

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 農業與食品學科

052207

黑蒜頭危機？

學校名稱：國立屏東高級工業職業學校

作者： 職二 林政宇 職二 林忠毅	指導老師： 王美惠
---------------------------------	------------------

關鍵詞：發酵食品、黑大蒜

摘要

近年坊間熱銷的黑蒜頭，廣泛在網路上販賣，業者宣稱黑蒜頭是一種養身食品，由普通的大蒜經長時間高溫發酵製成，據說有抗癌、控制血糖、提升免疫力等功效。本研究主要探討蒜頭為何會變成黑色？是否進行了發酵反應或是梅納反應？而反應的過程中是否會產生致癌物質-丙烯醯胺？我們經由自製黑蒜頭的過程中發現到蒜頭之所以會變成黑色，並非因為發酵反應，而是製程中進行了梅納反應。

本研究透過 HPLC 初步測試後，發現黑蒜頭雖經過了梅納反應的過程，但其產生的成分中並不含丙烯醯胺之致癌物質，使用 LC-MS 再次測試後確定成分中不含丙烯醯胺。在抗氧化活性測試方面發現，經過二十天烘焙的黑蒜頭以及市面上販售的黑蒜頭對比生蒜頭，黑蒜頭抗氧化能力明顯下降。

壹、研究動機

現在市面上出現了许多類型的養生食品，有一天我們在網路商店看到了「黑大蒜」，起初原本以為是蒜頭的新品種，於是我們便搜尋了相關資料。經過閱讀了许多網路文章及文獻，發現到原來黑大蒜是由平常食用的大蒜經過了烘焙催熟後，產生了一連串的化學反應製作而成，然而網路文章對於黑蒜頭的製程說明是高溫高濕發酵 30~60 天而來，但在於目前生物課所學內容知悉高溫環境下並不會產生發酵反應。

這陣子食安問題陸續被報導出來，想到了前一陣子被驗出有致癌物的黑糖，甘蔗汁在熬煮的過程中進行了梅納反應，而從白色的甘蔗汁變成了塊狀的黑糖，因此我們便想探究黑蒜頭是否是因梅納反應或是焦糖化反應而生成黑色物質，其黑色物質是否含丙烯醯胺此種致癌物，並想探討經處理後之黑蒜頭與未經處理之生大蒜在抗氧化活性上有何差別。

貳、研究目的

目前得知黑大蒜的成分對於人體有許多好處，例如降血壓、降血糖的作用，也常被當作零嘴或養生食品食用，但對於黑大蒜製程的說法有發酵及梅納反應，且有許多不同的製

作方式，但梅納反應的過程中可能會產生丙烯醯胺類的致癌物，本實驗目的在於研究黑大蒜其製程方式及其是否因梅納反應或是焦糖化反應，並探究本實驗製程所做出來的黑蒜頭與未經處理之大蒜相比，是否提高其抗氧化能力。

參、研究設備及藥品

一、設備與器材

表 1 設備與器材

			
冷凍乾燥機 (Freeze Drying Systems)	研磨機 (Fritsch)	超音波水槽 (Ultrasonic Cleaners)	減壓濃縮機 (Rotary Evaporators)
			
冰水循環機 (Cooler)	高效能液相層析儀 (High performance Liquid Chromatography)	酵素免疫分析儀 (Elisa Microplate Reader)	烘箱 (Temperature Oven)

二、藥品

甲醇(Methanol)、乙醇(Ethanol)、丙酮(Acetone)、正己烷(*n*-Hexane)、乙酸乙酯(Ethyl Acetate)、氰甲烷(Acetonitrile)、DPPH(2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl)、DMSO(Dimethyl Sulfoxide)、濃硫酸(Sulfuric Acid)、二段去離子水。

肆、研究過程或方法

一、文獻探討

（一）大蒜簡介

蒜（學名：Allium sativum），亦名大蒜，含有大蒜素。底下鱗莖味道辣，有刺激性氣味，稱為「蒜頭」，可作調味料，亦可入藥。台灣地區大多種植在雲林縣或嘉義縣。《本草綱目》記載蒜可治療便毒諸瘡、產腸脫下、小兒驚風。現代醫學認為大蒜能提高免疫力，提高人體淋巴 T 細胞、巨噬細胞等免疫系統轉化能力。將新鮮的大蒜切片或搗碎後生吃有助於心臟健康。醫學上被用來驅除腸內的寄生蟲，可解除體內毒素和利用加強免疫系統來保護對抗感染，可降低血壓，有助於血糖含量的穩定。對於治療動脈硬化症、關節炎、氣喘、癌症、血液循環問題、感冒、流行性感、消化問題、心臟問題、失眠症、肝臟疾病、靜脈竇炎、潰瘍和酵母菌感染都有益。靠抑制幽門桿菌的生長來預防胃潰瘍，對於各種疾病或感染都有效。

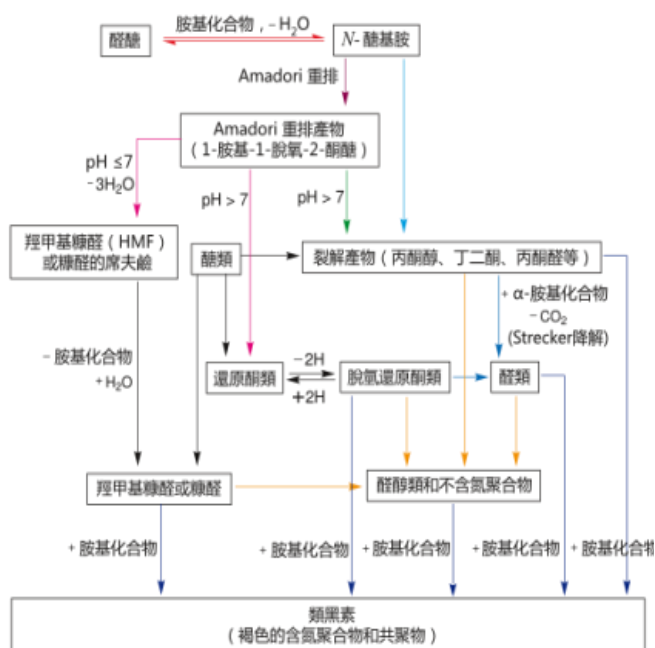
鍾景光（2008）研究指出，大蒜中的有機硫化合物能有效抑制大腸癌細胞，而他們的研究完整釐清大蒜中抗癌成分對癌細胞的影響過程，得知抗癌成分如何讓癌細胞週期停滯，直到死亡的過程，提供大腸癌藥物研發的參考依據。一般的大白蒜在 60℃ 左右高濕條件下加熱一個月以上，會成為黑蒜。

（二）發酵的定義

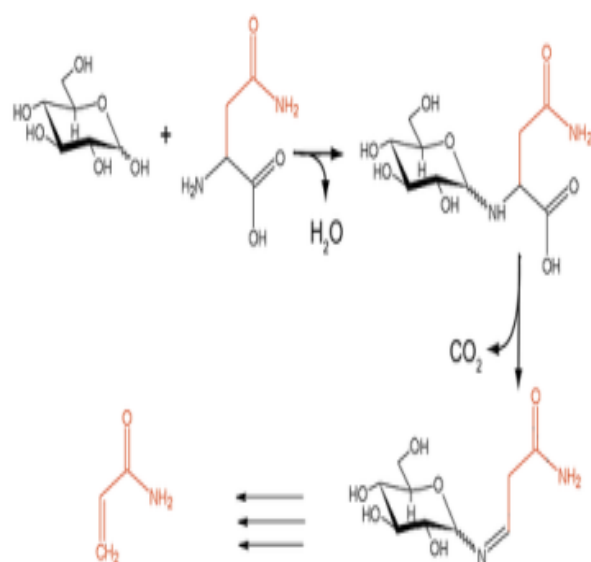
發酵技術的發現是起源於釀酒、製醋，其過程是利用微生物來完成反應，稱為生物轉化，而微生物生長代謝過程中分泌的代謝產物有兩種類型：初級代謝產物和二級代謝產物，此過程可取代許多化學合成的步驟，使反應更高效率的完成，例如青黴素即是青黴菌的二次代謝物。每種生物體都會產生各種各樣的酶，即是常說的酵素。微生物在適宜的環境條件下，不斷的吸收營養物質，在一般的情況下，當環境條件適合，生長與繁殖會不斷的交替進行，然而如果某一或某些環境條件發生改變，並超出了微生物可以適應的範圍，就會對生物體產生抑制乃至殺滅的作用。

(三) 梅納反應 (MAILLARD REACTION)

梅納反應又稱麥拉德反應、羰胺反應，是廣泛分布於食品工業的化學反應，指的是食物中的還原糖（碳水化合物）與胺基酸、蛋白質在常溫或加熱時發生的一系列複雜反應，其結果是生成了棕黑色的大分子物質類黑精或稱擬黑素。除產生類黑精外，反應過程中還會產生成百上千個有不同氣味的中間體分子，包括還原酮、醛和雜環化合物，這些物質為食品提供了宜人可口的風味和誘人的色澤，但其反應過程有可能產生丙烯醯胺。梅納反應由法國化學家路易斯·卡米拉·美拉德於 1912 年發現，（如圖一）。然而時至今日，梅納反應已經成為與現代食品工業不可或缺的一項技術，在肉類加工、食品儲藏、香精生產、中藥研究等領域處處可見。目前的研究也顯示出其反應過程與生理和病理過程密切相關。在於自身含有大量澱粉類的食物中常發現到天門冬醯胺，它是 20 種最常見的胺基酸之一，但不是必需胺基酸，可用於製作代糖。加熱到足夠高的溫度時，天門冬醯胺可與還原糖或含羰基物質在食物中反應，生成丙烯醯胺（如圖二）。



圖一 梅納反應過程



圖二 天門冬醯胺生成丙烯醯胺的過程

(四) 焦糖化反應(CARAMELIZATION)

醣類在單獨的情況下，也就是沒有胺基酸或其他物質，加熱到 180°C 會開始脫水並裂解，而這過程就稱為焦糖化反應。最常見的應用就是糖葫蘆或焦糖烤布蕾。把砂糖撒在一個烤盤上，並用噴槍去加熱他們就可以很清晰地看到整個過程。首先砂糖們會受熱至熔融，變成液態，接著沸騰起泡，顏色開始轉黃，出現焦糖的色澤和些微的苦味。

(五) 實驗過程原理

1. 冷凍乾燥機(Freeze Drying Systems)

冷凍真空乾燥法是把冷凍、真空和乾燥三種技術結合起來，簡稱「凍乾」(freeze drying)，又稱為「昇華乾燥」。主要是利用凍結和真空的技術移除產品中的水分，降低產品的溼度。冷凍真空乾燥的原理是利用樣品中的水分在高真空、低溫度的環境中，由固態的冰昇華成氣態的水蒸氣，再使水蒸氣冷凝成液態水而排除，藉以使水分脫離產品。在低溫及高真空環境中，利用昇華的原理，把冷凍凝結在物質中的水分直接以昇華為水蒸氣的方式除去，就可以達到乾燥的目的。

2. 減壓濃縮機

減壓濃縮機是利用抽氣進行減壓，壓力越小，沸點越低，將試料以水浴鍋隔水加熱，使其萃取溶劑蒸發，再經由減壓濃縮機上的冷凝管凝結後，流入收集的玻璃瓶內，這樣就能達到濃縮的效果。在操作時需要注意是否有突沸的現象產生，由於減壓使得沸點下降以及水浴鍋的加熱，容易使得濃縮瓶內的液體沸騰，若發生突沸現象，須將系統洩壓。

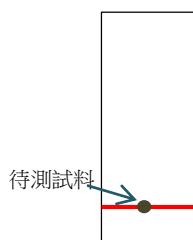
3. 酵素免疫分析儀

抗氧化實驗是利用 DPPH 自由基清除率來做測定。將欲檢測的樣品以微量操作盤放進機器中，利用每一種物質皆有其特定吸收的波長，並測定其在 517nm 處之吸收值，經由檢測器測量物質的吸光度，所得數據經過 EXCEL 公式換算得到所需數據。當有自由基清除劑存在時，由於與其單電子配對而使其吸收逐漸消失，其褪色程度與其接受的電子數量成定量關係，以推算出其 DPPH 清除率與抗氧化能力。

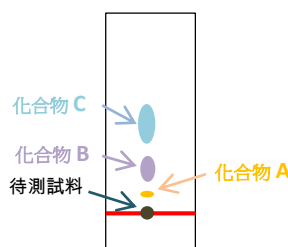
$$\text{DPPH 自由基清除率換算公式} = (1 - (\text{sample-blank}) / \text{control}) \times 100\%$$

4.薄層色層分析 (Thin layer chromatography)

薄層色層分析 (Thin Layer Chromatography, 簡稱 TLC) 常常作為尋找管柱色層分析分離條件的測試先驅。薄層色層分析的固定相常為矽膠、鋁礬或纖維素, 移動相為溶劑, 將我們所要測試的試料點在 TLC 片上, 放入裝有溶劑的展開槽中。由於毛細現象作用, 移動相的溶劑自 TLC 片底部載著試料往上移動。試料中的成分對固定相固體薄層的吸附力不同, 因此移動速率也不同。將展開後的 TLC 片放在 UV 燈下照射 (如圖三), 觀察試料移動的情形就可以找出管柱色層分析分離的條件, TLC 片分為正相及逆相, 正相在分離過程中低極性物質會先沖提出來, 逆相則是高極性物質會先沖提出來, 分離好的式樣可浸泡於 90% 甲醇: 10% 硫酸的溶液中, 用烤片方式進行點分布之觀察確認, 方便判斷物質的分布狀況 (如圖四)。



圖三 試料點片位置



圖四 展開後在 UV 燈下之化合物分布

5.HPLC (高效能液相層析儀)

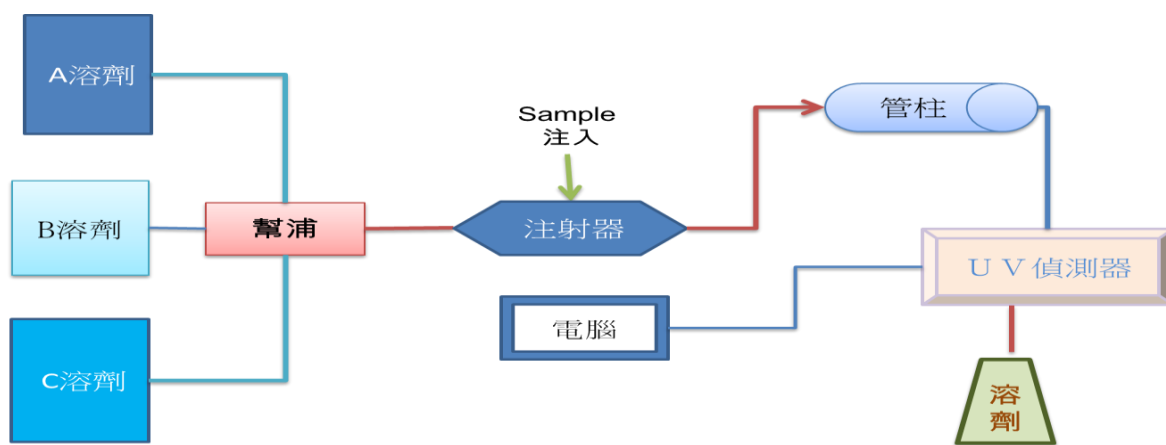
高效液相色層分析法 (High performance Liquid Chromatography), 是相當廣用的層析法, 一般使用於不易氣化的液體試料的分析, 高效液相色層分析法以高壓將溶劑帶著液體試料進入分離管中的固定相, 由於試料成分在移動相與固定相間的分配係數或吸附力不同, 所以各成分移動的速率會不一樣, 在分離管中滯留的時間不一樣, 被沖提出來的先後順序不同, 由此可將試料成分分離 (如圖五)。HPLC 所用的移動相與固定相的極性通常會有很大的差異, 否則固定相會被溶解, 依照固定相與移動相極性的相對大小可分為正相層分析法與逆相層分析法, 前者移動相為低極性的溶劑, 固定相為高極性的物質, 後者移動相為高極性的溶劑, 固定相為低極性的物質。HPLC 中的記錄器會將偵測器的偵測結果記錄下來, 繪製成一張電流訊號與時間的關係圖, 此關係圖即為層析圖。試料中含有許多成分, 各成分的滯留時間不一樣, 則層析圖會顯示幾個尖峰。分離完全時, 每一尖峰對應著一種成分物質, 嚴謹地說, 每一成分能產生一支尖峰, 但如果分離不完全, 一支尖峰可能隱含著兩種以上物質。本研究所使用

之分析條件及方法如下：

高效能液相層析儀型號：HITACHI RI Detector L-2490

溶劑：甲醇（Methanol）、正己烷（*n*-Hexane）、氰甲烷（Acetonitrile）

管柱型號：HIBar® RP-18 θ （5 μ m）



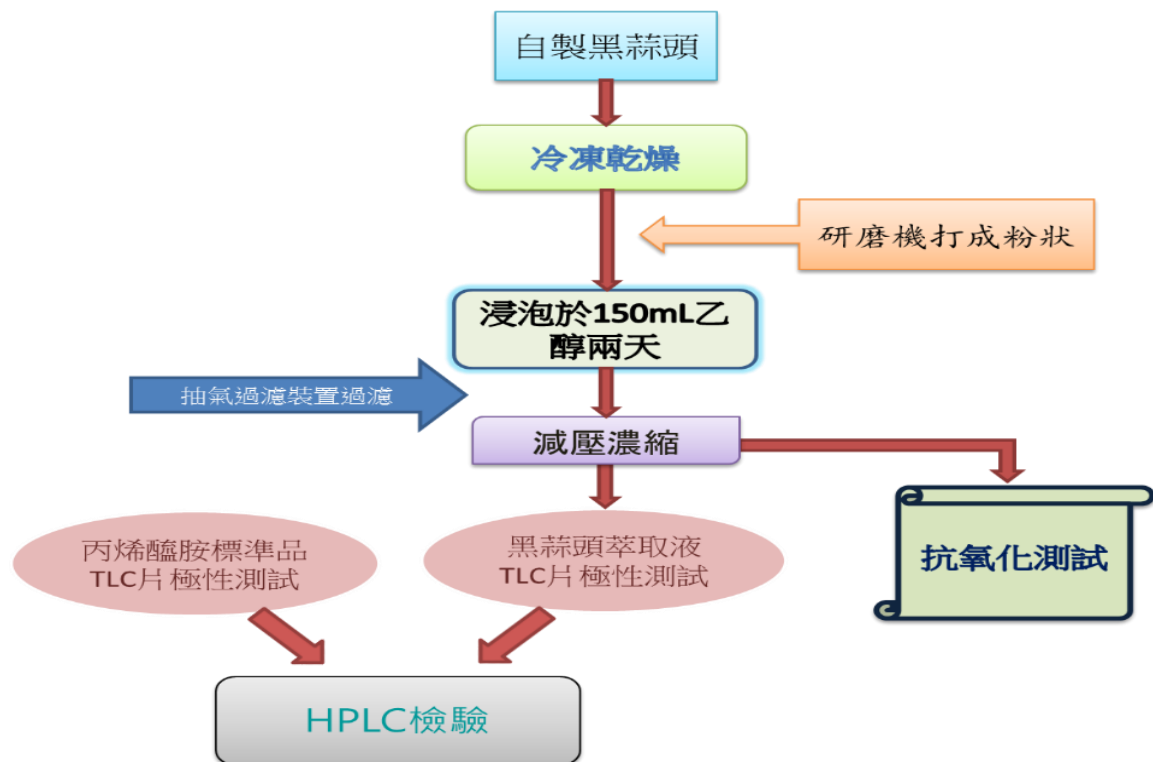
圖五 HPLC 之元件圖

6.LC-MS（液相層析質譜儀）

液相層析質譜儀是，結合物理分離能力液相色譜的質量分析能力質譜（MS）。LC-MS 具有非常高的靈敏度，使得它在許多應用中是有用的強大技術。其應用是面向分離，一般檢測和特定群眾的化學物質的潛在鑑定的其他成分的存在下（複雜的混合物），例如從天然產物提取物和純物質從化學中間體的混合物。MS 其測量帶電粒子的質荷比。它被用於確定顆粒的質量，用於測定樣品或分子的元素組成，並闡明分子的化學結構，如肽和其他化學化合物。MS 的工作原理是電離的化學化合物，以產生帶電分子或分子片段並測定它們的質荷比。在一個典型的 MS 的程序，將樣品裝載到 MS 儀器並經歷蒸發。樣品的組分通過多種方法中的一種離子化（例如，通過用電子束撞擊它們），這導致帶電粒子（離子）的形成。離子被根據它們在分析器通過電磁場質荷比分離。離子被檢測到的，通常是由一個定量的方法。離子信號被處理成質譜。此外，MS 儀器包括三個模塊。它可以以電噴霧電離的情況下，移動存在於溶液進入氣相離子。質量分析器，它通過應用電磁領域的排序由它們的質量離子。的檢測器，其測量一個指標量的值，從而計算每個離子存在的豐度提供數據。該技術具有定性和定量的用途。這些包括識別未知化合物，確定在一個分子元件的同位素組成，和通過觀察其碎片確定化合物的結構。

二、實驗流程

(一) 實驗架構



圖六 實驗架構圖

(二) 實驗步驟

1. 自製黑蒜頭

- (1) 將生大蒜剝皮。
- (2) 將蒜頭各約 100g 放入耐熱塑膠袋中，總共有 10 袋。(圖七)
- (3) 放入烘箱以攝氏 60 度恆溫烘乾。(圖八)
- (4) 每兩天取出收成一次，放入冰箱冷凍庫中保存。



圖七 剝皮後的蒜頭



圖八 在烘箱中的情形

2. 冷凍乾燥與研磨

- (1) 將冷凍的蒜頭分袋放入耐壓的玻璃瓶中。(圖九)
- (2) 將冷凍乾燥機設定在零下 60 度、5 帕壓力。
- (3) 接上歧管上開始乾燥連續運作三天。
- (4) 冷凍乾燥後的大蒜放入研磨機中，將蒜頭打成粉狀。(圖十)



圖九 冷凍乾燥過程



圖十 研磨過程

3. 萃取與減壓濃縮

- (1) 將打成粉狀的蒜頭(圖十一)浸泡在 150mL 的乙醇中兩天。
- (2) 以抽氣過濾裝置過濾雜質(圖十二)
- (3) 放入錐形瓶後用減壓濃縮機濃縮(圖十三)



圖十一 打粉後的蒜頭



圖十二 抽氣過濾裝置

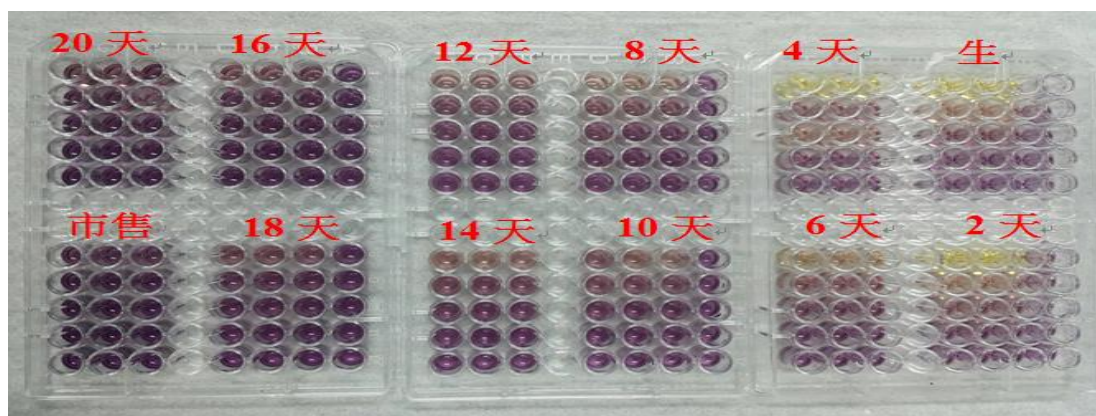


圖十三 減壓濃縮機

4. 抗氧化測試

- (1) 秤取 0.0197 g DPPH 溶於 25 mL 乙醇，配置成 2×10^{-4} M mol/L 溶液。
- (2) 秤取減壓濃縮後不同時間(0、2、4、6、8、10、12、14、16、18、20 天、市售)處理之萃取物各 0.01 g。

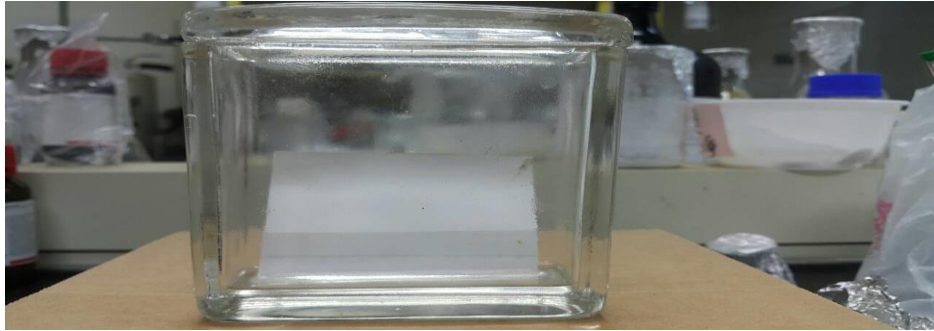
- (3)並將萃取物溶於 1 mL 的乙醇中配製成 10 mg/mL 溶液，分別再等倍稀釋五次，分別得到 5 mg/mL、2.5 mg/mL、1.25 mg/mL、0.625 mg/mL 4 種濃度，並使用震盪機將其充分混和，共得到 5 個濃度進行實驗。
- (4)首先用微量吸管（Micropipette）（圖十四）將 200 μ L DPPH 注入微量操作盤的第一排作為空白試樣。
- (5)在微量操作盤的第二排各別注入 200 μ L DPPH 與不同濃度的萃取物，由濃度高到濃度低，每個濃度並做三重複。
- (6)於暗反應中反應 30 分鐘後放入酵素免疫分析儀中以 517 nm 進行檢測讀值。



圖十四 DPPH 與萃取物以微量操作盤反應

5. TLC 片極性測試（Thin layer chromatography）

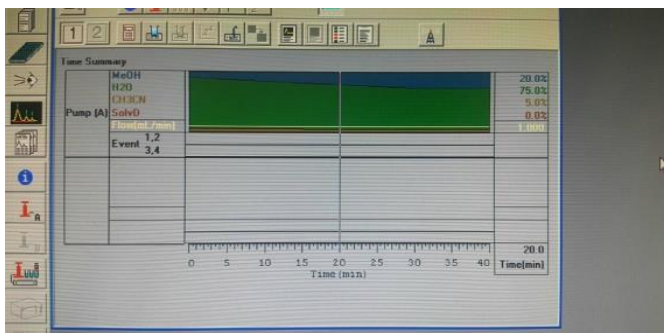
- (1)裁切適當大小的正相 TLC 片。
- (2)在 TLC 片上畫出一條基線，將蒜頭萃取物以毛細管點在線上，從左至右分別為丙烯醯胺標準品、生蒜、第 2、4、6、8、10、12、14、16、18、20 天黑蒜頭萃取物。
- (3)展開槽中加入 1 mL 的正己烷與 2 mL 的乙酸乙脂，混和均勻後將點上萃取物 TLC 片垂直放入展開槽中。
- (4)待至 TLC 片吸取展開液上升至 TLC 片約五分之四高度左右，取出。（圖十五）
- (5)以 UV 燈短波的照射下觀察。
- (6)將 TLC 片浸泡於甲醇：硫酸為 10 % 的溶液中數秒，取出後用吹風機吹乾。



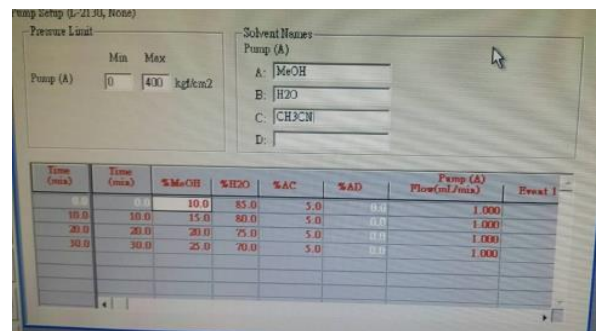
圖十五 跑片中的 TLC 片

6.HPLC 檢驗

- (1)經由 TLC 片的測試，HPLC 所使用的溶劑比例為甲醇、去離子水、乙腈，每經過十分鐘機器會以梯度模式自動調整溶劑比例（圖十六）（圖十七）。
- (2)等待 HPLC 系統穩定。
- (3)分批打入第二十天蒜頭萃取液、生蒜萃取液和丙烯醯胺標準品 10 μ L（圖十八）並觀察其分離之圖譜訊號。



圖十六 溶劑梯度圖



圖十七 溶劑梯度圖

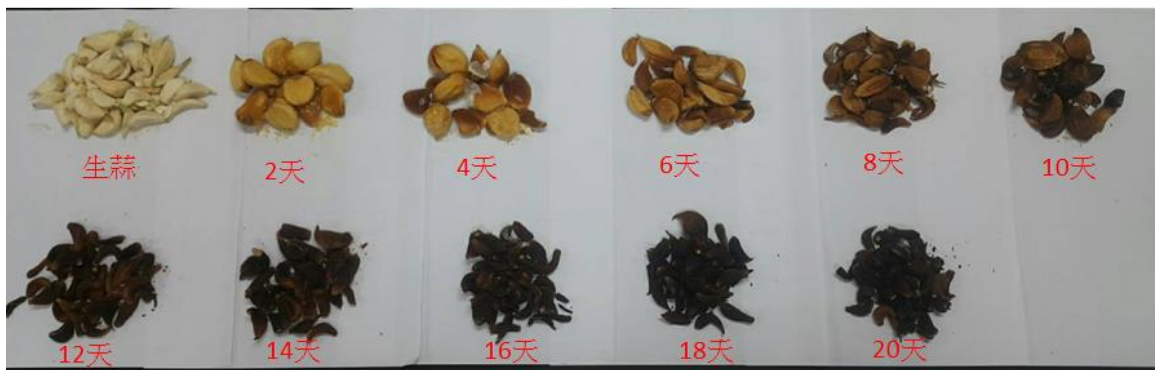


圖十八 丙烯醯胺標準品

伍、研究結果與討論

一、黑蒜頭製程

經過每兩天收成一次觀察，發現 20 天的催熟能完成黑蒜頭的熟成（圖十九）。為了證明黑蒜頭不是經由發酵所製成，因此我們將蒜頭用高溫滅菌袋置入密封，放入高壓滅菌釜滅菌一小時，使其為無菌狀態，並推測蒜頭內之酵素已經因高溫所破壞，再將之放入烘箱中催熟（圖二十）。經過了 20 天後，發現滅菌過之蒜頭仍然變黑了（圖二十一），代表蒜頭之所以會變成黑色，經實驗證實不是經由發酵反應而得。



圖十九 冷凍乾燥後的蒜頭



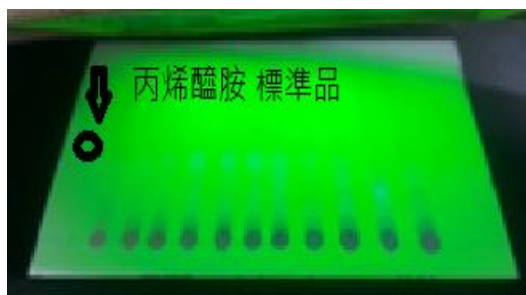
圖二十 高壓滅菌釜滅菌後



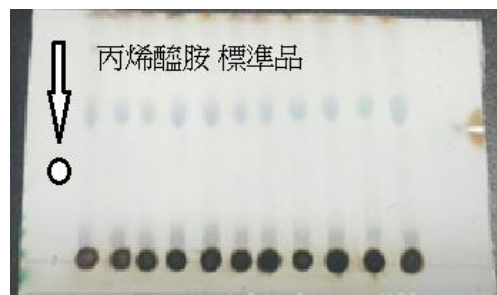
圖二十一 高壓滅菌釜滅菌後處理 20 天後

二、TLC 片測試結果

在 UV 燈下觀察 TLC 片跑片情形（圖二十二），發現不同天數處理之蒜頭萃取物呈現在 TLC 片上之物質未發現與丙烯醯胺標準品相同位置之物質，經由硫酸溶液烤片後之結果（圖二十三），在丙烯醯胺標準品之基準線上，比對不同時間處理之蒜頭萃取液，亦發現沒有丙烯醯胺的跡象。

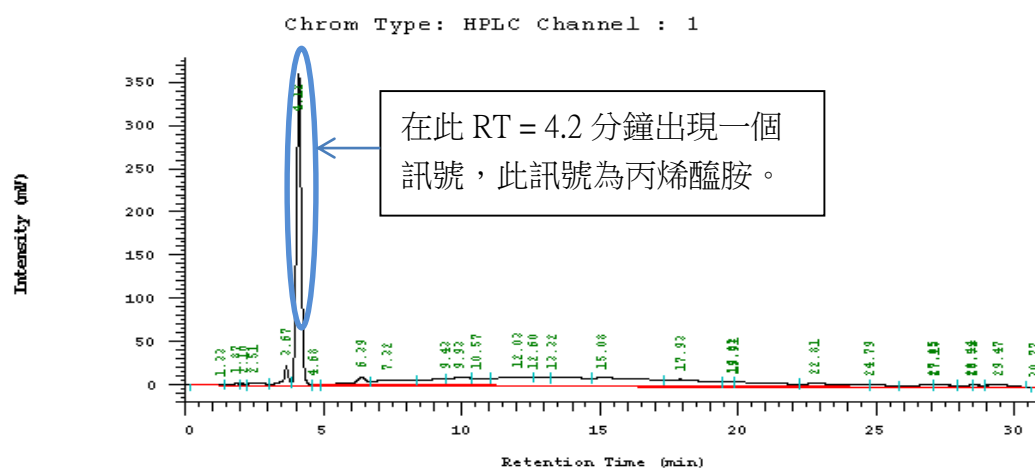


圖二十二 在 UV 燈下的 TLC 片

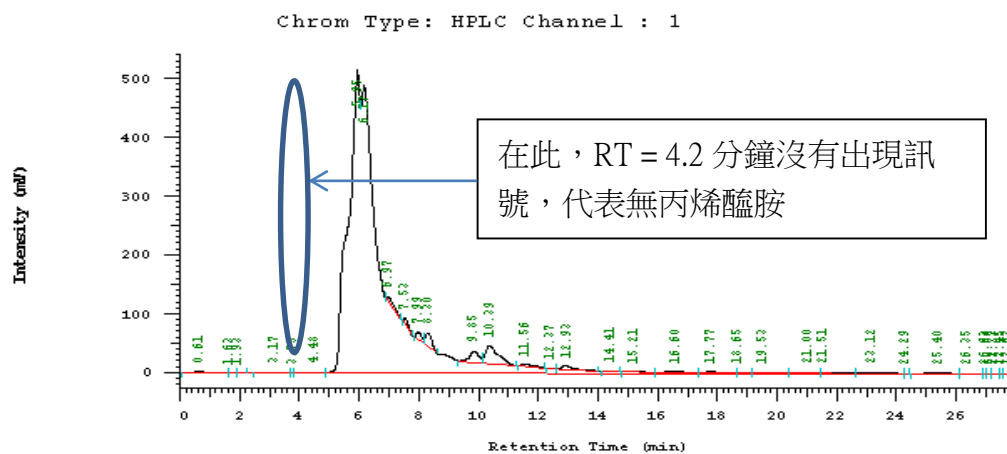


圖二十三 烤片後的 TLC 片

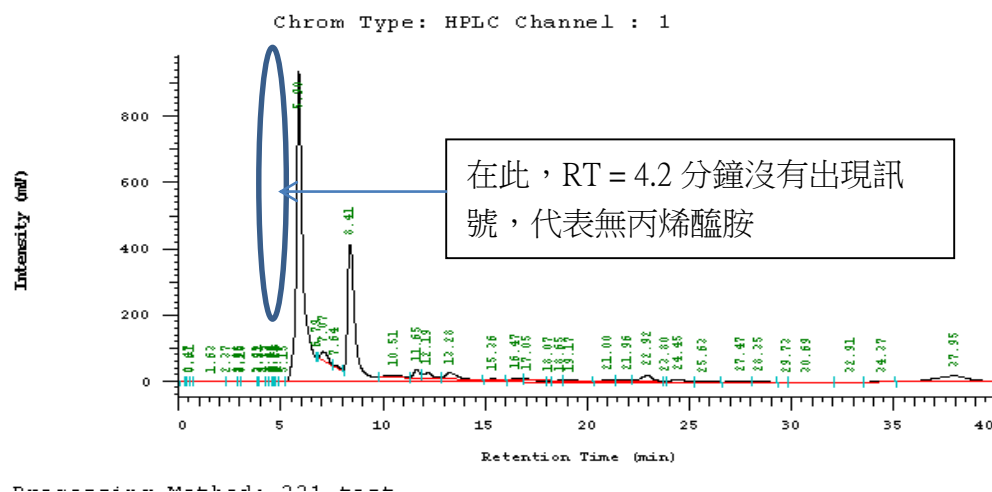
三、HPLC 分析結果



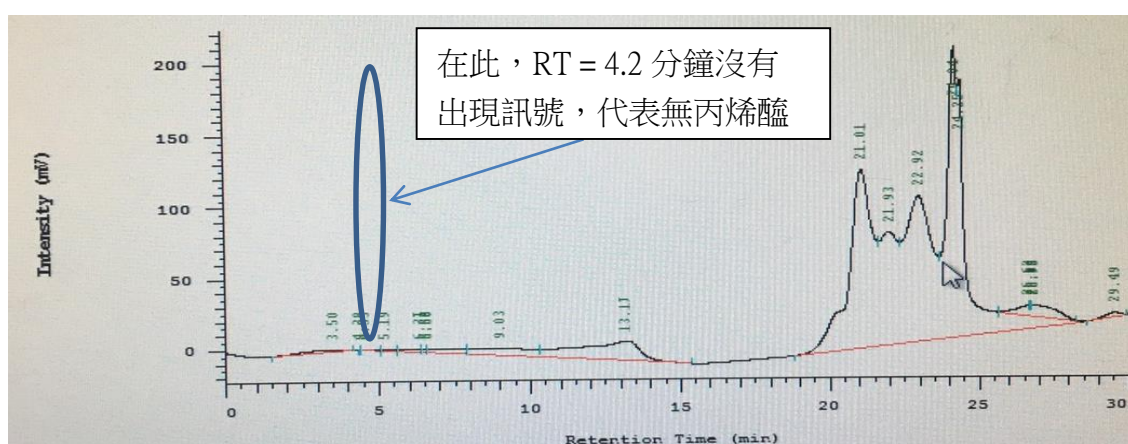
圖二十二 丙烯醯胺標準品圖譜



圖二十三 生蒜萃取物圖譜



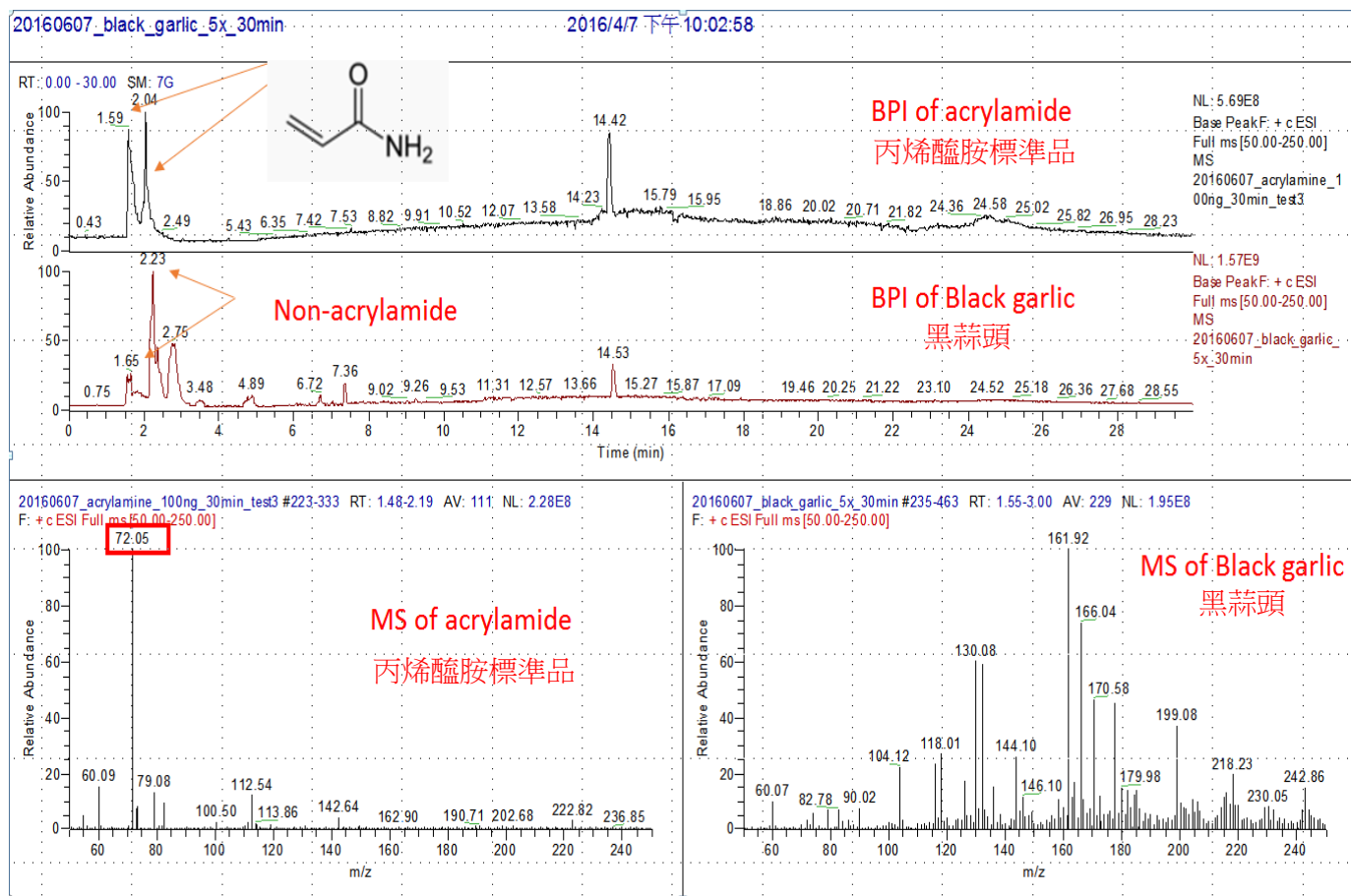
圖二十四 黑蒜萃取物圖譜



圖二十五 市售黑蒜頭萃取物圖譜

可由（圖二十二）得知丙烯醯胺在 HPLC 中的滯留時間，丙烯醯胺在 RT = 4.2 分鐘會被溶劑沖出，判定圖（二十三）、（二十四）、（二十五）的圖譜中對比其 RT = 4.2 分鐘無明顯 Peak 出現，確定黑蒜頭中不含丙烯醯胺。

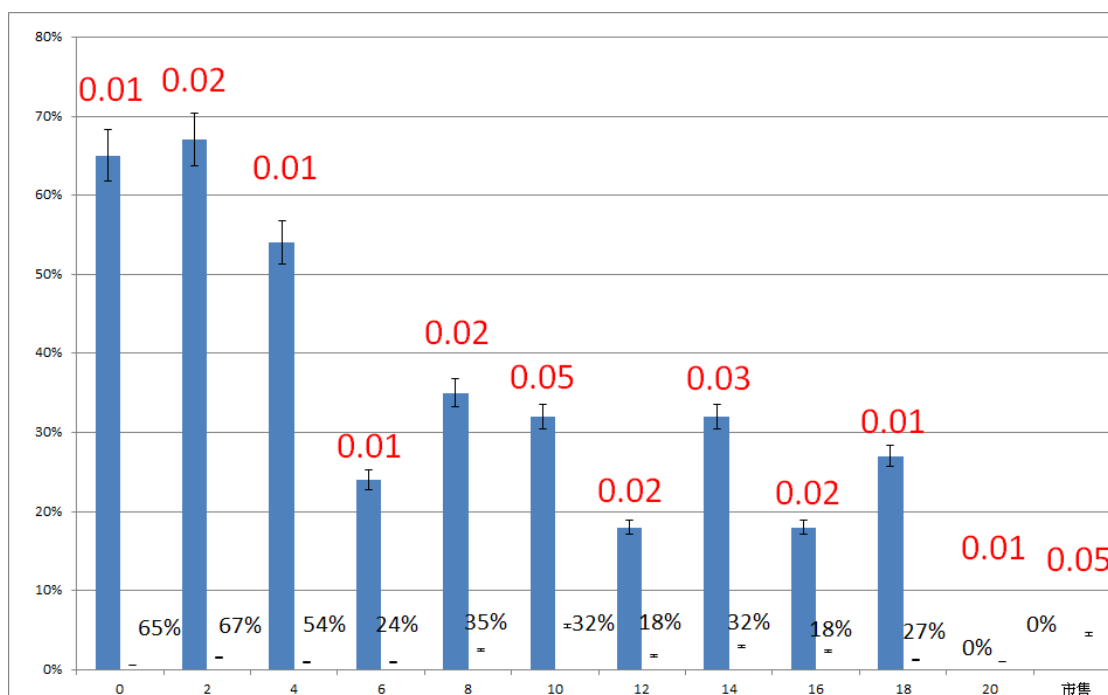
四、LC-MS 分析結果



圖二十六 LC-MS 圖譜

經由圖（二十六）可得知丙烯醯胺在 LC-MS 的滯留時間，對比黑蒜萃取物的圖譜在質譜儀的圖譜確定丙烯醯胺的分子量後對比黑蒜萃取物的圖譜，並未檢測出含有丙烯醯胺。

五、抗氧化實驗結果



圖二十七 抗氧化能力直條圖

由直條圖可得生蒜製成黑蒜的過程中以及市售黑蒜頭的抗氧化能力在 20 天內之變化稍有起伏，但以整體而言經過處理後之黑蒜頭其抗氧化能力減弱，因此我們推測在處理過程中，黑蒜頭內的抗氧化成分如類黃酮類化合物因長時間高溫裂解而破壞，導致抗氧化力下降。

六、後續實驗

實驗後續架構為探討黑蒜頭進行了梅納反應但為何沒生成丙烯醯胺，推測是不是因蒜頭中所含的成分對於反應機構上有干擾或是因溫度的變因而未生成丙烯醯胺；在報導中（李嘉娥，2014 年）發現生大蒜能對於亞硝酸鹽有抑制性，探討黑蒜頭是否也有此功效。

陸、結論

一、由自製黑蒜頭的製程，得知黑蒜頭 20 天恆溫烘焙即可製成，也了解黑蒜頭並非經過發酵反應，而是經由梅納反應而來，經過了 TLC 片、HPLC 分析，確定了黑蒜頭雖因梅納反應而製成，但並不會產生丙烯醯胺。

- 二、由實驗得知抗氧化實驗的結果，所得的數據雖未成線性相關，推測可能是製程中，蒜頭內具有抗氧化能力之類黃酮類化合物，可能是因為高溫催化，使得類黃酮類或其它具有抗氧化能力的化合物裂解，但隨著持續催化，抗氧化能力逐漸減弱。
- 三、本次實驗結果並不如一開始所推測黑蒜會因梅納反應而產生丙烯醯胺，雖經過 HPLC 的檢測未測得丙烯醯胺，但也有可能 20 天所製成之黑蒜頭內部含有的丙烯醯胺之量值，小於 HPLC 之最小偵測極限，為了更加確定，我們後續委外使用了 LC-MS 做了更精密的檢測，確定了黑蒜經過了梅納反應，但未生成丙烯醯胺。

柒、參考資料及其他

- 一、黨建章(2001)。發酵技術概論。台北市：中國輕工。
- 二、維基百科(2015 年 12 月 15 日)。美拉德反應。
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%BE%8E%E6%8B%89%E5%BE%B7%E5%8F%8D%E5%BA%94>
- 三、蘇青森(2009)。真空技術精華。台北市：五南圖書。
- 四、維基百科(2015 年 10 月 18 日)。DPPH。<https://en.wikipedia.org/wiki/DPPH>
- 五、鄭新讚（2001）。儀器分析 I。台北市：全華圖書。
- 六、李嘉娥（2014 年）。為什麼吃香腸「一定要配大蒜」？比好吃更重要的理由是....。商業週刊（2014 年 5 月 27 號）。
<http://health.businessweekly.com.tw/Article.aspx?id=ARTL000011479>
- 七、維基百科（2016 年 5 月 19 日）。焦糖化反應。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%84%A6%E7%B3%96>
- 八、維基百科（2016 年 5 月 19 日）。蒜頭。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%92%9C>
- 九、鍾景光（2008 年 7 月 1 日）。Diallyl Sulfide、Diallyl Disulfide 和 Diallyl Trisulfide 於體外和體內試驗中抑制藥物抗藥基因表現及促進 5-FU 的抗癌活性試驗。中國醫藥大學機構典藏。

十、圖一：維基百科(2015 年 12 月 15 日)。美拉德反應。

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%BE%8E%E6%8B%89%E5%BE%B7%E5%8F%8D%E5%BA%94>

十一、圖二：維基百科(2015 年 12 月 15 日)。美拉德反應。

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%BE%8E%E6%8B%89%E5%BE%B7%E5%8F%8D%E5%BA%94>

【評語】 052207

1. 本研究證實黑蒜頭烘焙製程中不會產生丙烯醯胺，惟其抗氧化性亦明顯下降。
2. 實驗設計及執行方法較欠缺嚴謹度。
3. 實驗結果之分析、判圖及討論宜再加強。