

投稿類別：化學類

篇名：  
粉末倒製

作者：  
王郁雯。市立沙鹿高工。紡織三乙班  
吳軒如。市立沙鹿高工。紡織三乙班  
黃喬安。市立沙鹿高工。紡織三乙班

指導老師：  
廖振尉老師  
簡佩琳老師

## 壹、前言

### 一、研究動機

由於現代民生富裕與國人飲食習慣的關係，在日常生活產生的垃圾中，往往含有極高比例的「廚餘」，包括剩飯、剩菜、果皮、食物殘渣等物質，這些約占一般家庭垃圾量的二至三成。而我們生活中的蛋殼呢？又歸類於哪一類？（行政衛生環保署，2021）

教師在使用粉筆時，產生的粉塵會易吸入肺部，若長期吸入有害粉塵，其沉著於肺內，會引起粉塵結節和肺纖維化等主要常見的職業病。

且一般常見的粉筆主要成分是硫酸鈣（ $\text{CaSO}_4$ ），它是一種白色沉澱物，不易被分解，且顆粒也比一般粉塵大，質地輕，粉塵數量也多，若吸進氣管中，會造成鼻、咽、喉等處不適，甚至可能引致肺癌。

所以我們採用廢棄利用、環保衛生，及不造成身體危害的理念，來製作出對人體無害且是使用廢棄蛋殼當作基底的環保粉筆。

### 二、研究目的

我們食用雞蛋時，多數人會直接把蛋殼丟棄，又或者會拿去種菜堆肥，有部分的人會認為蛋殼僅用於堆肥上，但它其實用途並不如一般所想的狹隘，所以我們就此利用這個機會，來達成以下的目的：

- （一）如何利用廢棄蛋殼製成環保用品。
- （二）如何製造出對身體無害的粉筆。
- （三）探討蛋殼在實驗中的性質。
- （四）比較傳統粉筆及蛋殼粉筆的區別。

## 貳、文獻探討

### 一、粉筆中所需材料

#### (一) 碳酸鈣 (蛋殼) :

雞蛋可分為三個構造:蛋殼、蛋白、蛋黃三部分。其蛋殼佔總體積的 10~12%、蛋白 55~63%、蛋黃 26~33%，三部分比例約為 10%、60%、30%，其中蛋殼主要是由 95%~97%碳酸鈣 ( $\text{CaCO}_3$ )和蛋殼膜組成，蛋殼膜是一種蛋白質結構。(陳怡兆，2010)

蛋殼又稱為卵殼，可分為三層，內層的乳頭層、中間的海綿層及外層的角質層。乳頭層含有很多的鈣狀錐形體，錐形體間有小空隙；海綿層是由鈣質纖維交織而成；角質層無任何結構，但有小孔，由此可知蛋殼是多微孔隙結構，其主要成分是碳酸鈣。此外還含有少量的有機物，比如常量元素磷、鎂、鐵及微量的矽、鋁、鋇等元素。(新華網，2021)

碳酸鈣幾乎不溶於水，但溶於酸，鹽酸 ( $\text{HCl}$ ) 是最常見的例子。在化學丙級檢定中的水硬度之測定，測量碳酸鈣的含量也是需以鹽酸溶解後才能配製成溶液。

本實驗我們採用蛋殼來進行整個實驗的主軸。

#### (二) 乾燥劑&顏料 (氧化鋅 $\text{ZnO}$ ):

氧化鋅是一種無機化合物，分子式為  $\text{ZnO}$ 。顆粒不溶於水，但能溶於稀酸或無機酸、碳酸銨鹽溶液、鹼的氫氧溶液。(顏政雄，2002)

常被用作許多材料和產品的添加劑，例如：橡膠物品、玻璃、瓷器、顏料、化妝品等.....。雖然它作為礦物鋅礦天然的存在，但大多數氧化鋅是合成生產的。

而我們利用  $\text{ZnO}$  之特性，使產品達到顯色性以及乾燥的效果。

#### (三) 黏著劑 (聚乙烯醇 PVA、硼砂 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) :

在本實驗過程中，是採用黏接原理中的化學吸附理論，因為固體的表面存在不均勻力場，使表面上的原子還有剩餘的成鍵能力，所以當氣體分子碰撞到固體表面時會與表面原子間發生電子的交換、轉移或共有。

## 粉末倒製

此過程之黏著劑與被黏物間引入分子鍵，會明顯提高黏著劑的黏合強度。能通過表面反應或使用適當的表面處理又或是利用額外的偶聯劑來形成。

聚乙烯醇是一種水溶性塑膠，把聚乙烯醇加入  $H_2O$  時，聚乙烯醇會溶解在水份中，再把硼砂加入時，硼原子與氧原子會將聚乙烯醇分子串在一起，形成黏稠狀液體也就是膠水，而膠水在空氣中會慢慢凝固。(維基百科，2021)

### 1、硼砂 ( $Na_2B_4O_7$ )：

當水溶解硼砂時會生成硼酸 (boric acid,  $H_3BO_3$ )，硼酸在水溶液中會接受氫氧根離子且帶負電荷 (Hydroxide,  $OH^-$ ) 進而生成硼酸根離子 (borate ion,  $B(OH)_4^-$ )，反應如圖 1。(李忠家，2011)

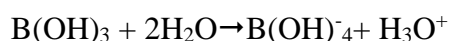


圖 1： $B(OH)_3$  與  $B(OH)_4^-$  的分子結構式

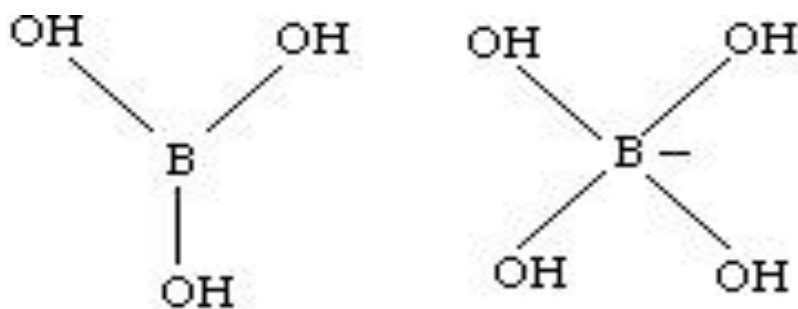


圖 1 資料來源：李忠家 (2011 年 4 月 30 日)。變態的膠水---聚乙烯醇與硼砂的交聯作用。<http://blog.ncue.edu.tw/yangsp/doc/26876>

### 2、聚乙烯醇 (PVA)：

聚乙烯醇 (PVA) 上的醇基與  $B(OH)_4^-$  進行縮合反應 (condensation reaction) 且脫去水分子，使聚乙烯醇分子交聯 (crosslinking) 在一起，形成具有彈性的黏土狀聚合物，如圖 2。(李忠家，2011)

圖 2：醇  $B(OH)_4^-$  與聚乙炔醇進行縮合反應的交聯作用

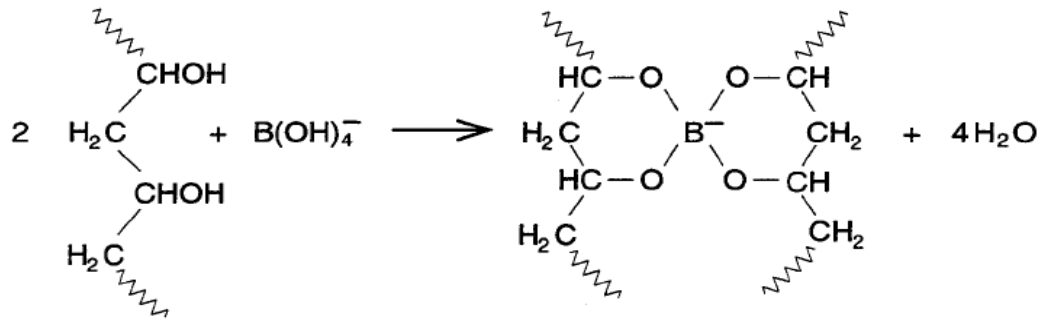


圖 2 資料來源：李忠家（2011 年 4 月 30 日）。變態的膠水---聚乙炔醇與硼砂的交聯作用。<http://blog.ncue.edu.tw/yangsp/doc/26876>

### 3、交聯作用

聚乙炔醇上的醇基與  $B(OH)_4^-$  形成氫鍵（hydrogen bonding），使得聚乙炔醇分子交聯（crosslinking）在一起，而形成具有彈性的黏土狀聚合物。如圖 3。  
（李忠家，2011）

圖 3：聚乙炔醇與  $B(OH)_4^-$  形成氫鍵的交聯作用

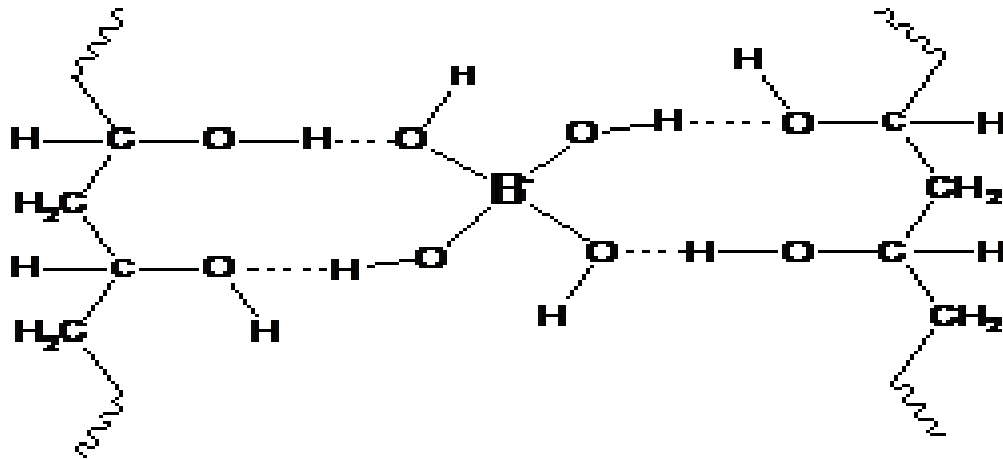


圖 3 資料來源：李忠家（2011 年 4 月 30 日）。變態的膠水---聚乙炔醇與硼砂的交聯作用。<http://blog.ncue.edu.tw/yangsp/doc/26876>

## 二、研究架構

圖 4：研究架構

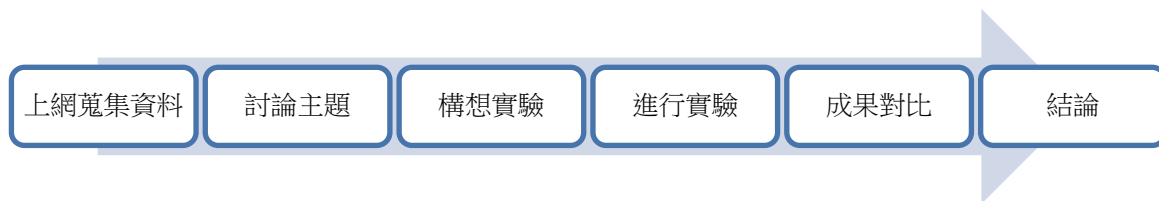


圖 4 資料來源：研究者自行繪製

## 叁、研究方法

- 一、先將蛋殼磨碎至粉末，並且過篩，作為粉筆主體的材料。
- 二、聚乙烯醇以及硼砂加熱配製成溶液。
- 三、秤取 10g 蛋殼粉末及 10g 氧化鋅。
- 四、加入 6ml 去離子水，充分拌勻。
- 五、再倒入 1ml 聚乙烯醇（重量百分率 2%）、1ml 硼砂（重量百分率 1%）作為黏著劑。
- 六、一樣攪拌均勻呈現黏著狀態。
- 七、取出以吸管或手捏塑型。
- 八、放入 80°C 烘箱，烘乾 1 小時左右至乾燥後，即可使用。

（操作步驟統整示意圖，如圖 5）

圖 5：操作步驟示意圖

<p>蛋殼磨至粉末</p>	<p>蛋殼粉過篩</p>	<p>聚乙烯醇以及硼砂加熱配製成溶液</p>	<p>秤取蛋殼粉末及氧化鋅</p>
			
<p>攪拌均勻呈現黏著狀態</p>	<p>取出以吸管或手捏塑型</p>	<p>烘乾 1 小時左右</p>	<p>脫模後完成成品</p>
			

圖 5 資料來源：研究者自行整理繪製

## 肆、研究分析與結果

### 一、配製聚乙烯醇溶液：

起初製作時，使用未溶解的聚乙烯醇直接加入攪拌混和，導致烘乾後，成品摸起來的觸感明顯的感覺到顆粒狀，且寫起來效果非常不佳，由此探討出或許是因為固體狀態下的聚乙烯醇無法充分溶解的與硼砂作用，因此開始配製聚乙烯醇溶液。

原先採用黏度 44-50cps 的 PVA 聚乙烯醇#BP-24，但效果使粉筆質地過於堅固，無法顯色，且容易刮傷黑板，因此討論出可能是黏度過高，使得粉筆無法與接觸面摩擦後附著粉末，所以我們為了研究黏度的差異性，在過程中嘗試了 5%、3%、2.5%、2%、1% 濃度。最後發現黏度 5-6cps 的 PVA 聚乙烯醇#BP-05 最為合適。

二、配製硼砂溶液：

與聚乙烯醇一樣，起初也是未溶解直接加入，原先認為只需溶解聚乙烯醇再加入蒸餾水便可與硼砂完全作用達到黏著劑效果，但成品做出來後，卻完全寫不出來，質地卻與人造石十分相像，之後也嘗試把硼砂配製成溶液，嘗試了 2%、1% 濃度，發現與聚乙烯醇相互作用後，效果遠比往常還要好。

表 1：黏著劑配量統整與比較（一～三）

	一	二	三
硼砂	3g	5g	1g
聚乙烯醇	3g	10ml (5%)	5ml (5%)
書寫結果	無法顯色	無法顯色	書寫時，須描寫多次才有辦法使筆跡顯色度高

表 1 資料來源：研究者自行整理繪製

表 2：黏著劑配量統整與比較（四～六）

	四	五	六
硼砂	無	無	1ml (1%)
聚乙烯醇	5ml (5%)	無	1ml (2%)
書寫結果	無法顯色	顯色度較混濁不清且粉末黏著性低，易掉粉	相較前幾次的成品，此配方是顯色度最高，掉粉量最少的
此配方的蛋殼粉 10g、氧化鋅 10g、去離子水 10ml 皆為同數值。			

表 2 資料來源：研究者自行整理繪製



圖 6：試寫結果對比

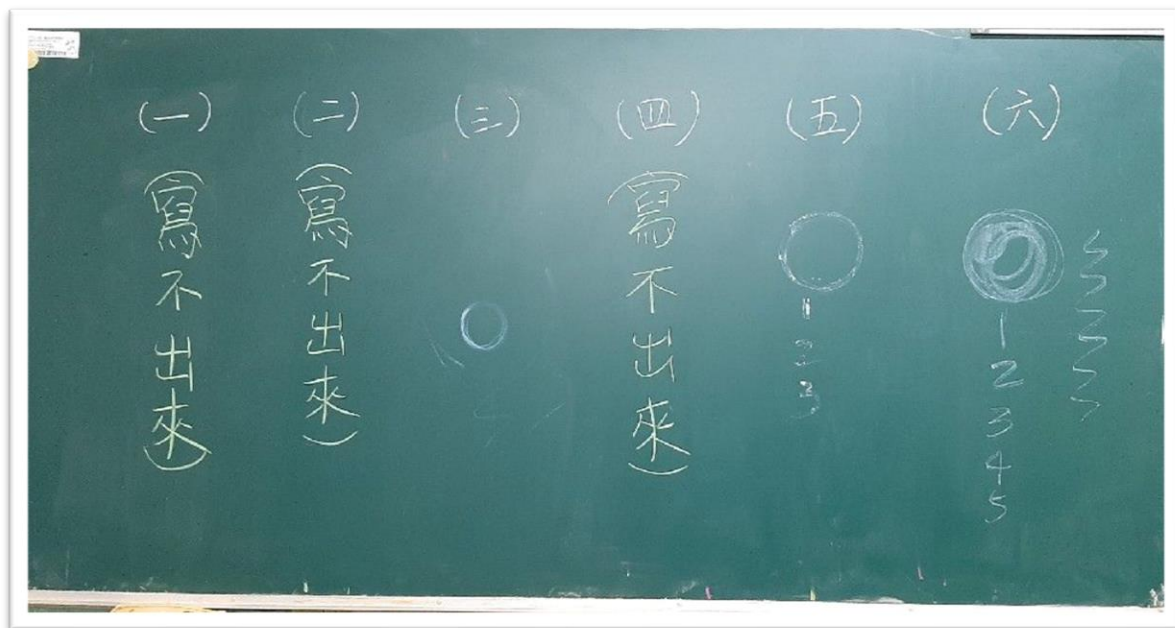


圖 6 資料來源：研究者拍攝

## 伍、研究結論與建議

### 一、研究結論

- (一) 我們透過本實驗來倡導蛋殼其實用處廣泛，而非只有施肥所用，就此機會製作出較不傷身又環保的粉筆，還可以減少廚餘廢棄利用。
- (二) 在製作過程中不斷嘗試，找出效果最佳的黏著劑比例：1ml 聚乙烯醇（重量百分率 2%）、1ml 硼砂（重量百分率 1%）。
- (三) 與傳統粉筆的比較（表 3 及圖 7）。

表 3：粉筆比較

	環保	易碎	顯色度	粉末附著度
傳統粉筆	X	X	高	高
蛋殼粉筆	O	O	較低	低
X：否，O：是				

表 3 資料來源：研究者繪製

圖 7：比較掉粉多寡

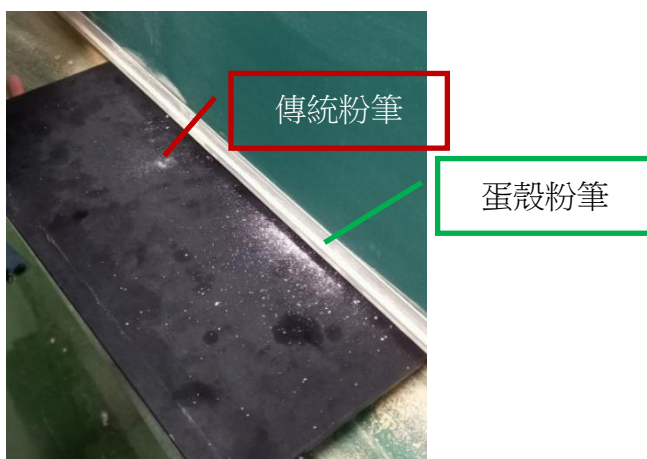


圖 7 資料來源：研究者拍攝

## 二、建議

因時間問題，我們只專注製作蛋殼粉筆，倡導的理念也尚未完整呈現，有許多的配製方法尚未實作，例如，在實驗過程的失敗例子中，有疑似做出人造石及磨砂石，剛好切題我們的理念，說明蛋殼的利用不只是用於堆肥或是丟棄，而是可以有更廣的發展。

日後還有機會，希望可以嘗試更多的調配比例，且研究出不易使蛋殼粉筆碎裂的黏著劑，並以最初的想法，廢物利用，採用果皮內的天然色素，來使我們的成品有色彩變化性，讓顯色度更加明顯。

往後若要延伸此主題，建議找到能夠高溫加熱的塑型模具，由於市面上的塑膠吸管耐熱程度因材質而定，大約都限於 70%~90% 上下，一不注意可能造成身體危害，且實驗會較為耗時。

陸、參考文獻

- 一、行政院環境保護署生活廢棄物質管理資訊系統 (2021 年 01 月 12 日)。廚餘變黃金。  
<https://reurl.cc/RjmlMz>
- 二、鄭世隆 (2013 年 9 月)。老師您瞭解嗎? 『粉筆(粉塵)的影響』。亞東院訊, 第 166 期。  
<https://www.femh.org.tw/magazine/viewmag?ID=5645>
- 三、陳怡兆 (2010 年 12 月 23 日)。蛋之形成、構造及成分。農業知識入口網。  
<https://kmweb.coa.gov.tw/subject/subject.php?id=30328>
- 四、王卉雯 (2021 年 04 月 23 日)。雞蛋殼的小妙用。新華網。  
[http://www.xinhuanet.com/science/2021-04/23/c\\_139900883.htm](http://www.xinhuanet.com/science/2021-04/23/c_139900883.htm)
- 五、Wikipedia (2022 年 2 月 4 日)。Eggshell。  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Eggshell>
- 六、維基百科 (2021 年 10 月 2 日)。粉筆。  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%B2%89%E7%AD%86>
- 七、李忠家 (2011 年 4 月 30 日)。變態的膠水---聚乙烯醇與硼砂的交聯作用。  
<http://blog.ncue.edu.tw/yangsp/doc/26876>
- 八、維基百科 (2021 年 5 月 16 日)。黏合劑。  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%BB%8F%E5%90%88%E5%89%82>
- 九、科學 x 博士 (2015 年 10 月 27 日)。我把蛋殼變粉筆了!  
<HTTPS://DOCTORX9000.COM/122/>
- 十、RoyMech (2010 年 11 月 11 日)。The theory of adhesive bonding。  
[https://web.archive.org/web/20110108031620/http://roymech.co.uk/Useful\\_Tables/Adhesives/Adhesive\\_Bond.html](https://web.archive.org/web/20110108031620/http://roymech.co.uk/Useful_Tables/Adhesives/Adhesive_Bond.html)
- 十一、顏政雄 (2002 年 2 月)。氧化鋅 Zinc Oxide。  
<https://terms.naer.edu.tw/detail/1318352/>