

碘

蕭寧馨 鄧錦泉 劉奕方

前言

碘是影響腦部發育的必需營養素。比起碘充足的同質社群，嚴重缺碘地區的民眾智商 (IQ) 約少了 13.5^(1, 2)。世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 指出，缺碘導致智能低落，直接影響兒童的學習能力，不利婦女健康，降低社群的生活品質，並且足以阻礙經濟生產。缺碘是造成人類腦部智能傷害最主要的單一因素，也是可有效預防的單一因素⁽¹⁾。碘需要量以預防缺乏和維持生長為目標，每日碘攝取量估算方法有以下三種：代謝平衡法，熱量代謝需要量以 5 $\mu\text{g}/100 \text{ kcal}$ 為標準；尿碘推算法，根據體重、排尿量、尿碘濃度；與膳食碘生體可用率之 92%。臺灣曾自民國五十五年施行食鹽加碘強化政策，有效降低國小學童之地方性甲狀腺腫的罹患率⁽³⁾；但是此項措施並非強制執行。長期以來台灣的食品成分表中並無碘含量資料，國人碘攝取量與營養狀況之相關資料相當欠缺。因此，在沒有建立適當監測機制之前，碘之參考攝取量維持第六版國人膳食營養素參考攝取量之標準⁽⁴⁾。世界衛生組織建議碘營養充足之流行病學標準為學童尿碘中位數 $\geq 100 \mu\text{g}/\text{L}$ ，50–99 $\mu\text{g}/\text{L}$ 為輕微缺乏 (mild deficiency)⁽¹⁾。『2000–2002 年國民營養健康狀況變遷調查』之國小學童尿碘分析結果指出，國小學童之尿碘中位數為 123 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，表示國人之碘營養應在正常範圍⁽⁵⁾。然而尿碘濃度有隨年齡增長而降低之顯著趨勢。「2004–2008 年國

民營養狀況變遷調查」之尿碘分析結果指出，19 歲以上成人之尿碘中位數為 100 $\mu\text{g/L}$ ，這是正常範圍的最低標準；另外存有性別、年齡與地區性差異；女性尿碘中位數為 96 $\mu\text{g/L}$ ；男性 65 歲以上，女性 45 歲以上，尿碘中位數 $< 100 \mu\text{g/L}$ ；除了南部與澎湖之外，其他地區之尿碘中位數均 $< 100 \mu\text{g/L}$ ⁽⁶⁾。關於國人之碘食物來源、攝取量與營養評估均應納為營養研究之重點，以確保國人之健康。

營養生化生理功能

一、化學性質

碘屬於鹵素族元素，原子序 53，原子量 126.9，是人體必需營養素中最重的元素。自然界中無機態碘以陰性碘離子為主。土壤與水中碘含量變異很大，植物之碘含量受土壤和水質之影響，各地飲水之碘含量反映當地土壤與岩石之特性，通常與碘缺乏盛行率有密切的關聯⁽⁷⁾。除了天然來源之外，根據衛生署《食品添加物使用範圍及限量暨規格標準》，碘化鉀與碘酸鉀為我國合法之營養添加劑，可添加在食鹽，以預防碘缺乏性甲狀腺腫⁽⁸⁾。

甲狀腺素包括 T3 (triiodothyronine) 與 T4 (tetraiodothyronine, thyroxine)，T3 的分子量是 651.0，碘佔 59%；T4 的分子量是 776.9，碘佔 65%。

二、營養生化功能

碘在人體唯一已知的功能就是合成甲狀腺素 T4 與 T3。甲狀腺素的作用為調節基因表現，主要的生理功能是調節代謝與發育，前者的典型表現是影響基礎代謝率，後

者則關乎腦中樞神經系統的正常發育⁽⁹⁾。

在代謝方面，甲狀腺素影響組織的氧氣消耗量，甲狀腺機能不足時耗氧量會降低 30%，過高時耗氧量可增加 50%⁽¹⁰⁾。影響代謝速率的機制包括改變粒線體呼吸效率、增加 ATP 消耗量、加速心跳、增加細胞膜 Na, K-ATPase 的表現與活性等。所有熱量營養素之新陳代謝都受到甲狀腺素的影響，同化與異化代謝速率有同時加快的現象⁽⁹⁾。

在發育方面，十週之胎兒腦部已經有甲狀腺受體，一直到 2 歲，甲狀腺素影響神經細胞之增生定位與脊椎發育，也影響骨骼發育和軀幹之成長，缺碘時都有遲滯的現象。

三、吸收與代謝^(9, 11)

膳食中之無機態碘在消化道中被還原為碘離子，快速被胃與小腸前段吸收，吸收率達 90% 以上。其他含碘成分如甲狀腺素或藥物等則不經分解而完整吸收，甲狀腺素 T4 的吸收率約 80%。

吸收之碘以離子態分布於細胞外液，血漿中碘離子濃度為 0.08–0.60 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ，代謝半衰期約 10 小時，主要由甲狀腺與腎臟負責代謝。甲狀腺有主動濃縮碘的能力，其濃度可達血漿的 50–100 倍，以滿足甲狀腺素合成之需；碘充足時甲狀腺利用 10% 攝取碘量，碘缺乏時則高達 80%。多餘之碘則由腎臟負責排除，尿液排碘量約佔攝取量 90%。

成人體內含碘總量為 15–20 mg，其中甲狀腺之含量佔 75%，碘充足時約有 8–12 mg，缺碘時可能少於 20

μg。甲狀腺細胞之膜上有 Na/I transporter 負責碘之主動運輸而從血液中獲碘，運送到濾泡內面膠體腔中，此處並含有甲狀腺球蛋白 (thyroglobulin)，其分子量 660,000，含有許多酪胺酸 (tyrosine) 殘基，這是合成甲狀腺素的基質。甲狀腺素之合成依序包括碘化反應、偶合反應、蛋白質水解反應。碘化反應是酵素 thyroperoxidase 利用過氧化氫使碘氧化並使酪胺酸殘基加碘，生成甲狀腺素之前體 MIT (monoiodotyrosine) 與 DIT (diiodotyrosine)；酵素繼續催化偶合反應，使兩分子 DIT 聚合生成四碘甲狀腺素 (T₄, tetraiodothyronine, thyroxine)，或使 DIT 與 MIT 聚合生成三碘甲狀腺素 (T₃, triiodothyronine)，這些產物仍然連結於甲狀腺球蛋白上，儲存於膠體腔內。甲狀腺素之分泌乃是甲狀腺球蛋白經胞飲作用進入濾泡細胞，受溶菌體蛋白酶水解，釋出甲狀腺素而進入血液循環；蛋白質上殘留之碘經脫碘酵素 (deiodinase) 水解釋出，留存於甲狀腺中可再循環利用。

血液中甲狀腺素與數種蛋白質 thyroxine binding protein、transthyretin、白蛋白等結合，以 T₄ 為主，濃度為 58–142 nM，半衰期約 5 天，T₃ 濃度 0.92–2.76 nM 半衰期約 1.5–3 天。T₄ 經脫碘作用生成 T₃ 而活化，經血液運送至目標組織發揮作用。血液 T₃ 之生成主要由第一型 (type I) 脫碘酵素負責，存在肝臟、腎臟與甲狀腺，為含硒蛋白，其催化中心含有 selenocysteine 殘基，缺硒時甲狀腺素之活化受阻。第二型 (type II) 脫碘酵素存在腦部、腦下垂體、褐色脂肪組織，活化之 T₃ 供組織自身利用。

甲狀腺機能受腦下垂體之控制，血中甲狀腺素濃度降低時，腦下垂體分泌甲狀腺刺激素 (thyrotropin, TSH)，可促進獲碘能力與甲狀腺球蛋白之分解，增加甲狀腺素之分泌。正常 TSH 濃度 0.5–5.5 mU/L，濃度過高代表甲狀腺機能不足，濃度過低則為甲狀腺機能亢進。TSH 的分泌受下視丘激素 TSH-releasing hormone (TRH) 的控制。

接受甲狀腺素作用之細胞其細胞核中有甲狀腺素受體，與 T3 結合後成為活化的轉錄因子，可辨識基因啟動子的 TRE (thyroid hormone response element) 序列，而調節基因的表現。

碘需要量評估與營養缺乏症

流行病學常用尿液碘排泄量當作碘營養指標，這也是 WHO 建議採用的營養評估方法⁽¹⁾。尿液碘量可以單位體積之濃度、對肌酸酐比值、或 24 小時排碘總量表示，三者之間有高度的相關。飲食攝取之碘 90 % 以上由尿液排出體外，攝取量 150 µg/d 對應的尿碘濃度為 100 µg/L^(11, 12)。

尿液碘量與甲狀腺腫盛行率呈負相關。尿碘濃度達到 100 µg/L 時，足以滿足 98 % 人群之需要，因為缺乏症比例低於 2 %；成人尿碘對肌酸酐濃度比值低於 50 µg/g creatinine 時甲狀腺腫盛行率升高。WHO 之尿碘濃度評估標準與碘營養狀況的關係如表一所列，以學童尿碘濃度中位數為指標，100–200 µg/L 為正常範圍，< 100 µg/L 表示缺乏危險升高，< 20 µg/L 表示嚴重缺乏⁽⁵⁾。

美國營養調查 NHANES III 結果，成人尿碘濃度為

男性 138–155 $\mu\text{g/L}$ ，女性 110–129 $\mu\text{g/L}$ ⁽¹³⁾。從尿碘排泄量可以推算碘攝取量，尿液體積中位數為 7–15 歲 0.9 mL/kg/hr，成人 1.5 mL/kg/hr，膳食碘生體可用率為 92%，每日碘攝取量等於尿碘濃度與體重，以及常數 0.0235 之乘積⁽¹³⁾。尿碘量主要反映最近數日之碘營養狀況，長期營養狀況則反映在甲狀腺體積、血漿甲狀腺刺激素濃度或甲狀腺球蛋白濃度⁽¹⁾。

碘缺乏時甲狀腺體積增大，WHO/UNICEF/ICCDD 推薦可以用頸部觸診法診斷。甲狀腺腫大依程度分級，第一級為觸診可判斷但是目測無法分辨，第二級是目測可明顯分辨。精確的體積測量可用超音波法。成人預防甲狀腺腫之最低碘攝取量是 70 $\mu\text{g/d}$ ⁽¹⁴⁾。

碘平衡研究多數執行於 1960 年代，應用於今日營養評估可能有以下四項限制：碘攝取量基礎值因時空差異而不同於今日、甲狀腺未必達到碘平衡狀態、以前的分析技術不如現代精密、碘攝取量估計可能不夠精準。不過平衡研究結果仍應用在美國 DRI 中兒童碘平均需要量之估計，1.5–2.5 歲攝取 63.5 $\mu\text{g/d}$ 時可維持正平衡⁽¹⁵⁾；8 歲攝取量 20–40 $\mu\text{g/d}$ 時，負平衡值為 23–26 $\mu\text{g/d}$ ，表示最低需要量為 65 $\mu\text{g/d}$ ^(16, 17)；9–13 歲攝取 31 $\mu\text{g/d}$ 時，負平衡值 24 $\mu\text{g/d}$ ；14–16 歲攝取 34 $\mu\text{g/d}$ 時，負平衡值為 24 $\mu\text{g/d}$ ，平均最低需要量為 57 $\mu\text{g/d}$ ⁽¹⁷⁾。成人之碘必需流失量 57 $\mu\text{g/d}$ ⁽¹⁸⁾，攝取量 100 $\mu\text{g/d}$ 足以維持正平衡⁽¹⁹⁾。

碘之生理需要量也可以用健康者甲狀腺之碘新陳代謝速率來估算。甲狀腺獲碘能力以口服或注射放射性碘被甲狀腺保留之比例來評估，24 小時之正常值約為 5–20

%；缺碘時比例增高，碘充足時則減少。當甲狀腺達成碘平衡時，獲碘量與釋碘量相等。19 歲以上成人之甲狀腺碘獲取量為 91.2–96.5 $\mu\text{g}/\text{d}$ ⁽²⁰⁾。

血清甲狀腺刺激素濃度是反映個人甲狀腺機能的最佳指標，最常用在新生兒先天性甲狀腺機能不足的篩檢；其正常濃度 0.5–5 mU/L，碘缺乏時濃度升高，同時對 TRH 的反應也增強。血清甲狀腺球蛋白正常濃度約為 10 ng/mL，其濃度與尿碘排泄量等碘營養指標相關，不過並未建立與膳食碘攝取量的劑量關係。血清 T4 與 T3 濃度是臨床上評估甲狀腺機能的標準方法，碘缺乏時 T4 濃度下降，但 T3 濃度不變或升高；禁食或營養不良則會使 T3 降低，然而其變化範圍與正常值高度重疊，不能靈敏地反映營養狀況，並不適用於碘之營養評估。

一、碘缺乏症狀

因為缺碘而甲狀腺素分泌不足，所引發的症狀總稱為碘缺乏症 (iodine deficiency disorders, IDD)，包括心智障礙、甲狀腺機能不足、甲狀腺腫大、短小性癡呆症 (cretinism)、以及程度不等的生長與發育異常^(1, 11, 20)。缺碘對腦部發育的傷害最為嚴重，可導致智商明顯低落，因為胎兒與新生兒時期神經組織髓鞘化作用最活躍，並且受甲狀腺素控制。胎兒甲狀腺機能不足會嚴重地傷害神經系統，最嚴重的後果就是短小性癡呆症，伴有嚴重智障、體型矮小、聾啞症、痙攣等缺陷。其他缺碘的風險有損害生殖功能、增加兒童死亡率、降低教育成效、甚至妨礙社會與經濟之發展等。

二、影響建議量之因素

訂定碘的膳食建議量時必須考慮干擾碘利用的因素⁽¹⁾。無機態碘化合物的吸收率通常可達 90 % 以上。早期研究指出黃豆粉抑制碘吸收，加碘補充即可預防。膳食中的甲狀腺腫促發劑 (goitrogens) 會干擾甲狀腺素的合成與利用，例如樹薯所含的 linamarin 代謝生成硫氰化合物，會抑制甲狀腺的獲碘作用。這類物質可來自十字花科植物、受污染河井的腐質物等，在碘供應不足時會加重缺乏效應。維生素 A、硒、鐵缺乏時也會加重缺碘效應。其他可能干擾碘利用的物質包括含碘量高之放射顯影劑、食品添加物、藥物、皮膚或口腔除臭劑、水淨化劑等等。

碘參考攝取量

嬰兒

根據嬰兒碘平衡實驗，攝取量 20 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{d}$ 時，尿碘排泄量為 12.7 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{d}$ ，碘保留量為 7.3 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{d}$ ⁽¹⁵⁾。嬰兒從母乳獲取碘，乳汁碘濃度為 30–40 $\mu\text{g}/\text{L}$ 時，嬰兒沒有缺碘問題。美國的 DRI 根據母乳提供碘量而估計 0–6 個月嬰兒之足夠攝取量：母乳碘濃度中位數為 146 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，嬰兒乳汁攝取量為 780 mL/d，供碘量為 114 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，因而足夠攝取量訂為 110 $\mu\text{g}/\text{d}$ ；7–12 個月嬰兒則依代謝體重比例計算⁽²⁰⁾。

國人依母乳攝取量 780 mL/d 估計，嬰兒 0–6 個月的碘攝取量平均為 114 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，7–12 個月依代謝體重估算為 136–143 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。若依照平衡實驗之碘保留量與體重而估

計碘需要量為 0–6 個月 44 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，7–12 個月 58–66 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。取需要量之最大值，族群分布變異度採用 CV 20 %，碘生體可用率 92 %，則維持平衡所需之量為 67 $\mu\text{g}/\text{d}$ 與 100 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，相當於乳汁供碘量的 58 % 和 71 %。鑒於碘對嬰兒腦部發育和成長極為重要，而且成長速率的差異大，我國嬰兒體重僅略低於美國嬰兒之參考體重，因此，採取美國 DRI 之足夠攝取量，分別訂為 110 $\mu\text{g}/\text{d}$ 與 130 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。

兒童

以預防甲狀腺腫為目標的碘攝取量，成人約 50–70 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，相當於每公斤體重需碘 1 μg ^(14, 21)。按兒童體重計算，1–9 歲兒童預防甲狀腺腫之需碘量為 13–28 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。兒童有成長之需求，根據平衡實驗，1–9 歲兒童維持碘正平衡之攝取量 65 $\mu\text{g}/\text{d}$ ^(16, 17)。我國歷年的碘建議攝取量採用 5 $\mu\text{g}/100 \text{ kcal}$ 為標準^(4, 22 23)，採用適度活動之熱量值計算，所得之建議量為 1–3 歲 67.5 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，4–6 歲 90 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，7–9 歲 105 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。因此建議量維持在 1–3 歲 65 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，4–6 歲 90 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，7–9 歲 100 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，不僅足以預防缺乏，並且滿足兒童成長之需，且兼顧能量代謝利用之需要。

青少年

10–18 歲之碘最低需要量，根據體重計算為男性 38–62 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，女性 39–51 $\mu\text{g}/\text{d}$ ；根據平衡實驗為 55–58 $\mu\text{g}/\text{d}$ ⁽¹⁷⁾。由於尿碘濃度達到 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ 時，足以滿足 98 % 人群之需要，尿液體積中位數採用 0.9 mL/hr/kg，碘生體

可用率 92 %，估計之攝取量為男性 89–146 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，女性 92–120 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。考慮熱量代謝需求，採用 5 $\mu\text{g}/100 \text{ kcal}$ 之標準，各年齡層以男性稍低和適度活動之熱量平均值計算，攝取量為 110–135 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。因此建議量維持為 10–12 歲 110 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，13–15 歲 120 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，16–18 歲 130 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，足以預防缺乏，並且供應成長與能量代謝之需求。

成人

19 歲以上成人，根據體重計算之最大需要量為男性 64 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，女性 54 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。成人尿碘之必需流失量 (obligatory loss) 為 57 $\mu\text{g}/\text{d}$ ⁽¹⁸⁾，甲狀腺獲碘量為 91.2–96.5 $\mu\text{g}/\text{d}$ ⁽²⁴⁾。成人攝取量為 100 $\mu\text{g}/\text{d}$ 時足以維持碘平衡⁽²⁴⁾。根據熱量標準計算，各年齡層不分性別以最高熱量值計算，攝取量以 19–30 歲 135 $\mu\text{g}/\text{d}$ 最高，因為隨著年齡增高，熱量需求有降低的趨勢。美國對成年人的碘平均需要量採用 95 $\mu\text{g}/\text{d}$ ⁽¹³⁾，族群分布變異度採用 CV 20 %，碘生體可用率 92 %，計算所得之建議量為 140 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。現代人的生活趨向靜態，熱量消耗有降低的趨勢，然而健康之生活型態應鼓勵活動，因此 19 歲以上各年齡層之建議攝取量訂為 140 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，不隨著熱量降低，足以彌補尿液流失，並且保障活動量高者之需求。

懷孕與哺乳

懷孕期之需求為母親與胎兒需求之總和。足月嬰兒碘保留量為 6.7 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{d}$ ，胎兒發育需碘 22 $\mu\text{g}/\text{d}$ ⁽¹⁵⁾，新生兒之甲狀腺含碘量 50–100 μg ，相當於胎兒每天獲碘量 75 $\mu\text{g}/\text{d}$ ^(15, 25)。婦女無論懷孕與否，碘攝取量 160 $\mu\text{g}/\text{d}$ 足以

維持平衡⁽²⁶⁾。根據孕婦碘補充實驗，碘攝取量 200–280 μg 可以預防甲狀腺體積增大^(27, 28)，但是 150 $\mu\text{g}/\text{d}$ 則不足⁽²⁴⁾。未懷孕婦女之碘平均需要量為 95 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，加上胎兒之需要，合計約為 120–170 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，平均 145 $\mu\text{g}/\text{d}$ ；採用 CV 15%，建議量訂為 200 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。

哺乳期之需求為母親個人需要量加上乳汁之碘量。乳汁碘平均濃度為 146 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，泌乳量 780 mL/d，泌乳耗碘量為 114 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。因此哺乳期之碘平均需要量為 209 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，採用 CV 10%，建議量訂為 250 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。

各年齡層參考攝取量之訂定方法和參考數值綜合整理於表二。

國人碘營養狀況

臺灣光復初期，甲狀腺腫是地方性流行病，政府於民國五十五年開始施行食鹽加碘強化措施，在食鹽中加入碘酸鉀使每公克食鹽提供 20 μg 碘，供給全民食用，達到防治碘缺乏之目的^(3, 23)。目前關乎國人之碘食物來源、攝取量與營養評估等相關資料相當欠缺。針對衛生署「2000-2002 國民營養健康狀況變遷調查」收集之學童尿液檢體，進行尿液碘濃度的檢定，結果顯示全國學童的尿碘中位數為 123 $\mu\text{g}/\text{L}$ ；依據 WHO 標準，國人之碘營養暫可評定在正常範圍（包括男性、女性和各地區層）⁽⁵⁾。然而尿碘濃度有隨年齡增長而降低之顯著趨勢，學童中以 6 歲最高，而 12 歲最低。若進一步區分性別與各地區層族裔之資料，則可見隱藏性的不足問題。女性 11 歲開始，尿碘濃度落入不足的邊緣，男性則無此現象。地區方面以

澎湖最高，山地與客家則落入不足的邊緣。衛生署「2004–2008 國民營養健康狀況變遷調查之碘營養狀況評估計畫」分析尿碘濃度結果，19 歲以上成人尿碘濃度中位數為 99.6 $\mu\text{g/L}$ ；其中男性為 102.5 $\mu\text{g/L}$ ，女性為 97.7 $\mu\text{g/L}$ ，表示男性碘營養充足，女性則可能有輕微不足之風險，但不至於引發甲狀腺腫大症狀⁽⁶⁾。尿碘濃度隨著年齡增長而降低，65 歲以上之中位數為男性 99.3 $\mu\text{g/L}$ 與女性 77.4 $\mu\text{g/L}$ ，老年女性碘營養狀況明顯低落。依地區分層時，南部與澎湖之成人尿碘中位數可達 116 與 140 $\mu\text{g/L}$ ，代表碘營養充足，然而北一層、北二層、中部、東部、山地、客家等地區都是輕微不足。生育年齡女性碘若不充足，會增加孕期碘營養不良的風險，對嬰兒腦部發育不利。由於碘營養是嬰幼兒腦部發育之關鍵，影響智力，因此國家必須重視碘營養不足與不平等的問題。

過量危害與毒性

碘過量引發的危害症狀包括：甲狀腺炎、甲狀腺腫、甲狀腺機能不足或亢進、甲狀腺乳頭癌、過敏反應等等。急性中毒通常發生在碘攝取量數公克以上。碘攝取過量時，甲狀腺機能反而受損，初期反應是血液甲狀腺刺激素濃度高於正常⁽³⁰⁾，攝取量高達 750 $\mu\text{g/d}$ 時，TSH 濃度明顯上升⁽³¹⁾。由於 TSH 濃度升高反映甲狀腺機能有不足的危險，因此在碘攝取充足條件下，以血漿 TSH 濃度升高作為碘過量危害之指標，缺碘導致的 TSH 上升則不列入考慮。

根據人體臨床研究結果，成人給予碘補充劑量達

1500 $\mu\text{g}/\text{d}$ 時都有血漿 TSH 明顯上升之現象^(32, 33)，加上飲食攝取量約 200–300 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，引發危害的碘總攝取量約 1700–1800 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。因此美國訂碘之最低危害量為 1700 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，不確定因子 UF 採用 1.5，上限攝取量為 1100 μg ⁽¹³⁾。國人體重標準較美國為低，因此依比例 84 % 校正，成人最低危害量訂為 1500 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，上限攝取量為 1000 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。1 歲以上各年齡層，根據成人 64 kg 體重上限攝取量 1000 $\mu\text{g}/\text{d}$ ，依照體重比例估計，上限攝取量訂為每天 1–3 歲 200 μg ，4–6 歲 300 μg ，7–9 歲 400 μg ，10–12 歲 600 μg ，13–15 歲 800 μg ，16–18 歲以及成年之後均為 1000 μg 。懷孕期和哺乳期因為對碘耐受力並不改變，也以 1000 $\mu\text{g}/\text{d}$ 為上限攝取量。至於 0–12 個月嬰兒則不訂定上限攝取量，因為其碘來源應限於母乳、嬰兒配方與日用食物⁽¹⁾。

參考文獻

1. WHO/UNICEF/ICCIDD. Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination — A guide for programme managers. 3rd ed.. WHO Press, Geneva, Switzerland. 2007.
2. Bleichrodt N, Born MA. A meta-analysis of research on iodine and its relationship to cognitive development. In: Stanbury J, ed. The damaged brain of iodine deficiency: cognitive, behavioral, neuromotor, and educative aspects. New York, Cognizant Communication Corporation, 1994:195-200.
3. 衛生署。臺灣地區公共衛生發展史，第三目：甲狀腺腫。臺北，2002。
4. 衛生署。國人膳食營養素參考攝取量及其說明，第六版。臺北，2003：407-21。

5. 鄧錦泉。「國民碘營養狀況評估計畫-89~91 年國民營養調查檢體」委託辦理計畫。行政院衛生署 99-100 年度委託科技研究計畫。衛生署，2011。
6. 鄧錦泉。93-97 年度國民營養健康狀況變遷調查之碘營養狀況評估計畫。行政院衛生署九十九年度委託科技研究計畫。衛生署，2010。
7. Underwood EJ . Trace Elements in Human and Animal Nutrition. 4th ed. New York : Academic Press, 1977:271-301.
8. 衛生署。食品添加物使用範圍及限量暨規格標準。臺北，2011。
9. Freake HC. Chapter 33 Iodine. In: In: Stipanuk MH ed. Biochemical and Physiological Aspects of Human Nutrition. W. B. Saunders Co. 2000:761-81.
10. Freake HC, Oppenheimer JH . Thermogenesis and the thyroid function. Ann Rev Nutr. 1995;15:263-91.
11. Stanbury JB, Dunn JT. Chapter 32 Iodine and the iodine deficiency disorders. In: Bowman BA and Russell RM eds. Present Knowledge in Nutrition. 8th ed. Washington D. C.: ILSI Press, 2001:311-28.
12. Nath SK, Moinier B, Thuillier F, Rongier M, Desjeux JF . Urinary excretion of iodide and fluoride from supplemented food grade salt. Int J Vitam Nutr Res. 1992;62:66-72.
13. IOM (Institute of Medicine). Dietary Reference Intakes of Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington D. C.: National Academy Press, 2001.
14. NRC (National Research Council). Iodine Nutriture in the United States. Summary of a Conference, October 31, 1970. Report of the Committee on Food Protection, Food and Nutrition Board. National Academy of Sciences. Washington D. C.
15. Delange F, Bourdoux P, Vo Thi LD, Ermans AM,

- Senterre J. Negative iodine balance in preterm infants. *Ann Endocrinol.* 1984; 45:77.
16. Ingenbleek Y, Malvaux P. Iodine balance studies in protein-calorie malnutrition. *Arch Dis Child.* 1974; 49:305-9.
 17. Malvaux P, Beckers C, de Visscher M. Iodine balance studies in nongoitrous children and in adolescents on low iodine intake. *J Clin Endocrinol Metab.* 1969;29:79-84.
 18. Vought RL, London WT. Iodine intake, excretion and thyroidal accumulation in healthy subjects. *J Clin Endocrinol Metab.* 1967; 27:913-9.
 19. Harrison MT. Iodine balance in man. *Postgrad Med.* 1968;44:69-71.
 20. Fisher DA, Oddie TH. Thyroid iodine content and turnover in euthyroid subjects: Validity of estimation of thyroid iodine accumulation from short-term clearance studies. *J Clin Endocrinol Metab.* 1969a;29:721-7.
 21. COMA (Committee on Medical Aspects of Food Policy). *Dietary Reference Values for Food Energy and Nutrients for the United Kingdom.* London: HMSO, 1991.
 22. 衛生署。每日營養素建議攝取量及其說明，第四修訂版。臺北，1987：77-80。
 23. 衛生署。每日營養素建議攝取量及其說明，第五修訂版。臺北，1993：131-4。
 24. Fisher DA, Oddie TH. Thyroidal radioiodine clearance and thyroid iodine accumulation: Contrast between random daily variation and population data. *J Clin Endocrinol Metab.* 1969a;29:111-5.
 25. Delange F, Ermans AM. Iodine deficiency. In: Braverman LE, Utiger RD, eds. *Werner and Ingbar's the Thyroid: A Fundamental and Clinical Text*, 6th ed.. Philadelphia: JD Lipponcott, 1991.
 26. Dworkin HJ, Jacquez JA, Beierwalters WH. Relationship of iodine ingestion to iodine excretion in pregnancy. *J Clin Endocrinol Metab.* 1966;26:1329-42.

27. Romano R, Jannini EA, Pepe M, Grimaldi A, Olivieri M, Spennati P, Cappa F, D'Armiento M. The effects of iodoprophylaxis on thyroid size during pregnancy. *Am J Obstet Gynecol.* 1991;164:482-5.
28. Pedersen KM, Lauberg P, Iversen E, Knudsen PR, Gregersen HE, Rasmussen OS, Larsen KR, Eriksen GM, Johannesen PL. Amelioration of some pregnancy-associated variations in thyroid function by iodine supplementation. *J Clin Endocrinol Metab.* 1993;77:1078-83.
29. Glinoeer D. Iodine supplementation during pregnancy: Importance and biochemical assessment. *Exp Clin Endocrinol Diabetes.* 1998;106:S21.
30. Laurberg P, Pedersen KM, Hreidarsson A, Sigfusson N, Iversen E, Knudsen PR. Iodine intake and the pattern of thyroid disorders: A comparative epidemiological study of thyroid abnormalities in the elderly in Iceland and in Jutland, Denmark. *J Clin Endocrinol Metab.* 1998;83:765-9.
31. Chow CC, Phillips DI, Lazarus JH, Parkes AB. Effect of low dose iodide supplementation on thyroid function in potentially susceptible subjects: Are dietary iodide levels in Britain acceptable? *Clin Endocrinol.* 1991;34:413-6.
32. Gardner DF, Centor RM, Utiger RD. Effects of low dose oral iodide supplementation on thyroid function in normal men. *Clin Endocrinol.* 1988;28:283-8.
33. Paul T, Meyers B, Witorsch RJ, Pino S, Chipkin S, Ingbar SH, Braverman LE. The effect of small increases in dietary iodine on thyroid function in euthyroid subjects. *Metabolism.* 1988;37:121-4.

表一、WHO 學童尿碘濃度中位數與碘營養狀況分級⁽¹⁾

營養狀況	尿碘濃度 (nmol/L)	尿碘濃度 (μ g/L)
嚴重缺乏 (severe deficiency)	< 160	<20
中度缺乏 (moderate deficiency)	160–390	20–49
輕微缺乏 (mild deficiency)	391–780	50–99
正常 (optimal)	781–1580	100–200
高量 (more than adequate)	1581–2360	200–300
過量 (excess)	> 2360	> 300

表二、國人碘參考攝取量之訂定方法與標準值依據

年齡	平衡實驗 (計算值)	預防 甲狀腺腫 ^a 1 µg/kg/d	熱量 標準 ^b 5 µg/kcal	尿碘 標準 ^c 100 µg/L	AI 或 RDA µg/d
0-6 月	(1) 7.3 µg/kg/d (EAR 估計值 44，計入 CV 與吸收率之攝取量為 67) (2) 母乳供碘量 114 µg/d (3) 美國 AI = 110				110
7-12 月	(1) 7.3 µg/kg/d (EAR 估計值 55-67，計入 CV 與吸收率之攝取 量最高為 100) (2) 母乳供碘量 136- 143 (3) 美國 AI = 130				130
1-3 歲	63.5 (1.5-2.5 歲)	13	67.5		65
4-6 歲	--	20	90		90
7-9 歲	65 (8 歲)	28	105		100
10-12 歲	--	38、39	103-118	89-92	110
13-15 歲	57 (9-13 歲)	55、49	120-140	115-129	120
16-18 歲	57 (14-16 歲)	62、51	125-145	120-146	130
19-30 歲	(1) 成人碘必需流失量 57	64、52	108-120	122-150	140
31-50 歲	(2) 甲狀腺獲碘量 91.2-96.5	64、54	105-120	127-150	140
51-70 歲	(3) 美國成人 EAR 為 95	60、52	98-113	122-141	140
71 歲-		58、50	95-108	117-136	140
懷孕期	(1) 足月嬰兒碘保留量為 6.7 µg/kg/d (2) 胎兒發育需碘 22 µg/d (3) 胎兒成長每天獲碘量 75 µg/d (4) 美國成人 EAR 為 95 (5) 因子加算法，成人需要量 + 胎兒需碘量				200
哺乳期	(1) 美國成人 EAR 為 95 (2) 乳汁含碘量 114 (3) 因子加算法，成人需要量 + 乳汁含碘量				250

^a10 歲開始體重分男、女性別。

^b1-9 歲採用適度活動之熱量值，10 歲開始以男性稍低和適度活動之熱量值為計算基準。

^c尿碘濃度 100 µg/L 可滿足 98% 人群之需要，尿液體積中位數為採用 0.9 mL/hr/kg，依兩性之平均體重計算，碘生體可用率 92%。