

屏東縣第 63 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：化學科

組 別：國小組

作品名稱：急凍冷吱吱—爆冰包降溫效果之研究

關 鍵 詞：爆冰包、尿素

編號：A3013

急凍冷吱吱—爆冰包降溫效果之研究

摘要：

本研究調查市售冷敷包、保冷劑等常見的市售產品的內容物成份，及比較其冷敷降溫的效果，發現市售的**速效型冷敷包**在不須冷藏下具有**快速降溫、持續低溫等優點**。比較其它品牌的冷敷包，探討外部、拆封後內部的降溫表現，找出降溫效果佳，且達最低溫的市售冷敷包。在**不同溶液配製方式**下的降溫效果，發現**尿素不同的濃度、重量與環境溫度**等條件會影響冷敷包的降溫效果。此外，探討不同鹽類溶質水溶液、冰塊等不同配置的降溫效果，研究結果發現在「**溶質+水**」中濃度50%的尿素水溶液可達溫度最低，降溫率高，維持低溫的時間也長；「**混合溶質+水**」的組合中，尿素、氯化銨與檸檬酸三者混合的水溶液，可達零度以下的低溫，且低溫時間長。另外在不同「**溶質+冰塊**」的組合中，以鹽冰混合後可達最低溫。「**混合溶質+冰塊**」的組合中，氮肥、氯化銨與冰混合達到最低溫。綜合以上研究結果，找出**最佳降溫反應配方**，自製出適用於生活中方便使用的速效保冷的輕便冰包。

壹、前言

一、研究動機

炎炎夏日，爸爸會在保溫背包中裝入結冰的礦泉水、毛巾，成為我們戶外踏青的「行動冰箱」。這是我家夏日外出的最愛裝備，讓我們能隨時有冰涼的水喝、有毛巾可擦拭降溫、能在購買生鮮產品時暫時保冰，還能組成扭傷發炎的消腫包，一舉數得。但是，為了不讓爸爸揹那麼重的大冰塊，是否有體積小、保冷時間長，甚至能瞬間降溫的用品呢？因此展開了「急凍冷吱吱」的調查與實驗。

二、研究目的

搭配便利攜帶的需求，我們調查市售攜帶型保冷劑大致分為3類，包含「速效型冷敷包」、「冷熱兩用型敷包」、「食物保冷劑」，不同產品的使用方式與適用情形，各有不同，但皆強調保冷（維持低於室溫的時間）。因此，我們針對上述3種市售攜帶型保冷劑的成分內容、分析其保冷效果（包含降溫低點與保冷時長）並探討降溫成因；考量快速致冷與便利攜帶的需求，（廠商）選擇「速效型冷敷包」做為探究主體，結合自然課所學「冰塊+鹽」降溫方式，再選擇若干生活常見鹽類溶劑，一起比較，以了解不同溶質的降溫反應；並嘗試配置能快速致冷、便利攜帶且保冷效果佳的保冷用品。綜上，本研究目的有四：

1. 比較市售冷敷包與保冷劑的成份性質。
2. 探究市售速效型冷敷包的降溫特性。
3. 比較不同溶液配製方式的降溫保冷效果。

(1)【冷敷包濃度】尿素：水包

(2)【冷敷包重量】相同濃度的冷敷包，越大包的降溫情形差異

(3)【環境溫度】相同冷敷包，不同環境溫度，降溫速度差異

(4)不同溶質配置

A.【不同濃度-尿素水溶液】降溫反應，找到最佳「尿素+水」濃度配比

B.【不同溶質-水溶液】降溫反應，找到最佳「溶質+水」

C.【不同溶質-飽和水溶液】降溫反應，找到最佳「溶質+冰塊」還是「溶質+水」

4. 自製速效保冷的輕便冰包。

混合不同溶質，比較在冰塊與常溫純水中的降溫反應

三、文獻回顧

(一)歷屆科展作品比較：早期冷敷包內容物以硝酸銨與水為主要成份。全國中小學科展作品中”魔術冰包的傳奇”，及”冰箱帶著走—冰包的研究” 研究著重在對冰包內容質成份的分析、溶劑的特性、硝酸銨和其它物質作用的降溫效果等，並未對產品的降溫效果做調查，且目前新的冰包溶質已改成尿素為主要成份。因此，本研究調查市面上冷敷、保冷的相關產品，檢測內容物成份，實證並比較不同品牌的降溫效果，並以尿素為溶質，探究影響其降溫效果的相關因素。綜合之前的科展研究中常見能吸熱反應的溶質，加入冰塊、混合溶質、混合溶質加冰塊等多種配置方式，研究出可以低溫、保冷性快速效的冰包新配方。(魔術冰包的傳奇，中華民國第 36 屆全國中小科展作品。冰箱帶著走—冰包的研究，中華民國第 39 屆全國中小科展作品。)

(二)實驗原理與材料說明

1. 吸熱與放熱反應

物質因化學反應所產生的熱量變化，稱為反應熱，可分為吸熱反應與放熱反應。熱力學第一定律指出，化學反應的前後能量不會消失也不會獲得，僅會以熱量的形式轉移，這是能量守恆的概念，反應的過程釋放能量者為放熱反應，而吸收能量者為吸熱反應。化學物質中所具有的熱含量稱為焓，焓無法直接進行量測，不過，可以透過量測轉移的熱量推算焓的變化程度。(https://edu.kyst.com.tw/blog/detail/137?page=1&category_id=18)

2. 冷敷包

早期的市售冷敷包內容物有硝酸銨與水，後來改成尿素與水。將包裝袋用力敲打，內部的水袋破裂後，與尿素或硝酸銨混合發生吸熱反應，冷包開始降溫，保冷會持續一段時間。常用於室外活動或炎熱的天氣冷敷或急救時使用。

3. 尿素

尿素 (Urea) 是由碳、氮、氧和氫組成的有機化合物。

尿素溶於水反應式 $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{N}-\text{COONH}_4$ (民106, 極凍新發想保冷方程式)。

4. 檸檬酸

檸檬酸，分子式為 $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ 。屬於三質子弱酸，一般蔬果中都存在的有機弱酸，酸性比一般羧酸稍強一點。檸檬酸水溶液有使溶液增稠的效果，這種現象的溶質稱為增稠劑(民106, 極凍新發想保冷方程式)。

5. 氯化銨

氯化銨 (化學式： NH_4Cl) 無色立方晶體或白色結晶，水溶液呈弱酸性，加熱時酸性增強。水溶解性(水)：37.2 g/100 mL (20 °C)(維基百科，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/氯化銨>)

6. 冷劑

冰加鹽是常用的冷劑，將水與食鹽依不同比例混合後，再測量其凝固點，會發現 23.3% 的食鹽水 (食鹽：水約 3: 10)，凝固點最低，達 $-21.13\text{ }^\circ\text{C}$ 。這時的混合物叫易熔質或固溶體(eutectic mixture)。我們只要照這個比例將冰與食鹽混合，就可以製成冷劑。(陳偉民，民 89。天才小丸子，酷……)。

7. 氮肥

硝酸銨、鈣的混合物。可以提高葉片含氮量，加快新芽生長。

貳、 研究設備及器材

化學藥品：尿素、食用鹽、氯化銨、氮肥、檸檬酸

測量器材：數位型溫度感測器

實驗產品：市售不同類型、品牌冷敷包、保冷劑。

參、 研究過程

(一)分析市售冷敷包與保冷劑的成份性質

1. 測量市售冷敷包與保冷劑的使用溫度—測量產品外包裝的溫度表現

【實驗一】方法：調查各種市售冷敷包與保冷劑，檢視產品包裝並比較的內容物，記錄各種冷敷包或保冷劑的內容物與產品使用方法、適用情形，再使用電子秤測重，並實際使用，記錄反應後的冷度及保冷情形。

2. 測量市售冷敷包與保冷劑的使用溫度比較—拆封測量產品內反應物的表現溫度

【實驗二】方法：取市售冷敷包與保冷劑，依據該產品的使用方法，先將產品 B 與 C 分別冷凍後拆封以溫度探針測量所達最低點溫度與回溫情形。再將產品 A 拆封於袋內擊碎，放入圓桶內，上下搖晃 20 下，於上方開一個小洞，放在 500CC 燒杯中固定，以溫度探針測量內部溶液所達最低點溫度與回溫情形。

(二)探究「速效型冷敷包」的降溫特性。

我們先分析市售「速效型冷敷包」（以下簡稱冷敷包），並且與化工行購買的純尿素加水的反應結果進行比較，以便掌握市售產品的內容物性質、與純質原料的降溫表現差異；後續調整產品使用方式，探究以「尿素加水」的溶解降溫特性。

1. 市售速效型冷敷包的內容物性質：

【實驗三】方法：觀察內容物中的尿素顆粒與化工行購買的純質尿素外觀差異不大(圖 1)，都是透明的小球狀固體顆粒。又依據外包裝說明，水包中的液體是「水」，應該會具有水(H₂O)的物理性質。使用 pH 儀、電導度計(含 TDS)檢測冷敷包水袋液體的性質，包含酸鹼值、水質(電導度、硬度 TDS 值)發現，該液體是鹼性的 pH>7，並且沸點接近 98°C，可見裡面應該不只有水，只是外包裝未寫明是什麼成份(表 3)。

2. 檢測「速效型冷敷包」的溶解吸熱反應

【實驗四】方法：考量冷敷包水袋內的水是鹼性水，其酸鹼度接近地下水，並且未知尿素顆粒溶解於該溶液與溶解於純水的差異，因此將尿素溶解於「冷敷包水袋」、「地下水」、「純水」，進而比較三者降溫差異。

將冷敷包裡的尿素 40 公克，加入其所附的水溶液 35 克後(尿素：水=9:8)，使用攪拌棒攪拌 2 分鐘，使用 pH 儀、電導度計檢測 2 者混合後的水溶液特性。將尿素與地下水、純水混合後，檢測方法同實驗四，並測量溫度的變化。

3. 檢測不同品牌的速效型冷敷包表面溫度對降溫效果的影響

為取得穩定且降溫效果佳的冷敷包，我們比較市售不同品牌的速效型冷敷包的實用效能，使用原材質包裝與內容物測量，以便模擬實際使用的情境、取得結果。

【實驗五】方法：取 3 種不同市售品牌的冷敷包，使用 2 個計時器，1 支數位溫度計，將冷敷包放置桌上用手敲擊後，整包放入爆米花罐上下搖晃 20 下，測量 20 分鐘內的溫度變化。重複 3 次求平均值。

【變因控制】：

- ◆操縱變因：不同品牌的冷敷包
- ◆應變變因：溫度變化
- ◆保持不變：固定上下搖晃高度與溫度計探針擺放位置，計時 20 分鐘、搖晃 20 次。

4. 比較不同使用與配置方式的市售冷敷包降溫情形（速度與溫度）

經由上一個實驗我們發現，溶液總體積有可能影響降溫效果，因此我們嘗試改變使用方法，以探究影響市售冷敷包降溫情形的可能因素。另考量上述實驗中，降溫效果最佳的是 T 牌的冷敷包，因此本階段實驗以 T 牌冷敷包進行。

(1) 比較不同濃度的冷敷包，其降溫速度與溫度差異

【實驗六】方法：

取若干 T 牌冷敷包內尿素與純水配製成 10%、20%、40%、50%、60% 等不同濃度的反應組型，如下表，並分別充分攪拌 1 分鐘，使用數位型溫度探測器，持續測量降溫情形。重複三次實驗，取平均值。

(2) 比較不同重量的冷敷包，其降溫速度與溫度差異

【實驗七】方法：

以下表 6 的方式準備 3 種不同重量 T 牌冷敷包，5 種重量的冷敷包均拆封使用。

先將 5 種不同重量冷敷劑的尿素倒入燒杯中準備，計時開始時倒入對應的水劑，攪拌 1 分鐘，測量降溫情形。重複 3 次取平均值。

【變因控制】：

- ◆操縱變因：不同重量的尿素
- ◆應變變因：溫度變化
- ◆保持不變：尿素來源、計時 10 分鐘、水質純水、濃度 50%。
- ◆重複三次實驗，取平均值。

(3) 比較不同環境溫度的冷敷包，其降溫速度與溫度差異

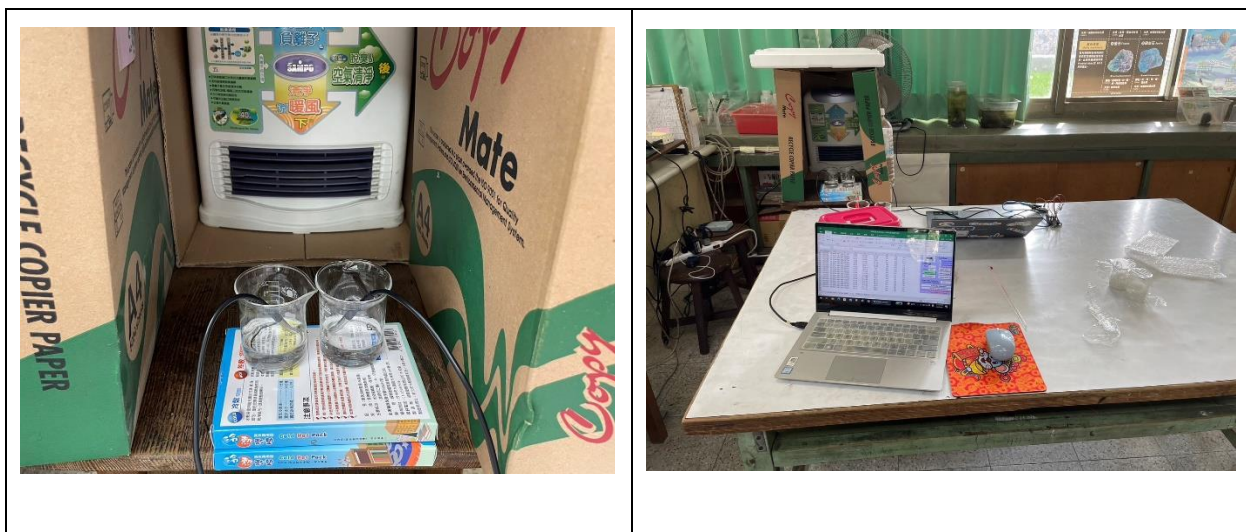
【實驗八】方法：

1. 將溫溼度計放置 10 分鐘，待溫度穩定後(48.6℃)。
2. 取 30 克 T 牌冷敷包尿素，取等重純水 30 克。
3. 將水杯放置到不同的環境溫度：放入冰箱冷藏至 14℃、置於室溫。
4. 放入下圖中的恆溫加熱箱中，開啟暖氣機加熱水溫至 40℃。將對應尿素取同樣重量倒入燒杯中準備，計時開始時倒入對應的不同溫度水劑，並開始測量降溫情形。重複 3 次取平均值。

【變因控制】

- ◆操縱變因：不同環境溫度
- ◆應變變因：溫度變化
- ◆保持不變：尿素來源、尿素濃度 50%、尿素重量 30 克、攪拌 1 分鐘、計時 10 分鐘、水質純水
- ◆重複三次實驗，取平均值。

圖 1 恆溫加熱箱



(三)比較不同溶質配製的降溫保冷效果降溫速度與溫度。

我們曾經在五年級自然課雲雨霧的單元學到「鹽加冰塊」能快速做到系統降溫，而目前的「尿素加水」也是快速降溫的做法，那麼哪一種做法的降溫效果、保冷情形會比較好呢？又是否有其他溶質與溶劑的配製，同樣會有吸熱反應造成系統快速降溫呢？

經過前述實驗，我們大致了解影響冷敷包降溫的變因包含反應溶液體積、溶劑溫度、攪拌均勻達充分反應，因此，在本節中我們整理課本中學過的、生活中常見的電解質反應物（酸鹼鹽類），以各種變因配製不同反應物溶液，觀察吸熱反應。

考量尚不明確得知市售冷敷包的鹼性溶劑內容，因此本節實驗起均以工業級尿素與純水取代市售冷敷包的反應物成分。

【實驗設計】

- 溶質：尿素、鹽、檸檬酸、氮肥、氯化銨
- 溶劑：水、冰
- 變因：不同環境溫度、不同濃度的混合溶液

1. 配製不同濃度的尿素(試驗級)水溶液，觀察水溶液的降溫反應，嘗試取得最低降溫配比。

【實驗九】方法：

- (1) 取試驗級尿素 10 克、26 克、34 克、50 克、75 克與純水溶液 50 克。
- (2) 配製出不同重量百分濃度的尿素溶液。
- (3) 先將水溫探頭放入水杯中，測量起始溫度，再將尿素倒入水杯中後攪拌。每 10 秒記錄溫度變化。重複實驗 3 次。

【變因控制】

- (1) 操縱變因：不同尿素濃度
- (2) 應變變因：溫度變化
- (3) 保持不變：試驗級尿素、測量時間 5 分鐘、以純水為溶劑
重複三次實驗，取平均值。

2. 以不同溶質配製水溶液，觀察水溶液的降溫反應

【實驗十】方法：

- (1) 取不同尿素、鹽、檸檬酸、氮肥、氯化鈣等的溶質，與純水配製出相同濃度的水溶液。
- (2) 記錄 10 分鐘內降溫的反應。

3. 比較不同溶質在冰塊與常溫純水中的降溫反應

【實驗十一】方法：

- (1) 將尿素 50 克，分別加 50 克的水，另一杯與 50 克的碎冰放入 250ml 燒杯中，混合(覆蓋)後，探針放入中間的位置，用數位溫度計測量記錄溫度的變化。
- (2) 將鹽 30 克，分別加 50 克的水，另一杯與 100 克的碎冰放入 250ml 燒杯中，混合(覆蓋)後，探針放入中間的位置，用數位溫度計測量記錄溫度的變化。
- (3) 將檸檬酸 50 克，分別加 50 克的水，另一杯與 100 克的碎冰放入 250ml 燒杯中，混合(覆蓋)後，探針放入中間的位置，用數位溫度計測量記錄溫度的變化。
- (4) 將氮肥 50 克，分別加 50 克的水，另一杯與 100 克的碎冰放入 250ml 燒杯中，混合(覆蓋)後，探針放入中間的位置，用數位溫度計測量記錄溫度的變化。
- (5) 將氯化銨 40 克，分別加 50 克的水，另一杯與 100 克的碎冰放入 250ml 燒杯中，混合(覆蓋)後，探針放入中間的位置，用數位溫度計測量記錄溫度的變化。
- (6) 100 克碎冰的溫度變化。
重複三次實驗，取平均值。

4. 混合不同溶質，比較在冰塊與常溫純水中的降溫反應

【實驗十二】方法：混合溶劑，擇前述【實驗十】降溫最低的前 3 名溶質水溶液做為反應物。

- (1) 尿素 50 克+檸檬酸 50 克+水 100 克
- (2) 尿素 50 克+氯化銨 50 克+水 100 克
- (3) 氯化銨 50 克+檸檬酸 50 克+水 100 克
- (4) 尿素 50 克+檸檬酸 50 克+氯化銨 50 克+水 150 克
重複三次實驗，取平均值。

【實驗十三】方法：混合不同溶質與冰塊混合的降溫反應，擇前述【實驗十一】混合不同溶質與冰塊降溫最低的前 3 名做為反應物的組合如下，先將 2 種鹽類物質混合後加入冰塊中，倒入時覆蓋冰塊，用探針溫度計測量 10 鐘溫度變化。

- (1) 氯化銨+鹽+冰
- (2) 氮肥+鹽+冰
- (3) 氯化銨+氮肥+冰
- (4) 氯化銨+鹽+氮肥+冰
- (5) 冰

重複三次實驗，取平均值。

肆、研究結果

一、分析市售冷敷包與保冷劑的成份性質

【實驗一】測量市售冷敷包與保冷劑的使用溫度—測量產品外包裝的表現溫度

將產品外包裝與試用結果整理如表 1，說明比較結果如下：

- (1) 僅速效型冷敷包無需事先冰存：除了速效型冷敷包（產品 A），其他產品都必須要在使用前先冷藏或冷凍一段時間，才有常溫保冷效果；其中食物保冷劑（產品 C）需事先冰存時間最久，長達至少 8 小時。
- (2) 降溫低點以 C.食物保冷劑最佳：食物保冷劑可降溫達 -19.3°C ，是降溫效果最佳的產品，3 種產品降溫效果由最佳起排序為「產品 C > 產品 B > 產品 A」。
- (3) 保冷效果以 A.速效型冷敷包最佳：A.速效型冷敷包的回溫速度最慢，經 20 分鐘後僅回溫 1.5°C ，3 種產品保冷效果由最佳起排序為「產品 A > 產品 B > 產品 C」。
- (4) 內容物材質僅速效型冷敷包為固體顆粒：除產品 A 是固體顆粒（尿素）與水的混合反應外，其餘產品都是凝膠狀材質（甲基纖維素、SAP 高分子聚合物）。
- (5) 使用前後狀態僅速效型冷敷包有大幅改變：產品 A 透過擊碎內容物產生致冷反應，使用後固化結塊；其餘產品 B 與 C 均以凝膠狀態取出使用，使用後凝膠態變軟。
- (6) 重複使用性：三種產品中，產品 B 與產品 C 都能夠在冷包回溫後重新冰存，便可重新使用，並且僅產品 B 有冷熱兩用的特性，而產品 A 則是一次性使用品。
- (7) 其他：產品 A 的外包裝標示著「 -3°C 」，但是對比實驗所得的降溫最低點卻是 16.1°C ，這樣的溫度差異太大，是產品標榜過度，還是我們的實驗結果有誤？

表 1：市售冷敷包與保冷劑成份特性一覽表

產品	A.速效型冷敷包	B.冷熱敷兩用型敷包	C.食物保冷劑
內容物	尿素、水	水份緩釋劑、水、保冷劑、甲基纖維素	H ₂ O(水)90%+ SAP 高分子聚合物 10%
質量	173.5g	80g	40g± 2g
使用方法	敲擊後很快降溫	使用前冷藏 1 小時或冷凍 20 分鐘或置於冰水 30 分鐘；用熱水或微波爐加熱可熱敷	平放冷凍 8 小時以上即可使用
適用情形	戶外活動運動傷害冰敷	體表冷敷、熱敷	可用於保持肉類、甜點等食品冷藏
降溫最低點（包裝表面）	未冷凍最低可降溫至 16.0°C	冷凍後最低溫度至 4°C	冷凍後最低溫度至零下 19.3°C
保冷性	20 分鐘後回溫至 17.5°C	20 分鐘後回溫至 10.1°C	20 分鐘後回溫至 3.7°C
反應後狀態	表面冰涼、有水珠 反應物是白色硬質塊狀凸起	表面冰涼 反應物凝膠狀	表面冰涼 反應物凝膠狀
特色	快速降溫、便攜	重複使用、冷熱兩用	久冷

經過以上調查結果，我們發現各類冷敷包的溶劑外觀與性質不同，有的濃稠、有的清澈，或許並非皆以水做為溶劑；而反應後狀態仍以尿素成份的速效型冷敷包保冷效果最佳，可謂是能快速降溫、持續低溫的優質保冷產品。

但是，我們對於產品 A 的外包裝宣稱能降低至 -3°C 仍然充滿疑問，為了確認實驗的正確性，我們再次測量市售冷敷包與保冷劑的使用溫度，但改為測量包裝內部的反應物溫度。

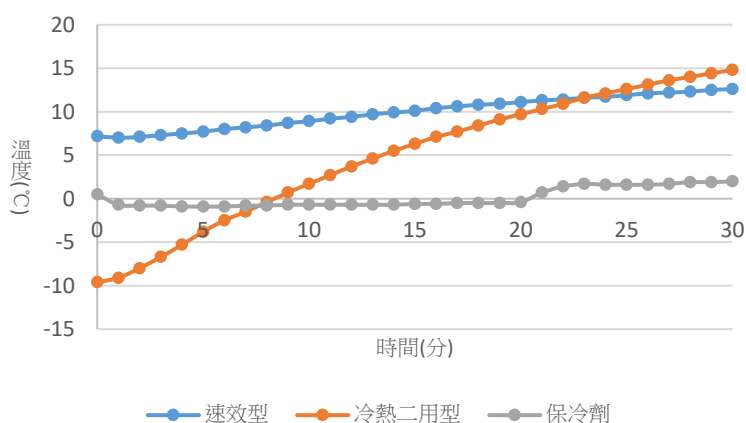
【實驗二】 測量市售冷敷包與保冷劑的使用溫度比較—拆封測量產品內反應物的表現溫度

【結果】 將拆封測量產品內降溫反應結果整理如表 2：

表 2：拆封測量市售冷敷包與保冷劑內部降溫表現

產品	A.速效型冷敷包	B.冷熱敷兩用型敷包	C.食物保冷劑
內容物	尿素、水	水份緩釋劑、水、保冷劑、甲基纖維素	H ₂ O(水)90%+ SAP 高分子聚合物 10%
質量	173.5g	80g	40g± 2g
室溫	24.3	26.1	25.7
冷凍時間	無冷凍	40 分鐘	約 23 小時
達成最低溫時間	1 分 50 秒	30 秒	4 分
降溫最低點(包裝內部)	7 度	-9.6 度	-0.9 度
保冷性	30 分後回溫至 12.6 度	30 分後回溫至 14.8 度	30 分後回溫至 2 度
起始溫度(°C)	7.2	-9.6	0.5
最終溫度(°C)	12.6	14.8	2

圖 2 拆封內部溫度



保冷劑的成份 90%是水，冷凍會結成固態的冰。保冷劑在 20 分前上升平緩，20 分後開始回溫較快。冷熱二用型冷凍 40 分後仍保凝膠態，沒有結冰。三種產品中的回溫速度：冷熱二用型>速效型>保冷劑。

由於我們希望能製作出速效保冷的輕便冰包，因此後續以「速效」為首要考量，探究物質溶解的最佳降溫效果（取得最低溫）；取「尿素加水」、自然課學過同樣是降溫反應的「冰塊加鹽」，以及生活中常見鹽類溶質，比較不同反應物與配置方式的降溫情形，再結合吸水凝膠的保冷特質，希望能做出我們理想中的高效冷敷包。

(二) 探究「速效型冷敷包」的降溫特性。

【實驗三】 市售速效型冷敷包的內容物性質：

打開冷敷包外包裝，內容物是由散落於外包裝內的尿素與內附水包 1 包組成（圖 1），使用時擊破冷敷包的水包，就會讓 2 個反應物混合在一起，讓尿素溶於水達成降溫結果。

圖 3 速效型冷敷包內容物



表 3 檢測市售冷敷包水溶液的水質特性

檢測項目 檢測物	pH	凝固點(°C)	沸點(°C)	硬度 TDS(ppm)	電導度(us)
水袋水	8.13	0	98	92	132
純水	7.13	0	100	5	0

· 【水電導度資料來源】 <https://www.amz-fog.com.tw/conductivity-and-impedance.html>

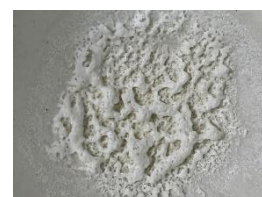
【實驗四】檢測「速效型冷敷包」的溶解吸熱反應

表 4 冷敷包尿素與不同水質混合後的物理特性

溶質	溶劑	pH	電導度	溫度°C	物理特性
市售冷敷包 尿素	市售冷敷包水袋	9.15	1448us	最低溫 4.88 度	1. 尿素和水混合後溶液白色混濁摸起來滑滑冰涼。 2. 尿素沒有完全溶解，有沉澱尿素晶體，沒有味道。
	地下水	8.4	4170us	最低溫 6.81	1. 尿素摸起來很黏，附著在杯壁。 2. 溶液呈現白色混濁，沒有完全溶解，尚有部分尿素沉澱。
	純水	8.5	3420us	最低溫 6.38	1. 尿素摸起來很黏，附著在杯壁。 2. 溶液呈現白色混濁，沒有完全溶解，尚有部分尿素沉澱。

實際使用市售冷敷包發現，使用冷敷包水袋水的反應最低溫可達 4.88°C，保冷時間將近 30 分鐘，而使用地下水與純水所能達到的最低溫均超過 6°C，因此我們猜測，該水袋中的溶液並非純水，而是混有其他物質的鹼性水，並且其降溫效能優於地下水與純水。

將尿素水溶液乾燥後，反應物是白色塊狀凸起的結晶物，遇水不易溶解刮除，表面不平整，像珊瑚狀的孔洞。摸起來粗粗的、無味。



【實驗五】 檢測不同品牌的速效型冷敷包表面溫度對降溫效果的影響

取 3 次實驗的平均值，比較 3 種品牌的降溫情形

表 5 測試不同品牌冷敷包降溫情形一覽表

品牌代號		T 牌	H 牌	X 牌
尿素與水總重 (g)		159.2	178.5	50.9
溫度 (°C)	室溫	24.2	24.5	24.0
	起始溫度	24.1	24.4	23.2
	最低溫(時間)	14.56(107.66 秒)	16.13(123.33 秒)	18.73(216 秒)
	最大降溫幅度	9.54	8.27	4.47
	5 分鐘	16.36	16.97	19.63
	10 分鐘	16.8	17.87	20.36
	15 分鐘	17.46	18.26	21
	20 分鐘	18.6	18.73	21.26

(1) 降溫速度，以 T 牌降溫速度最快(107.6 秒)，能在最短時間內降到最低溫。

(2) 降達最低溫：以 T 牌最低(14.56°C)、H 牌次之(16.13°C)、X 牌最差 (18.73°C)，亦即溫度低點：T 牌 < H 牌 < X 牌。

(3) 最大降溫幅度：T 牌 > H 牌 > X 牌。(9.54°C > 8.27°C > 4.47°C)

(4) 20 分鐘後的回溫情形：T 牌 < H 牌 < X 牌，H 牌的降溫效果雖較 T 牌不佳，但在 20 分鐘後的降溫結果只與 T 牌差 0.17 度，差異不大；而 X 牌冷敷包在 20 分鐘後的溫度 (21.26°C) 已接近室溫。

綜上，3 種市售冷敷包的降溫效果以 T 牌最佳（降得最低溫、回溫速度最慢）、H 牌次之，X 牌的降溫效果不若前二者來得好，推斷是因其包裝內容物較少所致。

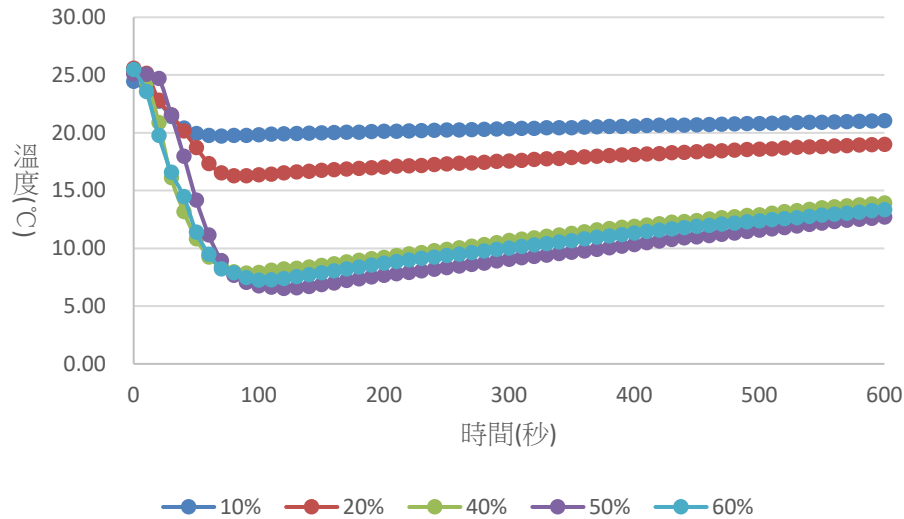
4. 比較不同使用與配置方式的市售冷敷包降溫情形（速度與溫度）

【實驗六】比較不同濃度的冷敷包，其降溫速度與溫度差異

表 6 測試拆封與密封冷敷包降溫結果

冷敷包濃度 (操縱變因)	起始 室溫	達成最低溫 (°C)/時間 (秒)	降溫率 °C/秒	開始回溫 時間(秒)	最終溫度 (10 分鐘)
尿素：水包=4:36 10%	28.63	19.72/70	0.078	經 80 秒後回溫	21.05
尿素：水包=8:32 20%	28.42	16.29/80	0.138	經 100 秒後回溫	19.00
尿素：水包=16:24 40%	28.67	7.85/90	0.267	經 100 秒後回溫	13.94
尿素：水包=25:25 50%	28.51	6.54/120	0.232	經 130 秒後回溫	12.71
尿素：水包=36:24 60%	28.93	7.25/100	0.266	經 110 秒後回溫	13.33

圖4不同濃度市售冷敷包降溫情形



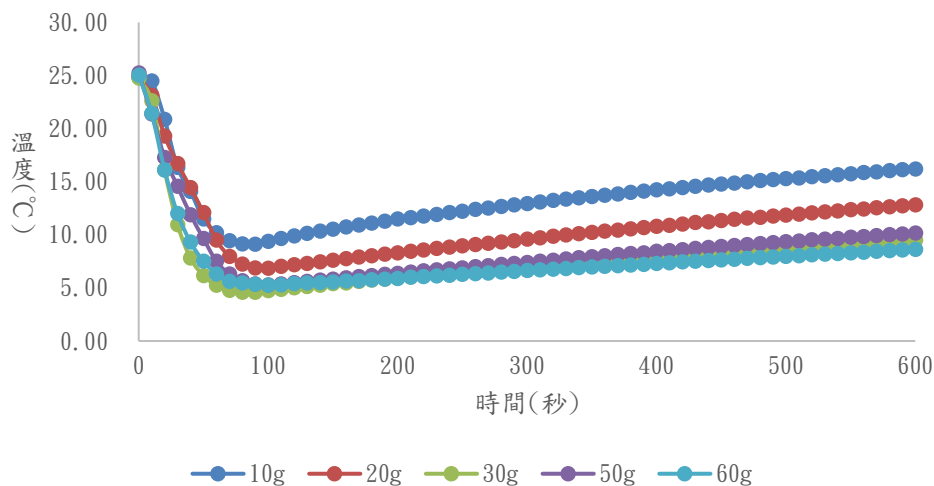
濃度 40%的降溫率最快，濃度 50%的市售冷敷包出現最低溫，但降溫率沒有增加，推測與達到低溫較慢出現的時間(120 秒)有關，回溫的速度也最慢。濃度 40%的降溫率最高，與 60% 接近。

【實驗七】 比較不同重量的冷敷包，其降溫速度與溫度差異

表 7 測試不同重量冷敷包降溫結果

尿素重量 (操縱變因)	起始 室溫	達成最低溫 (°C)/時間(秒)	降溫率 °C/秒	開始回溫 時間(秒)	最終溫度 (10 分鐘)
尿素 10g、溶劑 10g	27.88	9.13°C/90 秒	0.243	經 100 秒後回溫	16.18
尿素 20g、溶劑 20g	28.18	6.86°C/100 秒	0.256	經 110 秒後回溫	12.81
尿素 30g、溶劑 30g	28.18	4.61°C/80 秒	0.325	經 90 秒後回溫	9.50
尿素 50g、溶劑 50g	28.47	5.29°C/100 秒	0.295	經 110 秒後回溫	10.17
尿素 60g、溶劑 60g	28.47	5.25°C/100 秒	0.312	經 110 秒後回溫	8.63

圖5不同重量降溫情形



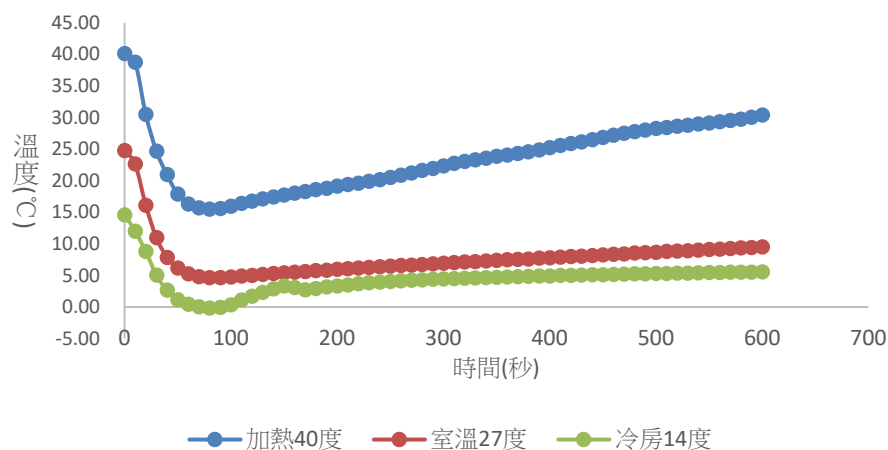
重量 30 克的尿素出現最低溫，**4.61°C**；降溫率 0.325°C/秒也最高。重量 60 克的回溫最慢。

【實驗八】比較不同環境溫度的冷敷包，其降溫速度與溫度差異

表 8 測試不同環境溫度的冷敷包降溫結果

冷敷包水劑溫度 (操縱變因)	起始 環境溫度	達成最低溫 (°C)/時間(秒)	降溫率 °C/秒	開始回溫 時間(秒)	最終溫度 (10分鐘)
先冷藏 4 小時	14.56	-0.21/80	0.236	經 90 秒後回溫	5.52
常溫冷敷包	27.4	4.61/80	0.325	經 90 秒後回溫	9.50
加熱	40.09	15.46/80	0.396	經 90 秒後回溫	30.36

圖6不同環境溫度降溫情形



環境溫度 40 度的尿素溶液降溫率最高 0.396°C/秒，常溫次之，冷藏環境降溫最低。

(三) 比較不同溶質配製的降溫保冷效果(降溫速度與溫度)。

【實驗九】配製不同濃度的尿素(試驗級)水溶液，觀察水溶液的降溫反應，嘗試取得最低降溫配比。

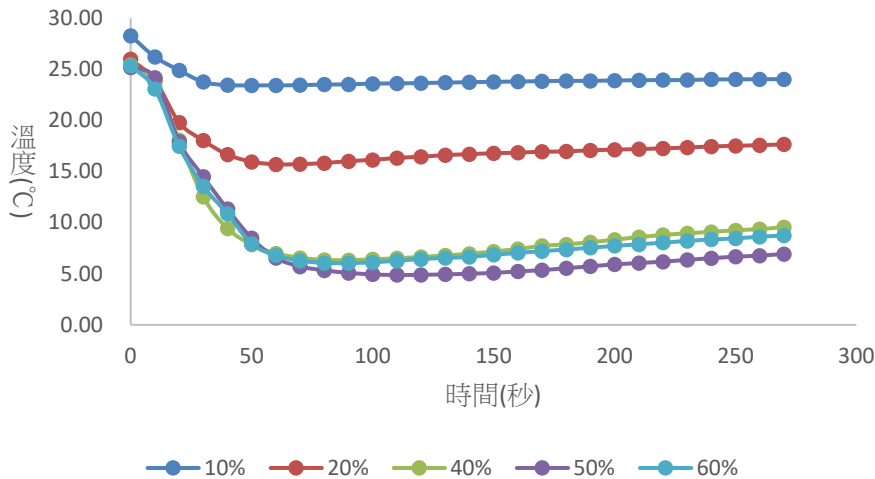
表 10 不同濃度的尿素水溶液反應後結果

尿素濃度	10%	20%	40%	50%	60%
物理特性描述	透明澄清 完全溶解	透明澄清 完全溶解	白色混濁 完全溶解 杯外有小水珠 較冰涼	白色混濁 有白色沉澱 物，沒有完全 溶解 杯外有小水珠 較冰涼	白色混濁 有白色沉澱 物，幾乎不能 溶解 杯外有小水珠 較冰涼

表 11 不同濃度的尿素水溶液降溫情形一覽表

尿素濃度 (操縱變因)	起始 室溫	達成最低溫(°C)/ 時間(秒)	降溫率 °C/秒	開始回溫 時間(秒)	最終溫度 (4.5分鐘)
10%	31.52	23.44/50	0.081	經 70 秒後回溫	24.04
20%	28.99	15.71/60	0.172	經 70 秒後回溫	17.66
40%	29.23	6.34/90	0.308	經 100 秒後回溫	9.56
50%	29.12	4.88/110	0.310	經 120 秒後回溫	6.94
60%	29.27	6.04/90	0.309	經 100 秒後回溫	8.73

圖7不同濃度尿素(試驗級)溶液降溫情形



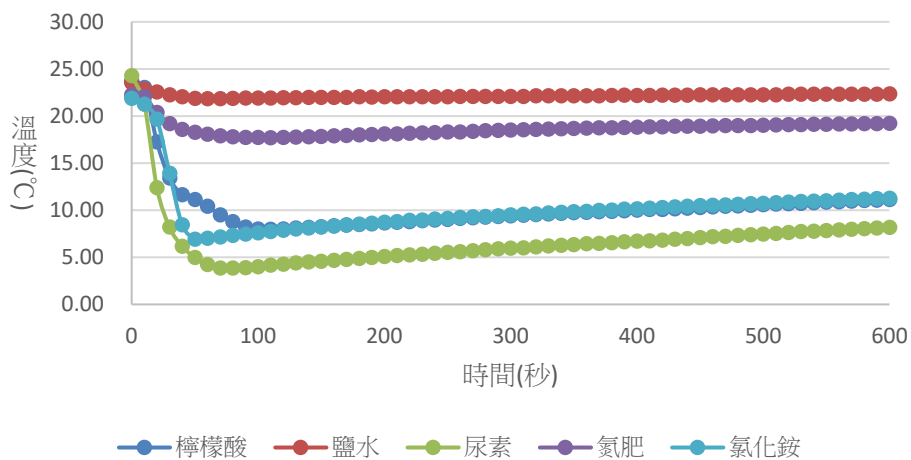
尿素的量越多，溫度下降越多。但是當濃度達到 60%，尿素無法完全溶解時，下降溫度沒有明顯增加。在濃度 50% 出現最低溫 4.88 度。我們認為，在濃度 50% 時，尿素溶液已達飽和，尿素溶解後完全反應，所以降溫溫度最多，溫度也最低。

【實驗十】 以不同的溶質配製水溶液，觀察水溶液的降溫反應

表 12 不同溶質水溶液降溫結果

溶質	溶劑	濃度	起始室溫	達成最低溫(°C)/時間(秒)	降溫率 °C/秒	開始回溫時間(秒)	最終溫度 (10分鐘)
尿素 50 克	純水 50 克	50%	25.6	3.86/70	0.33	經 80 秒後回溫	8.15
鹽 50 克	純水 50 克	50%	25.6	21.83/60	0.03	經 70 秒後回溫	22.33
檸檬酸 50 克	純水 50 克	50%	25.6	7.96/110	0.22	經 120 秒後回溫	11.11
氮肥 50 克	純水 50 克	50%	24.4	17.69/110	0.07	經 120 秒後回溫	19.21
氯化銨 50 克	純水 50 克	50%	24.4	6.92/50	0.25	經 60 秒後回溫	11.27

圖8不同溶質水溶液降溫情形



不同溶質加水後，以尿素的降溫溫度最低 3.86℃，降溫率也最快 0.33℃/秒。氯化銨在 50 秒時出現最低溫有 6.92，與檸檬酸的回溫率很接近。降溫率由大到小依序：尿素>氯化銨>檸檬酸>氮肥>鹽

【實驗十一】比較不同溶質的溶劑在冰塊與常溫純水中的降溫反應

表 13 各種不同溶質加碎冰的降溫結果

溶質	溶劑	濃度	起始室溫	達成最低溫(°C)/時間(秒)	降溫率°C/秒	開始回溫時間(秒)	最終溫度(10分鐘)
尿素 50 克	純水 50 克	50%	25.6	3.86/70	0.33	經 80 秒後回溫	8.15
尿素 50 克	冰塊 50 克	50%	22.3	-9.54/540	0.210	經 550 秒後回溫	-9.52

溶質	溶劑	濃度	起始室溫	達成最低溫(°C)/時間(秒)	降溫率°C/秒	開始回溫時間(秒)	最終溫度(10分鐘)
鹽 30 克	純水 100 克	23.3%	23.6	20.02/120	0.02	經 130 秒後回溫	20.50
鹽 30 克	冰塊 100 克	23.3%	23.6	-13.44/230	0.296	經 240 秒後回溫	-13.31

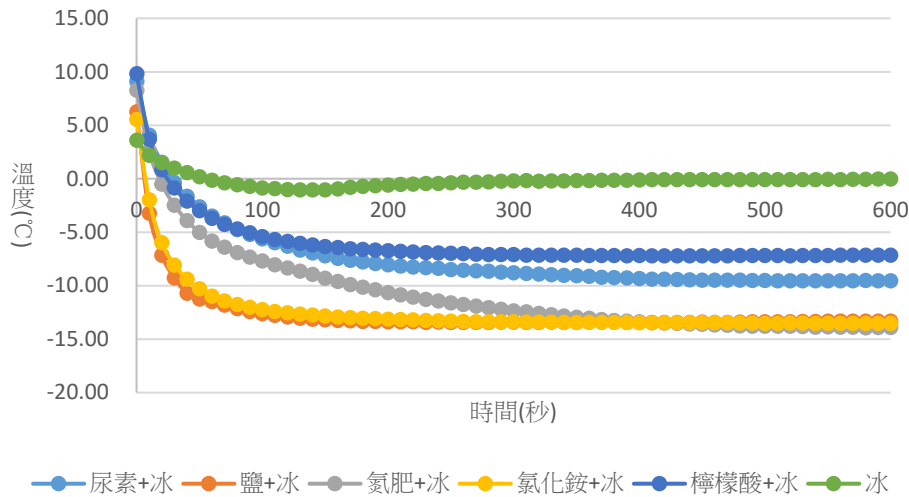
溶質	溶劑	濃度	起始室溫	達成最低溫(°C)/時間(秒)	降溫率°C/秒	開始回溫時間(秒)	最終溫度(10分鐘)
檸檬酸 50 克	純水 50 克	50%	25.6	7.96/110	0.22	經 120 秒後回溫	11.11
檸檬酸 50 克	冰塊 100 克	33.3%	24	-7.21/470	0.225	經 480 秒後回溫	-7.15

溶質	溶劑	濃度	起始室溫	達成最低溫(°C)/時間(秒)	降溫率°C/秒	開始回溫時間(秒)	最終溫度(10分鐘)
氮肥 50 克	純水 50 克	50%	24.4	17.69/110	0.07	經 120 秒後回溫	19.21
氮肥 50 克	冰塊 100 克	33.3%	24	-13.92/580	0.235	經 590 秒後回溫	-13.89

溶質	溶劑	濃度	起始室溫	達成最低溫(°C)/時間(秒)	降溫率°C/秒	開始回溫時間(秒)	最終溫度(10分鐘)
氯化銨 50 克	純水 50 克	50%	24.4	6.92/50	0.25	經 60 秒後回溫	11.27
氯化銨 40 克	冰塊 100 克	28.6%	24.4	-13.52/600	0.275	持續降溫	-13.52

溶質	溶劑	濃度	起始室溫	達成最低溫(°C)/時間(秒)	降溫率°C/秒	開始回溫時間(秒)	最終溫度(10分鐘)
無	冰塊 100 克	28.6%	24.1	-1.04/140	0.06	經 150 秒後回溫	-0.02

圖9不同溶質加冰的降溫情形



5種不同的溶質加冰後，最低溫是氮肥-13.92°C，降溫率以鹽最佳0.30°C/秒。鹽加冰的降溫速率最快，在240秒就開始回溫。而氮肥、氯化銨10分鐘後仍持續降溫，且溫度比鹽加冰低。降溫率由大到小依序為鹽>氯化銨>氮肥>檸檬酸>尿素。

【實驗十二】混合不同溶質，比較在常溫水中的降溫反應

表 14 混合不同溶質的降溫結果

混合溶質(1)	溶劑	濃度	起始室溫	達成最低溫(°C)/時間(秒)	降溫率°C/秒	開始回溫時間(秒)	最終溫度(10分鐘)
尿素 50 克 檸檬酸 50 克	純水 100 克	50%	25.4	3.58/110	0.29	經 100 秒後回溫	6.40
尿素 50 克 氯化銨 50 克	純水 100 克	50%	25.4	-3.04/70	0.43	經 90 秒後回溫	1.06
氯化銨 50 克 檸檬酸 50 克	純水 100 克	50%	25.4	1.77/90	0.34	經 110 秒後回溫	5.27
尿素 50 克 氯化銨 50 克 檸檬酸 50 克	純水 150 克	50%	22.7	-3.92/120	0.37	經 130 秒後回溫	-1.08

圖10混合不同溶質加水的降溫情形

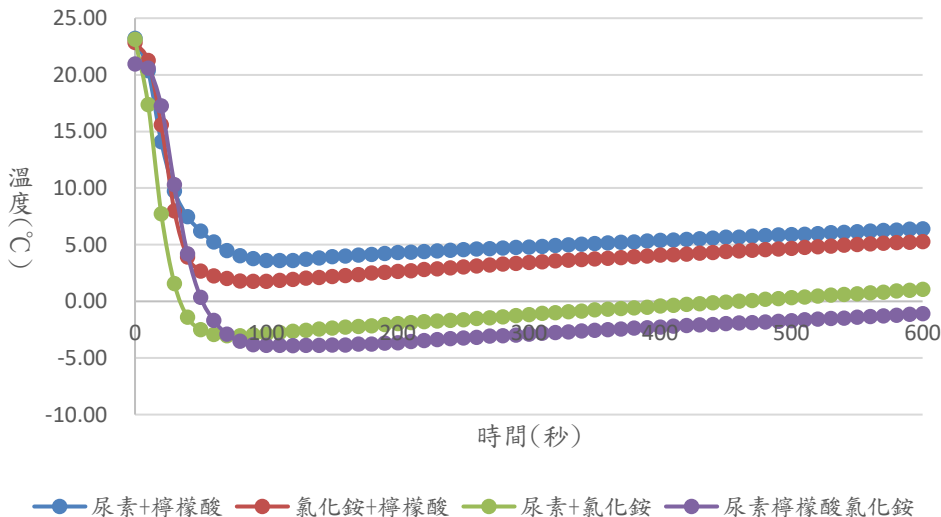






表 15 混合不同溶質反應後的外觀

			
混合尿素、檸檬酸	混合氯化銨、檸檬酸	混合氯化銨、尿素	氯化銨呈上下分離

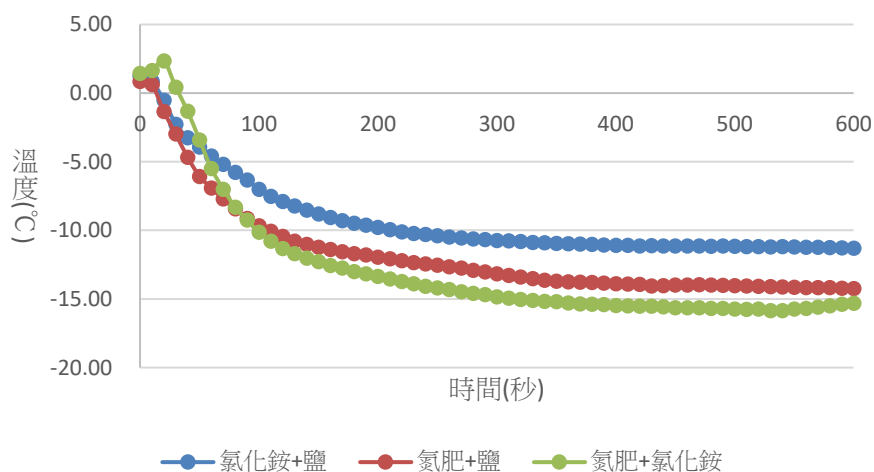
尿素、檸檬酸、氯化銨三種溶質組合混合的結果，都有明顯的降溫效果。其中以混合尿素、氯化銨、檸檬酸等 3 種溶質的水溶液降溫效果最佳，最低溫平均可達 -3.92°C ，最終溫度也是最低。降溫率尿素、氯化銨>尿素、氯化銨、檸檬酸>氯化銨、檸檬酸>尿素、檸檬酸。

【實驗十三】混合不同溶質，比較在冰塊中的降溫反應

表 16 不同溶質與冰塊混合的降溫結果

混合溶質	溶劑	濃度	起始室溫	達成最低溫 ($^{\circ}\text{C}$)/時間(秒)	降溫率 $^{\circ}\text{C}/\text{秒}$	開始回溫時間(秒)	最終溫度 (10 分鐘)
鹽 15 克 氯化銨 25 克	冰 100 克	25.57 %	26.7	-11.30/600	0.10	持續降溫	-11.30
鹽 15 克 氮肥 20 克	冰 100 克	25.92 %	26.7	-14.23/600	0.13	持續降溫	-14.23
氮肥 20 克 氯化銨 25 克	冰 100 克	31.03 %	26.7	-15.85/540	0.12	550	-15.32

圖11不同溶質與冰塊混合的降溫情形



鹽、氮肥、氯化銨與碎冰不同混合的組合，氮肥、氯化銨與冰混合達到最低溫(-15.85)，且鹽與氯化銨或氮肥的混合都可以在實驗時間(10 分鐘)內持續保持降溫狀態，長時間的保冷效果佳。

伍、 討論

- 一、由拆封測量結果發現，產品 A 在封閉狀態與拆封狀態所得最低溫度落差很大，足見廠商宣稱的能降溫達攝氏零下 3 度是測量反應物充分反應的溫度表現結果，我們不易從不透明的產品封包看出反應物是否充分混合，因此溫度探針在外包裝測量，就有可能量不準。此外，我們認為 B 與 C 二種產品設計為「水膠態」材質應該有特別的目的。因此，為了解上述冷敷包或保冷劑的降溫保冷機制，我們查詢資料發現，甲基纖維素與 SAP 高分子聚合物，都是凝膠材質，吸水凝膠與水結合，冷凍後不易融化，因此可以獲得長時間的保冷效果；而尿素加水（產品 A）則是尿素在水中溶解時產生的吸熱反應，一旦反應完成，形成尿素水溶液，溶液便會與環境溫度達成熱平衡，無法有持續保冷的效果。
- 二、觀察實驗的降溫原始資料，發現在 1 分鐘內溫度都持續下降，所以本實驗的降溫率，用 0 秒與 60 秒時的溫度相減除以 60 秒作為降溫率的計算。
- 三、檢測速效型冷敷包的水包，pH 值與地下水、純水不同，偏鹼性，且水包與尿素混合後的溫度低於地下水與純水。
- 四、尿素加水為吸熱反應，溫度下降，溶解度(108 g/100 mL, 20 °C)下降，在濃度 50%時達到最低溫，降溫速度也快。
- 五、尿素與檸檬酸混合後，底部會出現白色半凝固狀的結塊沉澱，在查尋到的研究報告中也有類似的反應。尿素與氯化銨混合後，底部也會出現白色凝固狀結塊，且比與檸檬酸混合的更為紮實凝固。氯化銨與檸檬酸混合後沒有出現半凝固狀的結塊，較多泡沫浮起，底下是未溶解的氯化銨粉末沉澱。尿素、氯化銨、檸檬酸三者與水混合後底部會出現凝膠的沉澱物，回溫後會凝結成塊。因尿素、氯化銨混合後的凝固結塊較為結實，且降溫效果在零度以下，如果將此種凝固物取代保冷劑中的凝膠，其保冷效果會如何呢？
- 六、環境溫度 40°C 時，降溫率增加，杯子的溶液較澄清不混濁，推測溫度高，溶解度增加，尿素與水的吸熱反應持續作用，提高降溫率。
- 七、鹽、氮肥、氯化銨等鹽類物質分別與冰混合後溫度皆低於零下 10°C，出現冷劑的低溫效果。其中氮肥與冰塊混合後低溫效果明顯優於其它鹽類溶質，且在 10 分鐘內持續降溫，推測氮肥的主要成份由硝酸銨、硝酸鈣等硝酸鹽類組成有關。
- 八、鹽類的溶解同時進行兩個過程：一是晶格破壞，為吸熱過程；二是離子的溶劑化，為放熱過程。溶解熱是兩種熱效應的總和。本實驗中鹽、氮肥、氯化銨等三種鹽類溶質與冰相接觸，互相溶解的過程使冰的晶體迅速瓦解而大量吸熱，造成系統快速降溫。
- 九、氮肥、氯化銨、鹽等吸熱溶質混合後與碎冰作用，其中有混合氮肥的溶質作用，比個別與碎冰作用的低溫效果更好，且可以持續保持降溫狀態。但降溫率比個別與碎冰作用低，與加冰狀態下起始溫度有關。

陸、 結論

- 一、市售冷敷包以尿素與水為主要成份，不須冷藏，敲打後可以立即使用，保冷效果佳，回溫速度慢。冷敷兩用或食物保冷劑都須冷藏或冷凍才有降溫效果，食物保冷劑經冷凍後表面溫度最低達-19.3°C，內容為 SAP 高分子聚合物和水為主要成份，可以重複使用。
- 二、拆封後測量包裝內表現溫度，以冷熱敷兩用型的溫度最低，速效型的回溫速度較慢。
- 三、「速效型冷敷包」的降溫特性：

1. 內容物中的水質鹼性(pH 值 8.7)，電導度比純水高。
2. 尿素與水袋、地下水、純水混合後，以原市售水袋的降溫最低(4.88°C)。尿素水溶液乾燥後為白色塊狀凸起，有珊瑚孔洞的結晶體。
3. 三種速效型冷敷包品牌中 T 牌溫度最低、降溫速度快、降溫幅度大，且不論是拆封後的包裝內或表面溫度，皆沒有出現如包裝上所宣稱可以降到零下 3°C 的效果。
4. 不同配置方式的冷敷包：
 - (1) 不同濃度的市售 T 牌冷敷以 50% 的濃度溫度最低(6.54°C)，濃度 40% 的降溫率最快(0.267°C/秒)。
 - (2) 濃度 50%，重量 30 克的尿素溶液溫度最低(4.61°C)，降溫率也最快(0.325°C/秒)。
 - (3) 不同環境溫度會影響尿素溶液的低溫效果與降溫率，尿素溶液在高溫環境下有高的降溫率，仍保有降溫冷敷的效果。

四、不同溶質配置的降溫保冷效果

1. 試驗級 50% 的濃度尿素溶液溫度最低(4.88°C)，降溫率也最快(0.310°C/秒)
2. 尿素、鹽、檸檬酸、氮肥、氯化銨等 5 種不同溶質配置的水溶液，尿素水溶液的溫度最低(3.86°C)，降溫率也最快(0.33°C/秒)。
3. 尿素、鹽、檸檬酸、氮肥、氯化銨等 5 種不同溶質與冰塊混合後，氮肥的溫度最低(-13.92°C)，降溫率則是鹽加冰最快(0.30°C/秒)。
4. 混合尿素、檸檬酸、氯化銨三種不同溶質組合的水溶液，尿素、氯化銨、檸檬酸各 50 克，三者與水 150 克混合後可達溫度最低，降至 0°C 以下(-3.92°C)濃度 50%，且回溫時間較其它混合溶質組合緩慢，比市售冷敷包的降溫效果好，可以做為冷敷包新配方的參考。
5. 鹽、氮肥、氯化銨三種鹽類溶質不同組合後與碎冰作用，只要有加氮肥的低溫與長時間保冷效果都最好。
6. 影響冰包尿素的降溫效果與反應物的濃度(50%)、重量(30 克)，及當時的環境溫度有關。
7. 雖然加了冰塊後的混合溶質下降溫度低於加水，但當在無冷凍設備的情況下，本研究中低溫效果佳的混合溶質加水可以作為冰敷應急的選擇。

柒、參考資料及其它

1. 乍暖？還寒！冷熱自明，中華民國第 56 屆全國中小科展作品。
2. 魔術冰包的傳奇，中華民國第 36 屆全國中小科展作品。
3. 冰箱帶著走—冰包的研究，中華民國第 39 屆全國中小科展作品。
4. 酷到極點—談冷劑降溫與牛拉耳定律，中華民國第 48 屆中小學科展作品。
5. 隨晶所欲，從核開始，中華民國第 54 屆中小學科展作品。
6. 降溫有妙招！自製環保冰包！中華民國第 54 屆中小學科展作品。
7. 極凍新發想保冷方程式，民 106。全國高級中等學校專業群科 106 年專題及創意製作競賽。
8. <https://www.allma.net/tw/保冷劑-p.2052-pc.124.html>
9. <https://tw.o-buster.com/保冷劑/>
10. http://kingdarling.blogspot.com/2013/01/blog-post_4781.html
11. <https://www.setn.com/news.aspx?newsid=786708>