物中的成分和含量，會隨氣候、環境、植物年齡和植物種類而改變<sup>12</sup>。此外，植物不同部分的 PA 含量也不盡相同，當中有部分主要是以 N-氧化物的形態出現。以歐洲千里光(*Senecio vulgaris*)和新疆千里光(*Senecio jacaobaea*)兩種植物為例，其不同部位的 PA 含量由高至低依次為：花和種子 > 葉 > 莖 > 根<sup>13</sup>。不過，另有研究報告指出，PA 在聚合草(*Symphytum officinale*)根部的含量(每公斤 1 400 至 8 300 毫克)，比葉片的(每公斤 15 至 55 毫克)還要高<sup>6</sup>。

## 膳食攝入來源

10. 一般認為，人類是從植物製品(即草本製品或受污染的穀物)攝入 PA。有充分的文獻記錄指出，在發展中國家，人類會因進食被含有 PA 的野草種子所污染的穀物或穀物製品(麵粉或麵包)而直接中毒<sup>2</sup>。此外，有報告亦指植物中的 PA 可轉移至其他食品，例如蜂蜜、奶、蛋、動物內臟等<sup>1,2,5,8-10,12</sup>。根據目前有限的數據，PA 由受污染的動物飼料轉移至奶和蛋的比率分別約為 0.1%和 1%<sup>2</sup>。PA 轉移至動物組織(例如肌肉和肝臟)的比率似乎偏低，大都似乎轉化成特徵仍未明確鑒定的蛋白質加合物，但沒有數據量化轉化的比例<sup>1,2</sup>。目前，各地尚未有這些食品的全面研究可供深入評估風險。

11. 澳洲新西蘭食品局(Australia New Zealand Food Authority)在 2001 年進行的風險評估認為，人類從膳食攝入 PA 的主要來源是受污染的穀物，其次是蛋、動物內臟和蜂蜜。歐洲食物安全局近期公布了零售蜂蜜和茶葉(已沖泡)受 1,2-不飽和 PA 污染的水平，結果摘錄於下文表 1<sup>2,9</sup>。儘管有研究報告了人類從幾種食品(如蜂蜜和茶)攝入 PA 的分量，但估算人類從膳食攝入 PA 的總量則付之闕如，原因是現有數據不足<sup>2,14,15</sup>。

**表 1 歐洲食物安全局發表蜂蜜和茶葉(已沖泡)的 PA 平均含量**

	平均含量(微克 / 公斤)	
	下限	上限
零售蜂蜜 <sup>#</sup>	16	26
茶葉(已沖泡) <sup>*</sup>	6.04	6.38

<sup>#</sup> 為 8 種 PA 的平均含量。

<sup>\*</sup> 研究原以“微克 / 公升”為單位，現假設茶在沖泡後的密度與水相同，以 1 公升茶的重量為 1 公斤計算。

## 毒性

12. 1,2-不飽和 PA 處於原來的結構形式時不帶毒性，須經過代謝作用活化才會致毒<sup>3,13,16</sup>。在動物研究中，1,2-不飽和 PA 呈現肝毒性、基因毒性、致癌性和發育毒性，有研究亦顯示這類物質具有肺毒性。1,2-不飽和 PA 的基因毒性主要影響肝臟<sup>2</sup>。各種 1,2-不飽和 PA 的毒性不一；然而，現有數據不足以判斷其相對強弱因子，因此無法評估人體攝入這類物質後可能造成的綜合影響<sup>15</sup>。

### 動力學和代謝作用

13. PA 經進食進入體內，在胃腸道會被迅速吸收，然後輸送至肝臟進行代謝。PA 亦會被輸送至腎臟、肺部等其他器官。PA 及其 N-氧化物的親水性強，可在一天內以原來結構形式經尿液排出體外<sup>14</sup>。研究顯示，PA 一旦被人體吸收後，可在肝臟透過三種主要代謝途徑解毒或活化<sup>2,8,17,18</sup>(圖 5)：

#### (i) PA 酯基水解形成千里光次鹼基和千里光次酸

水解作用產生無毒的千里光次鹼基和千里光次酸，兩者均易溶於水，經尿液排出體外，可視作 PA 的解毒途徑。研究指出，PA 千里光次酸的分支越多(即結構越龐大)，酯基越難水解。由於巨環二酯的酸成分結構複雜，水解除毒的速度較慢，因而毒性亦較強。概括來說，就 PA 的毒性而言，巨環比二酯高，而二酯又比單酯高<sup>5</sup>。

#### (ii) PA(天芥菜定類和倒千里光裂鹼類)氧化成相應的 N-氧化物

N-氧化物是帶電分子，極易溶於水，經尿液迅速排出體外。因此，PA 氧化成相應的 N-氧化物的過程也可視作解毒途徑。然而，這個途徑在代謝過程中可以逆轉，未能完全阻止 PA 產生具活性的有毒代謝物。

(iii) PA 氧化成具活性的脫氫吡咯里西啉酯代謝物(“吡咯酯”)

吡咯酯(pyrrolic ester)可進一步通過酯水解，形成 6,7-二氫吡咯里嗪酮(6,7-dihydropyrrolizine 或“DHP”)。吡咯酯代謝物或 DHP 形成後，均可迅速與脫氧核糖核酸(“DNA”)結合，形成 DNA 交聯、DNA 交聯蛋白，以及 DNA 加合物。蛋白質的結合可以改變細胞功能，並令細胞受損甚至死亡，而交聯 DNA 則會誘發癌症。

14. 吡咯酯可與谷胱甘肽(glutathione)產生化學作用，形成另一種解毒途徑。PA 最終主要在 24 小時內經尿液和糞便排出體外。

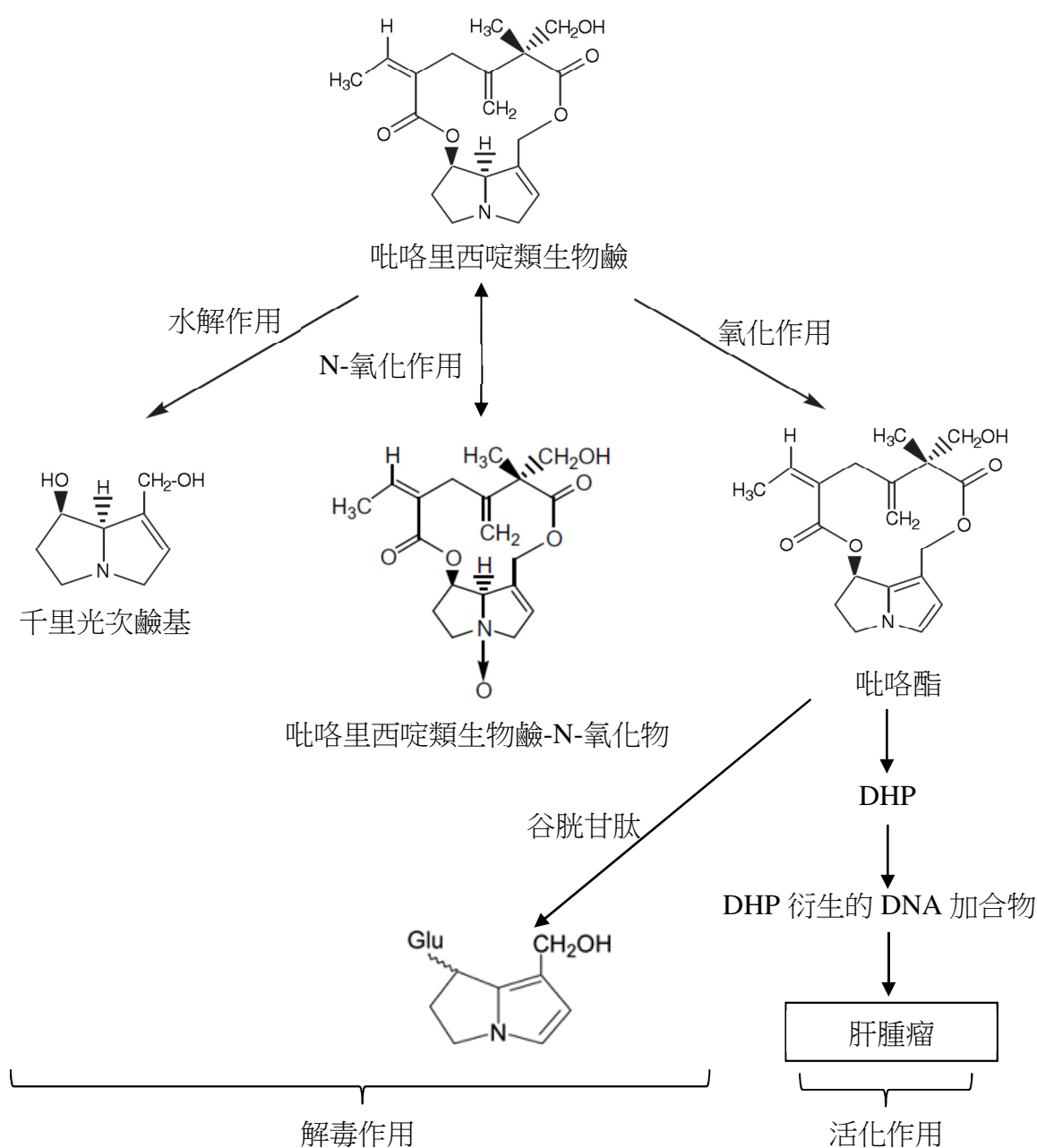


圖 5 PA 的代謝過程

## 急性毒性

15. 就人類而言，PA 的急性毒性主要影響肝臟，引致急性靜脈閉塞性疾病。該病的病徵包括肝臟腫大、腹水和嚴重肺積水，而且大多會演變成肝硬化<sup>2,19</sup>。有報告指出引致人體產生急性毒性的最低分量是每日每公斤體重 3 毫克(以男孩連續 4 天攝入計算，便足以致命)和每日每公斤體重 0.8 至 1.7 毫克(以女孩連續兩周攝入計算，會導致急性靜脈閉塞性疾病)<sup>2</sup>。由於急性中毒的患者會出現急性肝衰竭，或因肝硬化引致食道靜脈曲張破裂而吐血，所以死亡率很高<sup>11</sup>。據報約 50% 的患者在急性中毒後可完全康復，但有 20% 則會在短時間內死亡。不過，即使康復，約 20% 可能會在若干年後出現肝硬化和肝衰竭，其餘亦可能會出現亞急性肝臟病變，最終自行消退或發展成肝硬化和肝衰竭<sup>14</sup>。

## 致癌性和基因毒性

16. 根據實驗結果，1,2-不飽和 PA 主要引致動物肝臟出現癌變。然而，曾有報告指，動物肺部、腎臟、皮膚、膀胱、腦及脊髓、胰島、腎上腺等多個器官組織亦有因攝入這種毒素而出現腫瘤現象<sup>20</sup>。不過，目前尚無人類流行病學數據顯示，攝入 PA 與人類患癌有關<sup>2,20</sup>。研究人員曾對 PA 在動物體內和體外的基因毒性進行廣泛評估，發現不同結構類型的 1,2-不飽和 PA(即倒千里光裂鹼、天芥菜定和奧索千里光裂鹼)經過代謝作用活化後，會轉化成共同和具活性的吡咯類中間體(吡咯酯或 DHP)，然後形成相同的 DNA 加合物。這意味所有 1,2-不飽和 PA 及其 N-氧化物(經代謝後轉化成 PA)，均會通過一個相同的致癌機制產生基因毒性<sup>2</sup>。

17. 國際癌症研究機構把若干種 PA 評定屬第 2B 組(或可能令人類患癌)或第 3 組(在會否令人類患癌方面未能分類)物質，其中毛果天芥菜鹼(lasiocarpine)、野百合鹼(monocrotaline)和瑞德靈(riddelliine)歸類為第 2B 類物質，而菰藍千里光鹼(isatidine)、倒千里光鹼(retrorsine)、克氏千里光鹼(senkirkine)、羥基克氏千里光鹼(hydroxysenkirkine)、夾可鹼(jacobine)、千里光菲靈鹼(seneciphylline)和聚合草素(symphytine)則歸類為第 3 組物質<sup>21-23</sup>。

## 生殖毒性

18. 有文獻指出，孕婦因服用草本茶或草藥而攝入 PA，以致初生嬰兒患上致命的靜脈阻塞性疾病。在 2003 年，德國一名宮內缺氧而須剖腹取出的早產嬰兒，出現肝臟腫大和腹水的徵狀，不久即夭折。驗屍顯示嬰兒患有靜脈閉塞性疾病，是典型的 PA 中毒情況，其肝臟亦驗出含有 PA。

經化驗分析後，證實死者家人日常煮食用的草本混合物含有相關的 PA，而且分量甚高<sup>24</sup>。

19. PA 已證明可穿過大鼠胎盤屏障，引致幼鼠早產或夭折。大鼠子宮內的胚胎似乎比初生幼鼠更能抵禦 PA 的毒性，而這類物質亦會經由乳汁傳給幼鼠<sup>19</sup>。在 2011 年，歐洲食物安全局研究指出，在實驗動物觀察到的發育毒性主要是注射 PA 之後所致，因此未能確定有關的發育毒性是否與母體毒性有關連<sup>2</sup>。

## 健康參考值

20. 在 2015 年，糧農組織/世衛組織食品添加劑專家聯合委員會(“專家委員會”)對 PA 進行評估，結論是 PA 具基因毒性的作用模式，故不能就慢性毒性設定健康參考值<sup>15</sup>。就此，專家委員會認為用研究瑞德靈(一種 PA)長期致癌性所得的劑量反應模式更為合適，並建立以瑞德靈誘發雌性大鼠肝血管肉瘤發病率增加 10%的基準劑量可信限下限(BMDL<sub>10</sub>)為每日每公斤體重 182 微克。專家委員會把該 BMDL<sub>10</sub> 作為分離點(Point of departure)，以暴露限值(Margin of exposure)方法評估含 PA 食物的安全問題<sup>15</sup>。

21. 暴露限值是衡量具致癌和基因毒性的物質在食物中的安全風險的工具，是一個按動物研究所得的 BMDL<sub>10</sub>和相關物質膳食攝入量的比率。一般而言，使用動物研究所得的 BMDL<sub>10</sub> 來計算暴露限值，若結果  $\geq 10\,000$ (相當於這次研究的膳食攝入量低於或等於每日每公斤體重 0.0182 微克)，從公共衛生角度觀之，值得關注的程度不高。然而，暴露限值只是反映在公共衛生方面值得關注的程度，卻不是量化相關的安全風險<sup>2,25-27</sup>。

## 規管情況

22. 關於食物中 PA 的最高容許含量，現時國際間並無標準。部分國家(例如澳洲、日本、比利時等)禁止售賣或使用含有某些 PA 的植物(例如聚合草(comfrey)和琉璃苣(borage))，但有部分國家(例如加拿大)則勸喻消費者避免食用<sup>28</sup>。在荷蘭，草本茶和其他含草本植物或草本植物提取物的食品或飲料(例如某些糖果和汽水)的 PA 含量限值為每公斤 1 微克<sup>29</sup>。另一方面，澳洲新西蘭食品標準管理局(Food Standards Australia New Zealand)多年前根據 PA 對人類的已知毒性，把安全攝入量定為每日每公

斤體重 1 微克。不過，由於並無證據顯示在正常食用情況下攝入的 PA 對人體有害，澳洲新西蘭食品標準管理局未有制定法例規管水平<sup>30</sup>。

23. 現時香港並無具體法例規管食物中的 PA 含量，但法例已規定所有在香港出售的食物必須適宜供人食用。

## 研究範圍

24. 為估算本港成年人從膳食攝入具有毒性的 PA 的分量，這次研究選取曾涉及人類中毒個案的食品，或根據文獻記載較大機會受 PA 污染的食品，以分析當中 28 種 1,2-不飽和 PA(即可在市場上買到標準物質作化驗分析的 1,2-不飽和 PA)的含量。這些食品包括穀物及穀物製品、奶及奶製品、蛋、肉及肉製品、蜂蜜、乾製香料、茶葉(已沖泡)和茶飲料。

## 研究方法及化驗分析

### 研究方法

25. 這次研究於 2015 年 8 月至 10 月間在本地零售市場收集 234 個食物樣本(涵蓋 48 種不同食品)作化驗分析，各有關食品載列於附錄 1。除三種麵粉(即小麥麵粉、大麥麵粉和黑麥麵粉)外，全部食物樣本均處理至食用狀態才分析當中 1,2-不飽和 PA 的含量。分析的結果與 2005 年至 2007 年香港市民食物消費量調查<sup>31</sup>所得不同人口組別的食物消費量資料合併處理，從而計算本港成年人從膳食攝入 PA 的分量。

26. 中心利用由內部研發名為“攝入量評估系統”的網絡電腦系統，評估膳食攝入量，當中涉及食物對應處理(food mapping)和數據加權的工作。這次研究分別以膳食攝入量的平均值和第 95 百分位的數值，作為攝入量一般和攝入量高者的數值。

### 化驗分析

27. PA 的化驗分析工作，由中心的食物研究化驗所負責。這次研究合共檢測了 234 個食物樣本，以分析 28 種 1,2-不飽和 PA 的含量(表 2)。

28. 樣本經均質化後，以稀釋硫酸作超聲波萃取，並加入同位素標記的 PA 作為內標物。萃取物以 C18 固相萃取方式中和及淨化，利用超高效液相色譜-質譜聯用儀(UPLC-MS/MS)測定 PA 的含量。各種 PA 在一般



食物中的檢測限和定量限，分別為每公斤 0.0050 微克和 0.050 微克，而在乾製香料中則分別為每公斤 0.050 微克和 0.50 微克。

## 分析值低於檢測限的處理方法

29. 這次研究採用下限值和上限值的方式，處理每個樣本 PA 含量和估計膳食攝入量的數據。就含量下限而言，低於檢測限的結果全部換作零；至於含量上限，低於檢測限的結果全部換作檢測限值<sup>32</sup>。這種以下限值和上限值處理數據的方式，是考慮到分析結果若低於檢測限時，真正數值實際上可處於零至檢測限值之間，而下限假設食物樣本不含有關化學物，故低於檢測限的分析結果設定為零。上限則假設食物樣本所含化學物的分量為檢測限值，故低於檢測限的分析結果設定為相應的檢測限值。採用下限值和上限值方式處理數據，可把兩種極端情況互相比較。此外，將 28 種 1,2-不飽和 PA 的含量累加起來，便得出 1,2-不飽和 PA 的總量。

**表 2 經化驗分析的 28 種 1,2-不飽和 PA**

### PA 名稱

藍薊定(Echimidine)	N-氧化藍薊定
芝麻菜葉千里光鹼(Erucifoline)	N-氧化芝麻菜葉千里光鹼
歐天芥菜鹼(Europine)	N-氧化歐天芥菜鹼
天芥菜鹼(Heliotrine)	N-氧化天芥菜鹼
印美定鹼(Intermedine)	N-氧化印美定鹼
夾可鹼(Jacobine)	N-氧化夾可鹼
毛果天芥菜鹼(Lasiocarpine)	N-氧化毛果天芥菜鹼
石胺松(Lycopsamine)	N-氧化石胺松
野百合鹼(Monocrotaline)	N-氧化野百合鹼
倒千里光鹼(Retrorsine)	N-氧化倒千里光鹼
千里光寧鹼 (Senecionine)	N-氧化千里光寧鹼
千里光菲靈鹼(Seneciphylline)	N-氧化千里光菲靈鹼
春千里光鹼(Senecivernine)	N-氧化春千里光鹼
克氏千里光鹼(Senkirkine)	
毛束草鹼(Trichodesmine)	

## 結果及討論

### 不同食物組別的吡咯里西啶類生物鹼總量

30. 經分析的 234 個樣本中，有 118 個樣本(50%)驗出含至少 1 種 1,2-不飽和 PA。在該 118 個樣本當中，大部分(91 個樣本，亦即 77%)均屬“乾製香料”、“蜂蜜”和“茶葉(沖泡)”三個食物組別。至於其他驗出含有 PA 的食品，還包括小麥麵粉和黑麥麵粉、鴨蛋、酸乳酪、芝士和茶飲料等。相反地，屬“肉及肉製品”食物組別的所有樣本均未驗出含有任何 PA。

31. 就不同食物組別所含的 PA 而言，以“乾製香料”的含量最高，其次是“蜂蜜”和“茶葉(沖泡)”，當中“乾製香料”、“蜂蜜”和“茶葉(沖泡)”的平均含量上限，分別為每公斤 300 微克、7.5 微克和 0.46 微克。各個食物組別所含的 PA 總量載於表 3，而 48 種食品的檢測結果則載於附錄 1。

**表 3 不同食物組別含 28 種 1,2 不飽和 PA 總量的估算(平均含量(微克 / 公斤)以下限和上限標示)**

食物組別	樣本數目	低於檢測限的樣本所佔百分比(%)*	平均含量(微克 / 公斤)[範圍]			
			下限 <sup>#</sup>		上限 <sup>#</sup>	
穀物及穀物製品	21	43	0.17	[0 – 2.5]	0.30	[0.14 – 2.7]
肉及肉製品	35		所有樣本均低於檢測限			
蛋	18	67	0.019	[0 – 0.19]	0.16	[0.14 – 0.33]
奶及奶製品	18	72	0.0040	[0 – 0.048]	0.14	[0.14 – 0.18]
蜂蜜	6	0	7.4	[0.21 – 16]	7.5	[0.31 – 17]
乾製香料	82	26	300	[0 – 11 000]	300	[1.4 – 11 000]
茶葉(已沖泡)	48	50	0.33	[0 – 2.6]	0.46	[0.14 – 2.7]
茶飲料	6	33	0.016	[0 – 0.043]	0.15	[0.14 – 0.17]
總計	234	50				

\* 數值經四捨五入化為整數。

# 數值取至兩位有效數字。

32. 在“乾製香料”食物組別中，孜然籽檢出的 PA 含量最高(介乎每公斤 3.5 至 11 000 微克，平均上限為每公斤 1 900 微克)，其次為牛至(介乎每公斤 2.5 至 5 100 微克，平均上限為每公斤 1 400 微克)和龍蒿(介乎每公斤 8.7 至 3 300 微克，平均上限為每公斤 1 100 微克)。事實上，在這次研究中，上述三種食品檢測到的 PA 總量是最高的首三位(附錄 1)。值得

注意的是，即使是同一食品，不同樣本所含的 PA 總量差異甚大。舉例來說，在六個孜然籽樣本當中，只有一個樣本的 PA 含量相對較高(每公斤 11 000 微克)，其餘五個樣本的含量均低於每公斤 100 微克。

33. 至於“蜂蜜”食物組別，這次研究檢測到所含的 PA 總量(每公斤 0.31 至 17 微克，平均上限為每公斤 7.5 微克)，較歐洲食物安全局研究報告公布的(表 1)為低<sup>2,9</sup>。近期有研究發現，在澳洲超級市場抽取的蜂蜜樣本，所含的 PA 平均總和高達每公斤 153 微克<sup>34</sup>，顯示蜜蜂在含有大量 PA 的花朵(例如車前葉藍薊(*Echium plantagineum*))採蜜時，或會把這種毒素帶進蜂蜜，而蜂蜜含毒素多寡要視乎蜂蜜的產地和植物品種而定。澳洲新西蘭食品標準管理局表示，澳洲人通常食用的蜂蜜並非源自車前葉藍薊，因此無須擔憂蜂蜜中的 PA 水平<sup>30</sup>。

34. 在食物組別“茶葉(已沖泡)”中，全部非發酵茶樣本的 PA 的總量均低於檢測限，而路依保斯茶(每公斤 0.36 至 2.7 微克，平均上限為每公斤 1.7 微克)、馬鞭草茶(每公斤 0.14 至 2.1 微克，平均上限為每公斤 0.87 微克)、薄荷茶(每公斤 0.14 至 1.4 微克，平均上限為每公斤 0.44 微克)，以及洋甘菊茶(每公斤 0.14 至 1.8 微克，平均上限為每公斤 0.43 微克)所含的 PA 總量則較高(附錄 1)。事實上，過去亦有其他研究指出，路依保斯茶、薄荷茶和洋甘菊茶所含的 PA 總量較高，而路依保斯茶往往最受污染<sup>9,35,36</sup>。在“茶葉(已沖泡)”驗出的 PA 水平(平均上限為每公斤 0.46 微克)較“茶飲料”的(平均上限為每公斤 0.15 微克)為高，但與其他研究的結果比較(表 1)，則相對偏低<sup>2,9</sup>。海外研究顯示，在茶樣本中驗出 PA，很可能是茶農在採摘茶葉時，亦同時採摘了含有 PA 的植物，使茶葉受到污染<sup>37,38</sup>。德國聯邦風險評估研究所亦有報告指出，不論是 PA 總量還是 PA 的成分，不同批次的茶樣本可出現很大差異<sup>38</sup>。

## 從膳食攝入吡咯里西啶類生物鹼的情況

35. 攝入量一般和攝入量高的市民從膳食攝入 PA 的總量估算(下限和上限)及其相應暴露限值載於表 4。按成年人從膳食攝入 PA 總量的下限和上限計算，攝入量一般的市民的估計膳食攝入量介乎每日每公斤體重 0.00033 微克至 0.0015 微克，而攝入量高的市民則介乎每日每公斤體重 0.0015 微克至 0.0043 微克。至於相應暴露限值(以瑞德靈誘發雌性大鼠肝血管肉瘤發病率增加 10%的基準劑量可信限下限每日每公斤體重 182 微克計算)，攝入量一般的成年人的暴露限值介乎 560 000 至 120 000(下限至上限)，而攝入量高的成年人則介乎 120 000 至 42 000(下限至上限)。

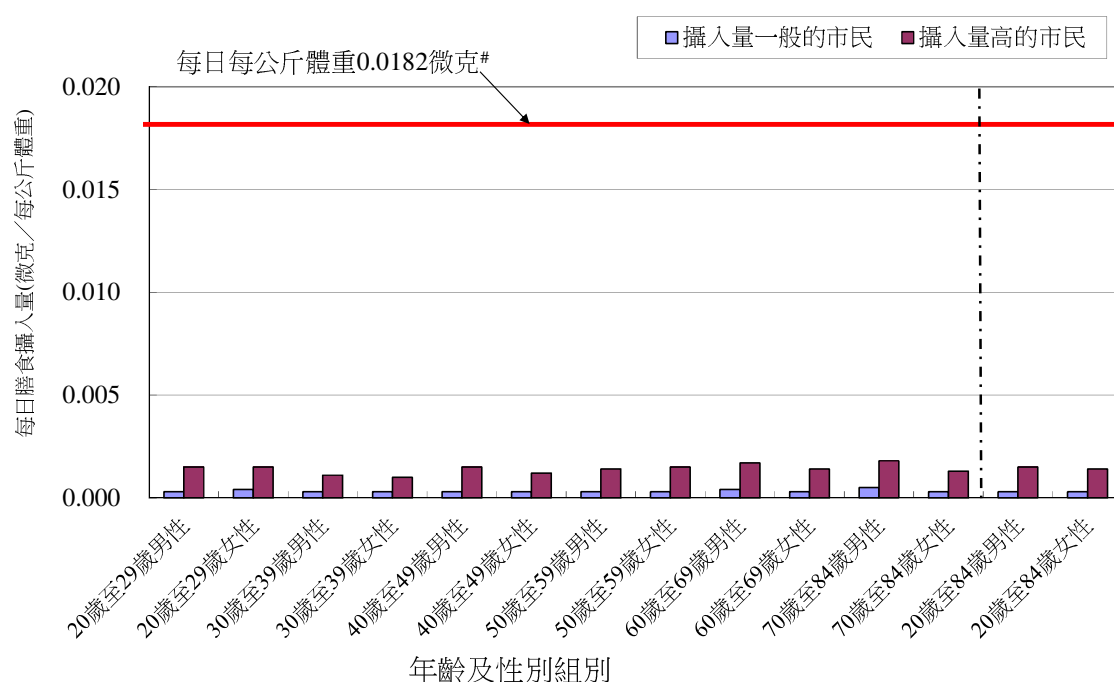
上述相應暴露限值均遠高於 10 000，顯示本港市民從膳食攝入 PA 的健康風險不大。

**表 4. 攝入量一般和攝入量高的本港成年人從膳食攝入 PA 的量值及其相應暴露限值**

	攝入量一般的市民	攝入量高的市民
膳食攝入量(微克 / 每日每公斤體重)(下限至上限)	0.00033 - 0.0015	0.0015 - 0.0043
暴露限值(下限至上限)	560 000 - 120 000	120 000 - 42 000

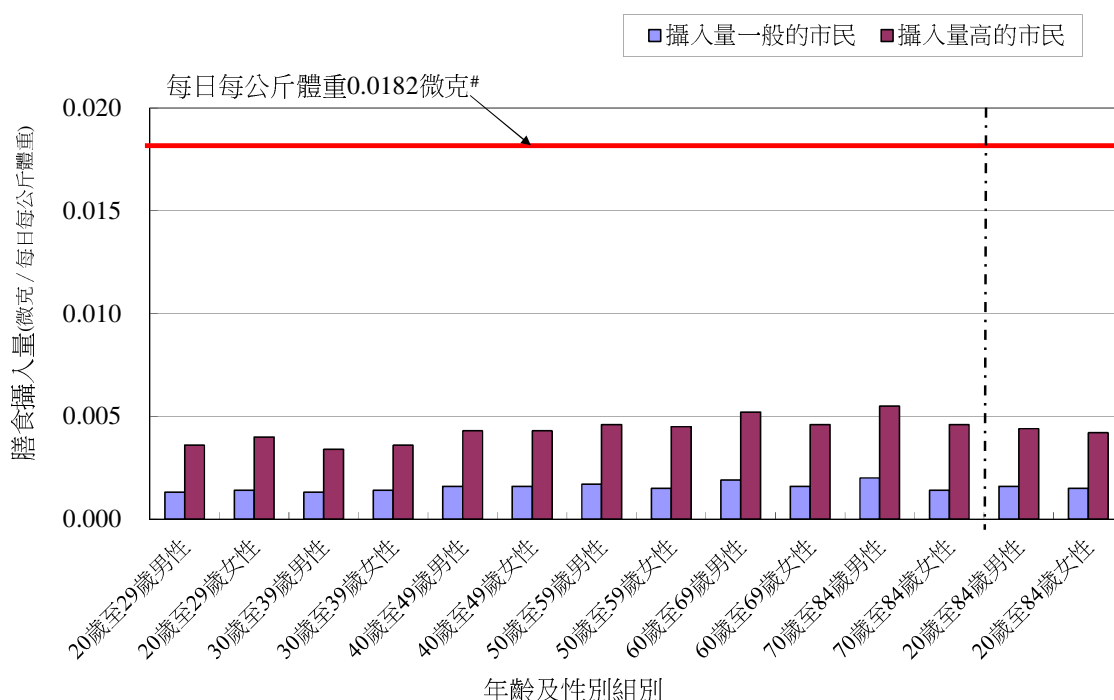
36. 這次研究進一步按年齡及性別分析不同人口組別的膳食攝入量，有關結果載於圖 6、圖 7 和附錄 2。在所有年齡及性別組別中，以 70 歲至 84 歲男性的膳食攝入量最高。在這個組別中，攝入量一般者介乎每日每公斤體重 0.00050 微克至 0.0020 微克(下限至上限)，而攝入量高者則介乎每日每公斤體重 0.0018 微克至 0.0055 微克(下限至上限)。

37. 總括而言，在各年齡及性別組別中，攝入量一般和攝入量高的市民的估算暴露限值均遠高於 10 000，顯示不論年齡及性別組別，本港市民從膳食攝入 PA 的健康風險不大。



# 相當於暴露限值為 10 000 的攝入量。

**圖 6： 按年齡及性別組別列出攝入量一般和攝入量高的市民從膳食攝入的 PA 總量(下限)**



# 相當於暴露限值為 10 000 的攝入量。

**圖 7 按年齡及性別組別列出攝入量一般和攝入量高的市民從膳食攝入 PA 的總量(上限)**

## 主要膳食來源

38. 攝入量一般的市民從個別食物組別攝入 PA 佔整體膳食攝入量下限的百分比載於圖 8。從個別食物組別攝入 PA 佔整體攝入量的實際比重宜以下限方式表達，因為下限不受某些食物組別有眾多樣本的含量低於檢測限的影響<sup>33</sup>。

39. 這次研究的結果顯示，“茶葉(已沖泡)”是本港市民攝入 PA 總量的主要來源，佔總攝入量 50.3%(即每日每公斤體重 0.00016 微克的下限)。本港成年人從“茶葉(已沖泡)”攝入 PA 的總量相對高，可能是由於這個組別的食用量大，和其他組別所檢測到的 PA 含量則相對偏低。就“穀物及穀物製品”和“蜂蜜”而言，攝入量下限分別為每日每公斤體重 0.000079 微克和 0.000077 微克，兩者合計只佔總攝入量不足 48%。

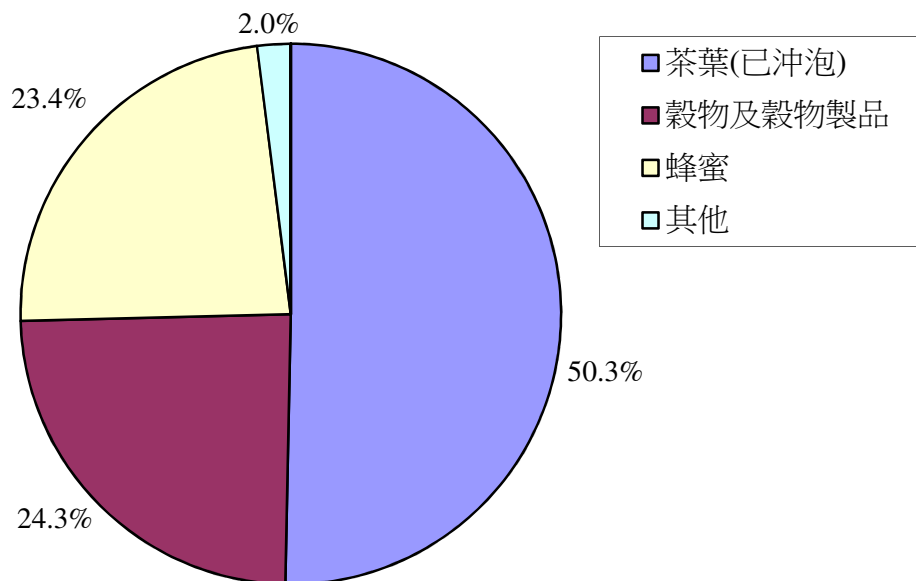


圖 8. 攝入量一般的市民從個別食物組別攝入 PA 佔整體膳食攝入量下限的百分比

#### 沒有納入攝入量評估的食品

40. 必須指出的是，這次研究沒有把“乾製香料”和“茶葉(已沖泡)”這兩個食物組別的一些食品納入膳食攝入量評估(附錄 1 註釋)，因為 2005 年至 2007 年香港市民食物消費量調查沒有從市民收集到該等食品的消費量數據。不過，對於估算本港成年人口從膳食攝入 PA 的情況而言，所得結論亦應大致相同，因為食物消費量調查沒有收集到的食品理應是市民不經常食用的食品，一般大眾從這些食品攝入 PA 的分量輕微。目前，由於欠缺所需資料，例如有關產品受污染的成因、不同批次所含的 PA 的變化，以及本港市民的相關食物消費模式等，因此我們不能個別評估食用這些食品的長期風險。

#### 特色茶

41. 這次研究發現，“一般茶”(即常見的完全發酵茶、半發酵茶和非發酵茶)和一些“特色茶”(例如蕁麻茶、肉桂茶、茴香茶、菩提葉花茶和香蜂草茶)含有的 PA 相對較低。在各種“特色茶”中，路依保斯茶所含的 PA 總量最高(平均上限為每公斤 1.7 微克)，其次為馬鞭草茶(平均上限為每公斤 0.87 微克)和薄荷茶(平均上限為每公斤 0.44 微克)(附錄 1)。與海外研

究結果相比，這次研究發現“特色茶”所含 PA 的水平明顯較低，對本地消費者的健康影響預計亦會較為輕微<sup>9,38,39</sup> (表 5)。然而根據德國聯邦風險評估研究所的報告，從德國市場採集的一些茶樣本，檢測到高水平的 PA，含量遠高於預期，而不同批次的茶樣本中的 PA 含量亦有顯著差異<sup>38</sup>，該研究所認為消費者如長期飲用這些茶，對健康可能構成風險，並建議公眾的膳食應涵蓋不同種類食物，擴大選擇範圍，轉換口味，以免因偏食某幾類食物而攝入過量的污染物(包括 PA)。

**表 5 這次研究和歐洲食物安全局發表特色茶(已沖泡)所含的 PA 平均總量<sup>9,39</sup>**

	已沖泡的茶		
	平均含量(微克 / 公斤) (下限 – 上限)		
	香港	歐洲食物安全局 (2015 年)	歐洲食物安全局 (2016 年)
路依保斯茶	1.60 – 1.70 <sup>#</sup>	7.96 – 8.29 <sup>*@</sup>	4.1 – 6.3 <sup>*@</sup>
薄荷茶	0.33 – 0.44 <sup>#</sup>	6.59 – 6.91 <sup>*@</sup>	3.5 – 6.2 <sup>*@</sup>
洋甘菊茶	0.30 – 0.43 <sup>#</sup>	3.63 – 3.96 <sup>*@</sup>	2.3 – 4.8 <sup>*@</sup>
馬鞭草茶	0.74 – 0.87 <sup>#</sup>	沒有資料	沒有資料

<sup>#</sup> 茶葉(已沖泡)依照標籤上的說明沖泡；如無說明，則以 150 毫升開水(蒸餾水)泡茶葉(2 克或一個茶包)5 分鐘。

<sup>\*</sup> 研究原以“微克 / 公升”為單位。現假設茶在沖泡後的密度與水相同，以 1 公升茶的重量為 1 公斤計算。

<sup>@</sup> 計算已沖泡的茶所含 PA 的方法：以 150 毫升開水浸泡茶葉 5 分鐘，然後抽取 2 克檢測含量；或在乾製產品中檢測到的 PA 含量除以數值為 75 的因子。

## 乾製香料

42. 這次研究亦發現，“乾製香料”所含的 PA 平均總量(以上限計算)，以孜然籽最高(每公斤 1 900 微克)，其次為牛至(每公斤 1 400 微克)和龍蒿(每公斤 1 100 微克)。由於海外沒有乾製香料的同類研究，因此無法比較不同地方乾製香料含 PA 的情況。儘管目前沒有足夠數據評估食用這些食品可能對健康構成的長期風險，但由於乾製香料通常只會在食品製備過程中被少量用作輔料，故預期不是市民從膳食攝入 PA 總量的主要來源。

43. 由於 PA 在動物實驗中顯示基因毒性和致癌作用，因此食物不宜帶有這些物質，應採取措施將食物(包括茶葉和乾製香料)中的含量盡量減至最低，包括查明產品受污染的原因，以及在生產過程中，改良培植、採收和潔淨產品的方法，從而減低產品受污染的機會。

## 研究的局限

44. 雖然檢測分析的樣本愈多，對攝入量的估算便愈精確；不過，礙於資源有限，化驗工作必須有所取捨，因此這次研究只選取一些較大可能含有 PA 的食品作為樣本。此外，這次研究結果只能概略地反映某些本地食物在某一時間的 PA 含量。

45. 2005 年至 2007 年進行的香港市民食物消費量調查，是以非連續兩天 24 小時膳食問卷方式，蒐集本港市民食物消費量的資料(例如食用的食物種類和分量)。某些較少人食用的食品(例如上文第 40 段所提及的食品)，難免因受訪者不曾食用而未有納入調查之內，以致這次研究得出的整體攝入量結果存有某些不確定性。

46. 不同的 1,2-不飽和 PA 的致癌性及毒性各異，但礙於現有數據不足以查明其相對毒性，難以準確評估其被人體攝入後可能造成的綜合影響。因此，如果假設所有 1,2-不飽和 PA 均具同等的致癌性，並累計其致癌作用，或會高估了相關風險。

## 結論和建議

47. 以本港成年人口從膳食攝入 PA 總量的下限和上限估算，攝入量一般的市民攝入量介乎每日每公斤體重 0.00033 微克至 0.0015 微克，而攝入量高的市民則介乎每日每公斤體重 0.0015 微克至 0.0043 微克。兩者的相應暴露限值均遠高於 10 000，因此，從公共衛生的角度來看，對健康的影響不大。

48. 由於 2005 年至 2007 年香港市民食物消費量調查沒有從市民收集到“特色茶”和“乾製香料”這兩個食物組別中若干食品的數據，所以這次研究亦沒有評估該等食品的 PA 膳食攝入量。就“特色茶”而言，路依保斯茶、馬鞭草茶和薄荷茶的 PA 含量較高。但與海外研究結果相比，這次研究發現“特色茶”的 PA 含量明顯較低，對本地消費者的健康影響預計亦會較為輕微。此外，一些乾製香料(例如孜然籽和牛至)也發現含有 PA。由於乾製香料通常在食品製作過程中被少量用作輔料，故預期乾製香料不是市民從膳食攝入 PA 總量的主要來源。

49. 由於 PA 在動物實驗中顯示基因毒性和致癌作用，因此應盡量避免食物受到污染，並應致力減低這些物質在茶葉和香料中的含量。我們須找出 PA 污染食物的原因，然後採取措施，從源頭防止和減少食物受這些物質污染。食物法典委員會已制定《防止和減少食物及飼料受吡咯里西



啞類生物鹼污染的除草守則》(Codex Code of Practice for Weed Control to Prevent and Reduce Pyrrolizidine Alkaloid Contamination in Food and Feed)，提供指引闡述良好管理方法以控制帶有這些物質的雜草，防止和減低食物和飼料受毒素污染。一般而言，乾製香料和茶葉的生產商應查明產品受污染的原因，並參考食品法典委員會的守則，改良培植、採收和潔淨產品的方法，從而減低產品中 **PA** 含量。

50. 根據這次研究從膳食攝入 **PA** 總量的結果，並無充分理據建議市民改變基本的健康飲食習慣。市民應保持均衡和多元化的飲食，包括進食多種蔬果，避免因偏食某幾類食物而攝入任何過量的污染物。

## 參考資料

- 1 European Food Safety Authority (EFSA). Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission related to pyrrolizidine alkaloids as undesirable substances in animal feed. The EFSA Journal 2007; 447: 1-51.  
[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：  
[http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific\\_output/files/main\\_documents/contam\\_ej447\\_op\\_pyrrolizidine%20alkaloids%20in%20feed\\_en%2C3.pdf](http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific_output/files/main_documents/contam_ej447_op_pyrrolizidine%20alkaloids%20in%20feed_en%2C3.pdf)
- 2 European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion on Pyrrolizidine alkaloids in food and feed. The EFSA Journal 2011; 9(11): 2406.  
[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：  
[http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific\\_output/files/main\\_documents/2406.pdf](http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific_output/files/main_documents/2406.pdf)
- 3 Fu PP, Xia QS, Chou MW, and Lin G. Detection, hepatotoxicity, and tumorigenicity of pyrrolizidine alkaloids in Chinese herbal plants and herbal dietary supplements. Journal of Food and Drug Analysis 2007; 15(4): 400-415.  
[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：  
[https://www.researchgate.net/publication/228366361\\_Detection\\_Hepatotoxicity\\_and\\_Tumorigenicity\\_of\\_Pyrrolizidine\\_Alkaloids\\_in\\_Chinese\\_Herbal\\_Plants\\_and\\_Herbal\\_Dietary\\_Supplements](https://www.researchgate.net/publication/228366361_Detection_Hepatotoxicity_and_Tumorigenicity_of_Pyrrolizidine_Alkaloids_in_Chinese_Herbal_Plants_and_Herbal_Dietary_Supplements)
- 4 Jiang Y, Fu PP, and Lin G. Hepatotoxicity of naturally occurring pyrrolizidine alkaloids. Asian Journal of Pharmacodynamics and Pharmacokinetics 2006; 6:187-92.
- 5 Dreger M, Stanisławska M, Krajewska-Patan A, Mielcarek S, Mikołajczak P.Ł, Buchwald W. Pyrrolizidine alkaloids - chemistry, biosynthesis, pathway, toxicity, safety and perspectives of medicinal usage. Journal Herba Polonica 2009; 55(4): 127-147.  
[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：  
[http://www.herbapolonica.pl/magazines-files/2794302-Pages%20from%20HERBA\\_4\\_2009\\_druk-14.pdf](http://www.herbapolonica.pl/magazines-files/2794302-Pages%20from%20HERBA_4_2009_druk-14.pdf)
- 6 Chen Z., Huo JR. Hepatic veno-occlusive disease associated with toxicity of pyrrolizidine alkaloids in herbal preparations. The Netherlands Journal of Medicine 2010; 68(6): 252-60.  
[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：  
<http://www.njmonline.nl/getpdf.php?id=933>
- 7 van den Berg SJPL, Restani P, Boersma MG, Delmulle L, Rietjens, IMCM. Levels of Genotoxic and Carcinogenic Compounds in Plant Food Supplements and Associated Risk Assessment. Food and Nutrition Sciences 2011; 2(09): 989-1010.  
[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：  
[http://file.scirp.org/Html/11-2700266\\_8380.htm](http://file.scirp.org/Html/11-2700266_8380.htm)
- 8 Wiedenfeld H. Toxicity of pyrrolizidine alkaloids - a serious health problem. Journal of Marmara University Institute of Health Sciences 2011; 1(2): 79-87.

[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：

<http://www.scopemed.org/fulltextpdf.php?mno=13765>

- 9 Mulder PPJ, López Sánchez P, These A, Preiss-Weigert A and Castellari M, 2015. Occurrence of Pyrrolizidine Alkaloids in food. EFSA Supporting Publication 2015; 12(8):EN-859.

[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：

[http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific\\_output/files/main\\_documents/859e.pdf](http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific_output/files/main_documents/859e.pdf)

- 10 Committee on toxicity of chemicals in food, consumer products and the environment. COT Statement on Pyrrolizidine Alkaloids in Food.

[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：

<http://cot.food.gov.uk/sites/default/files/cot/cotstatementpa200806.pdf>

- 11 Committee on Herbal Medicinal Products, European Medicines Agency. Public statement on the use of herbal medicinal products containing toxic, unsaturated pyrrolizidine alkaloids (PAs). EMA/HMPC/893108/2011.

[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：

[http://www.ema.europa.eu/docs/en\\_GB/document\\_library/Public\\_statement/2014/12/WC500179559.pdf](http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Public_statement/2014/12/WC500179559.pdf)

- 12 Hoogenboom LAP, Mulder PPJ, Zeilmaker MJ, van den Top HJ, Remmelink GJ, and Brandon EFA, *et al.* (2011) Carry-over of pyrrolizidine alkaloids from feed to milk in dairy cows. Food Additives and Contaminants 2011; 28(3): 359-372.

- 13 Poppenga RH and Puschner B. Poisonous Plant Threats to Cattle and Horses: Tansy Ragwort, Common Groundsel and Fiddleneck. California Animal Health and Food Safety Laboratory System (CAHFS).

[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：

<http://www.vetmed.ucdavis.edu/cahfs/local-assets/pdfs/PoisonousPlantThreatsFAQ.pdf>

- 14 Australia New Zealand Food Authority (ANZFA). Pyrrolizidine Alkaloids in Food – A Toxicological Review and Risk Assessment. ANZFA 2001; Technical Report Series No.2. Canberra and Wellington .

[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：

<https://www.foodstandards.gov.au/publications/documents/TR2.pdf>

- 15 The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Summary and conclusions of Eightieth meeting. 6 July 2015.

[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：

[http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/agns/pdf/jecfa/Summary\\_report\\_of\\_the\\_80th\\_JECFA\\_meeting.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agns/pdf/jecfa/Summary_report_of_the_80th_JECFA_meeting.pdf)

- 16 Gao H, Ruan JQ, Chen J, Li N, Ke CQ, and Ye Y, *et al.* Blood pyrrole-protein adducts as a diagnostic and prognostic index in pyrrolizidine alkaloid-hepatic sinusoidal obstruction syndrome. *Drug Design, Development and Therapy* 2015; 9: 4861—4868.  
網址：<https://www.dovepress.com/getfile.php?fileID=26691>
- 17 Edgar JA, Molyneux RJ, and Colegate SM. Pyrrolizidine Alkaloids: Potential Role in the Etiology of Cancers, Pulmonary Hypertension, Congenital Anomalies, and Liver Disease. *Chemical Research in Toxicology* 2015; 28(1) : 4–20.
- 18 Edgar JA, Colegate SM, Boppré M, and Molyneux RJ. Pyrrolizidine alkaloids in food: a spectrum of potential health consequences. *Food Additives and Contaminants* 2011; 28(3): 308-324.
- 19 World Health Organisation-International Programme on Chemical Safety. Pyrrolizidine alkaloids. *Environmental Health Criteria* 80. WHO, Geneva 1988; 1-345.  
[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：  
<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc080.htm>
- 20 Chen T, Mei N and Fu PP. Genotoxicity of pyrrolizidine alkaloids. *Journal of Applied Toxicology* 2010; 30: 183-196.  
[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jat.1504/epdf>
- 21 International Agency for Research on Cancer (IARC). 1976. Some naturally occurring substances. *IARC Monographs on Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans* 1976; 10, WHO, Lyon, France.  
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol1-42/mono10.pdf>
- 22 International Agency for Research on Cancer (IARC). Some Food Additives, Feed Additives and Naturally Occurring Substances. *IARC Monographs on Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans* 1983; 31, WHO, Lyon, France.  
<https://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol1-42/mono31.pdf>
- 23 International Agency for Research on Cancer (IARC). Some Traditional Herbal Medicines, Some Mycotoxins, Naphthalene and Styrene. *IARC Monographs on Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans* 2002; 82, WHO, Lyon, France.  
[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：  
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol82/mono82.pdf>
- 24 Rasenack R, Muller C, Kleinschmidt M, Rasenack J, and Wiedenfeld H. Veno-occlusive disease in a foetus caused by pyrrolizidine alkaloids of food origin. *Fetal Diagnosis Therapy* 2003; 18: 223-25.  
[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：  
[https://www.researchgate.net/publication/10682281\\_Veno-Occlusive\\_Disease\\_in\\_a\\_Fetus\\_Caused\\_by\\_Pyrrolizidine\\_Alkaloids\\_of\\_Food\\_Origin](https://www.researchgate.net/publication/10682281_Veno-Occlusive_Disease_in_a_Fetus_Caused_by_Pyrrolizidine_Alkaloids_of_Food_Origin)

- 25 FAO/WHO. Discussion Paper on Guidance for Risk Management Options on How to Deal with the Results from New Risk Assessment Methodologies (CX/CF 11/5/11) for the Fifth Session of the Codex Committee on Contaminants in Foods, the Hague, the Netherlands, 21 – 25 March 2011. 網址：  
[ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/CCCCF/CCCCF5/cf05\\_11e.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/CCCCF/CCCCF5/cf05_11e.pdf)
- 26 FAO/WHO. Guidance for Risk Management Options in Light of Different Risk Assessment Outcomes. Appendix XIII in the Report of the Sixth Session of the Codex Committee on Contaminants in Foods, Maastricht, the Netherlands, 26 – 30 March 2012. 網址：  
[http://www.codexalimentarius.net/download/report/776/REP12\\_CFe.pdf](http://www.codexalimentarius.net/download/report/776/REP12_CFe.pdf)
- 27 European Food Safety Authority (EFSA). Statement on the applicability of the Margin of Exposure approach for the safety assessment of impurities which are both genotoxic and carcinogenic in substances added to food/feed. EFSA Journal 2012;10(3):2578.  
[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：  
[http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific\\_output/files/main\\_documents/2578.pdf](http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific_output/files/main_documents/2578.pdf)
- 28 Codex Alimentarius Commission. Discussion paper on pyrrolizidine alkaloids. Joint FAO/WHO food standards programme, Codex committee on contaminants in foods 2011; 5th session, The Hague, The Netherlands.  
[引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：  
[ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/cccfc/cccfc5/cf05\\_14e.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/cccfc/cccfc5/cf05_14e.pdf)
- 29 de Wit L, Geraets L, Bokkers B, and Jeurissen S. Pyrrolizidine alkaloids in herbal preparations. The Dutch National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) 2014. [引用日期：2016 年 1 月 7 日]網址：  
[http://www.rivm.nl/en/Documents\\_and\\_publications/Scientific/Reports/2015/april/Pyrrolizidine\\_alkaloids\\_in\\_herbal\\_preparations](http://www.rivm.nl/en/Documents_and_publications/Scientific/Reports/2015/april/Pyrrolizidine_alkaloids_in_herbal_preparations)
- 30 Food Standards Australia New Zealand (FSANZ). Natural contaminants in honey. 2016.  
[引用日期：2016 年 2 月 7 日]網址：  
<http://www.foodstandards.gov.au/consumer/chemicals/patersonscurse/Pages/default.aspx>
- 31 食物環境衛生署：《2005 年至 2007 年香港市民食物消費量調查》（只備英文本）。香港：食物環境衛生署，2010 年。網址：  
[http://www.cfs.gov.hk/english/programme/programme\\_firm/files/FCS\\_final\\_report.pdf](http://www.cfs.gov.hk/english/programme/programme_firm/files/FCS_final_report.pdf)
- 32 World Health Organization (WHO). GEMS/Food-EURO Second Workshop on Reliable Evaluation of Low-level Contamination of Food – Report of a Workshop in the Frame of GEMS/Food-EURO. WHO; May 1995. 網址：  
[ftp://ftp.ksph.kz/Chemistry\\_Food%20Safety/TotalDietStudies/Reliable.pdf](ftp://ftp.ksph.kz/Chemistry_Food%20Safety/TotalDietStudies/Reliable.pdf)
- 33 European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion on Lead in Food. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). EFSA Journal 2010; 8(4):1570. 網址：  
[http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific\\_output/files/main\\_documents/1570.pdf](http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific_output/files/main_documents/1570.pdf)

- 34 Griffina CT, Mitrovicb SM, Danaherc M and Fureya A. Development of a fast isocratic LC-MS/MS method for the high-throughput analysis of pyrrolizidine alkaloids in Australian honey. *Food Additives & Contaminant* 2015; 32(2): 214-228.
- 35 Shimshoni JA, Duebecke A, Mulder PP, Cuneah O and Barel S. Pyrrolizidine and tropane alkaloids in teas and the herbal teas peppermint, rooibos and chamomile in the Israeli market. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2015; 32(12): 2058-67.
- 36 Mathon C, Edler P, Bieri S and Christen P. Survey of pyrrolizidine alkaloids in teas and herbal teas on the Swiss market using HPLC-MS/MS. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 2014; 406(28): 7345-54.
- 37 Bodi D, Ronczka S, Gottschalk C, Behr N, Skibba A, and Wagner M, *et al.* Determination of pyrrolizidine alkaloids in tea, herbal drugs and honey. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2014; 31(11):1886-1895.
- 38 Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). Pyrrolizidine alkaloids in herbal teas and teas. Opinion No. 018/2013 of 5 July 2013.  
[引用日期：2016 年 3 月 1 日]網址：  
<http://www.bfr.bund.de/cm/349/pyrrolizidine-alkaloids-in-herbal-teas-and-teas.pdf>
- 39 European Food Safety Authority (EFSA). Dietary exposure assessment to pyrrolizidine alkaloids in the European population. *EFSA Journal* 2016;14(8):4572.  
[引用日期：2016 年 10 月 11 日]網址：*doi:10.2903/j.efsa.2016.4572*  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2016.4572/epdf>

## 附錄 1

### 不同食物組別和食物中 28 種 1,2-不飽和 PA 的總和(微克 / 公斤)

食物	樣本 數目	低於檢測限 的樣本所佔 百分比(%)	不飽和 PA 總和的平均含量(微克 / 公斤)			
			[範圍]		下限	上限
<b>穀物及穀物製品：</b>	<b>21</b>	<b>43</b>	<b>0.17</b>	<b>[0 – 2.5]</b>	<b>0.30</b>	<b>[0.14 – 2.7]</b>
小麥麵粉	6	17	0.061	[0 – 0.16]	0.19	[0.14 – 0.28]
大麥麵粉	3			所有樣本均低於檢測限		
黑麥麵粉	6	17	0.53	[0 – 2.5]	0.65	[0.14 – 2.7]
麵包(無餡) *	6	67	0.0034	[0 – 0.015]	0.14	[0.14 – 0.15]
<b>肉及肉製品：</b>	<b>35</b>					
牛肉	6					
牛腩 / 牛肝	5					
豬肉	6			所有樣本均低於檢測限		
豬腩 / 豬肝	6					
雞肉	6					
雞腩 / 雞肝	6					
<b>蛋：</b>	<b>18</b>	<b>67</b>	<b>0.019</b>	<b>[0 – 0.19]</b>	<b>0.16</b>	<b>[0.14 – 0.33]</b>
雞蛋	6	83	0.0082	[0 – 0.049]	0.15	[0.14 – 0.18]
鴨蛋	6	33	0.047	[0 – 0.19]	0.18	[0.14 – 0.33]
鵪鶉蛋	6	83	0.0017	[0 – 0.010]	0.14	[0.14 – 0.15]
<b>奶及奶製品：</b>	<b>18</b>	<b>72</b>	<b>0.0040</b>	<b>[0 – 0.048]</b>	<b>0.14</b>	<b>[0.14 – 0.18]</b>
全脂奶	6			所有樣本均低於檢測限		
酸乳酪	6	50	0.0030	[0 – 0.0070]	0.14	[0.14 – 0.14]
芝士	6	67	0.0092	[0 – 0.048]	0.15	[0.14 – 0.18]
<b>蜂蜜：</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>7.4</b>	<b>[0.21 – 16]</b>	<b>7.5</b>	<b>[0.31 – 17]</b>
<b>乾製香料：</b>	<b>82</b>	<b>26</b>	<b>300</b>	<b>[0 – 11 000]</b>	<b>300</b>	<b>[1.4 – 11 000]</b>
牛至 / 皮薩草# (Oregano)	6	0	1 400	[1.5 – 5 100]	1 400	[2.5 – 5 100]
迷迭香# (Rosemary)	6	33	0.25	[0 – 0.99]	1.6	[1.4 – 2.3]
龍蒿# (Tarragon)	3	0	1 100	[8.0 – 3 300]	1 100	[8.7 – 3 300]
百里香# (Thyme)	6	0	6.1	[0.18 – 11]	7.0	[1.5 – 12]
羅勒 (Basil)	6	17	1.4	[0 – 5.2]	2.6	[1.4 – 6.2]
薄荷 (Mint)	3	67	0.72	[0 – 2.2]	2.0	[1.4 – 3.3]
馬郁蘭# (Marjoram)	2	50	0.22	[0 – 0.43]	1.6	[1.4 – 1.7]
蒔蘿葉 / 刁草# (Dill Weed)	4	0	37	[0.33 – 85]	38	[1.5 – 86]
普羅旺斯香草# (Herbs de Provence)	4	0	360	[18 – 1 300]	370	[18 – 1 300]

食物	樣本 數目	低於檢測限 的樣本所佔 百分比(%)	不飽和 PA 總和的平均含量(微克 / 公斤) [範圍]			
			下限		上限	
月桂葉# (Bay leaf)	5	20	0.17	[0 – 0.27]	1.5	[1.4 – 1.5]
黑胡椒	6	33	0.19	[0 – 0.63]	1.5	[1.4 – 1.9]
白胡椒	6	83	0.11	[0 – 0.68]	1.5	[1.4 – 1.9]
五香粉	5	40	2.3	[0 – 4.7]	3.5	[1.4 – 5.7]
孜然籽 / 枯茗籽# (Cumin Seed)	6	0	1 900	[2.5 – 11 000]	1 900	[3.5 – 11 000]
小茴香籽# (Fennel seed)	4	50	0.90	[0 – 2.6]	2.2	[1.4 – 3.8]
丁香 (Cloves)	5	60	0.024	[0 – 0.062]	1.4	[1.4 – 1.4]
鼠尾草# (Sage)	5	0	34	[3.5 – 78]	34	[4.2 – 79]
<b>茶葉(已沖泡)@：</b>	<b>48</b>	<b>50</b>	<b>0.33</b>	<b>[0 – 2.6]</b>	<b>0.46</b>	<b>[0.14 – 2.7]</b>
<u>一般茶</u>						
完全發酵茶	6	50	0.088	[0 – 0.43]	0.22	[0.14 – 0.55]
半發酵茶	4	50	0.021	[0 – 0.079]	0.15	[0.14 – 0.20]
非發酵茶	6			所有樣本均低於檢測限		
<u>特色茶</u>						
薄荷茶# (Peppermint tea)	5	60	0.33	[0 – 1.3]	0.44	[0.14 – 1.4]
香蜂草茶# (Melissa tea)	1			低於檢測限		
洋甘菊花茶# (Chamomile Tea)	6	50	0.30	[0 – 1.7]	0.43	[0.14 – 1.8]
路依保斯茶# (Rooibos tea)	6	0	1.6	[0.23 – 2.6]	1.7	[0.36 – 2.7]
茴香茶# (Fennel tea)	2	0	0.035	[0.016 – 0.053]	0.16	[0.15 – 0.17]
菩提葉花茶# (Linden tea)	2			所有樣本均低於檢測限		
馬鞭草茶# (Verbena tea)	3	33	0.74	[0 – 2.0]	0.87	[0.14 – 2.1]
蕁麻茶# (Nettle tea)	1	0	0.053	–	0.18	–
肉桂茶# (Cinnamon tea)	3	67	0.0040	[0 – 0.012]	0.14	[0.14 – 0.15]
其他 #^	3	33	0.025	[0 – 0.067]	0.16	[0.14 – 0.19]
<b>茶飲料：</b>	<b>6</b>	<b>33</b>	<b>0.016</b>	<b>[0 – 0.043]</b>	<b>0.15</b>	<b>[0.14 – 0.17]</b>

\* 穀物及穀物製品項下各種麵包的消費量數據按配料劃分。因此，膳食攝入量並不包括“麵包(無餡)”的化驗結果，而市民從麵包攝入 PA 的分量則按照各種麵粉的化驗結果估算。

@ 茶葉(已沖泡)依照標籤上的說明沖泡；如無說明，則以 150 毫升開水(蒸餾水)浸泡茶葉(2 克或一個茶包)5 分鐘。

# 香港市民食物消費量調查並無該食品的相應消費量數據，因此，這次研究在評估膳食攝入量時沒有計及該等食品的化驗分析結果。

^ 包括綠留蘭香茶(spearmint tea)、馬郁蘭茶(marjoram tea)和混合茶。



## 附錄 2

### 按年齡及性別組別列出攝入量一般和攝入量高的市民從膳食攝入 1,2-不飽和 PA 的總和(下限和上限)

按年齡及性別劃分的 組別	膳食攝入量(微克 / 每日每公斤體重)	
	攝入量一般的市民	攝入量高的市民*
	(下限至上限)	(下限至上限)
20 歲至 29 歲男性	0.00026 – 0.0014	0.0015 – 0.0036
20 歲至 29 歲女性	0.00035 – 0.0014	0.0015 – 0.0041
30 歲至 39 歲男性	0.00026 – 0.0013	0.0011 – 0.0034
30 歲至 39 歲女性	0.00026 – 0.0014	0.0010 – 0.0036
40 歲至 49 歲男性	0.00035 – 0.0016	0.0015 – 0.0044
40 歲至 49 歲女性	0.00032 – 0.0016	0.0012 – 0.0044
50 歲至 59 歲男性	0.00035 – 0.0017	0.0014 – 0.0046
50 歲至 59 歲女性	0.00034 – 0.0015	0.0015 – 0.0045
60 歲至 69 歲男性	0.00044 – 0.0019	0.0017 – 0.0053
60 歲至 69 歲女性	0.00034 – 0.0016	0.0014 – 0.0046
70 歲至 84 歲男性	0.00050 – 0.0020	0.0018 – 0.0055
70 歲至 84 歲女性	0.00032 – 0.0015	0.0013 – 0.0046
20 歲至 84 歲男性	0.00034 – 0.0016	0.0015 – 0.0044
20 歲至 84 歲女性	0.00032 – 0.0015	0.0014 – 0.0043
20 歲至 84 歲成年人	0.00033 – 0.0015	0.0015 – 0.0043

\* 這次研究以第 95 百分位的數值作為攝入量高的市民的數值。