

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 化學科

050212

居家自製牙齒美白試劑與客製化牙齒美白應用
程式之開發

學校名稱： 國立中山大學附屬國光高級中學

作者： 高二 曹富睿 高二 張軒淦 高二 陳昱寬	指導老師： 謝易晉
---	------------------

關鍵詞： 過氧化氫、過氧化脲、智慧型動應用程式

摘要

本研究以豬牙作為人牙替代模型，採用 CIELAB 色彩空間中 L 值作為牙齒亮白度量化指標，系統性探討過氧化氫與等效過氧化脲於漱口水與凝膠兩種劑型下的牙齒美白效能差異。基於研究結果開發牙齒美白使用方針建議 app，結合使用者初始牙齒 L 值、期望之美白效果及使用頻率，以研究結果作為依據演算出客製化的美白方針，提供使用者調配漱口水與凝膠之方法與使用方式，精準控制活性成分暴露量，避免氧化過度或反應不足。本研究創新地將 CIELAB 之 L 值量化結果整合至智慧推薦系統，同時深化了居家牙齒美白產品之科學基礎，亦為個人化口腔保健管理提供新思維，有效提升國人居家美白安全性與使用者體驗，並有助於減輕牙科醫療負擔，具備顯著之社會與產業價值。

壹、前言

一、研究動機

在高一化學氧化還原反應章節中，老師列舉生活中的實例時，提及過氧化氫也被應用於牙齒美白產品中，透過氧化還原來分解牙齒表面的有機色素。然而，過氧化氫因化學性質不穩定，極易受光、熱、金屬離子等因素影響而分解，使我們對其在市售產品中實際的功效產生了好奇。

經查閱相關文獻與市售牙齒美白產品資料後發現，目前居家型牙齒美白產品主要分為三類：牙膏、漱口水與凝膠，常見的有效成分為過氧化氫或其穩定衍生物——過氧化脲（urea hydrogen peroxide, 簡稱 UHP）。過氧化氫在常溫下於約一小時內即可釋放出大部分過氧化物，而 UHP 則具有更佳的穩定性，釋放速率較緩慢，通常需數小時才達到相同效果。這樣的差異引發我們思考：若將過氧化氫直接應用於美白產品中，是否可能在產品尚未使用前便已大量分解而失效？過氧化氫與過氧化脲美白效果和者較佳。

基於上述課堂啟發與資料分析，我們確立了本研究方向，擬透過實驗比較過氧化氫與過氧化脲作為居家牙齒美白劑的可行性，探討對牙齒美白效果的影響，並根據實驗結果推導出不同濃度的美白方程式製作出一款能夠依據使用者牙齒狀態提供相對應美白方針的智慧推薦系統。我們期望藉由本研究，提供科學依據以評估這兩類氧化劑的適用

性，進一步釐清市售牙齒美白產品在成分選擇上的實際考量，同時藉由美白方程與智慧推薦系統提供創新的牙齒美白體驗。

二、研究目的

- (一) 探討過氧化的脲合成方法。
- (二) 探討以漱口水作為劑型，過氧化氫及過氧化脲濃度與美白效果關聯。
- (三) 探討以凝膠作為劑型，過氧化氫及過氧化脲濃度與美白效果關聯。
- (四) 開發客制化牙齒美白網站及居家牙齒美白商品化套組。

三、文獻回顧

(一) 牙齒泛黃的原因與類型

根據陳錦與廖偉誠（2017）之研究，牙齒變色可依發生位置與機制區分為外因性與內因性兩大類。外因性變色發生於牙齒表層，成因包括非金屬與金屬來源，例如食物色素（如茶、咖啡、紅酒中之多酚與丹寧酸）、牙菌斑與結石中之染色菌、吸菸與檳榔中之焦油與紅丹，以及口腔內細菌產生的硫化物與金屬離子（如鐵、銅、鉛）形成的沉澱。這些染色物質是一種帶有苯環的多酚類物質，在結構上是雙鍵、羰基構成的共軛系統，為過氧化氫或 UHP 等美白試劑的主要作用目標。相較之下，內因性變色則多為色素沉積於牙齒內部結構（如牙本質或牙髓），常見原因包含四環黴素染色、氟中毒、牙髓壞死、牙外傷或遺傳性發育異常，處理上需仰賴臨床牙科手術如冷光漂白或貼片修復。

飲食習慣是造成牙齒變色的原因之一，特別是茶與咖啡的攝取。茶是全球第二大消耗飲品，茶葉製程中其氧化的程度會直接導致其化學成分之差異，進而影響其染色能力，如：綠茶的主要呈色物質是兒茶素（catechins），而紅茶中則主要是兒茶素氧化後形成的茶黃素（theaflavins）。在 Kim et al.（2024）探討飲品對牙齒變色的研究中發現其選擇的飲品皆會導致顯著的牙齒變色，當中紅茶顯示出最為顯著的染色效果。

(二) 牙齒美白的原理與方式

一般表面的牙齒變色，可利用噴砂或表面研磨的方式去除染色物質，但要讓牙齒本身顏色變淡，則必須靠美白藥劑的作用。美白藥劑是利用氧化還原方式產生自

由基，以改變色素的分子結構，當自由基作用於牙齒後，所含色素分子上的雙鍵與苯環結構就會被分解，使分子顏色變淡，但是美白試劑在氧化色素的同時也會氧化牙齒表層，過高頻率使用美白試劑可能會造成琺瑯質崩解。目前診所臨床上最常使用的藥劑有過氧化氫（ H_2O_2 ）、過氧化脲（UHP）、過硼酸鈉（ $\text{NaBO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）。陳錦、廖偉誠（2017 年 12 月）。

牙齒美白成分—過氧化氫，具有 O-O 單鍵，則會將其分類為過氧化物，在過氧化物中，過氧化氫為最簡單的過氧化物，由於 O-O 單鍵的存在，其非常容易分解，因此常會搭配穩定劑儲存，如乙醯苯胺或其他相似的有機材料。因為過氧化氫的化學結構及未成對電子，為強氧化劑，在牙齒美白上，通常會採用 3-9% 的低濃度。衛生福利部食品藥物管理署（2021）台灣法規規定，過氧化氫用於牙齒漂白時的濃度上限為 6%，因此本次實驗中我們選用 1.2% 至 6% 的過氧化氫作為濃度參數。

圖一

過氧化氫分解式

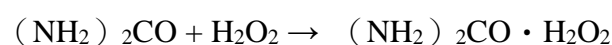


註：引自趙紫沁（2022）。

牙齒美白成分—過氧化脲（Urea Hydrogen Peroxide，簡稱 UHP），是一種常見的牙齒美白劑，廣泛應用於市售的美白凝膠中。皆透過釋放自由基以氧化牙齒表面色素，達到漂白效果。不同之處在於，UHP 在與水接觸後會首先解離成尿素與過氧化氫，隨後釋放自由基進行漂白反應，作用過程相較於直接使用過氧化氫更為穩定且溫和，並能維持持續性的美白反應。

式一

過氧化脲合成式



註：引自 Epplé, M., Meyer, F., & Enax, J.（2019）

儘管 UHP 在常溫下比液態過氧化氫穩定，但其仍容易受空氣中濕氣影響而逐漸分解為氧氣與水，導致純度下降。因此在製備與保存 UHP 晶體時，常加入微量穩定劑，如酒石酸鋅、酒石酸與十二烷基苯磺酸鈉，以延長其保存期限與降低分解速率。此外，台灣法規對於居家牙齒漂白產品中過氧化脲使用濃度的安全規範上限為 18%，因此本次實驗將選用 3.6% 至 18% 的過氧化脲作為變因範圍。

（三）牙齒美白試劑之法定濃度及安全性

根據 Gerald McEvoy 和 D. C. Rowe (2006) 及 Joiner, A., 和 Thakker, G. (2004) 等人的研究顯示，6%的過氧化氫經表面顯微硬度測試和掃描式電子顯微鏡 (SEM) 觀察後，並未對琺瑯質表面造成明顯損害。針對過氧化脲部分，則可依據 Paula Benetti 等人 (2022) 的研究，其對於 22%的過氧化脲凝膠的美白療程進行系統性回顧與統合分析，結果顯示，在遵從指示的情況下不會影響琺瑯質厚度，只有在過度使用或是與碳酸飲料結合使用時，才可能導致琺瑯質厚度下降。

（四）牙釉質自我恢復機制

在 (Enax, Fandrich, Schulze zur Wiesche, & Epple, 2024) 的研究指出，唾液中含有形成牙齒主要無機成分羥基磷灰石 (佔牙釉質組成之 96%) 所需的鈣離子 (Ca^{2+}) 與磷酸根離子 (PO_4^{3-})。唾液的 pH 值達 5.3 時對於鈣離子和磷酸根離子為過飽和溶液，而當 pH 值高於 5.5 時會因過飽和造成鈣離子和磷酸根離子在牙釉質表面結晶形成羥基磷灰石。因此當牙釉質表面面臨極小之損害時能夠藉由唾液的幫助自行修復。

（五）牙齒色差評估方式

CIELAB 色彩空間由國際照明委員會 (CIE) 在 CIEXYZ 色彩模型的基礎上建立，旨在提供一個更符合人眼視覺感知特性的均勻色彩空間。與 XYZ 模型相比，CIELAB 能更精確地反映人類對顏色差異的主觀感受。

CIELAB 模型包含三個維度：L 表示亮度，範圍為 0 (黑) 至 100 (白)；a 為紅—綠色軸，正值代表偏紅，負值代表偏綠；b 為黃—藍色軸，正值代表偏黃，負值代表偏藍。在本研究中，我們聚焦於代表亮度的 L 值，以此作為評估牙齒亮白程度的指標。L 值越高，代表牙齒越接近白色，亮白程度越高。(趙紫沁, 2022)

貳、研究設備及器材

一、實驗藥品

表一

實驗藥品表



藥品名稱	化學式 (或英文簡稱)	藥品名稱	化學式 (或英文簡稱)
尿素	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	糖精鈉	$\text{C}_7\text{H}_5\text{NO}_3\text{S}$
雙氧水	H_2O_2	過氧化脲	$(\text{NH}_2)_2\text{CO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
去離子水	H_2O	乙二胺四乙酸二鈉	EDTA-2Na
焦磷酸鈉	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	2,6-二丁基對甲酚	BHT
甘油	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	聚乙二醇	PEG
聚丙烯酸 (卡波姆)	Poly (acrylic acid)	氫氧化鈉水溶液	NaOH
過錳酸鉀	KMnO_4	草酸鈉	$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$
香精			

註:研究者自行繪製

二、設備與器材

表二

實驗設備器材表

電磁加熱攪拌器	電子秤	溫度計	玻棒
刮勺	滴定管	滴定管架	燒杯
錐形瓶	牙齒固定裝置 	牙齒拍攝裝置 	

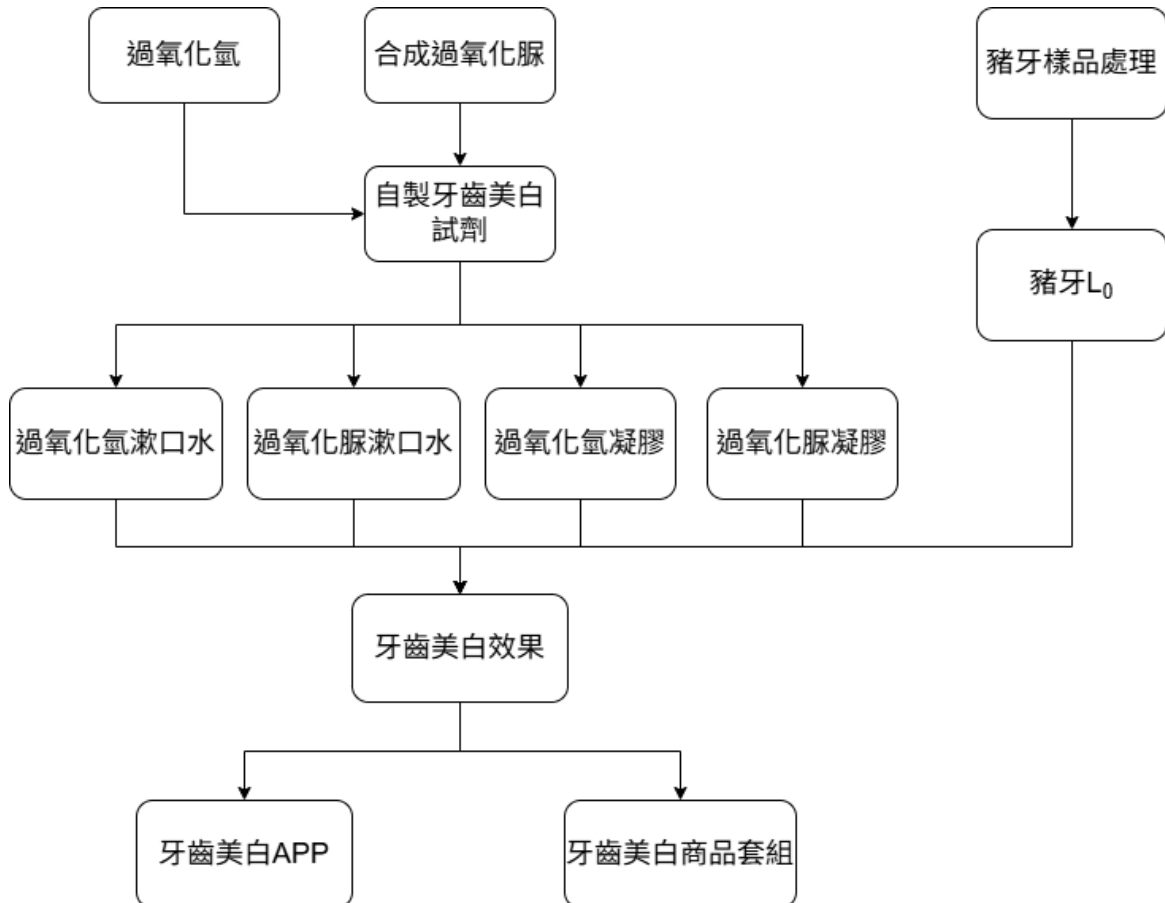
註:研究者自行繪製

參、研究過程與方法

一、研究架構

圖二

研究架構圖



註:研究者自行繪製

二、研究方法

本小組將參考既有文獻中的合成方法，以尿素與過氧化氫為原料合成過氧化脲。接著，將自行配置過氧化氫和過氧化脲的漱口水及凝膠，並以豬牙模擬人牙作為試驗樣本，透過測量使用不同試劑前後的 L 數值變化，量化不同劑型的美白效果，並透過測量一日牙齒最高染色程度，歸納出合適的劑型、濃度與使用時間。再根據漱口水與凝膠的實驗結果推導牙齒美白方程式。

最後，我們將會以推導出的牙齒美白方程式為基礎，開發一個可以根據使用者的牙齒狀況、生活習慣、和喜好劑型，歸納出客制化美白方針的牙齒美白應用程式。

三、實驗步驟

藥品配置及溶液製備

(一) 過氧化脲的製備

- 1.取 11.00 克尿素、16.86 克 35%過氧化氫，並加入 25.00 克水。
- 2.將混合溶液於 40°C 下加熱攪拌直至溶液澄清。
- 3.再將 25.00 克尿素、38.11 克 35%過氧化氫加入混合溶液中。
- 4.將混合液於 40°C 下加熱攪拌直至溶液澄清。
- 5.將混合液冷卻至 8°C，靜置至少 1 至 2 天，待其結晶。
- 6.將結晶後的液體以過預冷濾紙和燒杯過濾。
- 7.將濾出置固體以玻棒刮至培養皿上，並以 60°C 烘乾至過氧化脲晶體呈現白色粉末狀，即可得到約 55.23 克的過氧化脲。

(二) 過氧化氫及過氧化脲凝膠的配置

1.過氧化氫凝膠

- (1) 將 0.2 克卡波和 8.04 克甘油加入燒杯中，並攪拌均勻。
- (2) 加入 9.6 克去離子水，將燒杯加熱 75°C，繼續攪拌，直到卡波完全溶解為止。
- (3) 在 800 轉/分鐘的攪拌速度下，緩慢加入 0.2 克 20%NaOH 溶液。
- (4) 取另一燒杯，加入 1 克聚乙二醇，並在其中完全溶解 0.02 克 BHT。
- (5) 將溶解好的 BHT 緩慢加入到卡波、甘油之混合物中並保持 800 轉/分鐘攪拌，確保混合均勻。
- (6) 加入 0.02 克 EDTA-2Na，繼續攪拌。
- (7) 分別在 5 組溶液中加入 0.45、0.92、1.42、1.95、2.50 克的 50%過氧化氫溶液，繼續攪拌。
- (8) 加入 0.2 克香精和 0.04 克甜味劑，繼續攪拌。
- (9) 待所有成分均勻混合後，停止攪拌，即可得到重量百分比分別為 1.2%、2.4%、3.6%、4.8%和 6%的過氧化氫凝膠。

2.過氧化脲凝膠

- (1) 將 0.2 克卡波和 8.04 克甘油加入燒杯中，並攪拌均勻。
- (2) 加入 9.6 克去離子水，將燒杯加熱 75°C，繼續攪拌，直到卡波完全溶解為止。

- (3) 在 800 轉/分鐘的攪拌速度下，緩慢加入 0.2 克 20% NaOH 溶液。
- (4) 取另一燒杯，加入 1 克聚乙二醇，並在其中完全溶解 0.02 克 BHT。
- (5) 將溶解好的 BHT 緩慢加入到卡波甘油之混合物中並保持 800 轉/分鐘攪拌，確保混合均勻。
- (6) 加入 0.02 克 EDTA-2Na，繼續攪拌。
- (7) 分別在 5 組溶液中加入 0.72、1.51、2.35、3.26、4.26 克過氧化脲，繼續攪拌。
- (8) 加入 0.2 克香精和 0.04 克甜味劑，繼續攪拌。
- (9) 待所有成分均勻混合後，停止攪拌，即可得到重量百分比分別為 3.6%、7.2%、10.8%、14.4%和 18%的過氧化脲凝膠。

(三) 過氧化氫及過氧化脲漱口水的配置

1. 過氧化氫漱口水

- (1) 分別取 4.8、9.6、14.4、19.2、24.0 克的 50%過氧化氫溶液。
- (2) 將水分別倒入五溶液中，均加水至溶液重量達 200 克，即可得到重量百分率為 1.2%、2.4%、3.6%、4.8%和 6%的過氧化氫漱口水。

2. 過氧化脲漱口水

- (1) 分別取 7.2、14.4、21.6、28.8、36 克的過氧化脲。
- (2) 將水分別倒入五溶液中，均加水至溶液重量達 200 克，即可得到重量百分率為 3.6%、7.2%、10.8%、14.4%和 18%的過氧化脲漱口水。

(四) 過氧化氫及過氧化脲漱口水的濃度比較

1. 過氧化氫漱口水

- (1) 調配濃度 1.2%、2.4%、3.6%、4.8%、6%的過氧化氫 50mL 置於五個不同的燒杯。
- (2) 將五顆已染色的豬牙放入拍攝裝置，紀錄 L 數值後分別浸泡於五個燒杯。
- (3) 以相同牙齒依序靜置 0.5、1、1.5、2、2.5、3 分鐘。
- (4) 取出豬牙後放入拍攝裝置，紀錄 L 數值。
- (5) 重複 (1) 到 (4) 步驟兩次，做五重複。

2. 過氧化脲漱口水

- (1) 調配濃度 3.6%、7.2%、10.8%、14.4%、18%的過氧化氫 50mL 置於五個不同的燒杯。
 - (2) 將五顆已染色的豬牙在固定光源下拍照紀錄 L 數值後分別浸泡於五個燒杯。
 - (3) 以相同牙齒依序靜置 0.5、1、1.5、2、2.5、3 分鐘。
 - (4) 取出豬牙在固定光源下拍照紀錄 L 數值。
 - (5) 重複(1)到(4)步驟兩次，做五重複。
- (五) 過氧化氫和過氧化脲凝膠的濃度比較

1.過氧化氫凝膠

- (1) 將五顆已染色的豬牙在固定光源下拍照紀錄 L 數值。
- (2) 取濃度 1.2%、2.4%、3.6%、4.8%、6%的過氧化氫凝膠敷在五顆豬牙表面。
- (3) 以相同牙齒依序靜置 2、4、6、8、10 小時。
- (4) 清除豬牙表面之凝膠，放置在固定光源下拍照紀錄 L 數值。
- (5) 重複(1)~(4)步驟兩次，做五重複。

2.過氧化脲凝膠

- (1) 將五顆已染色的豬牙在固定光源下拍照紀錄 L 數值。
- (2) 取濃度 3.6%、7.2%、10.8%、14.4%、18%的過氧化脲凝膠敷在五顆豬牙表面。
- (3) 以相同牙齒依序靜置 2、4、6、8、10 小時。
- (4) 清除豬牙表面之凝膠，放置在固定光源下拍照紀錄 L 數值。
- (5) 重複(1)到(4)步驟兩次，做五重複。

(六) 客制化牙齒美白 app

1.用 Flask 架設 HTTP 伺服器

2.用 HTML+JavaScript 執行拍照並自動提交

3.RGB 點選與 CIELAB 轉換

- (1) 用 JavaScript 捕捉使用者在影像上點擊的座標
- (2) 用 Flask + NumPy + Colormath 取樣 RGB 並轉成 CIELAB

4.確定使用者預期美白效果與輸入療程天數

(1) 用 Flask + Colormath 生成「灰階色塊 + ΔL 列表」

(2) 用 JavaScript 顯示灰階色塊並讓使用者「選取目標 ΔL 」

(3) 用 JavaScript 顯示「療程天數輸入框」

5. 計算「每日目標 ΔL 」並套入美白公式

(1) 用 JavaScript 計算「dailyGoal」

(2) 用 Flask /calculate 路由套用「漱口水/凝膠」美白公式，計算次數

6. 輸出美白建議至前端

(1) 用 JavaScript 接收後端建議並呈現

(七) 市售及自製美白產品有效含量測定

1. 過錳酸鉀標定

(1) 稱取過錳酸鉀粉末 31.6 克於燒杯中，加入適量去離子水直到過錳酸鉀完全溶解。

(2) 將完全溶解的過錳酸鉀溶液倒入 1000mL 的容量瓶中，加入去離子水直到刻線處。

(3) 取草酸鈉 1.34 克，並精確記錄其測量數值，再置於 250mL 錐形瓶中，加入 70mL 去離子水與 3mL 的 2M 硫酸，隔水加熱至 70°C。

(4) 將錐形瓶移至滴定管底下，並以約 0.2M 的過錳酸鉀滴定，滴定直至溶液變成紫色，並且經搖晃後仍不會變回透明為止，此時記錄滴定管刻度。

(5) 重複步驟 (3)、(4) 共 3 次，求出過錳酸鉀的濃度平均值。

2. 牙膏有效含量測定

(1) 取 A 牌牙膏 5 克，加入約 20mL 水與 1mL 的 2M 硫酸，於燒杯中以玻棒攪拌直至牙膏與水均勻混合。

(2) 將燒杯移至滴定管底下，以過錳酸鉀滴定直至溶液變成紫色，並且經搖晃後仍不會變回透明為止，此時記錄滴定管刻度。

(3) 重複步驟 (1)、(2) 共 3 次，求出 A 牌牙膏的濃度平均值。

3. 凝膠有效含量測定

(1) 分別取自製 18%過氧化脲凝膠 5 克與 B 牌凝膠 1 克，將兩者分別加入 20mL 水

與 1mL 的 2M 硫酸，於燒杯中以玻棒攪拌直至凝膠與水均勻混合。

(2) 將燒杯移至滴定管底下，以過錳酸鉀滴定直至溶液變成紫色，並且經搖晃後仍不會變回透明為止，此時記錄滴定管刻度。

(3) 重複步驟 (1)、(2) 共 3 次，分別求出自製 18%過氧化脲凝膠與 B 牌凝膠的濃度平均值。

4.漱口水有效含量測定

(1) 分別取自製 6%過氧化氫漱口水與 C 牌漱口水 5 克，將兩者分別加入 20mL 水與 1mL 的 2M 硫酸，於燒杯中以玻棒攪拌直至凝膠與水均勻混合。

(2) 將燒杯移至滴定管底下，以過錳酸鉀滴定直至溶液變成紫色，並且經搖晃後仍不會變回透明為止，此時記錄滴定管刻度。

(3) 重複步驟 (1)、(2) 共 3 次，分別求出自製 6%過氧化氫漱口水與 C 牌漱口水的濃度平均值。

肆、研究結果

一、牙齒美白試劑濃度與美白效果分析

(一) 過氧化氫漱口水

表三

氧化氫漱口水實驗原始數據

L 數值 變化 濃度		時間 (分鐘)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
1.2%	1		5	4	5	6	7	11
	2		1	6	5	6	8	6
	3		2	4	7	8	7	7
2.4%	1		4	3	6	9	7	10
	2		4	6	6	6	8	9
	3		1	7	8	8	9	8

3.6%	1	3	4	7	9	8	10
	2	4	7	7	6	8	10
	3	2	6	7	9	11	10
4.8%	1	2	6	7	8	12	11
	2	4	6	7	7	8	10
	3	3	7	8	11	9	11
6%	1	3	6	8	9	12	11
	2	4	7	8	8	8	10
	3	3	7	8	11	9	11

註:研究者自行繪製

表四

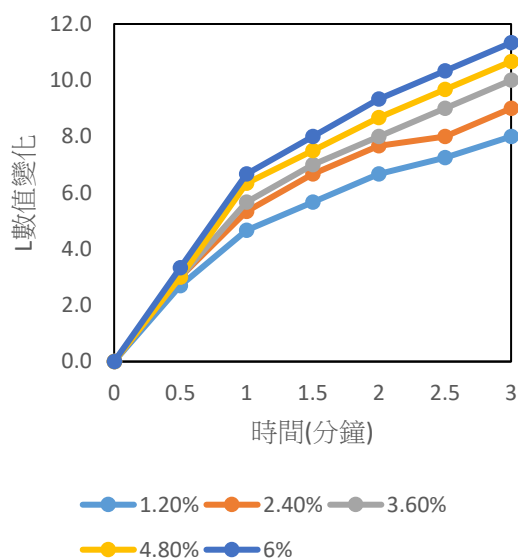
過氧化氫漱口水實驗數據結果

時間 L 濃度	0.5 分鐘		1 分鐘		1.5 分鐘		2 分鐘		2.5 分鐘		3 分鐘	
	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
1.2%	2.7	2.08	4.7	1.15	5.7	1.15	6.7	1.15	7.3	0.5	8.0	2.64
2.4%	3.0	1.73	5.3	2.08	6.7	1.15	7.7	1.52	8.0	1	9.0	1
3.6%	3.0	1	5.7	1.52	7.0	0	8.0	1.73	9.0	1.73	10.0	0
4.8%	3.0	1	6.3	0.57	7.5	0.57	8.7	2.08	9.7	2.08	10.7	0.57
6%	3.3	0.57	6.7	0.57	8.0	0	9.3	0.57	10.3	0.57	11.3	0.57

註:研究者自行繪製

圖三

過氧化氫漱口水時間與美白效果關係圖



註:研究者自行繪製

在不同濃度的過氧化氫漱口水中，L 數值與濃度和時間大致成正相關，同時，觀察後亦可發現隨著浸泡時間的增加，L 值變化的斜率會先由一開始的急劇上升變為逐漸趨緩。

(二) 過氧化脲漱口水

表五

過氧化脲漱口水實驗原始數據

L 數值 變化 濃度		時間 (分鐘)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
3.6%	1		2	4	4	5	6	6
	2		3	3	6	5	5	6
	3		2	2	3	5	6	6
7.2%	1		1	4	5	5	6	5
	2		3	3	4	5	8	8
	3		4	3	5	7	5	7

10.8%	1	2	5	4	8	7	8
	2	3	3	6	6	8	6
	3	3	3	5	4	6	6
14.4%	1	2	4	5	7	8	9
	2	3	4	6	6	6	9
	3	4	5	6	7	9	6
18%	1	4	4	8	8	8	8
	2	4	6	5	5	8	8
	3	3	4	5	8	8	9

註:研究者自行繪製

表六

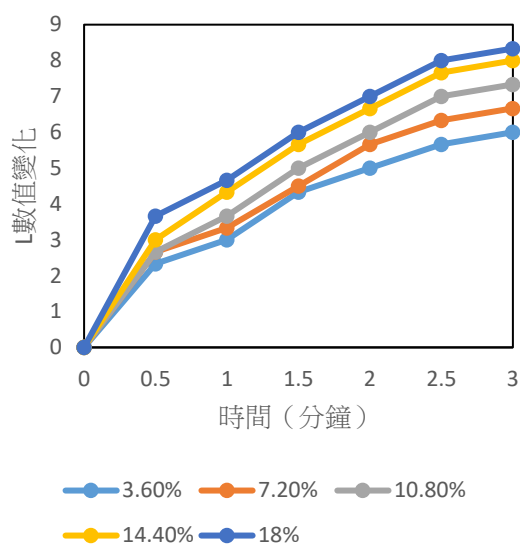
過氧化脲漱口水實驗數據結果

L 時間 濃度	0.5 分鐘		1 分鐘		1.5 分鐘		2 分鐘		2.5 分鐘		3 分鐘	
	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
1.2%	2.33	0.57	3	1	4.33	1.52	5	0	5.66	0.57	6	0
2.4%	2.66	1.52	3.33	0.57	4.5	0.7	5.66	1.15	6.33	1.52	6.66	1.52
3.6%	2.66	0.57	3.66	1.15	5	1	6	2	7	1	7.33	1.15
4.8%	3.0	1	4.33	0.57	5.66	0.57	6.66	0.57	7.66	1.52	8	1.73
6%	3.66	0.57	4.66	1.15	6	1.73	7	1.73	8	0	8.33	0.57

註:研究者自行繪製

圖四

過氧化脲漱口水時間與美白效果關係圖



註:研究者自行繪製

在不同濃度的過氧化脲漱口水間，L 值變化大致與濃度和時間呈正相關，而在過氧化脲漱口水的曲線中，斜率逐漸遞減。

(三) 過氧化氫凝膠

表七

過氧化脲凝膠實驗原始數據

L 數值 \ 時間 (小時)		2	4	6	8	10
		濃度				
1.2%	1	12	18	23	25	24
	2	13	23	25	24	25
	3	15	23	23	24	26
2.4%	1	15	20	24	26	24
	2	15	20	23	24	30
	3	14	24	26	25	26
3.6%	1	14	23	24	26	28
	2	19	22	27	29	27

	3	15	23	25	26	28
4.8%	1	19	23	26	28	28
	2	19	28	29	30	30
	3	15	23	29	30	33
6%	1	20	25	28	31	32
	2	19	28	29	33	33
	3	19	28	33	31	33

註:研究者自行繪製

表八

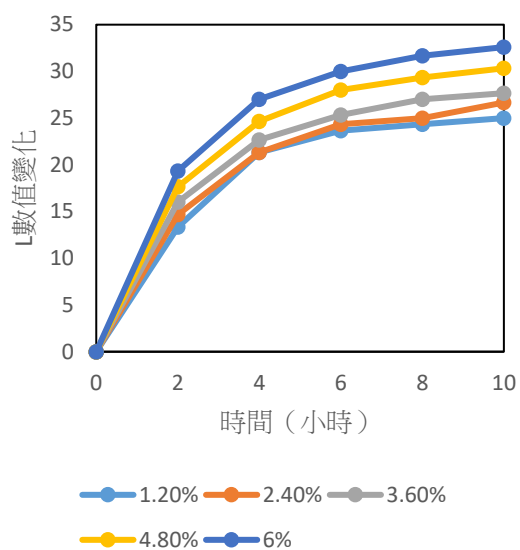
過氧化氫凝膠實驗數據結果

L 時間 濃度	2		4		6		8		10	
	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
1.2%	13.3	1.52	21.3	2.88	23.6	1.15	24.3	0.57	25	1
2.4%	14.6	0.57	21.3	2.3	24.3	1.52	25	1	26.6	3.05
3.6%	16	2.64	22.6	0.57	25.3	1.52	27	1.73	27.6	0.57
4.8%	17.6	2.3	24.6	2.88	28	1.73	29.3	1.15	30.3	2.51
6%	19.3	0.57	27	1.73	3.0	2.64	31.6	1.15	32.6	1.14

註:研究者自行繪製

圖五

過氧化氫凝膠時間與美白效果關係圖



註:研究者自行繪製

在不同濃度過氧化氫凝膠間，L 值的變化量和時間及濃度呈現正相關，而在該圖曲線間，斜率逐漸遞減，呈現一個逐漸趨緩的曲線。

(四) 過氧化脲凝膠

表九

過氧化脲凝膠實驗原始數據

L 數值 變化 濃度		時間 (小時)	2	4	6	8	10
3.6%	1		15	19	28	30	300
	2		18	32	27	29	30
	3		15	22	30	34	35
7.2%	1		18	26	30	30	29

	2	16	23	32	29	35
	3	17	27	26	37	34
10.8%	1	18	27	28	33	34
	2	22	26	33	32	35
	3	16	26	31	33	32
14.4%	1	17	29	31	36	34
	2	17	30	30	31	33
	3	22	22	34	35	36
18%	1	19	32	31	38	35
	2	25	35	30	34	32
	3	19	25	36	32	39

註:研究者自行繪製

表十

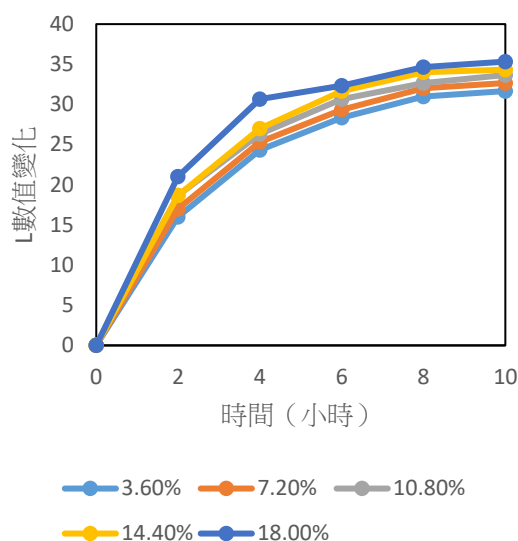
過氧化脲凝膠實驗數據結果

L / 時間 濃度	2		4		6		8		10	
	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
1.2%	16	1.73	24.3	6.8	28.3	1.52	31	2.64	31.6	2.88
2.4%	17	1	25.3	2.08	29.3	3.05	32	4.35	32.6	3.21
3.6%	18.6	3.05	26.3	0.57	30.6	2.51	32.6	0.57	33.6	1.52
4.8%	18.6	2.88	27	4.35	31.6	2.08	34	2.64	34.3	1.52
6%	21	3.46	30.6	5.13	32.3	3.21	34.6	3.05	35.3	3.51

註:研究者自行繪製

圖六

過氧化脲凝膠時間與美白效果關係圖



註:研究者自行繪製

在不同濃度過氧化脲凝膠間 L 值的變化量和時間及濃度呈現正相關，而在該圖曲線間，斜率逐漸遞減，呈現一個逐漸趨緩的曲線。

由圖五和圖六的比較可發現，兩者的 L 值變化最終均落於 30 到 35 的區間，只是過氧化氫數值的差值並無像過氧化脲凝膠的大，表示過氧化氫的分解速度會和濃度有較大的關係，相較之下過氧化脲的分解速度與濃度的關係就較小，此即為過氧化脲分解速度較過氧化氫慢的最佳證明。

二、牙齒美白試劑有效含量測定

為了測試市售產品標示的濃度是否會因為要延長保存期限而選擇加入高於標示濃度的劑量，因此以過錳酸鉀進行了滴定並與自製美白試劑比較，以下為滴定結果：

表十一

市售與自製美白試劑滴定結果

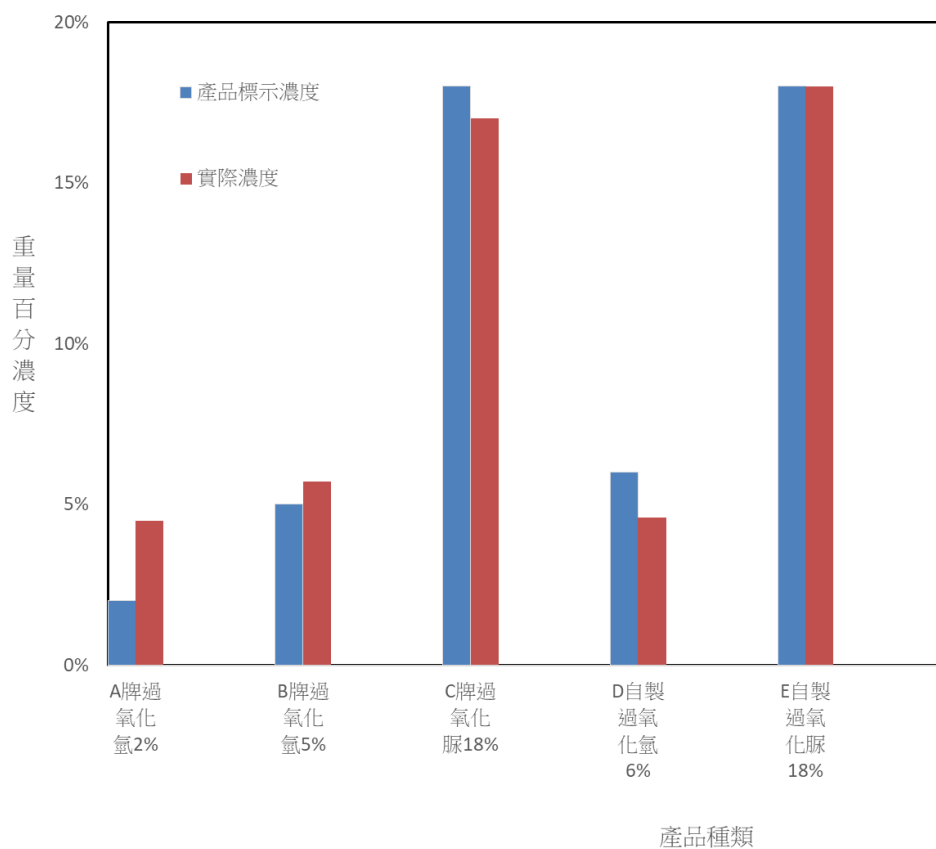
	樣品質量	初刻度	末刻度	滴定體積	重量百分濃度	平均值	標準差
過錳酸鉀標定	4.8	27.6	1.44	22.8	0.19	0.19	0.0024
	0	21.3	1.34	21.3	0.19		
	0	20.7	1.34	20.7	0.19		
	5.02	0	14.2	14.2	0.046	0.045	0.00053
	5.08	0	14.2	14.2	0.045		

A 牌過氧化 氫 2%牙齒 美白漱口水	5.02	0	13.8	13.8	0.044		
B 牌過氧化 氫 5%牙齒 美白牙膏	5	0	17.5	17.5	0.056	0.057	0.00066
	5	0	17.8	17.8	0.057		
	5	0	18	18	0.058		
C 牌過氧化 脲 18%牙齒 美白凝膠	1.04	33	37.1	4.1	0.18	0.17	0.0037
	0.99	28.8	32.5	3.7	0.17		
	1.04	24.5	28.5	4	0.17		
自製過氧化 氫 6%漱口 水	4.98	18	32	14	0.045	0.046	0.00081
	4.98	32	46.5	14.5	0.047		
	5	0	14	14	0.045		
自製過氧化 脲 18%牙齒 美白凝膠	5	14	34.7	20.7	0.18	0.18	0

註:研究者自行繪製

圖七

產品標示濃度與實際濃度比較



註:研究者自行繪製

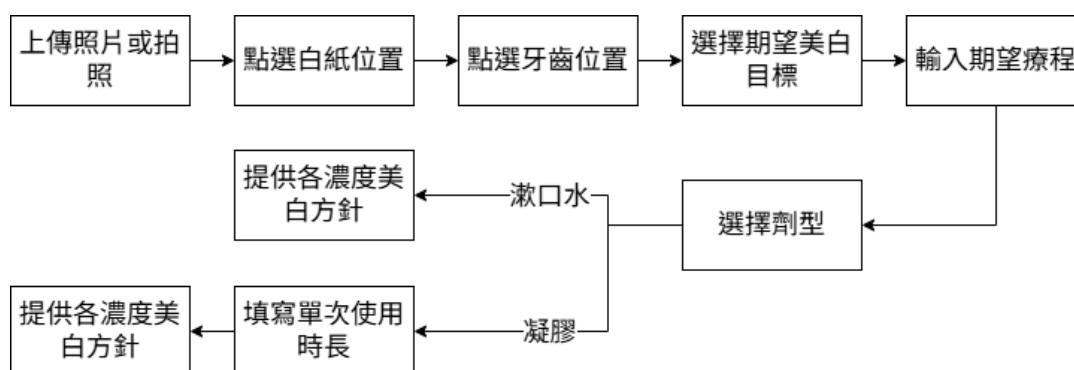
以過氧化氫作為有效成分的自製牙齒美白漱口水的實際值低於標示濃度，而以過氧化氫作為有效成分的市售牙齒美白漱口水及牙膏其實際值反而高於標示濃度，由此可知過氧化氫在市售產品中仍無法解決其容易自行分解的缺點，致使市售產品出現成分含量高於標示的情況。以過氧化脲作為有效成分的牙齒美白產品，無論是自製牙齒美白凝膠或市售牙齒美白凝膠的實際值均與標示濃度相當接近，肯定了過氧化脲其穩定性在市售商品的優勢。

三、客製化牙齒美白 app

(一) 使用介面

圖八

牙齒美 APP 使用流程圖



註：研究者自行繪製

1. 點選白紙與牙齒位置以計算 L 值差

圖九

App 操作-牙齒色階測定

牙齒美白客制化應用

選擇檔案 沒有選擇檔案 拍照

Step2：點牙齒（紅點）



註：研究者自行拍攝

2.選擇想美白到的程度

黃色為使用者當前狀態；黑色為預期達到的狀態

圖十

App 操作-理想牙齒色階設定



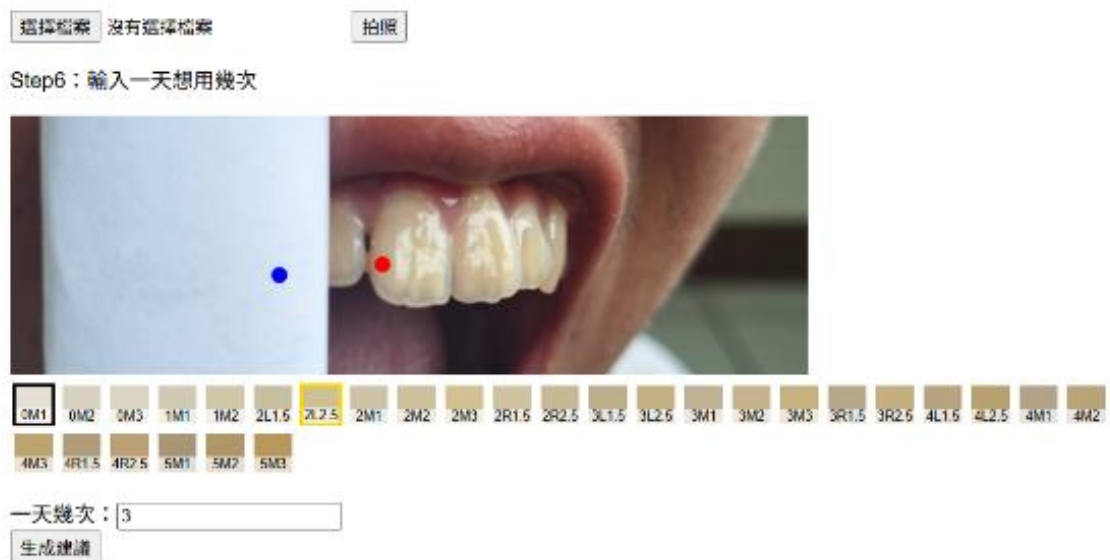
註:研究者自行拍攝

3.輸入自身使用使用習慣（漱口水：一日使用次數；凝膠：單次使用時長

圖十一

App 操作-使用習慣選擇

牙齒美白客制化應用



註:研究者自行拍攝

4.生成美白建議

圖十二

App 操作-生成牙齒美白使用方針

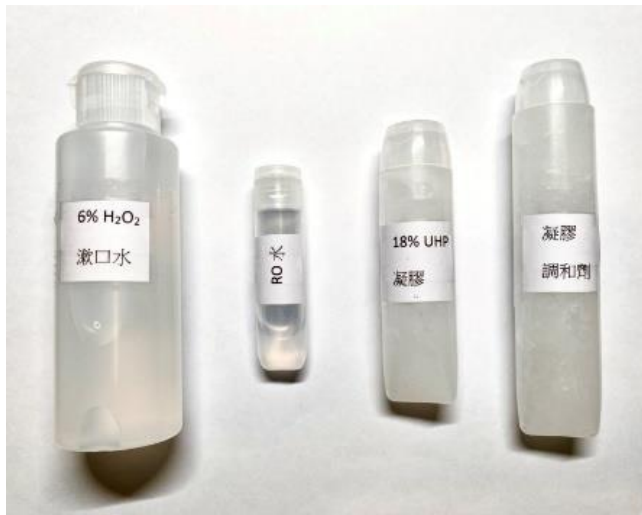


註:研究者自行拍攝

(二) 居家牙齒美白商品化套組

圖十三

居家牙齒美白商品化套組示意圖



註:研究者自行拍攝

因應美白 app 設計的套組可依據需求調配不同濃度之凝膠與漱口水

伍、討論

一、牙齒美白試劑中牙齒美白效果與使用時間之關聯

由圖三至圖六皆可發現曲線間斜率逐漸遞減，呈現一個逐漸趨緩的曲線，根據此一現象的解釋如下：

- （一） 牙齒美白到一定程度後，在較表層與牙齒結合力較弱的色素分子大多數已被氧化完畢，剩餘的色素分子均為與牙齒鑲嵌較為緊密的，因此造成氧化色素的時間變長，L 值增加幅度降低。
- （二） 牙齒美白到一定程度後，附著於牙齒上的色素因逐漸被分解，色素於牙齒表面上的密度逐漸降低，造成 L 值的增加量逐漸減少。
- （三） 在有效成分是過氧化脲的試劑中，過氧化脲本身須先分解成過氧化氫才會開始氧化色素分子，而過氧化脲在初始的分解速度較快，隨著過氧化脲逐漸分解為過氧化氫，過氧化脲的分解速度便開始下降，致使 L 值增加幅度降低。

二、自製牙齒美白試劑安全性考量

本研究所採用的過氧化氫與過氧化脲濃度均符合台灣相關法規標準。根據 Gerald McEvoy, D. C. Rowe (2006) 及 Joiner, A., Thakker, G. (2004) 等人的研究，在正常使用情況下，6% 過氧化氫與 22% 過氧化脲不會對牙釉質產生顯著的損傷。此外，Müller-Heupt, L. K. et al. (2023) 指出，當牙齒以 6% 過氧化氫溶液進行浸泡，若隨後存放於人工唾液中，牙齒表面會出現極微小的損傷；但若存放環境為天然唾液或含再礦化劑之環境，則未能觀察到此類微損。另一方面，Enax 等人 (2024) 的研究亦證實，唾液本身具有促進牙齒再礦化及修復極微細牙釉質損傷的功能。綜合上述各項研究結果，本研究所自製的牙齒美白試劑在實際應用中，預期不會對牙釉質造成破壞。

三、客製化牙齒美白應用程式

（一）漱口水及凝膠有效成分的選擇

由於在符合常理使用範圍時間內的漱口水中，過氧化氫效果較佳，因此漱口水的成分選為過氧化氫；凝膠則是因兩者效果差不多且過氧化脲較利於保存，因此選擇過氧化

脲作為凝膠之成分。

（二）使用者具有差異性

在使用實務上每位使用者牙齒狀態以及健康程度皆有所差異，由於本研究開發的牙齒美白 app 並無考量使用者的使用數據，故無法對此進行評估，但可以與專業的牙醫師進行討論，針對需要考量的面向設計評估量表以完善 app 設計，並強化此研究的可行性。

四、居家牙齒美白商品化套組優勢

為了更全面的比較本小組自製牙齒美白試劑與市售牙齒美白試劑之差異，將會分為五個層面去探討：

（一）成本

為統一各類牙齒美白製劑之劑量基準，本研究依據市售產品之常見市售規格，選定漱口水 500 mL、凝膠 20 mL、牙膏 100 g 作為單一包裝容量的代表值，經由查詢並計算自製美白試劑之成本與市售售價後，得到如下表格：

表十二

牙齒美白試劑成本比較

	漱 口 水		凝 膠	
種類	自製過氧化氫 6%漱口水	A 牌過氧化氫 2%漱口水	自製過氧化脲 18%凝膠	C 牌過氧化脲 凝膠
成本	28.85	95.14	17.56	1000

註：研究者自行繪製

根據此表，可以發現，牙齒美白試劑均遠低於市售產品售價，由於自製牙齒美白製劑僅保留主要有效成分，未額外添加穩定劑、緩衝劑或香料等配方輔助成分，因此才會造成原料成本上顯著低於市售產品。然而，此製劑配方尚未經完整穩定性與生物相容性測試，故未能納入臨床使用建議，但作為實驗性配方具有評估效能與成本潛力的參考價值。

（二）泛用性

與市售美白產品只有固定濃度不同由於本小組設計的美白產品是採取給予最高濃度並加以稀釋，因此對於任何濃度均可自行調配出來，在濃度使用上可涵蓋範圍較廣，泛用性較市售美白產品好。

（三）氣味及刺激性

在氣味方面，由於市售和自製的牙齒美白產品均使用低濃度，因此較不易產生刺激性氣體，但對於自製美白試劑，由於尚未進行安全測試，因此可能會對牙釉質、牙齦等區域造成刺激。

（四）成分透明度

在市售美白產品中，有部分產品只會選擇對外公開必要成分，其餘成分不公開，導致可能會在安全方面有疑慮，而對於自製美白產品，成分透明，對於安全性的疑慮較小。

（五）實際濃度與標示濃度大小差異

根據表八與圖九，可知市售的美白試劑濃度會高於標示濃度，而自製美白試劑雖會略低於標市濃度，但可以確保在低風險的情況下進行牙齒美白，因此相較之下，使用自製美白試劑會較安全。

表十三

市售與自製美白試劑優劣比較

	市售	自製
成本	劣，成本遠高於自製	優
泛用性	劣	優
氣味及刺激性	優	劣，尚未做安全測試
成分透明度	劣	優
實際濃度與標示濃度大小	劣，產生刺激的風險較大	優，產品相對較溫和

註：研究者自行繪製

陸、結論

一、研究結論

本研究首次系統性比較過氧化氫與過氧化脲兩類常見美白成分於不同劑型（漱口水與凝膠）下的牙齒美白效果，透過豬牙模型與 CIELAB 色彩空間中 L 值之量化分析，不僅建立了濃度與使用時間對美白效果之關聯方程式，更開發出可依使用者需求調整濃度與使用頻率的智慧牙齒美白推薦系統 app。實驗顯示，在漱口水中，以 6% 的過氧化氫漱口水效果最佳，而在凝膠中，則是以 18% 的過氧化脲凝膠具最佳美白效能，且兩者之效果趨勢與反應時間呈現非線性關係，推測色素去除過程中存在速率變化，反映真實生活中染色深淺與反應進程的複雜性。

透過成本比較與成分分析，自製美白製劑在成本、成分透明度及使用彈性上具明顯優勢，雖尚未進行完整安全性測試，但於合理範圍內使用預期不會對牙齒造成損傷。此外，本研究也結合資訊科技建置可即時生成美白建議之應用平台，使牙齒美白不再只是固定療程，而是因人而異的動態調控。綜合而言，本研究不僅驗證了不同氧化劑與劑型的效能差異，更成功將量化實驗數據轉化為實用的個人化建議工具，為未來居家牙齒美白產品之發展提供新方向與參考依據。

二、未來實驗規劃

- （一）將過氧化氫以及過氧化脲的漱口水和凝膠以不同比例混合，探討其效果變化以及美白效果最佳比例。
- （二）研究人類牙齒組成，自製牙齒模型，避免豬牙個體差異導致的實驗誤差。
- （三）測試自製美白試劑對於琺瑯質的損害，添加其他物質以降低對牙齒的損傷，以確保居家使用產品的安全性。

柒、參考文獻資料

- 一、陳錦、廖偉誠（2017 年 12 月）。牙齒變色的原因與機制。中華民國家庭牙醫學雜誌，12（3），14-25。

二、趙紫沁（2022）。光催化劑之矽鎂鐵氧化物複合材料作用於牙齒漂白（系統編號：110NTU05596002）〔碩士論文，國立臺灣大學〕。臺灣博碩士論文知識加值系統。

三、Epple, M., Meyer, F., & Enax, J. (2019). A Critical Review of Modern Concepts for Teeth Whitening. *Dentistry Journal*, 7 (3), 79. <https://doi.org/10.3390/dj7030079>

四、戴丽莎、王丽娟、马廉正. (2019). 一种美白牙齿的凝胶及其制备方法. (CN109549858A). 中华人民共和国国家知识产权局.
<https://patents.google.com/patent/CN109549858A/zh>

五、pearl12311. (2014 年 9 月 28 日)。过氧化脲的制备方法及其用途. 豆丁网.
取自 <https://www.docin.com/p-924249859.html>

六、特定用途化粧品成分名稱及使用限制表草案（2023 年 7 月 4 日）公布
<https://www.mohw.gov.tw/cp-3803-45712-1.html>

七、Nordbås, H. (1977). Discoloration of dental pellicle by tannic acid. *Acta Odontologica Scandinavica*, 35 (6), 305–310. <https://doi.org/10.3109/00016357709064129>

八、ChemicalBook. (n.d.). *Hydrogen peroxide: Chemical properties, uses, production*. Retrieved May 18, 2025, from
https://www.chemicalbook.com/ProductChemicalPropertiesCB5853861_EN.htm

九、ChemicalBook. (n.d.). *Carbamide peroxide: Chemical properties, uses, production*. Retrieved May 18, 2025, from
https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB7852989.htm

十、朱小红、范永仙. (2006). A kind of preparation method of urea peroxide. (CN100387575C). 中华人民共和国国家知识产权局

十一、陶华西、冯军、池宋燕、何建丽、郑龙 (2002). Preparation method of urea peroxide. (CN1418871A). 中华人民共和国国家知识产权局

十二、Kim, S., Son, J. E., Larnani, S., Sim, H. Y., Yun, P. Y., Kim, Y. J., & Park, Y. S. (2024). Effects of tea and coffee on tooth discoloration. *Italian Journal of Food Science*, 36 (4), 64-71. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v36i4.2715>

- 十三、Enax, J., Fandrich, P., Schulze Zur Wiesche, E., & Epple, M. (2024). The Remineralization of Enamel from Saliva: A Chemical Perspective. *Dentistry journal*, 12 (11), 339. <https://doi.org/10.3390/dj12110339>
- 十四、Čižmarová, B., Tomečková, V., Hubková, B., Hurajtová, A., Ohlasová, J., & Birková, A. (2022). Salivary Redox Homeostasis in Human Health and Disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 23 (17), 10076. <https://doi.org/10.3390/ijms231710076>
- 十五、Duschner, H., Götz, H., White, D. J., Kozak, K. M., & Zoladz, J. R. (2006). Effects of hydrogen peroxide bleaching strips on tooth surface color, surface microhardness, surface and subsurface ultrastructure, and microchemical (Raman spectroscopic) composition. *The Journal of Clinical Dentistry*, 17 (3), 72–78.
- 十六、Joiner, A., & Thakker, G. (2004). In vitro evaluation of a novel 6% hydrogen peroxide tooth whitening product. *Journal of dentistry*, 32 Suppl 1, 19–25. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2003.10.007>
- 十七、Barros Júnior, E. S., Ribeiro, M. E. S., Lima, R. R., Souza Júnior, M. H. D. S. E., & Loretto, S. C. (2022). Excessive Dental Bleaching with 22% Carbamide Peroxide Combined with Erosive and Abrasive Challenges: New Insights into the Morphology and Surface Properties of Enamel. *Materials (Basel, Switzerland)*, 15 (21), 7496. <https://doi.org/10.3390/ma15217496>
- 十八、Pędziwiatr, P., Mikołajczyk, F., Zawadzki, D., Mikołajczyk, K., & Bedka, A. (2018). Decomposition of hydrogen peroxide – Kinetics and review of chosen catalysts. *Acta Innovations*, (26), 45–52. <https://doi.org/10.32933/ActaInnovations.26.5>
- 十九、Müller-Heupt, L. K., Wiesmann-Imilowski, N., Kaya, S., Schumann, S., Steiger, M., Bjelopavlovic, M., Deschner, J., Al-Nawas, B., & Lehmann, K. M. (2023). Effectiveness and safety of over-the-counter tooth-whitening agents compared to hydrogen peroxide in vitro. *International Journal of Molecular Sciences*, 24 (3), 1956. <https://doi.org/10.3390/ijms24031956>

【評語】 050212

有改進實驗方法與條件，建立一個可行性的優化條件。以過
錳酸鉀作為滴定的氧化劑易造成實驗數據的誤差。

作品海報

居家自製牙齒美白試劑與客製

化牙齒美白應用程式之開發

動機

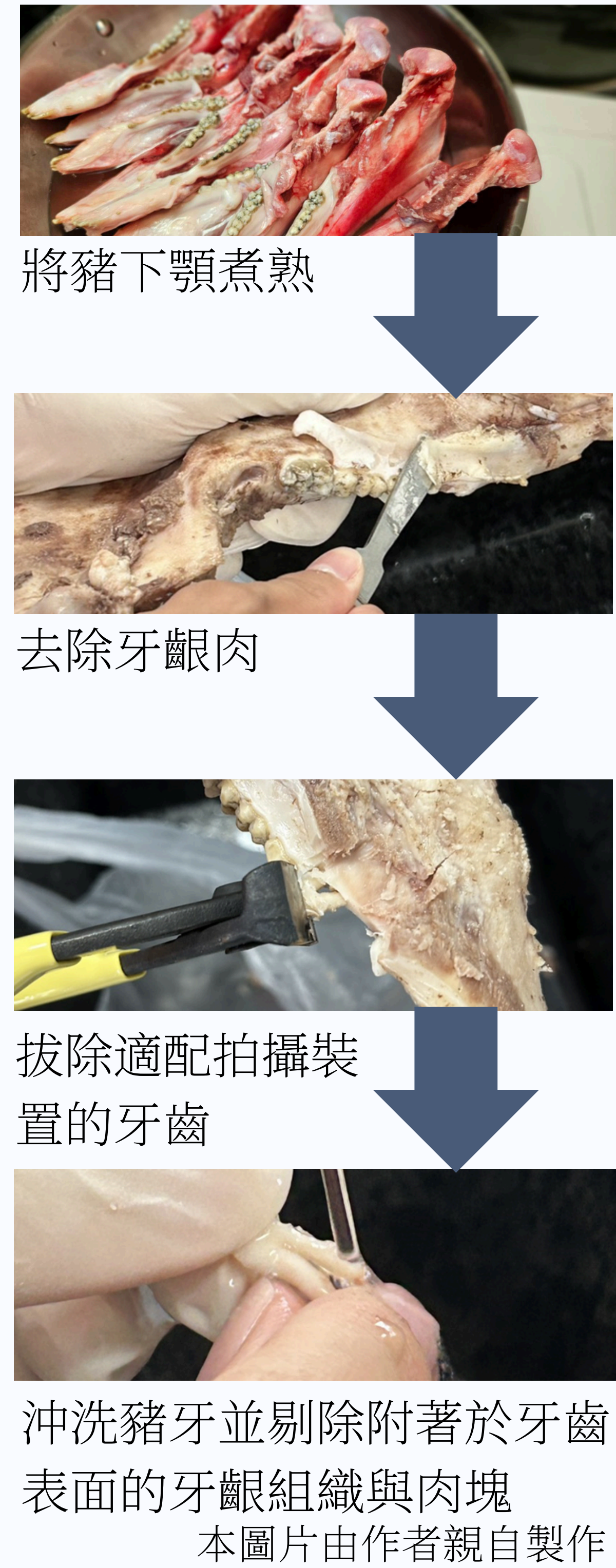
牙齒美白產品中常見的氧化劑為過氧化氫（H₂O₂）與過氧化脲（urea hydrogen peroxide, UHP），然而H₂O₂具高度反應活性，容易因光照、熱、金屬離子催化等因素而快速分解，不僅降低儲存穩定性，亦可能影響實際使用時的美白效果。相對而言，UHP具有較高穩定性，釋放速率緩慢，常用於需長時間作用的產品中。市售產品常以兩成分進行不同濃度與劑型的設計，但缺乏以應用條件進行評估與建模的設計。因此本研究擬比較H₂O₂與UHP在不同條件下的美白效能，建構濃度、時間與亮白度變化之關係模型，進一步開發實用性高的牙齒美白應用程式，發展可根據使用者牙齒初始狀態提供產品配比建議的智慧推薦系統，提升居家牙齒美白產品的實證基礎與個人化效能，為個人化口腔保健管理提供新思維，同時期望有助於減輕牙科醫療負擔。

研究目的

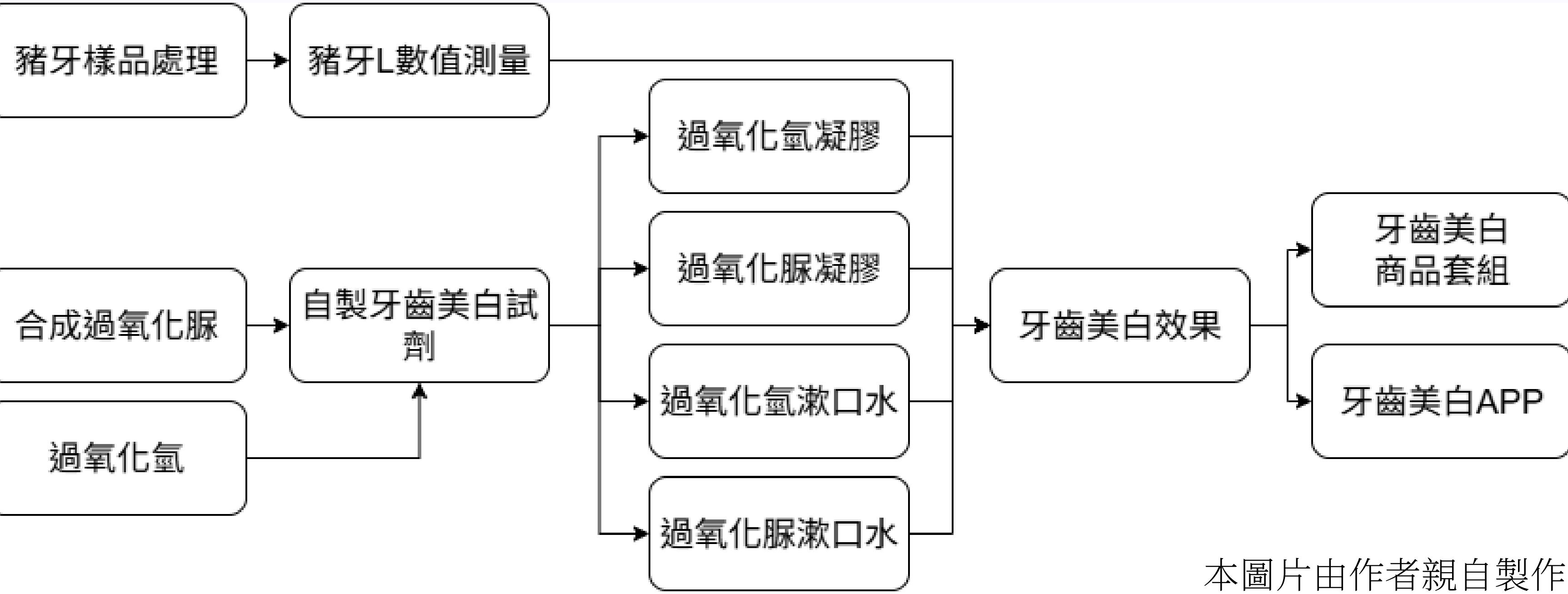
- （一）探討過氧化脲合成方法
- （二）探討以漱口水作為劑型，過氧化氫及過氧化脲濃度與美白效果關聯
- （三）探討以凝膠作為劑型，過氧化氫及過氧化脲濃度與美白效果關聯
- （四）開發客製化牙齒美白網站及居家牙齒美白商品化套組

研究過程

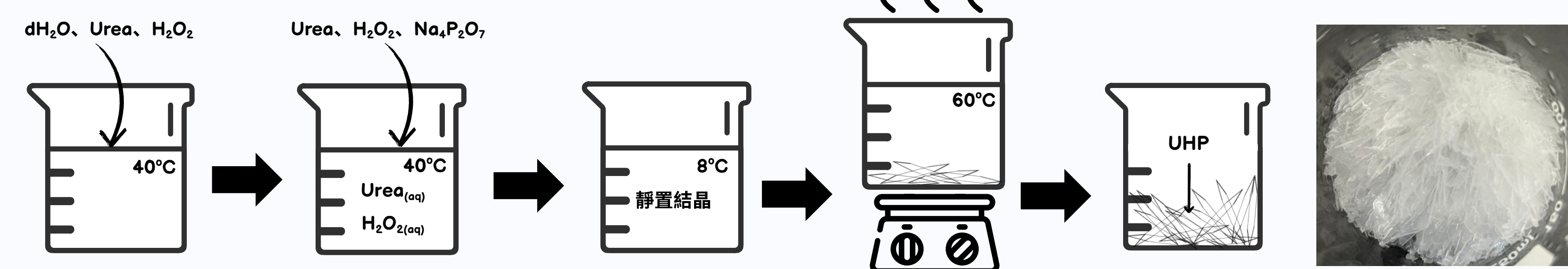
豬牙前處理流程圖



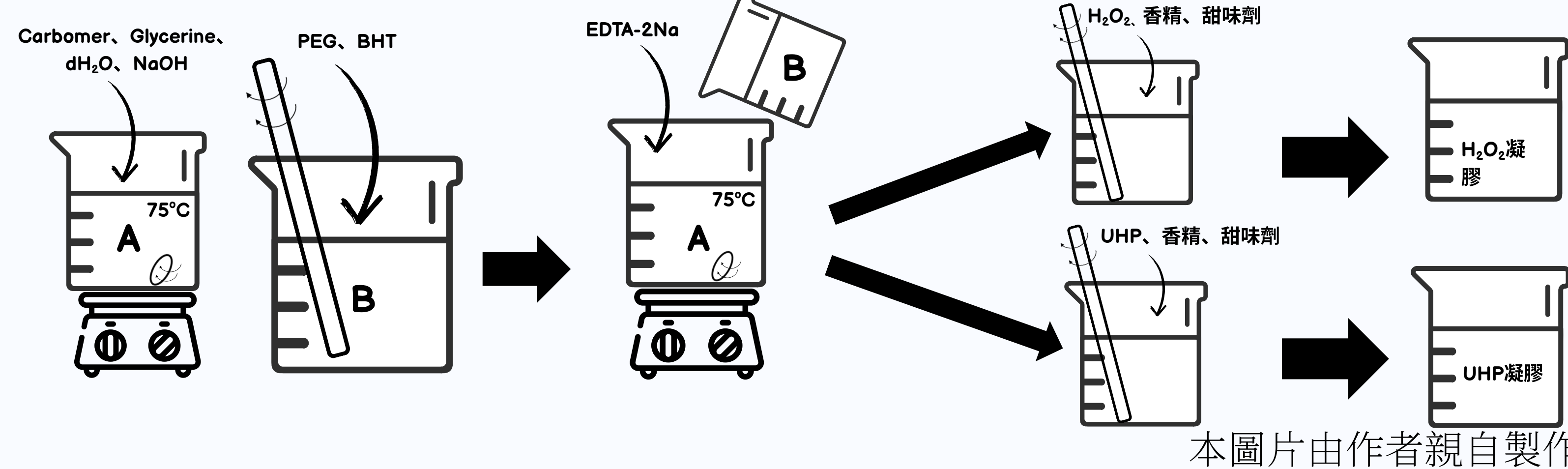
研究架構圖



過氧化脲製備



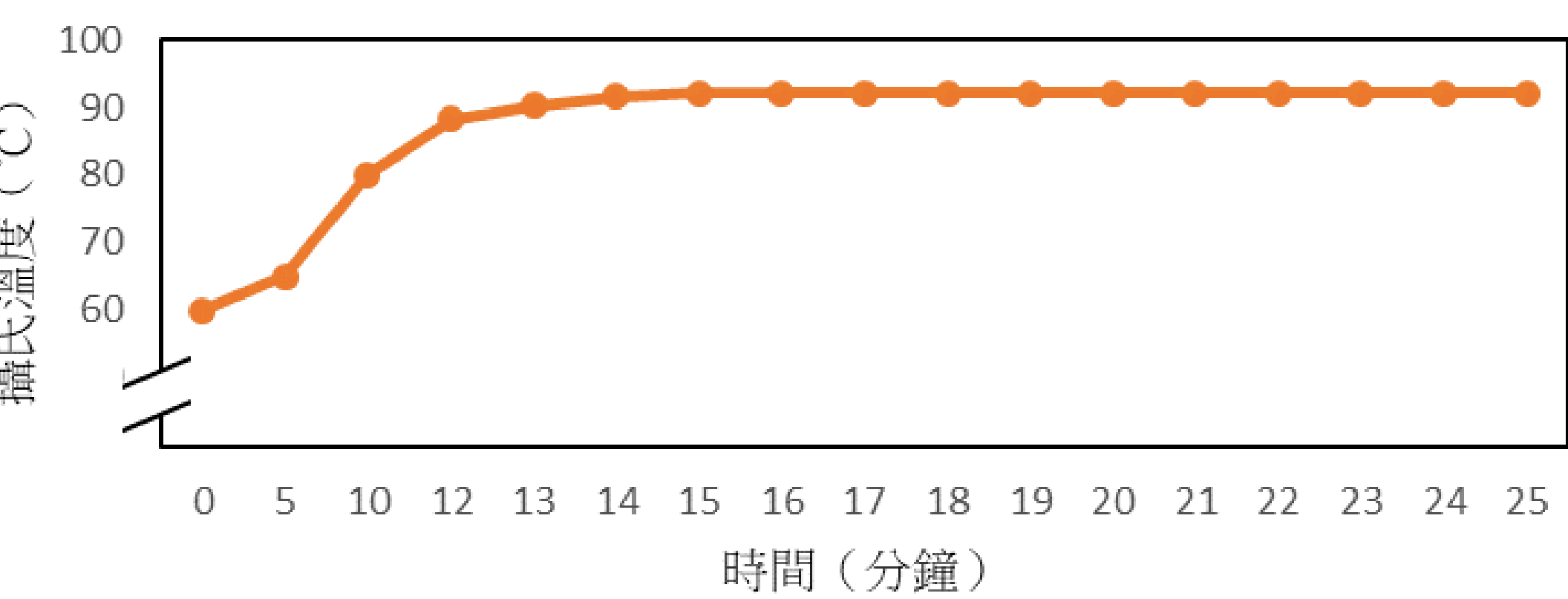
過氧化氫與過氧化脲凝膠



實驗結果

過氧化脲檢測

過氧化脲加熱曲線

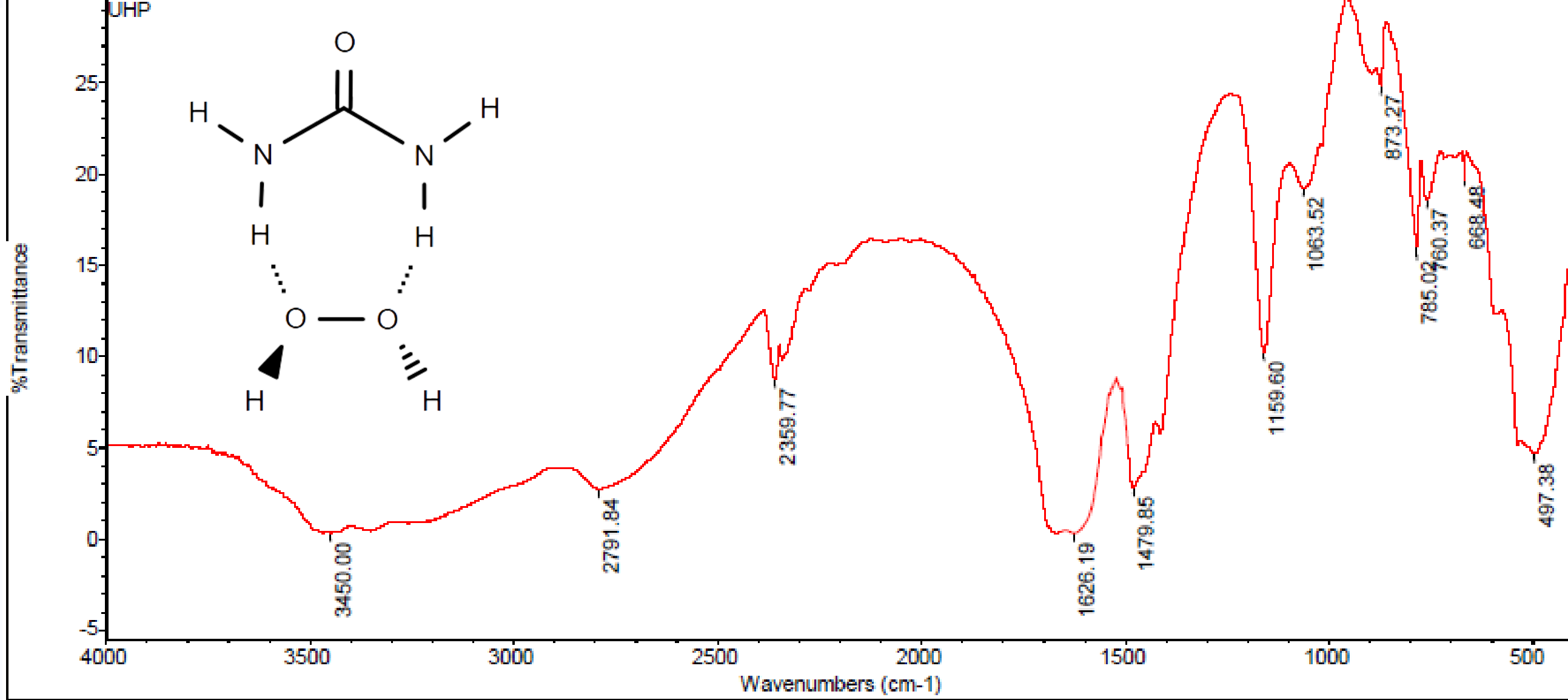


UHP FTIR 光譜圖吸收區域意義

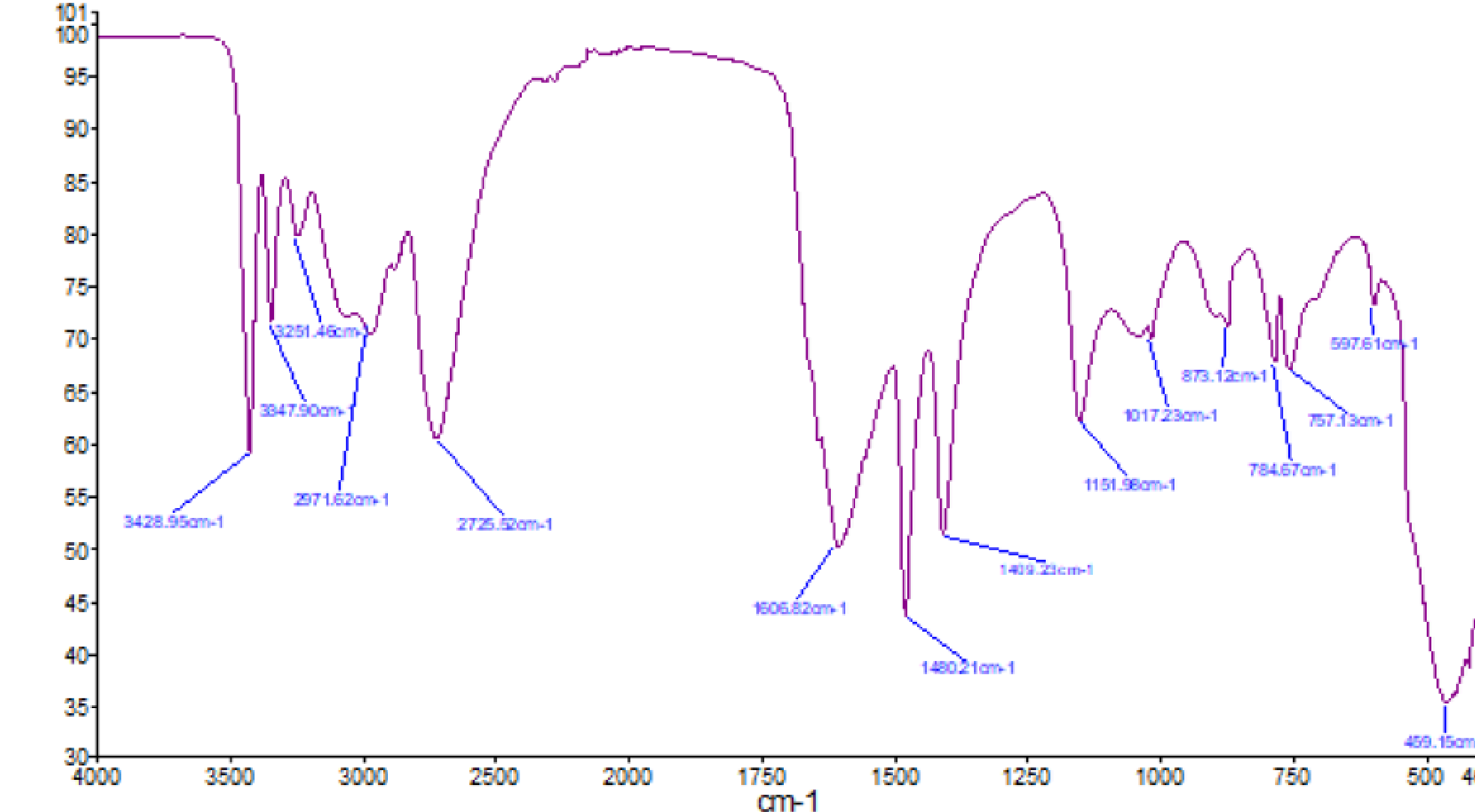
波數 (cm ⁻¹ A)	吸收區域解釋	官能基對應
3450	寬廣強吸收帶	O-H 或 N-H stretching
2791.84	弱吸收	N-H overtone或 C-H stretching
2359.77	雜訊或 CO ₂ 吸收	大氣中 CO ₂
1626.19	中強吸收	C=O stretching (尿素)
1479.85	中吸收	N-H bending 或 CH ₂ bending
1159.6	強吸收	O-O stretching
1063.52	強吸收	O-O stretching
873.27	中吸收	O-O deformation
785.96	中吸收	NH ₂ rocking
760.37	中吸收	NH ₂ deformation
668.48	中吸收	Skeletal vibration 或 C-N deformation
497.38	弱吸收	Skeletal 或 ring deformation

本表格由作者親自製作

過氧化脲 FTIR 光譜圖



IR spectrum of urea hydrogen-peroxide

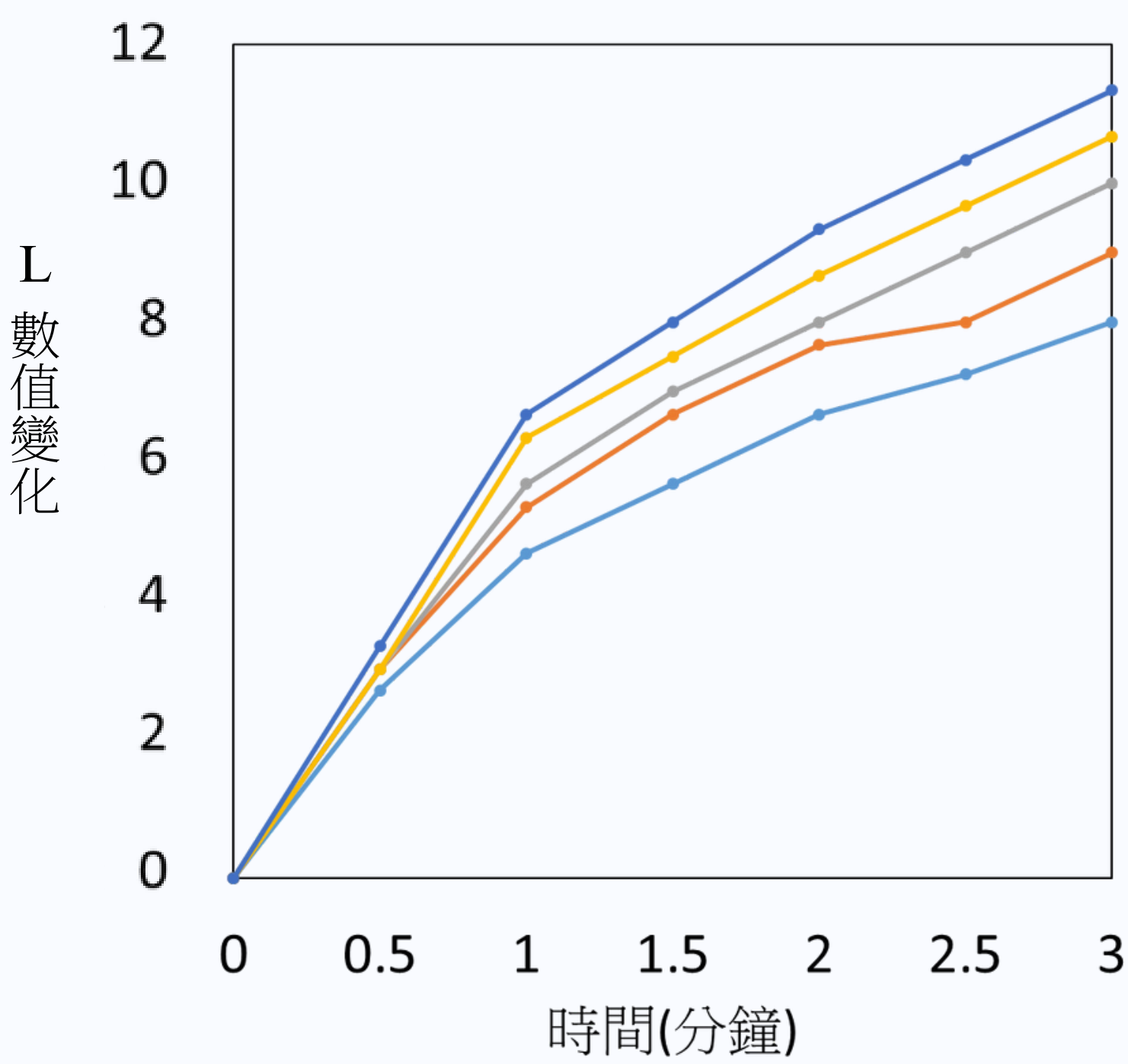


Ref: P. X. Thao, et al, Journal of Science and Technique, 2020, 205, 2.



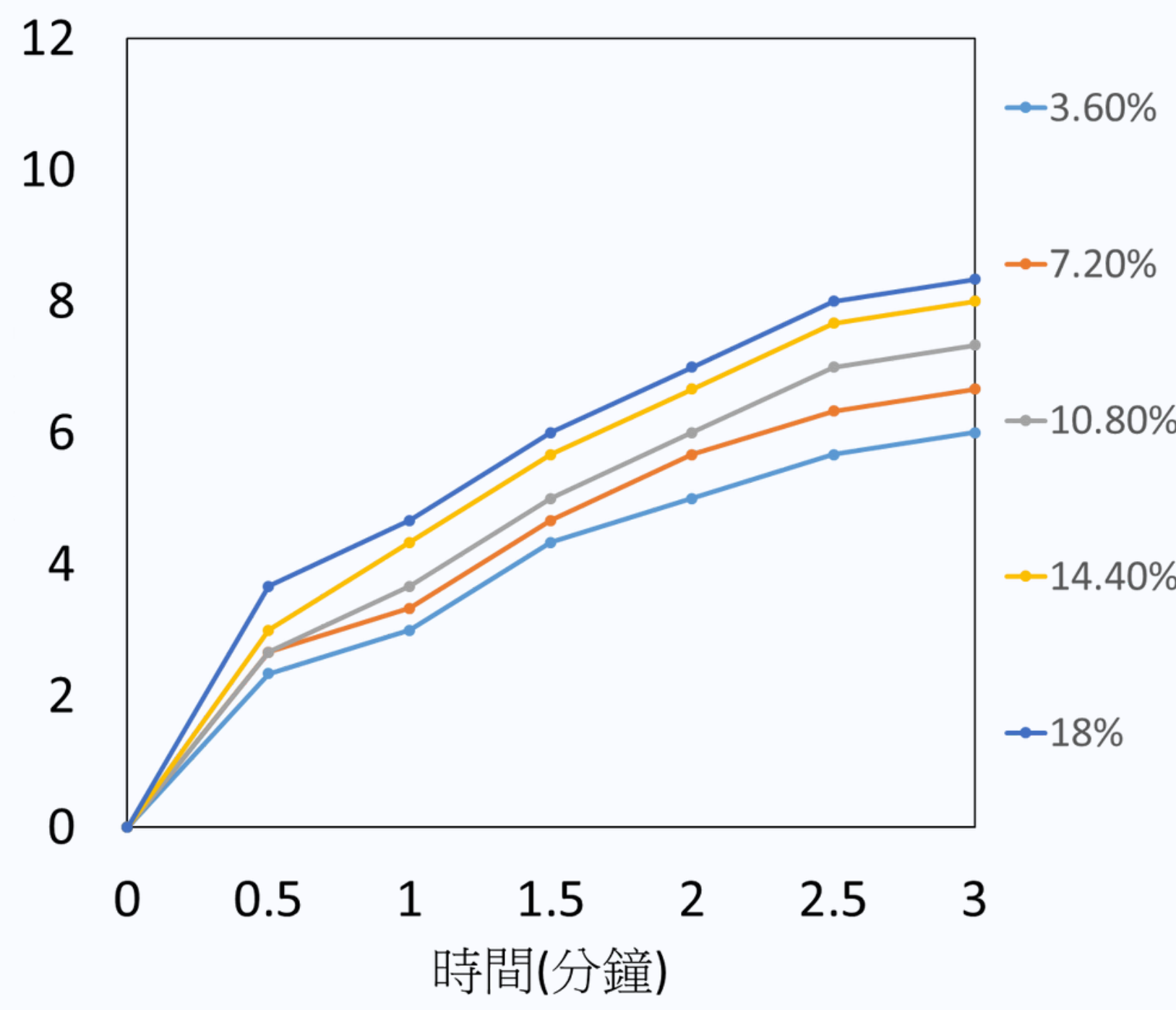
過氧化氫和過氧化脲漱口水美白效果比較

過氧化氫漱口水美白效果



本圖片由作者親自製作

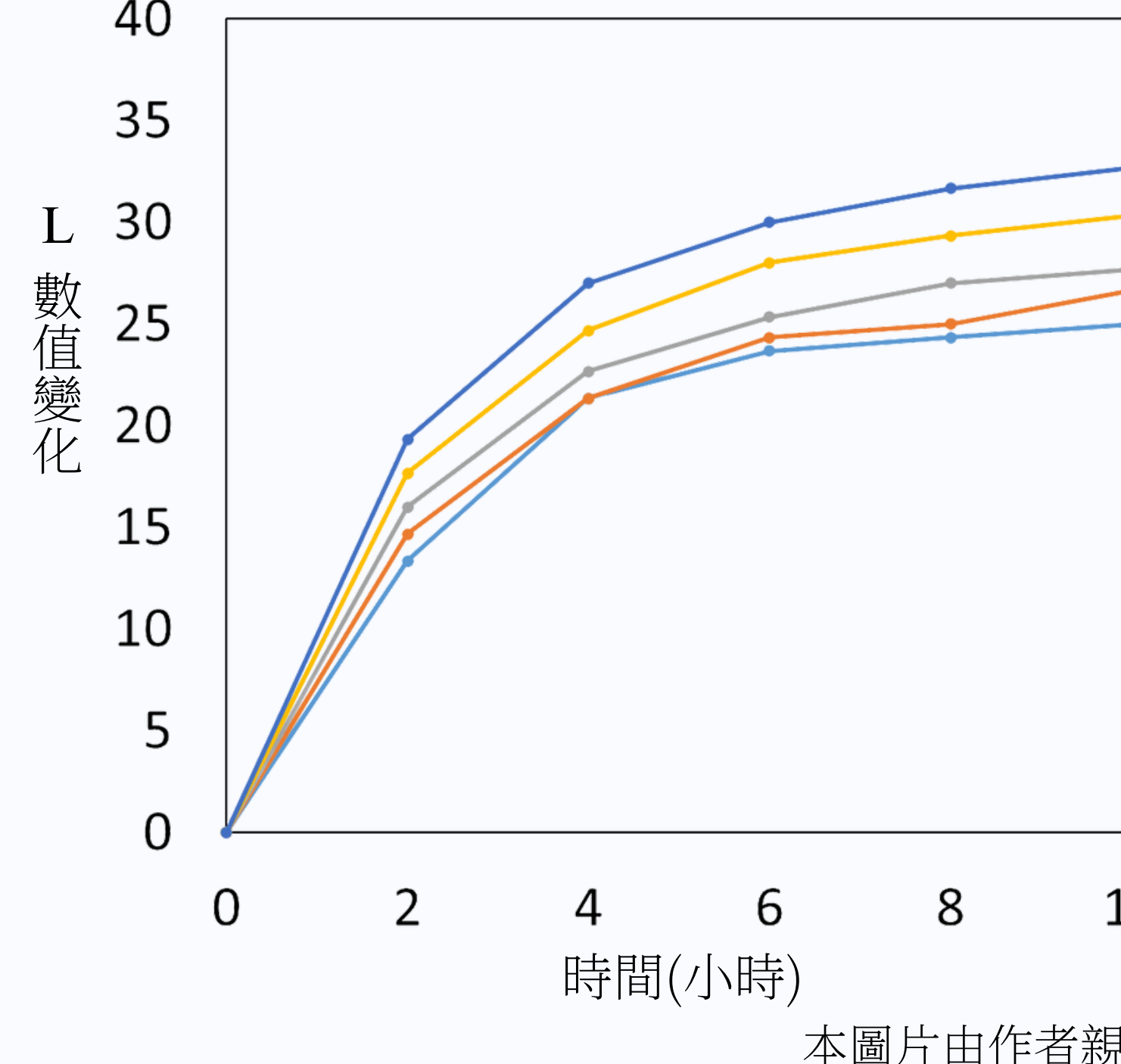
過氧化脲漱口水白效果



本圖片由作者親自製作

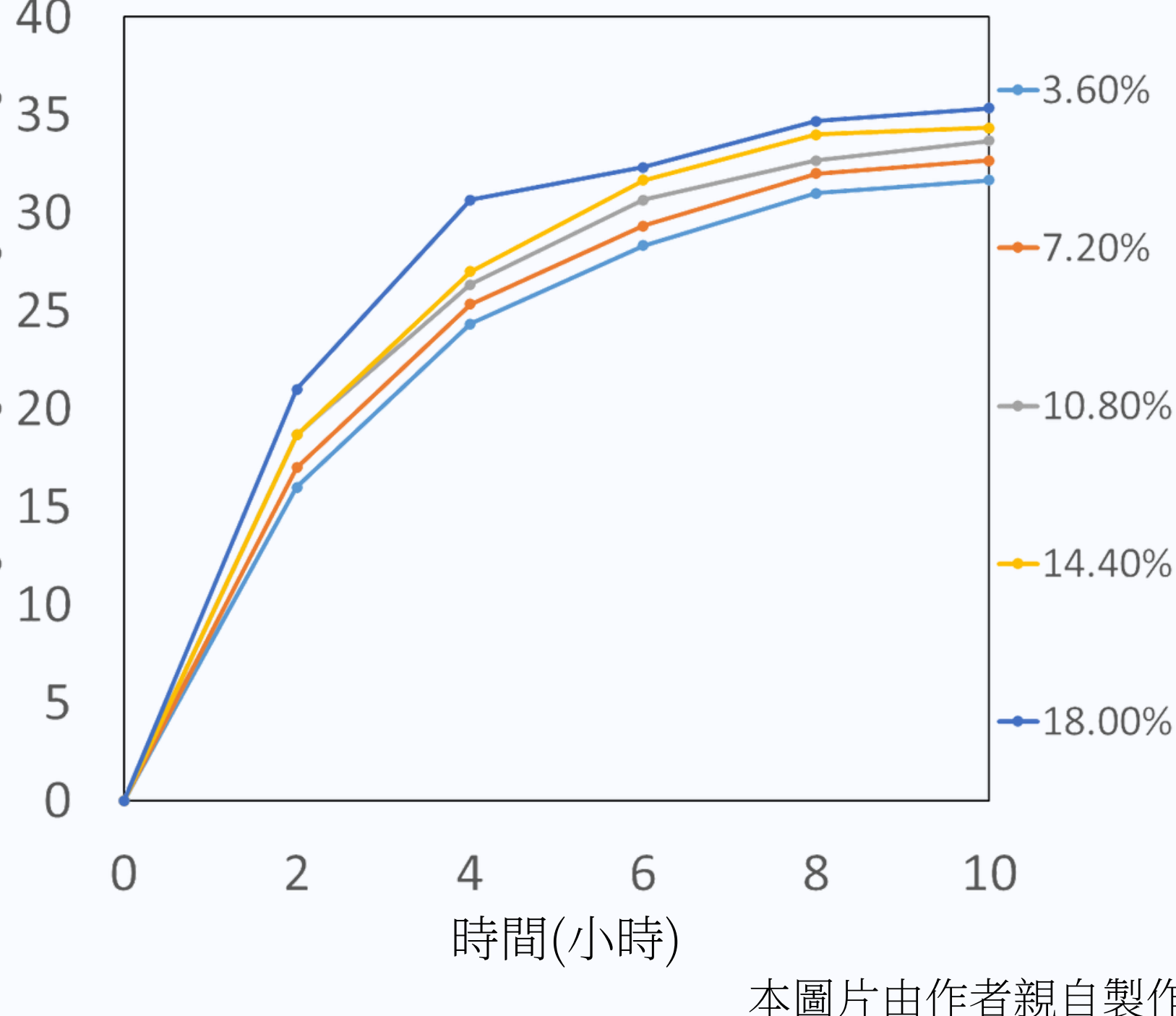
過氧化氫和過氧化脲凝膠美白效果比較

過氧化氫凝膠美白效果



本圖片由作者親自製作

過氧化脲凝膠美白效果

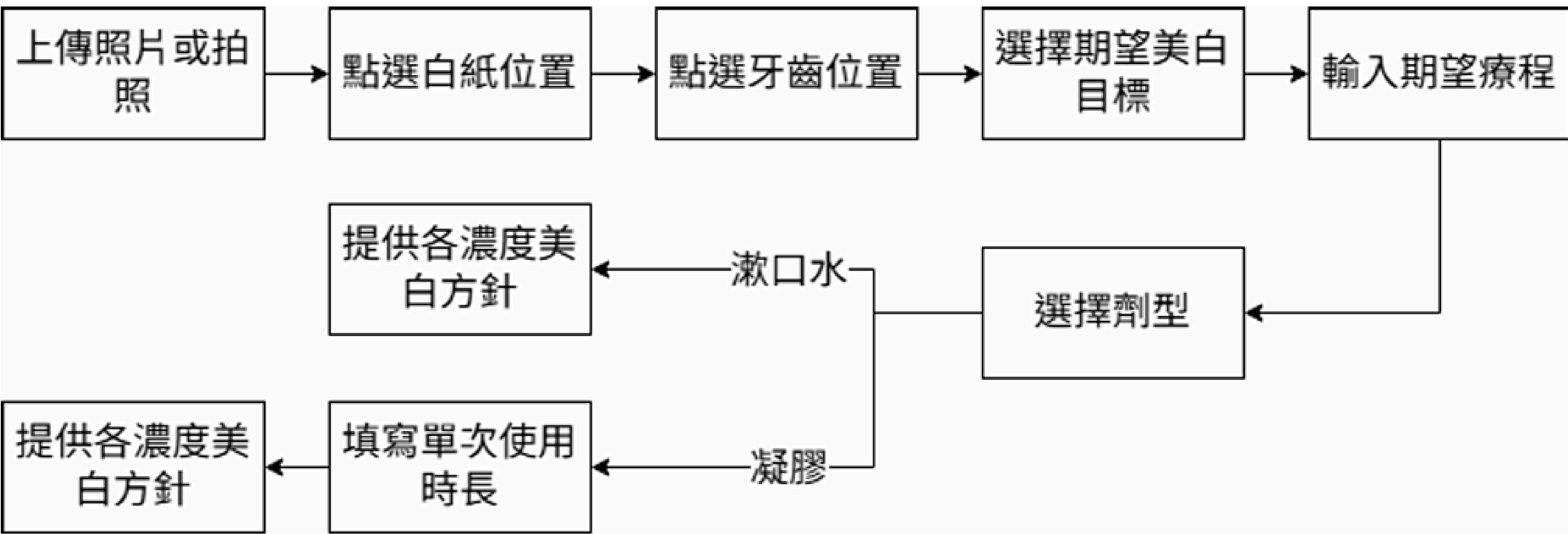


本圖片由作者親自製作

客製化牙齒美白app



牙齒美白app使用流程圖



ΔL與時間變化之方程式

過氧化氫漱口水
1.2% $y=0.3148x^3-2.2103x^2+6.4669x-0.0079$
2.4% $y=0.3704x^3-2.6508x^2+7.6138x-0.0556$
3.6% $y=0.3704x^3-2.5714x^2+7.7328x-0.0635$
4.8% $y=0.3704x^3-2.6984x^2+8.3519x-0.127$
6% $y=0.3704x^3-2.7778x^2+8.8042x-0.0952$

$R^2=0.9924$
 $R^2=0.991$
 $R^2=0.9926$
 $R^2=0.9902$
 $R^2=0.9927$

過氧化脲凝膠
3.6% $y=0.3716x^3-5.6471x^2+29.953x-24.578$
7.2% $y=0.4787x^3-7.0389x^2+35.482x-28.733$
10.8% $y=0.4787x^3-7.0389x^2+35.482x-28.733$
14.4% $y=0.563x^3-8.0254x^2+38.84x-31.067$
18% $y=0.6019x^3-8.4921x^2+40.62x-32.333$

$R^2=0.9994$
 $R^2=0.9997$
 $R^2=0.9982$
 $R^2=0.9983$
 $R^2=0.9981$

牙齒美白app操作示範

1.點選白紙與牙齒位置以計算L差值

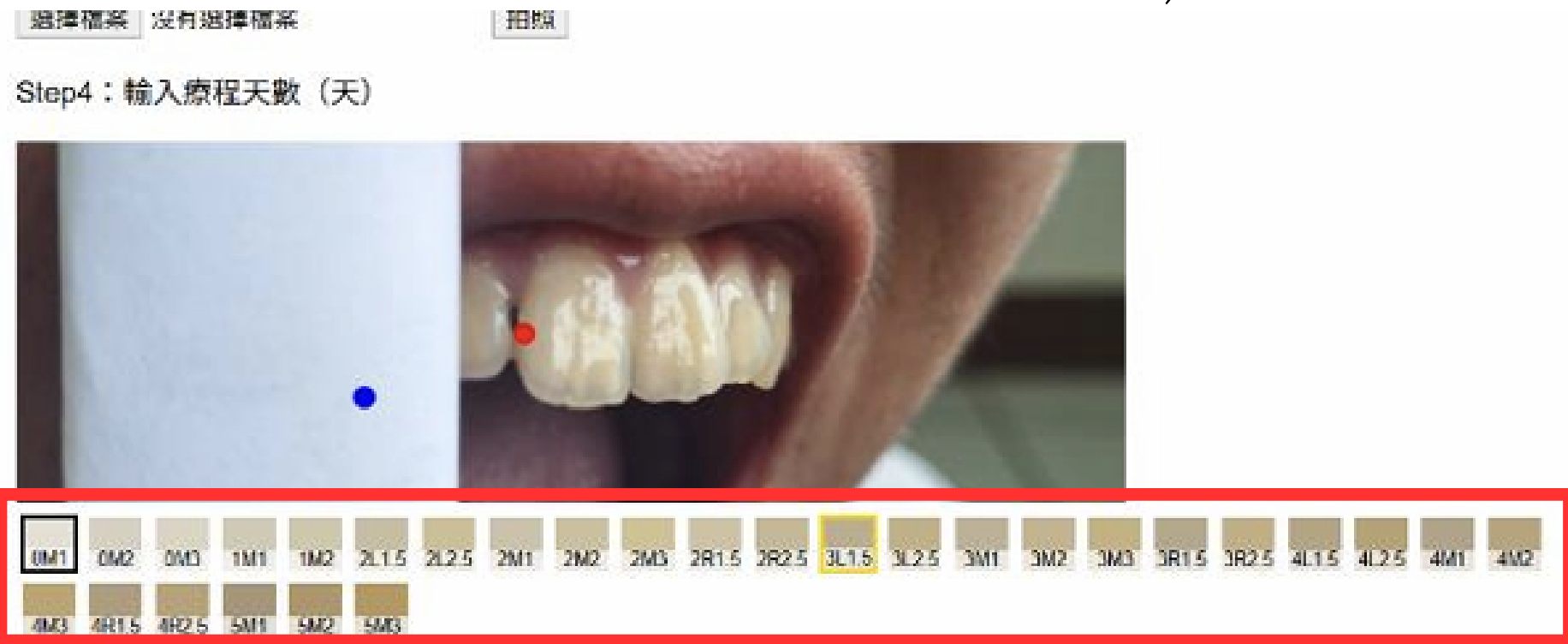
牙齒美白客制化應用



```
if (step === 1) {  
  mark(e, 'blue');  
  lab_ref = await fetchLab(e);  
  step = 2; updateStep('Step2: 點牙齒 (紅點)');  
}  
else if (step === 2) {  
  mark(e, 'red');  
  lab_tooth = await fetchLab(e);  
  step = 3; updateStep('Step3: 選目標色階');  
  await buildShades();  
}
```

本圖片由作者親自製作

2.選擇想美白到的程度(黃色為使用者當前狀態；黑色為使用者所選)

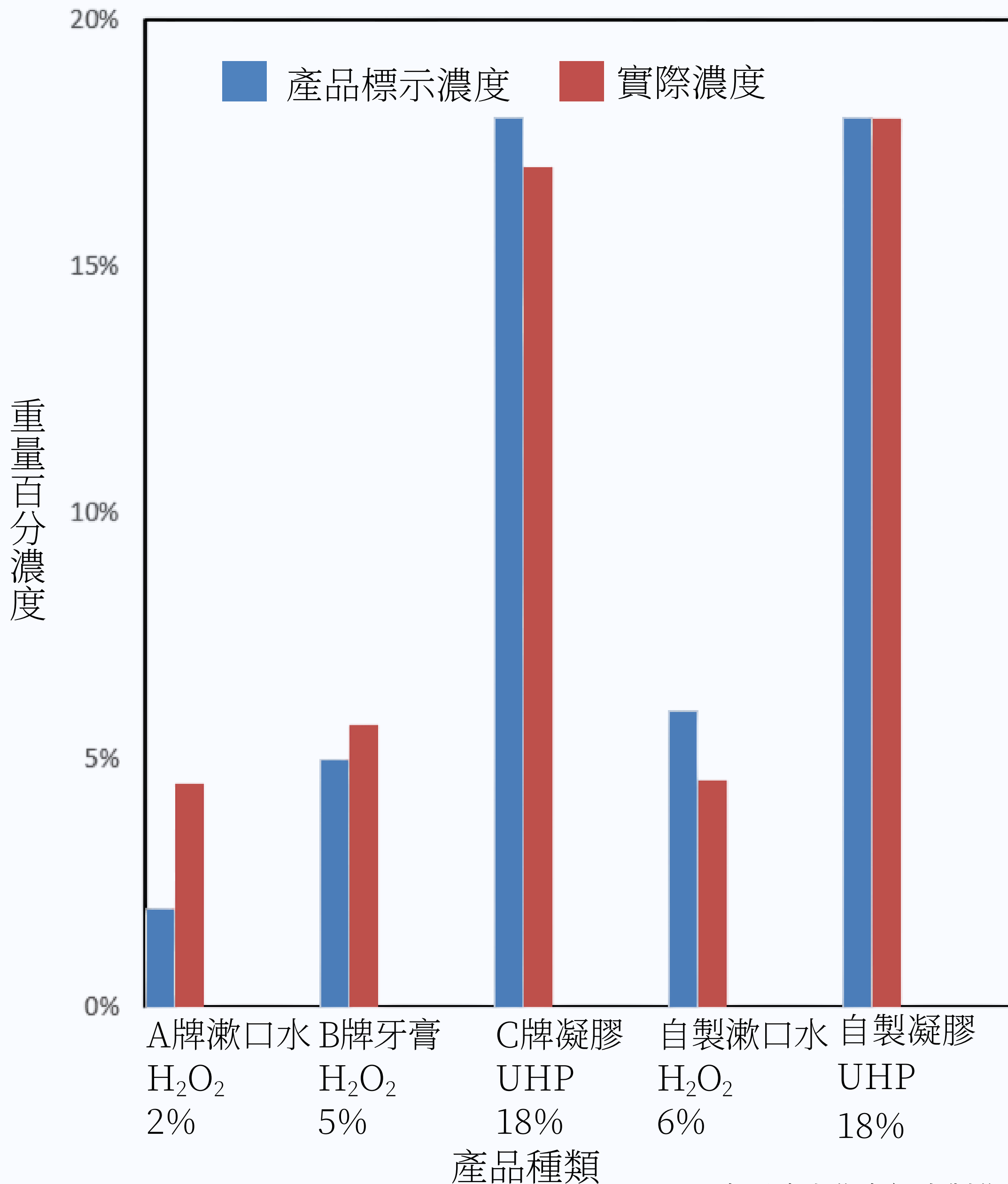


```
if (currentDL !== null) {  
  for (let i = 0; i < shadesData.length; i++) {  
    let diff = Math.abs(currentDL - shadesData[i].ΔL);  
    if (diff < minDiff) { ... currentIdx = i; }  
  }  
}  
...  
b.classList.add('current'); // 黃框  
...  
b.onclick = () => selectShade(i); // 點選目標 (黑框)
```

本圖片由作者親自製作

牙齒美白試劑有效含量測定

比較產品標示濃度與實際濃度



本圖片由作者親自製作



6% 過氧化氫漱口水浸泡3分鐘

本圖片由作者親自拍攝



18%過氧化氫漱口水浸泡3分鐘

本圖片由作者親自拍攝



6%過氧化氫凝膠使用10小時

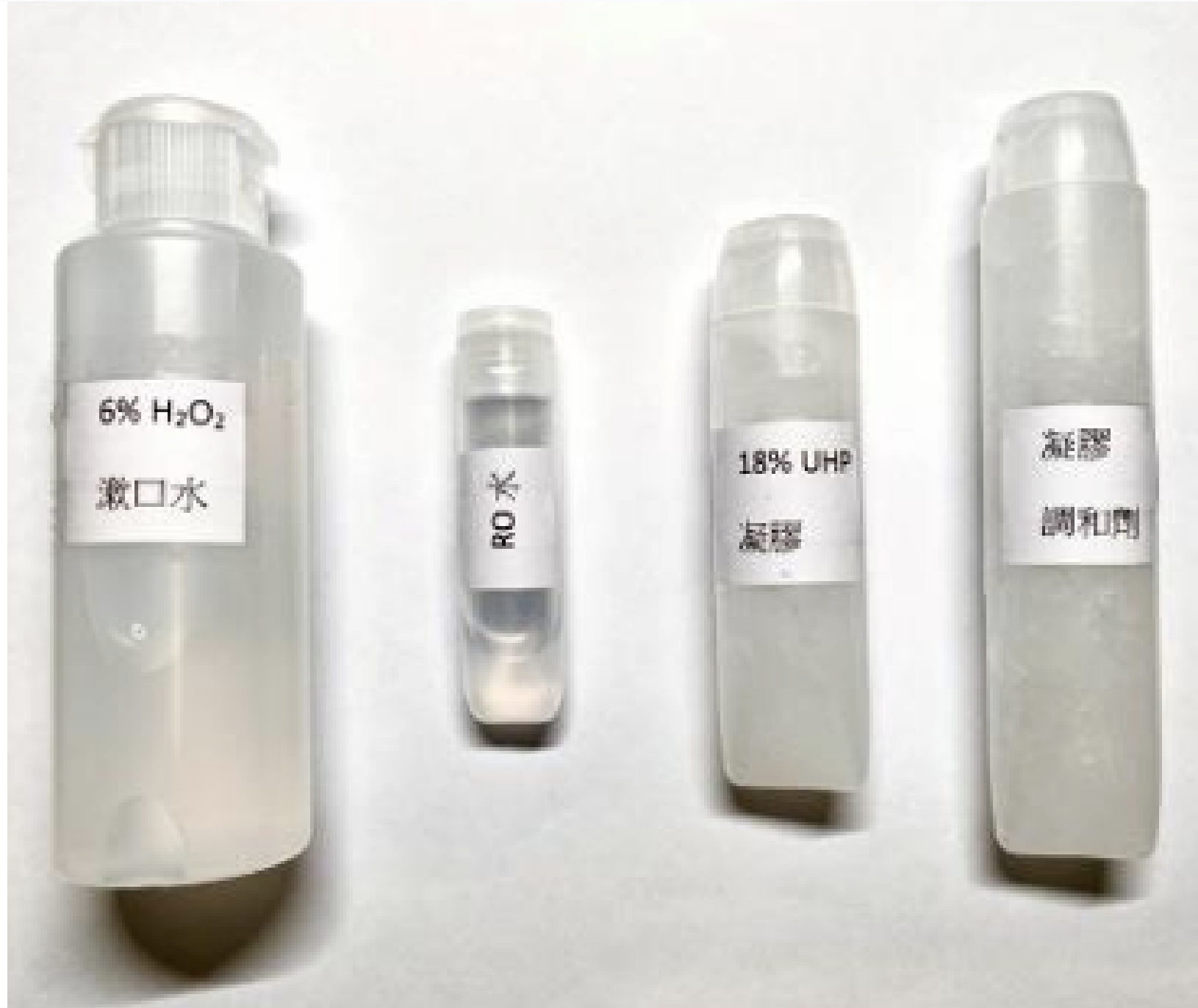
本圖片由作者親自拍攝



18%過氧化脲凝膠使用10小時

本圖片由作者親自拍攝

居家牙齒美白商品化套組示意圖



本圖片由作者親自製作

本圖片由作者親自拍攝

3.輸入使用習慣（漱口水：一日使用次數；凝膠：單次使用時長）



```
<label><input type="radio" name="form" value="gel">凝膠</label>  
<label><input type="radio" name="form" value="rinse">漱口水</label>  
...  
if (chosenForm === 'rinse') {  
  controls.innerHTML = `  
    <label>一天幾次:<input id="times_per_day" ...>  
    <label>療程天數:<input id="days" ...>  
  `;  
} else {  
  controls.innerHTML = `  
    <label>T (小時):<input id="T" ...>  
    <label>療程天數:<input id="days" ...>  
  `;  
}
```

本圖片由作者親自製作

4.將使用者之習慣參數帶入公式，生成美白建議與產品配方



```
if (chosenForm === 'rinse') {
  const times_per_day = parseInt(document.getElementById('times_per_day').value);
  const formulas = [
    [1.2, x => 0.3148*x**3 - 2.2183*x**2 + 6.4669*x - 0.0079],
    [2.4, x => 0.3704*x**3 - 2.6508*x**2 + 7.6138*x - 0.0556],
    [3.6, x => 0.3704*x**3 - 2.5714*x**2 + 7.7328*x - 0.0635],
    [4.8, x => 0.3704*x**3 - 2.6984*x**2 + 8.3519*x - 0.127],
    [6.0, x => 0.3704*x**3 - 2.7778*x**2 + 8.8042*x - 0.0952],
  ];
  const stock = 6.0, total_ml = DEFAULT_TOTAL_ML;
  let best = null, minDiff = Infinity;
```

```
for (let isHalf of [false, true]) {
  for (let [conc, func] of formulas) {
    const time = isHalf ? 0.5 : 1;
    const y_once = func(time);
    const total = y_once * times_per_day * treatmentDays;
    const diff = Math.abs(total - neededDL);
    if (diff <= 2 && diff < minDiff) {
      minDiff = diff;
      best = {conc, time, total};
    }
  }
}
if (best) break;
}
```

討論

自製牙齒美白試劑安全性

根據Heinz Duschner 和 Zoladz, J. R.（2006）及Joiner, A., 和 Thakker, G.（2004）等人與Barros Júnior等人（2022），使用6%過氧化氫和22%過氧化脲均不會對牙釉質產生顯著損傷，且同時表明，雖然浸泡6%過氧化氫的牙齒置於人工唾液中會在芽子上發現細微損傷，但置於天然唾液或再礦化劑中時則否，因此預期本研究自製的美白試劑不會造成牙釉質損壞。

市售與自製美白試劑成本比較

	漱口水(500mL)		凝膠(20mL)	
種類	自製過氧化氫6%漱口水	A牌過氧化氫2%漱口水	自製過氧化脲18%凝膠	C牌過氧化脲18%凝膠
成本	28.85	95.14	17.56	1000

自製牙齒美白套組優勢

	自製牙齒美白套組	市售牙齒美白產品
成本	勝 相同成分及劑量漱口水成本僅市售產品10%凝膠成本僅市售產品1.8%	敗 價格昂貴
泛用性	勝 依個體差異滿足不同使用需求	敗 產品用法及劑型固定
安全性	敗 雖有文獻支持，但未做相關檢驗	勝 產品已從研發到上市
成分	勝 成分單純且透明	敗 僅標示必要成分且出現有效成分標示不實的狀況

註:研究者自行繪製

研究結論

劑型適用成分

綜合實驗結果顯示，各劑型牙齒美白試劑的牙齒亮白效果皆與作用時間呈正相關。針對漱口水與凝膠的應用情境，分別建議採用H₂O₂與UHP為主要有效成分。實驗中發現，H₂O₂在漱口的使用條件下，在短時間接觸中展現較明顯的效果，故適用於漱口水等短時接觸型產品；在凝膠的使用條件下，雖兩者在最大濃度時的亮白效果相近，但UHP反應最終的L值變化較集中，顯示其反應穩定性較高，不易受環境因素分解，較適合應用於需長時間保存與作用的凝膠產品。

全新居家牙齒美白策略

基於研究結果，本小組開發了一款智慧牙齒美白建議系統，能依據使用者初始L值、預期美白目標與使用習慣，自動生成個人化的療程建議。該App可根據推導出的牙齒美白方程式，提供調配漱口水與凝膠的濃度與使用方式，精準控制活性成分暴露量，避免氧化過度或反應不足，實現更有效且安全的居家美白策略。

本研究不僅成功建立牙齒美白的量化模型，並將CIELAB之L值應用於實務系統開發，更深化了居家牙齒美白產品的科學基礎。透過個人化推薦機制與劑量控制概念，為未來口腔保健管理提供嶄新思維，不僅提升居家牙齒美白的安全性與使用體驗，也有助於減輕牙科醫療負擔，展現高度的社會與產業應用價值。

未來展望

- 1.建立仿人牙模型以提升實驗一致性與可重複性：為避免因豬牙個體來源不同而產生的誤差，參考人類牙齒的組成與結構，自製仿生牙模型，期望建立一套更具實驗穩定性的牙齒美白評估模型。
- 2.探討牙齒美白試劑對牙釉質的影響並尋求其保護機制：評估不同濃度與配方的自製美白劑對牙齒表面牙釉質造成的潛在傷害，並嘗試添加具保護作用的成分以減少結構損害，提升居家美白產品的安全性與實用性。。
- 3.結合臨床觀點優化牙齒美白效果追蹤App設計：針對初期開發的牙齒美白追蹤App，本研究未來可結合牙醫師專業意見，納入使用者資料管理、風險提示與客製化建議等模組，提升App在居家美白流程中的實用性與可信度，並強化其作為科學輔具的應用價值。

資料來源

一、戴丽莎、王丽娟、马廉正。（2019）。一种美白牙齿的凝胶及其制备方法（CN109549858A）。中华人民共和国国家知识产权局。

二、袁偉、童津泓（1999年）。過氧化脲的製備方法及用途。《化學科技》，7(2)，8-10。

三、Joiner, A., & Thakker, G. (2004). In vitro evaluation of a novel 6% hydrogen peroxide tooth whitening product. *Journal of dentistry*, 32 Suppl 1, 19–25.

四、Barros Júnior, E. de S., Ribeiro, M. E. S., Lima, R. R., da Silva e Souza Júnior, M. H., & Loretto, S. (2022). Excessive dental bleaching with 22% carbamide peroxide combined with erosive and abrasive challenges: New insights into the morphology and surface properties of enamel. *Materials*, 15(21), 7496.

五、Duschner, H., Götz, H., White, D. J., Kozak, K. M., & Zoladz, J. R. (2006). Effects of hydrogen peroxide bleaching strips on tooth surface color, surface microhardness, surface and subsurface ultrastructure, and microchemical（Raman spectroscopic）composition. *The Journal of Clinical Dentistry*, 17(3), 72–78.

六、Pham , X. T., Le , V. H., Pham , V. K., Bui , T. T., Pham , M. T., & Cao , H. T. (2021). SYNTHESIS OF UREA-HYDROGEN PEROXIDE AND ITS APPLICATION FOR PREPARING THIOSULFINATE. *Journal of Science and Technique*, 15(01).