

化學情境試題：阿斯巴甜--人工甜味劑

提供者：[國科會高瞻計畫中學教學資源平台](#)

化學情境試題：阿斯巴甜—人工甜味劑 (Aspartame - Artificial Sweetener) [I]

雲林縣立斗南高級中學化學科王怡惠老師
國立彰化師範大學化學系楊水平副教授責任編輯

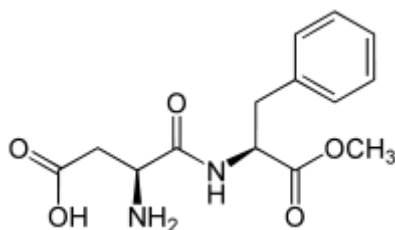
在回答問題之前，首先請你閱讀與本試題有關的情境描述，以增加你對本試題背景知識的瞭解；然後思考問題解決的策略，並且寫下你的答案；最後用我們提供的參考答案檢查你的答案是否正確。

情境描述

人工甜味劑 (Artificial sweetener)，也稱作人工甘味劑、人工甘味料、人造甜味劑、人造甘味劑、人造甘味料，泛指食品賦予甜味的添加劑。代糖 (Sugar substitute) 是低熱量的人造甜味劑，常添加到需要減少熱量的食物或飲料中。現今大多以「代糖」兩字來泛指人工甜味劑。

愛吃甜食又怕胖是許多人的煩惱，因此市面上出現一些「代糖」食品，這些食品的特點是不加糖（如：白糖、砂糖、蔗糖、葡萄糖等），而以代糖代替，使食品同樣有甜味。再者，因為它們具有不影響血糖的特性，適合糖尿病者酌量食用，提升糖尿病友的生活品質。添加代糖的食品，包裝上通常標示「無糖」(sugarless、sugar free 或 no sugar added 等)，讓消費者可享受美食又能甜得很健康。常見的一種代糖為阿斯巴甜 (aspartame)。

阿斯巴甜的化學式為 $C_{14}H_{18}N_2O_5$ ，其結構式如圖一所示，它是由天門冬胺酸 (L-aspartic acid) 和經過甲醇酯化的苯丙胺酸 (L-phenylalanine) 組成的雙胜肽 (dipeptide)，是最常用的人工甜味劑。



圖一 阿斯巴甜的結構式

圖片來源：Aspartame, <http://en.wikipedia.org/wiki/Aspartame>

阿斯巴甜為美國的化學家—謝拉特 (James M. Schlatter) 於 1965 年發現。謝拉特是瑟爾藥廠 (G.D. Searle & Company) 的研究員，他在實驗室做一個加熱反應實驗，不小心把一些溶液

潑到瓶外，剛好有一張紙掉到地上，因此先用口水舔一下手指再彎腰去撿，但發現手指有甜味。謝拉特注意到他的手指曾經沾到那溶液，推測反應的產物具有甜味。進一步地嘗試，果然不出所料。他將阿斯巴甜的商品名命名為 NutraSweet。市面上常看到「Equal」，便是含阿斯巴甜的代糖包，可視需要添加於糖果或飲料中。

1.0 克のア斯巴甜約含有 4.1 千卡的熱量，但它的甜味約為同重量蔗糖的 200 倍。由於使人感到甜味所需的阿斯巴甜量非常少，以致於可忽略其所含的熱量，因此被廣泛地作為蔗糖的替代品，一罐 355 mL 低熱量蘇打汽水約含 180 毫克のア斯巴甜（即 180 mg/355 mL）。目前廣泛使用於糖果或低熱量飲料中，例如可口可樂公司的健怡可樂（Diet Coke），如圖二所示。



圖二 健怡可樂（Diet Coke）含阿斯巴甜

圖片來源：Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Diet_Coke

由於阿斯巴甜含有苯丙胺酸，因此不適合苯丙酮尿症的患者使用，否則可能會造成智能不足。目前世界上有九十多個家准許使用阿斯巴甜。美國 FDA 允許每日攝取量為每公斤體重 50 毫克，歐洲則每公斤體重 20 毫克。

情境試題

- 根據「情境描述」，回答下面的問題。
 - 計算阿斯巴甜的莫耳質量（分子量）。
 - C、H、N 和 O 原子在阿斯巴甜分子中的質量百分比分別為多少？（原子量：C = 12.01 g/mol，H = 1.008 g/mol，N = 14.01 g/mol，O = 16.00 g/mol）
- 根據「情境描述」，回答下面的問題。

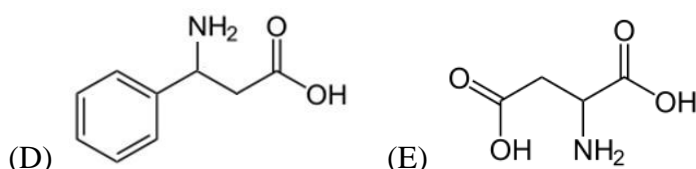
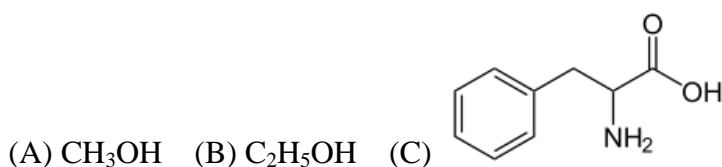
- (1) 在一罐 355 mL 低熱量蘇打汽水中，含有多少莫耳的阿斯巴甜？
- (2) 此罐汽水中含有阿斯巴甜的體積莫耳濃度為多少？
- (3) 含有阿斯巴甜的重量百分比為多少？（已知此罐汽水的密度為 1.00 g/mL）

3. 根據「情境描述」，回答下面的問題。

- (1) 一罐 355 mL 低熱量飲料汽水中的阿斯巴甜可提供多少千卡的熱量？
- (2) 此罐低熱量飲料中的阿斯巴甜之甜味相當於多少克的蔗糖？

4. 有關合成阿斯巴甜的過程，根據「情境描述」，回答下面的問題。

- (1) 在合成阿斯巴甜的過程中，需要下列哪些反應物來製備？（複選題）



- (2) 此合成牽涉到下面哪幾種反應？（複選題）

(A) 加成反應 (B) 縮合反應 (C) 分解反應 (D) 皂化反應 (E) 酯化反應

5. 根據「情境描述」的結構式，阿斯巴甜分子內具有哪些種類的官能基？先畫出阿斯巴甜的結構式，然後框住各官能基位置並寫出其名稱。

6. 根據「情境描述」，回答下面的問題。

- (1) 畫出完整的阿斯巴甜的結構式（包括 H 原子），標示此分子中所有碳原子的混成軌域。（以 sp ， sp^2 和 sp^3 分別代表 sp ， sp^2 和 sp^3 混成軌域）
- (2) 以圖示方式指出阿斯巴甜分子中的 π 鍵之處。

參考資料（以下網頁擷取日期：2010 年 4 月）

1. 阿斯巴甜，維基百科，<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/阿斯巴甜>。
2. Aspartame, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Aspartame>.
3. Aspartame controversy, http://en.wikipedia.org/wiki/Aspartame_controversy.
4. 人造甜劑，http://163.32.78.8/1/readarticle.php?article_id=42。
5. 甜味劑，維基百科，<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/甜味劑>。
6. Sugar substitute, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Sugar_substitute.
7. Diet Coke, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Diet_Coke.

化學情境試題：阿斯巴甜—人工甜味劑 (Aspartame - Artificial Sweetener) [II]

雲林縣立斗南高級中學化學科王怡惠老師

國立彰化師範大學化學系楊水平副教授責任編輯

在回答問題之前，首先請你閱讀與本試題有關的情境描述，以增加你對本試題背景知識的瞭解；然後思考問題解決的策略，並且寫下你的答案；最後用我們提供的參考答案檢查你的答案是否正確。

解題策略

1. 根據「情境描述」，回答下面的問題。

- (1) 計算阿斯巴甜的莫耳質量 (分子量)。
- (2) C、H、N 和 O 原子在阿斯巴甜分子中的質量百分比分別為多少？ (原子量：C = 12.01 g/mol，H = 1.008 g/mol，N = 14.01 g/mol，O = 16.00 g/mol)

- (1) 計算阿斯巴甜的莫耳質量 (分子量)。

Step 1: 計算一分子中各原子的數目。

Step 2: 利用各原子的數目乘以原子量之總和，求得莫耳質量 (分子量)。

- (2) C、H、N 和 O 原子在阿斯巴甜分子中的質量百分比分別為多少？ (原子量：C = 12.01 g/mol，H = 1.008 g/mol，N = 14.01 g/mol，O = 16.00 g/mol)

Step 1: 利用各原子之質量百分比的定義求之。

$$\text{各原子的質量百分比} = \frac{\text{1分子中含該原子數} \times \text{該原子量}}{\text{該原子量}} \times 100\%$$

2. 根據「情境描述」，回答下面的問題。

- (1) 在一罐 355 mL 低熱量蘇打汽水中含有多少莫耳的阿斯巴甜？
- (2) 此罐汽水中含有阿斯巴甜的體積莫耳濃度為多少？
- (3) 含有阿斯巴甜的重量百分比為多少？ (已知此罐汽水的密度為 1.00 g/mL)

- (1) 含有多少莫耳的阿斯巴甜？

Step 1: 根據「情境描述」，得知一罐低熱量蘇打汽水約含阿斯巴甜之重量。

Step 2: 利用阿斯巴甜的質量除以莫耳質量，求得阿斯巴甜的莫耳數。

- (2) 含有阿斯巴甜的體積莫耳濃度為多少？

Step 1: 利用溶質莫耳數和溶液體積，求得阿斯巴甜的濃度。

$$\text{體積莫耳濃度} = \frac{\text{溶質莫耳數}}{\text{溶液體積}}$$

(3) 含有阿斯巴甜的重量百分比為多少？

Step 1: 利用重量百分比的定義求之。

$$\text{重量百分比} = \frac{\text{該物質重量}}{\text{溶液總重量}} \times 100\%$$

3. 根據「情境描述」，回答下面的問題。

- (1) 一罐 355 mL 低熱量飲料汽水中的阿斯巴甜可提供多少千卡的熱量？
- (2) 此罐低熱量飲料中的阿斯巴甜之甜味相當於多少克的蔗糖？

(1) 阿斯巴甜可提供多少千卡的能量？

Step 1: 根據「情境描述」，得知阿斯巴甜含有的熱量。

Step 2: 利用質量乘以每克可提供的熱量，計算阿斯巴甜含有的熱量。

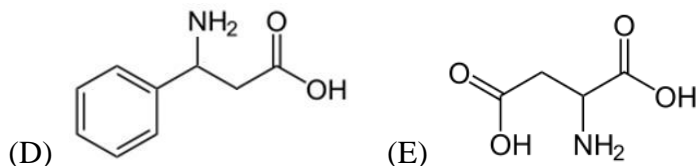
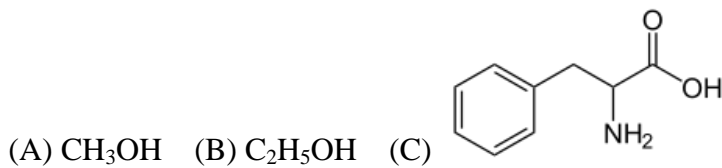
(2) 阿斯巴甜之甜味相當於多少克的蔗糖？

Step 1: 根據「情境描述」，得知阿斯巴甜的甜味約為同重量蔗糖的倍數。

Step 2: 利用阿斯巴甜的質量乘以甜味倍數，計算蔗糖的質量。

4. 有關合成阿斯巴甜的過程，根據「情境描述」，回答下面的問題。

(1) 在合成阿斯巴甜的過程中，需要下列哪些反應物來製備？（複選題）



(2) 此合成牽涉到下面哪幾種反應？（複選題）

(A) 加成反應 (B) 縮合反應 (C) 分解反應 (D) 皂化反應 (E) 酯化反應

(1) 需要下列哪些反應物來製備？（複選題）

Step 1: 根據「情境描述」的文字，得知阿斯巴甜分子的組成胺基酸及其反應。

Step 2: 根據「情境描述」的結構式，得知觀察阿斯巴甜分子的組成結構含有哪些分子。

Step 3: 觀察選項中有哪些分子，找出選項中的各分子與阿斯巴甜分子中的各分子最配對者。

(2) 此合成牽涉到下面哪幾種反應？（複選題）

Step 1: 瞭解各種有機反應類型的定義。

Step 2: 根據「情境描述」的文字，判斷合成阿斯巴甜涉及的反應。

Step 3: 根據「情境描述」的結構式，找出阿斯巴甜分子中的特殊鍵結，判定其合成涉及的反應。

5. 根據「情境描述」的結構式，阿斯巴甜分子內具有哪些種類的官能基？先畫出阿斯巴甜的結構式，然後框住各官能基位置並寫出其名稱。

Step 1: 瞭解各種常見的官能基之原子連結情形。

Step 2: 根據「情境描述」的結構式，判定阿斯巴甜分子中的官能基種類。

Step 3: 先畫出阿斯巴甜的結構式，然後框住各官能基位置並寫出其名稱。

6. 根據「情境描述」，回答下面的問題。

(1) 畫出完整的阿斯巴甜的結構式（包括 H 原子），標示此分子中所有碳原子的混成軌域。（以 sp ， sp^2 和 sp^3 分別代表 sp ， sp^2 和 sp^3 混成軌域）

(2) 以圖示方式指出阿斯巴甜分子中的 π 鍵之處。

(1) 畫出完整的阿斯巴甜的結構式，標示所有碳原子的混成軌域。

Step 1: 瞭解有機分子中各種原子的鍵數，畫出完整的阿斯巴甜的結構式。

Step 2: 瞭解碳原子的鍵結有三種混成軌域之一： sp^3 、 sp^2 、 sp ，並且知道各混成軌域與碳原子連接原子數目的關係。

Step 3: 根據碳與其他原子的鍵結情形，判定碳原子混成軌域的形式。

(2) 指出此分子中的 π 鍵之處。

Step 1: 瞭解單鍵、雙鍵與叁鍵的共價鍵結形式。

Step 2: 找出阿斯巴甜分子中的 π 鍵之處。

化學情境試題：阿斯巴甜—人工甜味劑 (Aspartame - Artificial Sweetener) [III]

雲林縣立斗南高級中學化學科王怡惠老師

國立彰化師範大學化學系楊水平副教授責任編輯

在回答問題之前，首先請你閱讀與本試題有關的情境描述，以增加你對本試題背景知識的瞭解；然後思考問題解決的策略，並且寫下你的答案；最後用我們提供的參考答案檢查你的答案是否正確。

參考答案

1. 答案：(1) 阿斯巴甜的莫耳質量 (分子量) 為 294.31 g/mol；(2) C、H、N 和 O 原子在阿斯巴甜分子中的質量百分比分別為 57.14%、6.16%、9.52% 和 27.18%。

- (1) 計算阿斯巴甜的莫耳質量 (分子量)。

Step 1: 一分子的阿斯巴甜含有 14 個碳原子、18 個氫原子、2 個氮原子及 5 個氧原子。

Step 2: 阿斯巴甜的莫耳質量 (分子量) = $12.01 \text{ g/mol} \times 14 + 1.008 \text{ g/mol} \times 18 + 14.01 \text{ g/mol} \times 2 + 16.00 \text{ g/mol} \times 2 = 294.31 \text{ g/mol}$

- (2) C、H、N 和 O 原子在阿斯巴甜分子中的質量百分比分別為多少？

Step 1: 阿斯巴甜中 C 原子的質量百分比 = $\frac{14 \times 12.01 \text{ g/mol}}{294.31 \text{ g/mol}} \times 100\% = 57.14\%$

H 原子的質量百分比 = $\frac{18 \times 1.008 \text{ g/mol}}{294.31 \text{ g/mol}} \times 100\% = 6.165\%$

N 原子的質量百分比 = $\frac{2 \times 14.01 \text{ g/mol}}{294.31 \text{ g/mol}} \times 100\% = 9.521\%$

O 原子的質量百分比 = $\frac{5 \times 16.00 \text{ g/mol}}{294.31 \text{ g/mol}} \times 100\% = 27.18\%$

2. 答案：(1) 阿斯巴甜的莫耳數為 $6.12 \times 10^{-4} \text{ mol}$ ；(2) 濃度為 $1.72 \times 10^{-3} \text{ M}$ ；(3) 重量百分比為 0.051%。

- (1) 含有多少莫耳的阿斯巴甜？

Step 1: 已知在一罐 355 mL 低熱量蘇打汽水中含 180 毫克阿斯巴甜。

Step 2: 阿斯巴甜的莫耳數 = $\frac{180 \text{ mg} \times 10^{-3} \text{ g/mg}}{294.31 \text{ g/mol}} = 6.1 \times 10^{-4} \text{ mol}$

(2) 此罐汽水中含有阿斯巴甜的體積莫耳濃度為多少？

$$\text{Step 1: } C_M = \frac{6.1 \times 10^4 \text{ mol}}{355 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ L/mL}} / \text{L} = 1.7 \times 10^{-3} \text{ mol/L} = 1.7 \times 10^{-3} \text{ M}$$

(3) 含有阿斯巴甜的重量百分比為多少？（已知此罐汽水的密度為 1.00 g/mL）

$$\text{Step 1: 重量百分比} = \frac{180 \text{ mg} \times 10^{-3} \text{ g/mg}}{355 \text{ mL} \times 1.00 \text{ g/mL}} \times 100\% = 0.051\%$$

3. 答案：(1) 提供 0.72 千卡的能量；(2) 相當於 40 克的蔗糖。

(1) 阿斯巴甜可提供多少千卡的能量？

Step 1: 1.0 克阿斯巴甜有 4.1 千卡的熱量。

Step 2: 一罐低熱量蘇打汽水的阿斯巴甜可提供的能量

$$= 180 \text{ mg} \times 10^{-3} \text{ g/mg} \times \frac{4.1 \text{ 千卡}}{1.0 \text{ g}} = 0.72 \text{ 千卡}。$$

（一罐 355 mL 低熱量飲料汽水提供很少的能量）

(2) 阿斯巴甜之甜味相當於多少克的蔗糖？

Step 1: 1.0 克阿斯巴甜的甜味相當於 200 克蔗糖。

Step 2: 阿斯巴甜的質量 = $180 \text{ mg} \times 10^{-3} \text{ g/mg} = 0.180 \text{ g}$ 。

由於阿斯巴甜的甜味相當於蔗糖的 200 倍，

因此相當於相同甜味的蔗糖質量 = $0.180 \text{ g} \times 200 = 40 \text{ g}$ 。

（一罐 355 mL 一般飲料汽水需要提供很多的蔗糖）

4. 答案：(1) 正確選項為(A)、(C)和(E)；(2) 正確選項為(B)和(E)。

(1) 需要下列哪些反應物來製備？（複選題）

Step 1: 在「情境描述」中得知，阿斯巴甜是由天門冬胺酸和經過甲醇酯化的苯丙胺酸組成的雙胜肽，涉及甲醇酯化反應和胜肽鍵形成。

Step 2: 在「情境描述」中得知，阿斯巴甜分子的結構式含有兩個胺基酸和一個甲醇。

Step 3: 比對結果，最配對者為選項中的(A)、(C)和(E)之三分子。

(2) 此合成牽涉到下面哪幾種反應？（複選題）

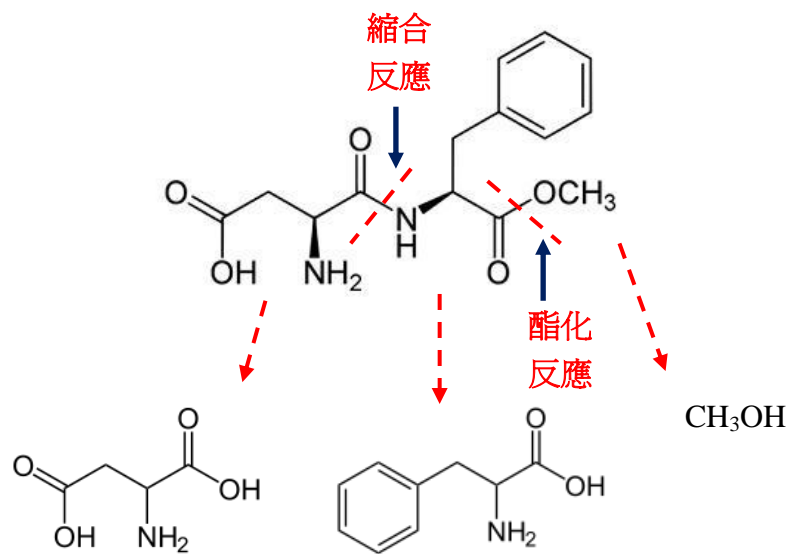
Step 1: 各種有機反應類型的定義如下所示：

- 加成反應：它發生在有雙鍵或參鍵的物質中。加成反應進行後，雙鍵或參鍵打開，原來雙鍵或參鍵兩端的原子各連接上一個新的基團。
- 縮合反應：指兩個化合物分子間結合時同時脫去小分子物質的反應，其中的小分子通常是水、氯化氫、甲醇或乙酸。
- 分解反應：一化合物在特定條件下分解成兩種或兩種以上元素或化合物的反應。
- 皂化反應：指鹼催化下的酯類被水解，而產生醇類和羧酸鹽。
- 酯化反應：一般是指醇類和有機酸作用而生成酯類和水的反應。

Step 2: 根據「情境描述」的文字，阿斯巴甜的合成：由天門冬胺酸和經過甲醇酯化的苯丙胺酸組成的雙胜肽。

因此判斷其合成包含甲醇的醇基（ $-\text{OH}$ ）與苯丙胺酸的羧基（ $-\text{COOH}$ ）進行酯化反應，以及一個胺基酸的胺基（ $-\text{NH}_2$ ）與另一個胺基酸的羧基（ $-\text{COOH}$ ）進行縮合反應（或脫水反應）。

Step 3: 根據「情境描述」的結構式，找出阿斯巴甜分子中的特殊鍵結，判定其合成涉及的反應，如下圖所示：

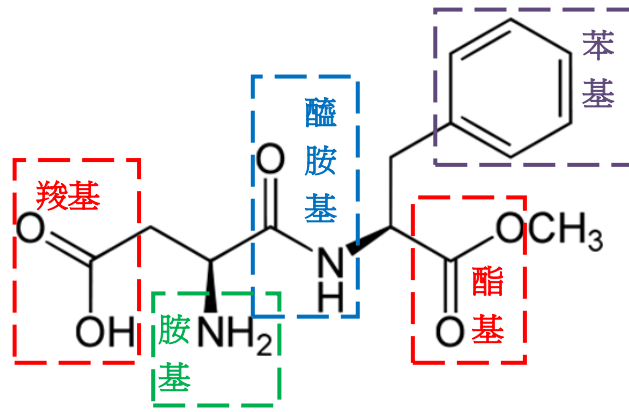


5. 答案：官能基有羧基、胺基、醯胺基、酯基及羧基；如 Step 3 的圖示。

Step 1: 各種常見的官能基之原子連結情形如下：醇基為 $-\text{OH}$ ，胺基為 $-\text{NH}_2$ ，醯胺基為 $-\text{CONH}-$ ，酯基為 $-\text{COO}-$ ，羧基為 $-\text{COOH}$ ，苯基為 $-\text{C}_6\text{H}_5$ 。

Step 2: 根據「情境描述」的結構式，阿斯巴甜分子中的官能基有羧基、胺基、醯胺基、酯基及羧基。

Step 3: 阿斯巴甜分子各官能基及其名稱，如下圖所示：



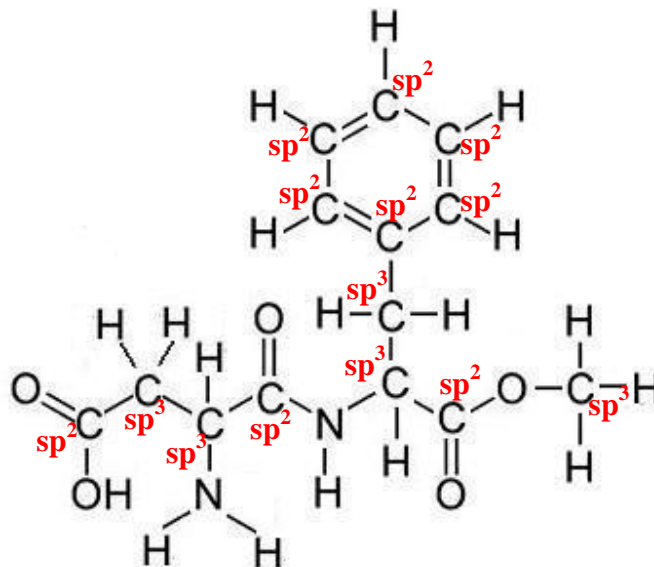
6. 答案：(1) 阿斯巴甜的完整結構式及所有碳原子的混成軌域如 Step 1 的圖所示；(2) π 鍵之處，如 Step 2 的圖內箭頭處所示。

(1) 畫出完整的阿斯巴甜的結構式，標示所有碳原子的混成軌域。

Step 1: 有機分子中各種原子的鍵數如下表所示：

原子	C	H	O	N
鍵數	4	1	2	3

依鍵數畫出完整的阿斯巴甜的結構式如下圖所示：



Step 2: 碳原子連接 4 個原子的混成軌域為 sp^3 。碳原子連接 3 個原子的混成軌域為 sp^2 ；碳原子連接 2 個原子的混成軌域為 sp 。

Step 3: 根據碳與其他原子的鍵結情形，判定碳原子混成軌域的形式，如上圖所示。

(2) 指出此分子中的 π 鍵之處。

Step 1: 單鍵、雙鍵與叁鍵的鍵結形式如下：

- 單鍵：兩個原子間共用一對電子對所形成的共價鍵，此對電子形成一個 σ 鍵。
- 雙鍵：兩個原子間共用二對電子對所形成的共價鍵，其中一對電子形成一個 σ 鍵，另一對電子形成一個 π 鍵。
- 叁鍵：兩個原子間共用三對電子對所形成的共價鍵，其中一對電子形成一個 σ 鍵，另二對電子形成二個 π 鍵。

Step 2: 雙鍵處或叁鍵處內含 π 鍵，如下圖箭頭處所示：

