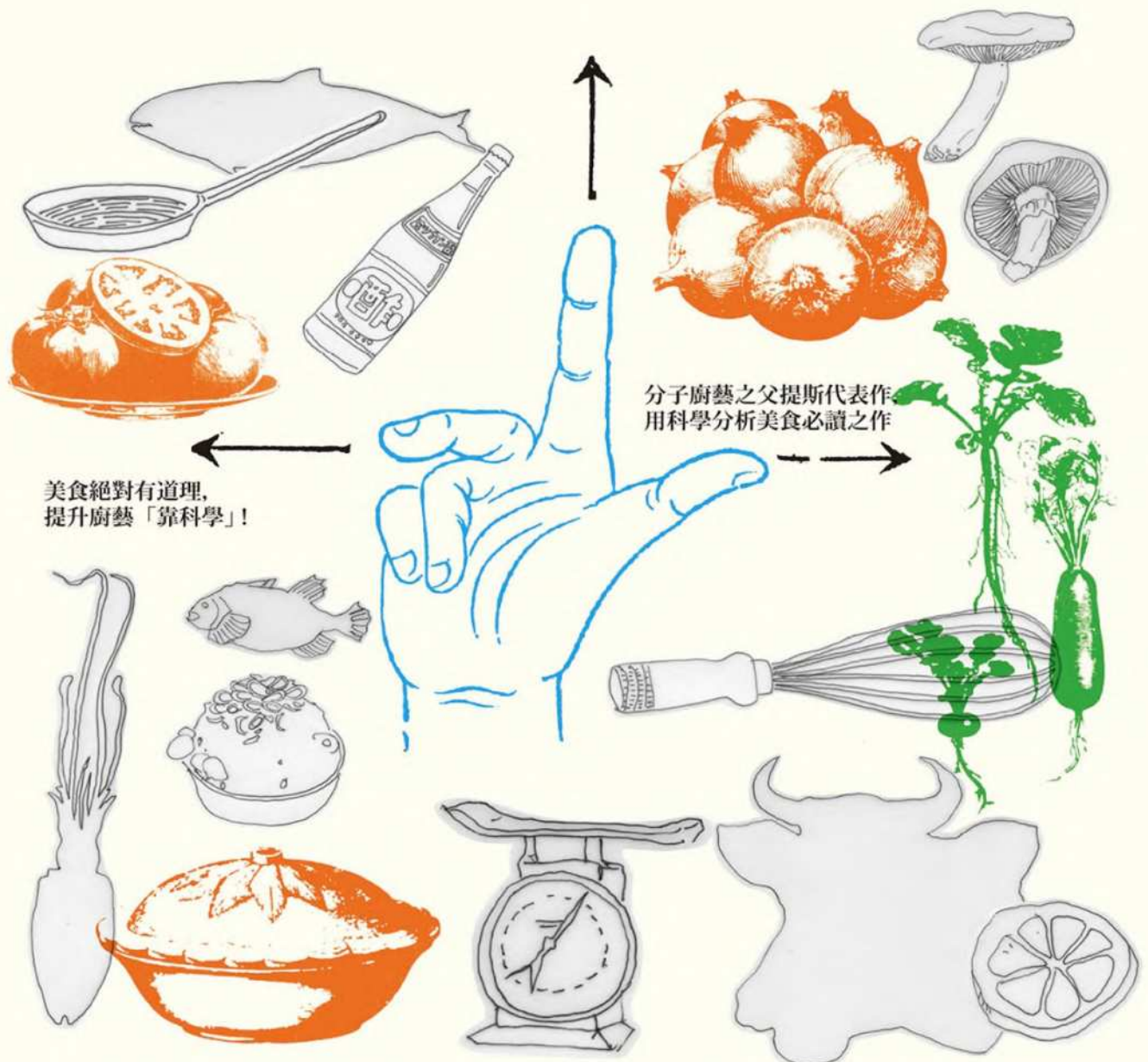


分子廚藝

用科學實驗揭開美食
奧祕的權威經典

提斯 (Hervé This) 著
孫正明 譯

全新典藏版



提斯實在太厲害了！過去我不大下廚做菜，但這本書正改變我的人生。——基努·李維

分子廚藝

用科學實驗揭開美食
奧祕的權威經典

提斯 (Hervé This) 著
孫正明 譯

全新典藏版



提斯實在太厲害了！過去我不大下廚做菜，但這本書正改變我的人生。——基努·李維

內容簡介

我們下廚時，常身陷似是而非的料理技巧中，比如煮麵看有沒有浮起、肉塊得在冷水時下鍋.....，但都照食譜做了，有時仍不成功！可見做菜若只知其然而不知其所以然，將很難端出令人滿意的佳餚。本書作者是「分子美食科學」創始人，他設計出一系列科學實驗，分析食物分子在烹飪中的各種變化，讀者進而能掌握到激發食物滋味的烹調關鍵。廚藝也因此變成人人可理解應用的系統化知識。正因如此，近年來無論在東、西方美食文化上，分子廚藝都帶起創新的風潮。

作者簡介

提斯（Hervé This）因創立分子美食學說，被譽為法國國寶級科學家。他把實驗室變為廚房，研究烹飪背後各種令食材滋味提升的理化反應，並與化學家克提（Nicolas Kurti）一同將這門科學定名為「分子美食」。此後提斯更與米其林三星名廚聯手，分離重組食物的特性與口感，創造出前所未有的飲食新風貌。本書《Casseroles et éprouvettes》是提斯最重要的代表作，並發行英文版《Molecular Gastronomy》，此外還有《認識分子廚藝》（積木出版）、《鍋子裡的祕密》等作品；在個人成就方面則獲得法國廚師協會名譽會員等多項榮譽。

譯者簡介

孫正明，台大公衛系畢業，巴黎第七大學免疫學博士，曾任美國國家衛生院博士後研究員，現旅居巴黎，任巴斯德研究所研究員。平日喜歡閱讀、寫作，吃美食遊山玩水。

國內學者、美食名人一致推薦

「分子美食」到底稱不稱得上是美食呢？當做菜做到一個地步，很難不往食材的結構方面研究發展，至於做出來的菜是美食是藝術還是科學實驗？看看這本書怎麼分析這種「吃泡泡的美食」，應該也是有趣的一種閱讀吧。

——王宣一（飲食文化作家）

現代食品科學與美食廚藝近年均有驚人的發展，但兩者卻漸行漸遠互不聞問，高興《分子廚藝》的出版，讓兩者回歸到一個協調的平衡點，相信本書會使食品科學家、廚師、美食家與關心日常飲食的每一個人對食物有一個新的視野。

——呂廷璋（台大食品科技研究所副教授）

在老師傅的眼中，很多廚藝是只能意會，不能言傳，更遑論用科學方法來進行說明；本書卻以理性的態度、科學的精神娓娓分析多種食材之物理化學現象，引人入勝，是科學普及的最佳書籍之一。

——朱楠賢（前國立台灣科學教育館館長）

廚藝是一種以科學為主，藝術為輔的生活實踐。很高興有人著書立說，有系統的加以闡揚。每個人閱讀後，必能煮出完美的水煮蛋，煎出嫩不帶血的牛排，燒出爽脆入味的紅燒豬腳。

——周芬娜（資深文化人、自由作家）

提斯有科學家的嚴謹和老頑童的調皮，他在在挑戰大家認為理所當然的烹飪技巧與現象，進而解答其中原理，推翻陳規，並提出另類的改進方案。在這個愈來愈多人講究「天然」、「原味」、「手工」的飲食樂活盛世，他敢大聲的建議使用化學添加物和人工育種，而且論證精闢，理直氣壯，讓人佩服他中立的科學精神，讀之也特別有種腦力激盪

的暢快。

——莊祖宜（《廚房裡的人類學家：「其實，大家都想做菜」》作者）

此書以理性的科學分析角度，從烹調技術和原理、以至人類味覺與感官的奧祕，深入探究讓料理更美味的可能性。如果你曾以為，所謂分子廚藝，就光只是高來高去的賣弄玄奇，那麼，讀完此書後，你將會有全然不同的理解和體會。

——葉怡蘭（飲食旅遊作家、《Yilan美食生活玩家》網站創辦人）

分子藝術是現代美食大師的殿堂，在尋找新的、未知的食物合體的同時，其實亦是向中世紀古老的煉金術取法，企圖從食物中發現宇宙合成的奧祕，分子廚藝是個新名詞，但觀念卻很古老，西方的科學與東方的玄學都在其中相遇。

——韓良露（南村落總監、飲食作家）

這是本非常有趣的書，藉由（分子）物理化學原理來探究傳統食譜或做法，了解或修正前人留下關於廚房技術的觀念想法。讀來往往叫人恍然大悟。

——謝忠道（飲食文化作家）

■推薦序

給所有對常食珍饈及 口腹之欲有好奇心的人

蔡倩玟

二〇〇八年遷回台灣時，收拾起在法國十年間能帶走的吉光片羽，無法帶走的就銘記在腦海中。清楚記得我把艾維．提斯《鍋子裡的祕密》（*Les secrets de la casserole*, 1993）留下，但隨身攜帶關於 *Chez l'éna et mimile* 這間餐廳的記憶作為補償。這間位於居禮夫婦的實驗室及高等師範學院附近居高臨下的小館，是我散步必經之地，也是我第一次接觸分子廚藝的地方，而菜單上幾道有趣的菜餚，如蘑菇濃湯佐 68℃ 蛋黃脆餅條，正是遵照提斯的理論製作的。

對其他國家的美食愛好者來說，分子廚藝總是會跟西班牙 *El Bulli* 餐廳及其主廚 *Ferran Adrià* 聯想在一起。晶瑩美麗的魚子醬咬開後幻化成甜美果汁，光滑圓潤的橄欖入口後溶成一抹濃郁的橄欖油……，品嚐食物有如參與一場奇妙炫目的巫術表演。然而這一切來自精密的化學原理及製作過程，創始者正是化學界奇人提斯，而著名法國主廚如 *Pierre Gagnier*、*Marc Veyrat* 等也都有極精采的分子廚藝表現（即使他們對於廚藝與化學掛勾多半有些遲疑）。

這本書提供所有對分子廚藝有興趣的人一窺堂奧的機會。了解如何應用添加物及高科技器材，改變食材的組成分子，以創造出截然不同的質感及外觀。同時也有助於辨明何為經驗累積的真理，何為似是而非、以訛傳訛的謬論。燉肉高湯一定要用冷水嗎？酥芙蕾烤好後若不馬上食用，為什麼會塌陷不成形？檸檬汁為什麼能防止蔬果變色？我想到有一次做鮮蝦酪梨沙拉，剛好檸檬用完了，沒有塗過檸檬汁的酪梨切面會氧化成恐怖的黑色，令人食欲大減。靈機一動改用柳橙榨汁取代，竟然保

住了翠綠的顏色，微甜的滋味甚至讓這道菜變得更好吃，其中的原因我終於在這本書裡獲得解答。了解這一切背後的機制是一件很有趣的事，對於專業廚藝工作者更是不可或缺。

回首法國菜過去三百年來的發展令人稱奇。起源於文藝復興時期的義大利菜，卻青出於藍，歷經十七、十八世紀的成長期及十九世紀的黃金時期，到二十世紀的新廚藝（La Nouvelle Cuisine）革新運動，總是能有精采的表現。創新卻不忘傳統的態度或許是其地位屹立不搖的真正原因。即使某些爭議性問題尚未獲得定論（如化學產品與技術使用上的安全性），但分子廚藝極有可能成為未來法國菜創新的重要方向之一。

法國不只有 Chanel 及米其林星級餐廳，還有協和超音速客機及美食化學家提斯。

蔡倩玟高雄餐旅學院飲食文化產業研究所專任助理教授，《美食考：歐洲飲食文化地圖》作者。

前言 開胃點心

長柄鍋與試管看起來似乎是很不恰當的對比。不過自「分子美食學」興起之後，料理技巧跟科學的不協調倒是被調和了一些。雖說如此，但把「分子」跟「美食」放在一起講，我們這是在談矯情的矛盾修辭學嗎？美食首先這個詞就讓人想起跟鵝肝醬、鰑蝦、松露等有關的食物，但那個形容詞「分子」卻馬上讓人望之卻步，因為它讓人想起噁心的化學反應。這裡需要一些解釋。

讓我們先來檢視「美食學」這個詞。其實這個詞不是美食家布希亞薩瓦杭（十八世紀末法國律師與政治家，也是美食家）所發明的，而是詩人貝爾休在一八〇〇年左右引進法國的。在布希亞薩瓦杭的名著《味覺生理學》裡是這麼定義美食學的：美食學是一種所有跟人類飲食有關的理性知識，它的目的是藉由精進飲食來保持身而為人的價值。為了達到這個目的，所有一切可以做成食物的東西之研究、供應及處理，都受美食學的規範。所以美食知識包括了：在自然史方面對食材分門別類；物理學方面研究食材的組成與品質；化學方面分解食材並分析；烹飪方面藉由料理藝術讓食材變成好吃的佳餚；商業方面在最好的市場買進食材並用最好的價錢把料理賣出；最後在政治經濟上面進口各種資源以及跟別國進行食物貿易。

因此，探索一個簡單的水煮蛋，跟料理複雜的菜餚像是「阿勒崗鑲雉雞」或「珍禽方餡餅」一樣屬於美食的範疇。在這兩個例子裡都牽涉到「理性的知識」，除了煮蛋比起大餐來較滿足個人而已。滿足？正是！如果有人一餐就只能吃一個蛋，難道他不會想知道怎樣好好煮這顆蛋嗎？

而分子這個詞現在正流行分子生物學、分子胚胎學……你們也喜歡分子嗎？會像學者一樣長篇大論分子嗎？我們現在到處都冠上「分子」兩字，連美食也不例外。然而分子美食學的「分子」可不是開玩笑的，因為「美食學是門合併物理與化學的廣泛知識」，布希亞薩瓦杭曾這樣寫

道。

但是「分子料理」難道還不夠嗎？別忘了，所謂料理，是一門準備食物的技術，因此很明顯是分子美食學的中心。但是所謂料理的野心比較小，它不去細究一些問題，諸如：為何含單寧的酒，跟加多了醋的沙拉搭配會變得難喝。這跟料理技術無關，純粹是一個化學現象，而研究這個會讓美食學進步。

由此觀之，「分子美食學」值得被獨立出來大作文章，賦予它應有的定義與價值。

一門由歷史締造的學科

那麼這個分子美食學，跟已經由無數傑出專家研究多年的「食品科學」又有什麼不同嗎？讓歷史來回答這個問題吧。在十七跟十八世紀時，食品科學的先驅是對烹飪過程有興趣的化學家：烹飪確實跟化學很像，都是搗碎、切開、加熱、沖泡跟浸漬……等過程。我們常忘了偉大的化學家，近代化學之父：拉瓦節，他對製作高湯就很有興趣。因為身為地主的兒子，他曾負責巴黎醫院的供應部。他注意到在高湯裡有營養的成分並不是水，而是肉的萃取物在烹調過程中跟其他食材起化學作用。他測出高湯的濃度，因此決定了製作高湯時所需的肉量。同時期的法國農學家帕蒙提耶，在引進馬鈴薯成為日常糧食跟專心研究麵包與麵粉的同時，對烹飪也很有興趣。在德國，化學家李比希靠成立李比希肉精公司（一開始是賣濃縮肉醬，後來也賣高湯塊，見第一部第一章）生產牛肉精（譯注：此肉精跟瘦肉精毫無關係）而賺了一大筆錢。另一個法國化學家謝夫何，也因研究油脂的化學而發明了重要的人造牛油。

因此，傳統食品科學一開始確實是圍繞著烹飪，但是後來偏向製作食品。別因為現在法國富足而忘了，一直到不久之前，普羅大眾所關心的就只是飽足而已。後來食品科學本應繼續發展下去，但是卻停留在食品本身，不再對烹飪有興趣。

僅在法國每天就有數千萬人煮菜，拜食品科學之賜，我們每天買很多食品，但是我們知道怎麼煮嗎？這問題其實有兩面：第一，這些食品到底好不好？第二，我們是合格的烹飪者嗎？

關於食品好不好的問題，像很多法國人因為在城市裡住或工作，因而懷念大自然一樣，我也無法不緬懷那「美好的舊日時光」：農場上放養的雞、餐前才摘的新鮮蘆筍，莖上還留有些許乳汁。剛剝莢的豌豆、還帶有陽光餘溫的草莓……多麼有文藝氣息呀！但其實鄉村在下雨的時候也是一灘爛泥，晚上野兔會來毀壞園丁的辛勞成果，老鼠來啃食儲糧，還有在菜園工作換來的腰痠背痛。



先把這些兒時回憶留給心靈吧。比較一下，同樣是阿爾薩斯的酒，三十年前喝了讓人頭痛，無法放超過四年，現在卻變成可以長久保存的瓊漿玉液。家裡自製的次級優格，需要用笨重的優格製作機，現在也被工廠的優格取代我們不得不承認，他們的優格真的又均勻又好。可是我們會怪這些工廠優格口味不像真的草莓嗎？不如怪自己不應該在冬天想吃草莓口味吧。番茄也是一樣，味道太淡？要等時令呀！

因此這些對食品改良的廉價稱讚可以稍歇一下，畢竟它們有所局限。讓我們正確對待食品，也讓我們承認，真正要讓食品完美，其實是在於烹調方式的改變。進入廚房，如果我們想幫優格加口味的話，自己

來。簡單來講，自己烹飪。

關於第二個問題，我們是合格的烹飪者嗎？要回答這個問題，先問問看我們怎麼煮菜……我們都會說是從家裡看著學的。至多，當我們學到一道以前家裡沒看過的菜就跟發現新大陸一樣稀奇。真的，不需像哥倫布一樣發現新大陸才叫「發現」。

煮菜很難嗎？再引一次布希亞薩瓦杭說過的話：

「拉普朗胥師傅，」教授的聲音如貫穿心底般強調著，「所有來到我桌前的人如此宣稱：您的濃湯是第一流的。真好，因為湯是帶給辛勤脾胃的第一道安慰。然而讓我痛心的是您的炸物仍待加強。」

「昨日當您上菜時，我聽到您咕噥道把那條上好的鰈魚炸成蒼白鬆軟又難看。吾友 R 投予不滿的一瞥，H. R 先生將他那如日晷般高聳的鼻子轉開。而 S 主席更對此哀痛得如一場公共災難。」

「此不幸肇因於您對某些定律的忽視，因為您不覺得它們重要。固執如您，讓我苦於無法使您了解，在您實驗室裡所發生的各種現象不過是亙古自然的另一種體現。而您在做某些事情的時候從不留心，因為您只是看別人做過。但那些事不過是來自科學的抽象變化。」

「專心聆聽並記住，以後您將不會再為作品臉紅。」



現代化學之父拉瓦節。

「化學！您所放在火上的各種液體，吸熱能力都不同（譯注：這是十八世紀時對熱的相關理論，其實並不正確）。大自然對萬物秩序的安排並不平均，而我們未能了解其意。此能力稱為熱容量。

「因此，您可把手指放入煮滾的蒸餾酒裡毫髮無傷，而在煮滾的干邑裡就要快點抽出手指，滾水要更快，在滾油中瞬間就造成重傷，因為滾油的熱度比水高出至少三倍。

「因為這些差異，不同液體對浸入其中的食材也造成不同效果。用水煮的會變鬆軟，糊掉後變成湯汁或萃取液。用油炸剛好相反，食物會緊縮，呈現深淺不一的焦黃，最後變成焦炭。

「在第一例裡，水會溶解並提取食物裡的汁液。在第二例裡，汁液被保存在食物中，因為油無法溶解汁液。而如果食物被炸乾的話，那是因為不斷的加熱讓水分蒸發。

「兩種料理法名稱也不同。用加熱至滾的油或食用脂肪處理的稱為煎炸。相信我已經提過，根據藥學觀點，油跟脂肪是一體兩面。脂肪只是固體的油，或者油是液體的脂肪。

「在應用上，煎炸物在宴會中一直很受歡迎。它們變化多端，外表好看，保留食物原味，而且適合用手拿，這總讓女士們開心。

「煎炸物同時也讓廚師有更多方法去掩飾昨天用過的菜，讓他們可以應付不時之需，因為煎一條鯉魚所需的時間跟料理一顆半熟蛋差不多。煎炸的功勞均來自一種驚喜，這驚喜也就是我們所稱的『煎炸是在浸入食物的同時，滾燙的液體讓食物表面變得焦脆，呈現金黃。』

「透過這個驚喜作用，食物表面形成了一層包覆式穹頂，讓穹頂外部油脂無法穿透，同時裡面收汁。內部烹飪的結果，食物因此發揮出各種可能的滋味。

「為了要產生這個驚喜，滾油的溫度必須夠高，油脂才可迅速在食物表面產生作用；然而如此一來油脂也必須在熊熊烈火上加熱夠長的時

間。

「我們藉由以下手法得知油溫是否達到我們想要的程度：切下一小塊長條狀的麵包，放入平底鍋中煎五、六秒，如果煎出金黃色脆脆的麵包，那就可馬上進行煎炸，否則，就要加強火力再重試一次。

「一旦這個驚喜發生，就要把火力調小以免內部烹調過頭，而被封在食物內的汁液得以慢慢加熱，調和在一起，讓味道更好。

「想必您一定注意到了，鹽跟糖都無法溶解在煎炸物的表面，偏偏隨食物本質的不同，又需要不同的調味。因此，別忘了將鹽跟糖做成極細粉末，使它們便於貼附，然後用灑粉器灑在炸物表面調味。

「關於怎麼選擇油的問題暫且不提，我已經提供了夠多的手冊放在您的書架上，而在這個主題上給予您足夠的想法。

「然而別忘了，有時候您會拿到那種由遠離城鎮潺潺小溪活水中抓來的、不足四分之一磅的鱒魚，這時請注意，得用您最頂級的橄欖油去煎，這道菜如此簡易，正確地灑上調味料，加一片檸檬提味，就足以獻給貴客。

「用同樣方法料理跟香魚、柳葉魚同科的胡瓜魚，是一道非常受歡迎的菜。胡瓜魚是水族中的園鶯，牠們出沒在許多水域，一樣嬌小，一樣鮮美，一樣上等。

「我開出的這兩道處方一樣都是根據事物的自然本質。經驗告訴我們：橄欖油只能用在食物不需太高溫也不必久煎的時候。煎久的橄欖油會冒出一股讓人不舒服的焦味。這是因為橄欖薄壁組織的一些成分，不但難以剔除而且易生焦味。

「您已嘗試過對我來說最難的部分了。而您也成為第一位用這麼漂亮的煎魚博得眾人讚嘆的廚師。當天那些有幸享用的人多高興呀！

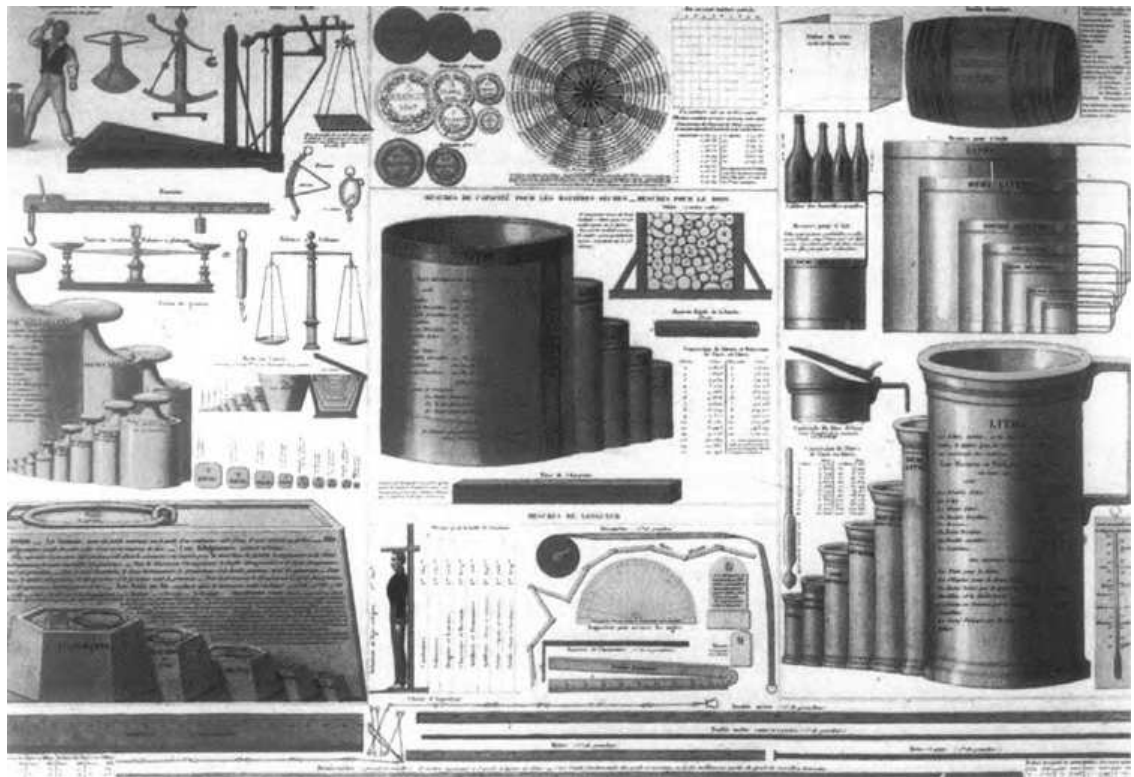
「去吧！繼續留心您的料理，同時絕對別忘記，當賓客上門，使他

們快樂的責任就落在我們肩上。」

這位教授同時也是布希亞薩瓦杭的化身，他的言論中充滿科學的謬誤，反映了一八二五年左右《味覺生理學》一書寫成時的科學水準。不過我們僅保留其中的觀點

您在做某些事情的時候從不留心，因為您只是看別人做過。但那些事不過是來自科學的抽象變化。

換言之，料理的現象，也就是形成這些烹飪作用的，不過是物理跟化學罷了。為了煮得更好吃，我們可以深入了解一下。



度量衡演進簡史：不過在烹飪使用的測量工具裡，要加入熱電偶。

調查跟檢視料理的傳言、諺語及傳統烹飪技巧

好，那分子美食學有何重要呢？物理跟化學可明智地告訴我們如何保持肉質鮮嫩，如何運用化學讓烤肉脆皮散發好滋味，如何成功調製出美乃滋、貝恩式紅蔥醬、荷蘭蛋黃醬、酸豆香草醬……，但我們敢嘗試

嗎？我們會懷疑，因為我們害怕改變食物。像其他靈長類一樣，我們不敢吃不認識的東西。

美國哲學家佩恩（一七八四 ～ 一八四八年）曾說：「第一個敢吃生蠔的人，是個英雄。」是呀，因為探索每份新菜單就像是探索新大陸一樣，而科學在推動我們前進的同時，也可幫助我們簡單運用這「亙古自然的另一種體現」，引導我們開發新料理。

那料理書夠嗎？當然不夠！一般料理書不過是食譜的集合，也就是說，不過是讓我們降級成為執行者的手冊。尤有甚者，很多內容都值得懷疑，諸如：牛排要快煎，才能把肉汁封住；製作高湯時要將肉從冷水中開始加熱，因為「白蛋白」的凝結會阻止肉汁流出；女人在月事來的時候會把美乃滋做壞；打蛋白時如果不順著同一個方向打，蛋白就不會發……。這些傳承下來的「技術」需要多一些解釋。

那料理原來富含的詩意呢？大概只有那些寧可把菜做壞，也要遵循古法的人才會哀悼詩意吧？何況，心中有詩意則萬物皆詩意，令紫羅蘭飄香的分子「紫羅蘭酮」，或初榨橄欖油香味的分子「己醛」，難道就不如「濾鍋」、「削皮刀」有詩意嗎？

談過詩意後，剩下的就是效率問題了。

倘若料理的傳言、諺語及所謂廚師的技巧有誤，那將成為羈絆我們的腳鐐；反之，則讓我們事半功倍。這就是分子美食學重要之處，首要任務就是檢視跟區分這些傳統。如果可以在這大量累積的經驗法則裡將麥子與糠分開，那烹調的藝術將大大受惠。

我們有什麼研究成果？本書第一部分將介紹關於高湯、水煮蛋、法式鹹派、小泡芙、義式麵疙瘩、酥芙蕾、法式魚漿條、乳酪鍋、法式烤牛肉、果醬……的二十多種研究，並藉此揭開許多烹調的祕訣。

味覺生理學，烹飪活動的基礎

那些全憑理性，完全根據物理與化學定律做菜的人，很快就會發現這兩門科學在烹飪上的局限性。以蛋白糖霜為例，一般人都喜歡發得愈大愈好？那乾脆把蛋白糖霜放進玻璃鐘裡面抽成真空，蛋白裡的氣泡就會一直膨脹、一直膨脹，直到形成一個「空氣水晶」為止。但放入口中，啥也沒有。這就像拿破崙遠征俄國卻慘敗一樣，會是烹飪上的大災難。

問題應該是：我們喜歡吃什麼？為什麼喜歡吃？緊接著會引申出其他問題。我們為什麼不吃？我們可以分辨幾種味道？味道會隨溫度而改變嗎？

味覺生理學家們研究過這些問題，不過他們是在各自的領域裡探索，再將這些特定的實驗結果集合起來，因此他們揭露了一些跟烹飪有關的咀嚼的知識。這是一個我們幾乎毫無意識的動作，不過根據某些文明的觀點，正是由此區分狼吞虎嚥跟精緻飲食。這也是布希亞薩瓦杭在他書末的觀點。味覺生理學家最新的研究將呈現在本書第二部分。

建立食譜的新典範

相較於布希亞薩瓦杭那種文謏謏的學者，味覺生理學家是真正的科學家，他們的成果，對於那些想找出烹飪意義的人當然很有用。不過應該在這個基礎上，將一個更完整的科學建立起來。

回顧一下之前定義的分子美食學，我們把傳言、諺語及烹飪技巧當成中心，因為我們只接受傳統會接受的烹飪知識。然而由味覺生理學研究成果導引出的烹飪技巧，應該被實際應用在烹飪上。

如何做菜？這一次，將略有不同。這正是我們所需要的新烹飪典範。而這個典範，自然是扎根於對食物的知識。

這將是本書第三部分。在此，這雙重的「理性知識」應當由料理來決定。拉丁諺語

Sutor ne supra crepidam（靴匠不管靴子以上的東西。）

然而廚師所注重的卻高於鍋子，因為他知道他的作品不只照顧人的胃，更觸及心靈層面。由此看似無用的研究，在這裡找到了一席之地。這是純粹的知識之美。

舉一個不會透露太多祕密的例子好了。以蛋黃為例，平凡的蛋黃。歷代廚師唯一關心的就是如何不打碎或打翻它。而食品科學將會為我們揭露，這個平凡無奇的蛋黃其實有著令人意想不到的構造。此後我們看到蛋黃，至少會稍微讚賞一番。

會讓我們覺得無聊的，是對事情毫不在意，而不是單調。多虧了食品科學，我們再也不會認為烹飪無聊。而毫不起眼的蛋黃也能引起好奇心跟興趣。

當然，分子美食學的目標並不只是純粹科學，也是希望建立食譜的新典範。比如將麵粉倒在熱水裡會凝結成塊，研究這現象背後的原因，所得到有用的結論，可以讓食譜更加合理。

在此，我提倡一種新的信仰行為：「愈能了解每個步驟的目的，料理愈趨近完美！」這也是我品評食譜時最重視的觀念。好比廚師遵照一份食譜做美乃滋，結果卻做壞了，因為他只是遵照食譜的步驟丟入蛋、芥末跟油，結果它們卻無法混合在一起。相反的，如果能了解美乃滋不過是另一種「乳化劑」，也就是說，它是種將小油滴打散混入水裡的油水混合物，那就不需要再多加蛋黃，也可以挽救做壞的美乃滋。但是很多最新版的食譜都建議如此浪費蛋黃，而我們還有許多同胞卻連蛋黃都吃不起呢。

第三部分全圍繞著一個主題：讓食譜更加完美。理性的知識，完美性，豐富了烹飪的靈魂。

發明新食譜

很快的，研究物理跟化學將會推動傳統食譜的改良。以酥芙蕾為例，我們測驗了傳統說法，說蛋白要打得細密堅固，接著用感官去分析酥芙蕾裡膨脹的部分：我們用嘴學到了酥芙蕾該有的口感，然後仔細分析了傳統食譜，發現酥芙蕾應該要由下方加熱。最後同時經由理論跟實驗，我們得到一個結論：製作酥芙蕾，烤箱不是必要的。

我們該怎麼做呢？不管傳統放棄烤箱，最後做出較成功的酥芙蕾，或者緊緊擁抱傳統，然後忘了在幾世紀以前，美乃滋跟千層派皮這些東西也都曾是新發明？

本書第四部分很明顯地就是要拒絕這些陳規積習及保守主義，所依據的是另一個傳統：「理性思考」。以理性思考之名，我們應該接受新發明的巧克力慕絲；該了解過濾高湯是多餘的，並放棄這個步驟；該普遍接受蒜香蛋黃醬；更重要的，儘管保守人士喊著：

vade retro satanas（回去吧！撒旦！）

我們仍要在廚房裡面做「化學實驗」。

在此，我要再次解釋一下。廚房裡的化學或者物理，其實我們早就在做了。在「乳化」醬料時是化學，在烤肉時也是化學，如同喜劇作家莫里哀筆下的料理人喬丹恩先生一般，我們對其視而不見，我們也常太自滿而不追求完美。這是我在第四部分將一再宣稱的，料理的靈魂所在。要去了解這些讓我們畏懼的物理跟化學，不是為了讓自己中毒；相反的，是要讓食物隨我們的意思，味道變得更好或更精緻。

要在了解原理的情況下做菜！

第一部 探索廚師的技巧



高湯

不管從滾水或從冷水中開始煮，從肉裡面流出的精華都是等量的

牛肉高湯是「家常料理的靈魂」，近代法國名廚古菲在一八六七年曾這樣寫：「在開始用餐前我們會先飲用這些由肉或蔬菜所熬出的汁液。除此之外它也可以當作許多料理的基底，或用來調製其他醬汁。」高湯要怎麼做？

烹飪食譜裡面充滿了各種告誡：「要得到清澈美味高湯的關鍵，在於慢慢加熱。」聖安潔夫人在一九二五年如此建議著。為什麼要把肉從冷水中開始燉煮呢？這個觀念我們可以追溯回一八四七年，卡漢姆，這位「王之廚師，廚師之王」，曾提出一個解釋：高湯從加熱到沸騰的過程必須非常緩慢，否則「白蛋白」將凝結變硬，而水則沒有時間滲透至肉裡，膠狀的「肉香質」也因而無法釋出。

而更早在三十年前，布希亞薩瓦杭就已經寫過：要做出好的高湯，加熱要慢，如此白蛋白才不會（在肉裡面）凝結；同時水要用文火小滾，如此在不同時間被溶解出的分子才可以緊密結合在一起而不至於被打散。這樣既可得到肉汁精華，湯也會清澈。

我們能同意，肉如果放在熱水或冷水燉，會釋出不同程度的精華嗎？很明顯的這應該跟烹飪的時間長短有關。不過古菲曾說過高湯要燉好幾個小時：「湯煮到最後肉熟透成渣了，這時再也無法釋出任何精華或香味。再繼續把這完全枯竭的肉留在燉鍋裡，只有可能糟蹋整鍋湯而不會讓味道更好。我要指出，一道牛肉蔬菜鍋最多只能燉五小時。」

這我們就不了解了，燉了五個小時以後，不同香味或滋味分子的移動怎麼還會跟起始溫度有關？反過來講可以理解的是，滾水的物理碰撞會讓肉屑脫離，讓高湯混濁，最後不得不過濾高湯，因而減損湯的滋味。

在一九九五年，我們曾經嘗試將完全相同的材料用不同方法去燉，結果很明顯：把肉直接放進滾水裡燉出來的高湯比較混濁。然而，熬湯起始溫度這個問題，始終縈繞不去，儘管過去德國化學家李比希也曾研究過這個問題。李比希是以他的高湯跟肉精製作聞名於世。

李比希認為肉的營養部分並不在肌纖維裡，而是在肉汁中。這些液體在烤肉或製作高湯時都會流失。「把肉放入滾水裡，表面的白蛋白會凝結而形成一層殼阻止水的滲透。然而熱卻會繼續侵入肉中，讓裡面的白蛋白慢慢被煮熟。結果肉最主要的滋味就被困在裡面了。」相反的，他建議要做出好的高湯，不要把肉放在熱水裡，要避免肉汁被困在裡面而做出一鍋無味的高湯。

這個教條成為李比希在製造業上冒險的基礎。他先用絞肉，從冷水中開始煮成一鍋高湯，再用真空乾燥把水蒸發，得到他所謂的「肉精」。這個肉精，伴隨著「用冷水煮高湯」的理論，被推銷到全世界。

李比希是優秀的化學家，不過在這次他只是重複半個世紀以前布希亞薩瓦杭就寫過的東西，而布希亞薩瓦杭卻既不是科學家更不是廚師呢！確實實務操作上，我們看到肉在滾水中會立刻變白，然而如此做果真會萃取出比較少的精華嗎？

流失的肉汁

沒有什麼比做實驗更有效了。我們把一塊肉分成兩等分，一塊放在冷水中加熱，另一塊放在滾水中加熱。每隔固定時間秤一下兩塊肉的重量。我們發現肉的重量在滾水裡快速減少，而在冷水裡面比較慢。

然而燉了一小時之後，兩塊肉重量流失變得幾乎一樣（差距僅以克計），在接下來幾個小時的燉煮裡，肉的重量不再改變。除此之外，兩種高湯的味道幾乎無分軒輊。要用冷水煮高湯這個說法，理論上可疑，操作後更被證實錯誤。

不過這個實驗倒是提供了燉煮過的肉另一種用法。燉煮過的肉在汁

液流盡之後，若繼續放在高湯裡面冷卻夠長的時間，重量會增加約百分之十，因為肉又把一些液體吸回去。如此一來，何不把燉肉放在松露汁裡面冷卻，讓松露汁液可以進入肉中呢？



德國化學家李比希，靠他的肉精聞名於世。肉精原本是當作醫院病人恢復期的營養品，後來則被當成調味品。

「重擊」高湯中的雜質

對流會是淨化高湯的好方法嗎？用咖啡渣來做實驗的研究

食譜裡面常有一些奇怪的主張。比如建議在一鍋混濁的高湯裡加入冰塊會「重擊」雜質讓它們沉澱下去。這個構想乍聽之下十分可疑，但是烹飪上的觀察應有些可信之處吧？讓我們實驗看看。

可以模擬高湯的模型

首先要找出跟混濁高湯裡的雜質相似的粒子。研磨咖啡渣會是個好材料，因為它是由許多大小不同的顆粒所組成。由於咖啡渣會把水染得太黑，所以我們先用大量的水從咖啡渣上流過，直到把顏色洗去，最後得到大小不一的黑色顆粒細末。

把這撮粉末分成兩等分，放入兩個一樣的杯子裡，倒入等量的水。接下來用微波爐把兩杯水一起加熱。當加熱完畢取出杯子時，可以觀察到水裡的懸浮粒子被加熱而移動，不過幾秒鐘之後就會靜止下來。這時候小心地在一杯水裡放入冰塊，另一杯水裡則倒入跟冰塊體積相等的熱水。後者的顆粒並沒有什麼變化，但是在放入冰塊的杯子則可以看到咖啡渣顯示出激烈的水流。

這現象其實並不讓人驚訝。冰塊會冷卻在液面跟它接觸的熱水，同時冰塊也會被融化而放出冷水，冷水的密度比較高，因此就會往下沉。而在下面的熱水則往上浮，再被冷卻，如此冷、熱水對流一直循環到所有的冰塊都融化為止。

那麼顆粒呢？它們有被「重擊」到嗎？這時一個很有趣的分離現象出現了。大小顆粒都會被對流帶到杯底，不過上升的熱水卻會把小顆粒帶著一起走，而大顆粒被放在杯底。為什麼大顆粒不會往上回升呢？也許是因為大小顆粒往下移動的「終端速度」不一樣。

在靜止不動的狀況下，咖啡渣會受到兩種力的影響：往下的重力，以及往上的浮力。既然所有的咖啡渣都往下沉，這代表咖啡渣比水的密度大，而重力跟浮力抵消後的淨力是往下。

不過咖啡渣在下沉的過程中會受到另一股往上的阻力，阻力的大小，跟液體黏度、顆粒下沉速度以及咖啡渣半徑都有關（阻力的計算，是這許多參數相乘）。咖啡渣下沉前阻力是零，接著咖啡渣受前述向下淨力的影響下沉，愈沉愈快，阻力也隨之增加，最後達成平衡，咖啡渣下沉的速度因此固定，這速度稱為「終端速度」。

粒子的分離

當液體從底部往上升時，它傾向把大小顆粒都往上帶。但是既然兩者下沉的終端速度不一樣，對水流的反應也不同。小顆粒因為半徑較小，往下沉時的終端速度比水流上升速度小，所以會跟著上升。而大顆粒呢，因為下沉終端速度大於水流上升的速度，因此水流帶不動它，只好沉在杯底。

要如何證實這個推測呢？可不可以做個實驗，比如說改變液體的黏度，進而改變顆粒下沉的終端速度？在巴黎高等物理與工業化學學院的流體動力學教授費米傑觀察到，增加液體黏度有可能減緩對流速度，進而改變整個現象。在純水中，水流在降至杯底循著曲線路徑後回升，因為速度可以穿越充滿顆粒的水層，所以可以把小咖啡渣帶往上升。而液體黏度太大的話，水流下降後速度將很難穿越上方的液體（根據達西定律）。

他的同事魏斯菲則指出，在一般的情況下，因為大顆粒比小顆粒慣性大，因此當降至杯底時有可能離開水流行進路徑，進入流速較慢的區域而沉積。而小顆粒則可以跟隨水流走完全程然後回升。

那我們可以從這裡學到什麼料理的技巧？我們學到了其實只有大顆粒會因對流而沉澱在底部，而小顆粒則會繼續讓高湯混濁，就像拉封登

寓言裡無辜的羔羊，只因為在河川下游喝水，反而被在上游的野狼怪罪污染了水。



咖啡渣在杯中的流動。在裝了熱水的杯中放入冰塊，冷、熱水造成的對流只會讓大顆粒沉澱。

控制水煮蛋

如何讓蛋黃保持在水煮蛋的正中間，如何調整煮蛋的時間？

食譜會這麼建議：如果要讓蛋黃維持在水煮蛋的正中心，那就要把蛋放進滾水中煮。這個根據經驗法則得到的建議有些時候確實有效，但是有時候廚師照著做，蛋黃卻偏了。有時候，把蛋從冷水中開始煮，蛋黃反而在中心。如果建議常失靈的話，那又有什麼用呢？

經驗可以解答部分水煮蛋的問題。為什麼蛋黃會偏？因為它會在蛋裡面移動。為什麼蛋黃會移動？因為蛋黃受到兩個力量的影響：重力與浮力。那麼，這兩個力的總和把蛋黃往上還是往下推？雖然我們總認為蛋黃比蛋白重，不過還是做個實驗比較準：在一個又高又細的杯子裡（像透明蛋殼般，讓我們可以看到蛋黃與蛋白的相對位置），放入一顆蛋黃，然後在上面疊上四到五份蛋白。如此，蛋黃會慢慢上升。根據後見之明我們可以輕易地解釋：因為蛋黃含比較多的脂質（或油脂），所以其實比起含水較多的蛋白來說，密度小而輕。

這個密度差異是否可以解釋為何水煮蛋的蛋黃會偏？我們用另一個實驗來解釋。首先把長柄鍋加水然後把蛋靠邊放，加熱至水滾煮十分鐘，同時非常小心地注意不讓蛋滾動。十分鐘後剝開蛋殼會發現，蛋黃朝上方偏移。再重複一次實驗，不過這次先把蛋直立靜置一段時間，讓蛋黃有足夠的時間浮上來，然後再把蛋直立放入鍋中煮。結果這一次，蛋黃又是往上方偏移。這兩個實驗證實了，蛋黃與蛋白密度的不同，確實是造成水煮蛋蛋黃偏移的原因。

但知道的人就會問：不是還有一層卵黃膜圍在蛋黃外嗎？確實，玻璃杯的實驗排除了卵黃膜，同時也無法驗證它的影響，可是煮蛋的實驗清楚地顯示了，卵黃膜不足以將蛋黃維持在雞蛋中心。

那麼要怎樣讓蛋黃維持在雞蛋中心呢？根據前面的實驗可以演繹出來答案，就是要避免蛋黃浮到蛋殼邊。原理是要消除讓蛋黃浮上來的

「垂直方向」，而實際的做法，可以在煮蛋的時候把蛋在滾水中滾動，十分鐘之後就可以得到一顆蛋黃在正中心的煮蛋了。同樣的方法也適用於從冷水中開始煮蛋，不過如此要讓蛋滾動比較久，滿累人的。因此，烹飪書對了一半，然而他們不求甚解的建議並不完整。煮蛋成功的關鍵在於不讓蛋黃有機會停留。

猶太低溫煮蛋

讓我們再問另一個問題：怎樣做出一顆完美的煮蛋呢？這問題乍聽之下有點不知所云，因為每個人喜歡的口味都不同。有人喜歡熟透的蛋黃外面那一層綠色硫化鐵外層，有人則痛恨那伴隨而來的硫磺味。一般食譜會建議只要在滾水中煮十分鐘，卻不說為什麼。讓我們先來研究煮蛋的時間。

為什麼要煮十分鐘，卻不是五分鐘？書上說因為只煮五分鐘蛋不會硬，而如果煮十五分鐘，蛋黃變成粉狀，蛋白則會變得跟橡膠一樣硬。然而這規則並非四海皆準。很多猶太社區，比如說希臘猶太人，都會做猶太低溫煮蛋。這種蛋以口感柔軟香滑聞名，但是卻需要烹製數小時。猶太廚師如何避免過熟雞蛋的硫磺味？又為什麼他們的蛋黃不會浮現綠色外層，而蛋在法國煮個十分鐘就會呢？

這些問題引出其他問題：為什麼蛋會煮熟？蛋的結構裡，蛋白的成分是百分之九十的水跟百分之十的蛋白質（蛋白質是胺基酸長鏈不斷摺疊捲曲所組成）。加熱的時候這些胺基酸長鏈會部分鬆開，然後再互相任意連結，形成一張網絡（這過程稱為蛋白質凝結，科學上稱變性），把水困在其中，這就是膠體。

雞蛋的柔軟程度取決於膠體中水分的多寡。加熱愈久，水分流失得愈多，蛋白就變得跟橡膠一樣硬。因為同一個原因，烹調過久的蛋黃變成粉狀。

在不同溫度的水中煮蛋的實驗，可以解開猶太低溫煮蛋柔軟之謎。

在攝氏一百度的滾水中煮蛋，隨著膠體中水分漸漸減少，蛋的重量也減輕。相反的，用比蛋白質凝結稍微高一點的溫度煮蛋（約攝氏六十八度），蛋白質雖凝結但水分不會流失，也因此保住柔軟度。

傳統上猶太低溫煮蛋是周五晚上埋在餘燼裡面烹飪（譯注：猶太人周六不用火），溫度大約是介於攝氏五十到九十度之間而已。因此，長時間加熱跟柔軟的蛋之間並沒有矛盾，只不過根據經驗，掌握好煮蛋時蛋白凝結的溫度即可。

在滾水中煮蛋有一個好處：至少溫度是恆定的，因此只要固定煮蛋時間就可以獲得穩定的品質。不幸的是這個恆定的攝氏一百度並不考慮到雞蛋的特性。

所以現在應該是利用科技便利的時候了，精準的溫度控制器可以將烹飪溫度控制在接近「讓蛋白凝結（攝氏六十二度）但是蛋黃還沒變性（約攝氏六十八度）」之間。當然這意味著要花比較長的時間煮蛋，然而要得到一顆完美的水煮蛋總要付出代價。



水煮蛋的橫切面，讓雞蛋靜置一段時間之後再保持同樣位置放入水中煮熟。

法式鹹派、小泡芙跟大茴香麵包

「膨脹」跟「含有雞蛋」只有間接關係。

主要是因為雞蛋裡面的水分遇熱蒸發而讓麵團膨脹起來。

洛林法式鹹派不可以烤太久，否則餡兒就不會柔軟細緻，不chevelotte，照洛林省的說法是這樣。在這裡烹飪的規則是：派一膨脹就要停止。法式鹹派為什麼會膨脹呢？又為什麼膨脹可以當成烤好的指標呢？



要回答這個問題，我們先來研究另一個也會膨脹的食物：法式魚漿條。不管是用魚肉還是用其他肉做，都是把絞肉跟液狀鮮奶油、雞蛋還有奶油麵糊（將麵粉加在滾水裡作成的麵糊）揉製成團。煮好以後把魚漿條放入醬汁裡，如果一切順利的話，魚漿條會膨脹起來，就算當初雞蛋沒有打發也無妨。

法式鹹派跟法式魚漿條的共通點是蛋跟液狀鮮奶油。這兩個哪一個是引起膨脹所必須？很明顯的，液狀鮮奶油加熱之後並不會發。再看一下小泡芙的食譜，裡面有奶油麵糊跟蛋，因此「蛋」是所有會膨脹食物的共通點，而很久以前就有廚師注意到這點。一九〇五年，一本佚名作者所出版的《烹飪手冊》裡已經提到「所有含蛋的料理都會膨脹」。

為什麼蛋有這種好處，可以讓料理膨脹起來？與其把法式鹹派的材料（蛋白、蛋黃、液狀鮮奶油、培根）用不同比例組合去做實驗，還不如好好思考一下：空氣沒有理由從加熱的雞蛋裡憑空生出，不過雞蛋裡面有水（蛋白含百分之九十，蛋黃含百分之五十），而水分在被加熱時會產生蒸氣。此外，看過煎蛋的人應該都曾經觀察到蛋白被撐起，因為

裡面的水蒸氣受煎鍋的熱而蒸發，但是被上面凝結的蛋白困住。

完美的膨脹

既然知道了膨脹的原因，那要如何讓它最佳化呢？如果從上方加熱蛋白，那蛋白表面的水分會蒸發跑掉，而不會把蛋白撐起。相反的如果從下方加熱，比如像煎蛋，那就會看到蛋白像前述一樣膨脹起來。因此我們可以下結論：要膨脹的料理都應該從下方加熱。像酥芙蕾，要放在烤箱底層；馬卡宏杏仁圓餅、大茴香麵包，要放在一塊鐵盤上；法式魚漿條，要避免烤過，然後要放在從下方加熱的盤子上……如此如此。

再繼續探討最佳化的問題：含雞蛋的料理，光靠水的蒸發可以膨脹多少？一顆雞蛋的蛋白大概有三十克，也就是含有約二十七克的水，都變成水蒸氣的話體積超過三十公升呢！那為什麼像酥芙蕾、法式小圓餅、大茴香麵包、鹹乳酪泡芙……等的膨脹都有限度呢？那是因為很大一部分的水蒸氣都從食物間隙中跑掉了。在做這些料理時仔細觀察，就會發現水蒸氣的散失。要讓膨脹完美，首先要做出一個擋住水蒸氣的圓頂。

回到法式鹹派

回到法式鹹派。為什麼鹹派的膨脹代表烤得恰到好處呢？在法式鹹派的餡兒裡，圍繞著培根的液體成分是油、水跟蛋白質。蛋白質變性時會形成膠體，因為蛋白質會網住水跟油。水愈多，膠體就愈柔軟。相反的，烤乾的肉、魚或雞蛋會是啃不動的硬塊。換句話說，當水分開始蒸發並把法式鹹派撐起來的同時，也代表著餡兒開始失水以及柔軟度的流失。因此洛林地區的格言是正確的。

但是這格言完整嗎？非也，因為只有從下面加熱法式鹹派才會膨脹。因此這個傳統的格言應該更正為：把法式鹹派從下方加熱，當它開始膨脹時，代表已經烤好了。

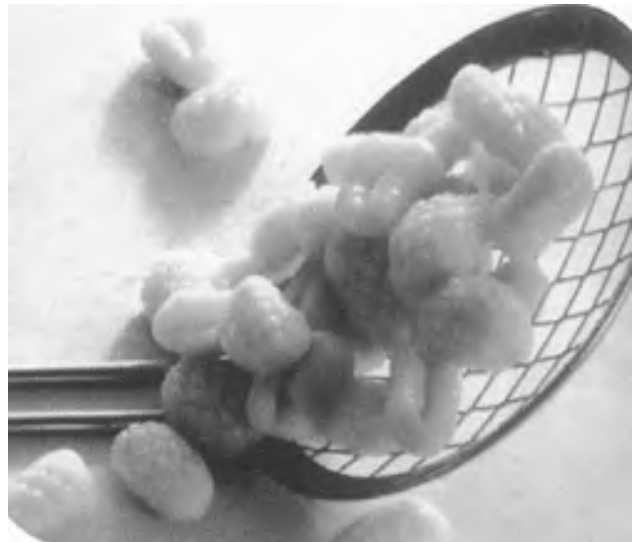
如此，法式鹹派也會是chevelotte，餡兒綿柔。



義式麵疙瘩

當它們飄到水面時代表煮熟了，果真如此嗎？

你喜歡吃義式麵疙瘩嗎？麵疙瘩的食譜很多，從傳統的馬鈴薯麵疙瘩到巴黎麵疙瘩，不過原則大同小異，也就是由澱粉（在麵粉裡）、雞蛋跟水所組成的麵糊。在馬鈴薯麵疙瘩裡，馬鈴薯細胞裡的澱粉粒（澱粉分子在植物細胞裡形成的半結晶顆粒）會提供額外的澱粉（烹飪時會把馬鈴薯先煮熟然後壓成馬鈴薯泥）。有時食譜還會建議加入帕馬森乳酪、牛奶……等。麵團用抹刀混勻之後，放在鋪滿了麵粉的麵包板上揉搓成長條狀，再用刀等分切成小段，這就是麵疙瘩。如果想做成傳統式的話，可以用叉子在麵疙瘩上壓出花紋。接下來就要開始煮了。把麵疙瘩放進加了鹽的滾水（或高湯）裡面，傳說當麵疙瘩浮起來的時候表示煮熟了。這個傳說可信嗎？可信的話又為什麼呢？這不是在探討奇聞軼事，因為很多類似的食材都有類似的煮法：阿爾薩斯麵疙瘩、中歐的各種麵球……



讓我們先仔細觀察一下，把幾顆麵疙瘩丟進滾水裡：一開始它們全都會沉到鍋底。接著麵疙瘩慢慢地膨脹，然後漸漸地，它們「變輕了」！麵疙瘩會先隨著水的對流上下飄動，最終（大約再煮十幾秒之後）它們真的就浮在水面了。所以，麵疙瘩會浮起來是真的。

那麼它們像傳說所言，煮熟了嗎？讓我們嘗一口，這些麵疙瘩確實可吃，不過我們還是要問：浮起來就代表煮熟了嗎？

麵疙瘩密度，平均來說比水大

讓我們分析一下傳統的義式麵疙瘩，也就是由馬鈴薯、麵粉跟雞蛋所組成的。由於雞蛋的蛋白質遇滾水會變性凝結（因為溫度超過攝氏六十八度），所以麵疙瘩在煮時可以保持形狀。馬鈴薯泥在加入時已經煮熟，所以細胞裡的澱粉粒已經膨脹了。而麵粉呢，它是由澱粉粒跟麵筋（又稱麩質或穀蛋白）所組成。麵筋是多種植物性蛋白的總稱，它們在揉麵團時會形成一張網絡，嵌住澱粉粒跟馬鈴薯細胞。麵粉裡的澱粉，跟馬鈴薯細胞裡的澱粉粒一樣，都不溶於冷水。但是當泡在熱水裡面會「糊化」形成漿質，也就是水分子會滲入澱粉粒裡。

這可以解釋麵疙瘩為何在煮的時候會膨脹。而既然澱粉的比重比水大（如果把麵粉灑到水裡，它們其實會沉下去），膨脹後的麵疙瘩因為混入了水，總體比重雖然變小，但是仍然比水大。那為什麼麵疙瘩後來會浮起來呢？一定要有一些比重比水小的東西加入才行，這些東西可以是空氣或是水蒸氣。但什麼樣的實驗可以證明這些假設呢？

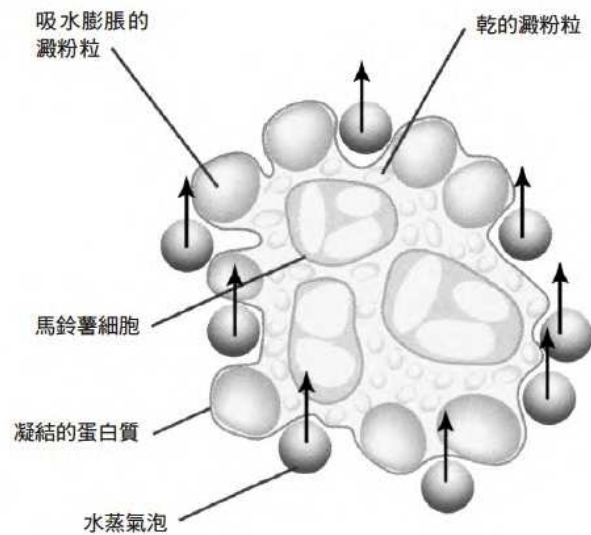
我們可以讓水滾久一點，以便讓溶在水中的空氣跑光（在水剛開始滾的時候從鍋底跑出來的氣泡其實是溶在水中的空氣，而不是水蒸氣），再把麵疙瘩丟進去煮。在這樣的情況之下，麵疙瘩最後一樣會浮起來，由此可知並不是水中的空氣讓麵疙瘩上浮。

剩下唯一的可能，就是水蒸氣形成小氣泡，掛在麵疙瘩周圍，帶著它們一起上浮。為了證明這一點，把前面實驗浮起來的麵疙瘩撈起，輕輕地在流理台上滾動，以便壓碎我們假設的水蒸氣泡，然後再把麵疙瘩丟回鍋裡，這時候麵疙瘩會沉入鍋底，煮一陣子之後，當它多孔的表面再度充滿水蒸氣泡，又會重新浮起。

還有另一個方法可以看清這些水蒸氣泡。把一小塊白花椰菜的菜花丟進水裡煮，因為菜花的表面如此凹凸不平，可以困住許多的水蒸氣，因此當它們浮起來後會看到表面一層閃閃發亮的氣泡層，輕敲它們可以看到氣泡破掉釋放出來的水蒸氣。

讓傳說更準確

至此，我們還沒探索完義式麵疙瘩，因為我們還是不知道麵疙瘩浮起來是不是就保證煮熟了。再者，義式麵疙瘩怎樣才算煮熟？是蛋白變性了呢？還是麵粉糊化呢？為了探討這個問題，我們做出大小不同的麵疙瘩，比如說從半徑半公分到十公分各種尺寸。把這些大小不同的麵疙瘩丟進鍋裡煮，等它們浮起來時測量其中心溫度。我們發現，小的麵疙瘩中心溫度明顯高於大的麵疙瘩。這證明了，「麵疙瘩浮起來」並不是用來判斷熟度的好指標，或者，根據這個指標，大小不同的麵疙瘩要用不同煮法。



在烹調時膨脹的義式麵疙瘩，以及支撐它的水蒸氣泡。

更糟的是，有時候大的麵疙瘩浮起時的中心溫度還低於蛋白變性跟澱粉糊化所需的溫度。換句話說，光是麵疙瘩浮起來這個指標並不足夠判斷。因此，要嘛在麵疙瘩浮起來之後，要延長煮的時間，不然如果你真想成為一個好廚師的話，就要依據麵疙瘩的尺寸製作一份烹調時間表。

膨脹的酥芙蕾

酥芙蕾當中的水分與熱模子接觸時被蒸發，因此讓酥芙蕾膨脹起來

如何做出一個飽滿膨脹的酥芙蕾呢？這個問題倒是困擾過不少廚師：測量起司酥芙蕾烘焙時中心的氣壓以及水分的減少，有助於了解酥芙蕾裡面的熱力傳導。

可能跟大家想像的不一樣，其實烘焙一個酥芙蕾，即使對初學者來說都易如反掌。以起司酥芙蕾為例，我們會先準備起司牛奶白醬，也就是加熱麵粉跟奶油然後混勻，接著加入牛奶與刨碎的起司；離火後，我們加入蛋黃，同時小心地加入打發的蛋白；然後送進烤箱在攝氏一百八十度到兩百度之間烤約二十幾分鐘就可以了。

長久以來，我們一直以為酥芙蕾之所以會膨脹，是因為當中的空氣被加熱而膨脹。然而，只要很簡單的計算就可以顯示，這只能讓酥芙蕾膨脹約百分之二十。事實上，酥芙蕾高手都非常清楚如何做出可以膨脹兩到三倍體積的酥芙蕾。

所以其實是牛奶或雞蛋裡面的水，被加熱後形成蒸氣，讓酥芙蕾膨脹起來的。證據呢？當在垂涎三尺的賓客前面一刀切進酥芙蕾中間時，可以看到一縷蒸氣升起，而此時酥芙蕾也在眾人的嘆息中凹陷。

酥芙蕾的模範、酥芙蕾的模型

酥芙蕾最大可以膨脹到多大呢？建立一個酥芙蕾的熱力學模型有助於準確預測。在烤箱中，被加熱的空氣會先與小模子以及酥芙蕾的上層接觸；這時候從酥芙蕾的周圍到中心溫度是漸漸降低的。當酥芙蕾四周與上層的溫度到達一百度時，水分被蒸發，外皮就形成了。

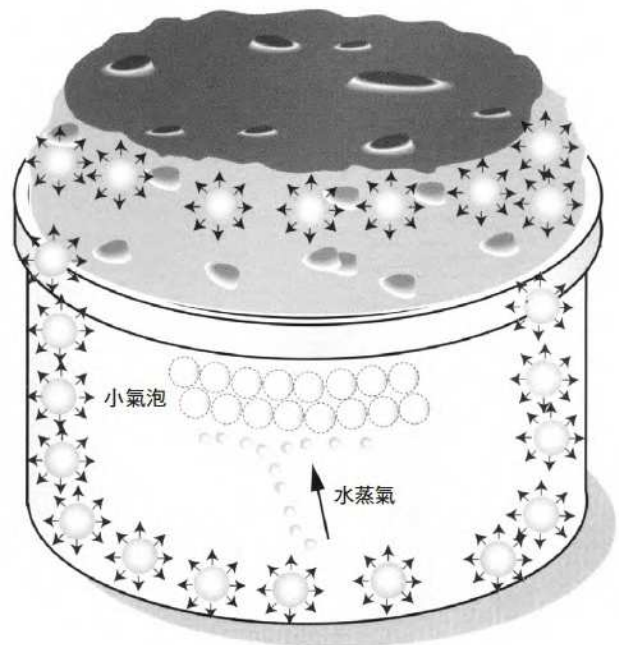
這個簡單的描述，可以用測量酥芙蕾中心的溫度來證實：把熱電偶（一種非常準確的溫度計）的探針放入一個正在烘焙的酥芙蕾中心，我

們會測得酥芙蕾上層的麵皮跟烤箱的溫度一樣，而愈往酥芙蕾中心溫度愈低，然後接近模子底層時溫度又開始升高。

除此之外，這樣的測量還揭露了另一個酥芙蕾裡面看不見的動態：如果我們把探針固定在酥芙蕾中心而不要碰到模子，會發現在剛開始烘焙時溫度會上升，接著溫度會稍微下降或者不變，然後又開始重新上升直到約七十度左右。形成此現象的原因是，熱不斷地導入酥芙蕾裡，與模子底部接觸的水分開始蒸發，形成小氣泡，將整個酥芙蕾往上推，空出來的一層冷空氣也跟著往上直到探針所在的位置；然而這層冷空氣會繼續被加熱，直到酥芙蕾裡所有的蛋白質凝結，整個烘焙至此完成。

向更膨脹邁進

那麼水分是如何蒸發的？比較兩個不同的酥芙蕾可以稍微回答這個問題。這兩個酥芙蕾，除了蛋白打得綿密程度不同以外，其他成分完全一樣。我們會發現蛋白打得愈綿密的酥芙蕾，膨脹得愈多，因為水蒸氣形成的氣泡愈難穿過綿密的蛋白。因此，至少兩個現象的交互作用決定了酥芙蕾膨脹的程度：水蒸氣泡泡的形成，以及在酥芙蕾中心困住這些泡泡的蛋白。在這個中心裡，溫度要足夠高到讓水蒸氣不至於重新凝結成水。



水在溫度超過一百度的地方蒸發（模子四周以及酥芙蕾的頂端），以及被困住的水蒸氣泡泡讓酥芙蕾膨脹。

那麼多少水分造成酥芙蕾體積的膨脹呢？比較一下烘焙前後的重量會發現，烘焙後酥芙蕾損失了大約百分之十的質量。但是當然不是所有的水蒸氣都被困在酥芙蕾裡面：

否則的話，酥芙蕾內部的壓力將會超過一百個大氣壓。最近的測量顯示，酥芙蕾內部的壓力頂多增加了幾十個毫米汞柱而已（譯注：一大氣壓等於七百六十毫米汞柱，數十毫米汞柱還不到零點一個大氣壓）；由此可知，只有一部分蒸發的水分被困在酥芙蕾中心。其他的水分則從表面蒸發掉或者形成水泡然後在酥芙蕾表面破掉。

總之，廚師的問題是：怎樣做出一個完美膨脹的酥芙蕾呢？前面的說明指出，如果我們能做出一個比較不透氣的表皮，避免在酥芙蕾中心形成的水蒸氣泡從表面逸失，酥芙蕾就會膨脹得比較漂亮。這要怎麼達成呢？也許，可以在烘焙以前先烤一下酥芙蕾的表面。這個做法還有附帶的好處，除了讓酥芙蕾膨脹得比較規則，形成一個比較均勻的表皮外，也會讓表皮呈現金黃色，味道也更好。

法式魚漿條

放置一段時間後再用小火煮，它們將會更美味



你曾經做過鮭魚魚漿條或是鱒魚魚漿條嗎？食譜很多，不過大致都是根據同一個原則加以變化：在絞得細碎的魚肉裡加入油脂（牛腎油、奶油或是液狀鮮奶油），最後加入蛋跟奶油麵糊（或者是泡在牛奶裡的麵包，或者是麵粉加入滾水中做成的麵糊）。這些材料的準備都十分費時，因此碧頓（一八六〇年左右聞名的英國食譜作家）曾這樣寫過：「法國魚漿條是世界上最好的，因為它們比其他的魚漿條膨脹得都大。」她解釋道，因為它們最費工，所以膨脹得最大。

為什麼製作法國魚漿條的工夫決定它們的美味程度呢？不過首先我們要問，為什麼法國魚漿條就算不加蛋也不會在烹調的時候散開呢？位在雷恩的國立農業研究所的勒費佛和佛柯諾兩位研究員在研究「鱒魚魚肉中肌原纖維的熱凝膠特性」時，間接的回答了這個問題。

這個研究講了些什麼？鱒魚的魚肉，是由許多肌細胞（也就是所謂的肌纖維。一條肌纖維又由很多條更細的肌原纖維組成）所組成。肌纖維的成分大部分是構成肌原纖維的肌原纖維蛋白，它們的工作就是讓肌肉收縮。當肌原纖維蛋白溶在水中被加熱後會形成凝膠，原理有點像雞蛋白被加熱後的狀況，因為鱒魚肉中的肌原纖維蛋白鏈重新排列，變成一張網絡，把水分子困在其中（在魚漿條裡，這樣的網絡也會困住脂肪跟麵糊裡面吸飽水的澱粉粒）。

處理得宜的話，蛋白質的熱凝膠特性可以做出魚漿條以及各種類似的食品。挪威人最近就打算上市一些利用養殖鮭魚製成的食品；這些產品將會很類似某些亞洲食品，像蟹棒或是魚湯麵。在法國，養殖魚多半是鱒魚。也有人嘗試利用這些魚肉的蛋白質來做一些原創性的食品。

魚肉中的哪些蛋白質會形成凝膠呢？所有細胞都有細胞質，而肌肉細胞細胞質內的肌漿質蛋白，對於其功能跟維持非常重要。肌漿質裡面有各種不同的肌原纖維蛋白，主要是肌動蛋白跟肌凝蛋白。

研究員勒費夫爾首先示範，溶解在水裡時，只有肌凝蛋白會形成凝膠。至於肌動蛋白，單獨存在的時候並不會造成熱凝膠現象。不過加入帶有肌凝蛋白的溶液裡時，肌動蛋白會增加凝膠的堅硬程度。

肌肉的熱凝膠現象形成的條件是什麼呢？對於魚漿條或肌原纖維蛋白溶液形成的凝膠來說都一樣，這個問題的重點在於怎樣讓凝膠夠軟（這跟凝膠含水量有關），但還要保有一定的堅硬度。決定凝膠堅硬度的條件有：凝膠放置的時間、烹飪時加熱的速度、烹飪時的最高溫，還有蛋白質的濃度、溶液的酸度以及鹽的多寡。

為了研究這些條件的影響，雷恩的生化學家們首先利用針穿硬度計來測量：他們將硬度計的探針用固定的力量慢慢插入肉中，然後測量肉變形的程度。在證明了如此測量所得到的結果，是可以跟嘴咬的口感相比擬之後，科學家們繼續去比較加熱不同蛋白質溶液所做成的凝膠，結果發現，蛋白質溶液濃度的上限是每一公升裡含最多十公克的蛋白質。

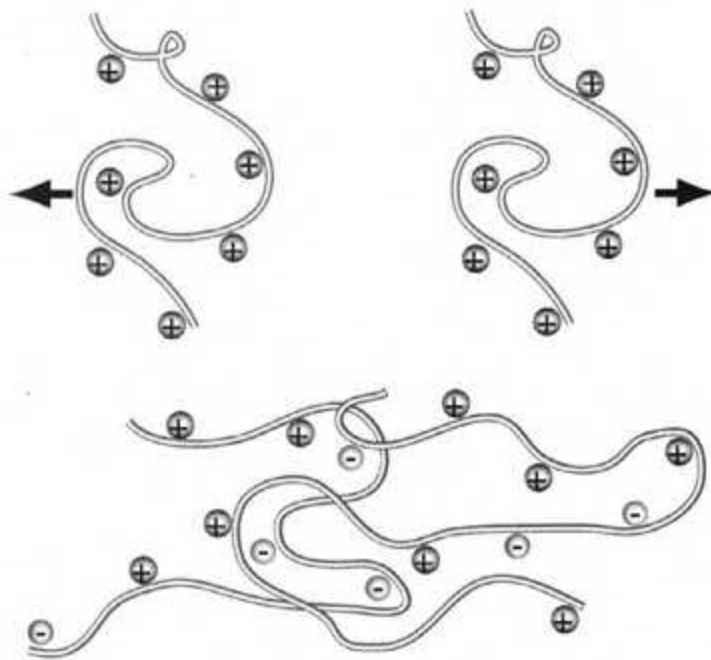
值得一試的靜置

凝膠的堅硬程度也跟放置的時間長短有關，因為這段時間內蛋白質會開始互相作用形成凝膠。此外，凝膠的堅硬程度在烹煮時也會隨著時間而改變。當溫度達到攝氏七十到八十度之間後幾分鐘已經足夠穩定剛形成的凝膠，煮再久則會讓凝膠開始失水（因此也失去柔軟性）。而每分鐘加熱攝氏零點二五度最適合形成兼具彈性與硬度的凝膠。

蛋白質在溶液中的動態跟溶液的酸鹼度也很有關係（酸鹼度跟溶液中帶正電氫離子多寡有關），因為蛋白質的胺基酸支鏈也會游離出去或接受溶液中的離子。在酸性溶液中含大量帶正電的氫離子，因此蛋白質本身的酸性基不會改變，而鹼性基卻會跟氫離子結合而帶正電，這樣的

話就會排斥其他也帶正電的蛋白質，而無法連結在一起。反過來在比較不酸的溶液裡，因為氫離子比較少，蛋白質的酸性基開始游離出氫離子而變成帶負電，鹼性基則不變維持中性，但如此也會排斥其他帶負電的蛋白質。最適合蛋白質形成凝膠的酸鹼值，依不同種類的蛋白質或是不同肉品而不同。以河鱒為例，國立農業研究所的化學家們指出，在稍微酸一點的環境下可以得到最佳的凝膠（約pH5.6）。而大部分的蛋白質則不需要這麼酸。

最後，這些研究終於可以讓我們將傳統的魚漿條食譜最佳化。首先讓魚漿條餡兒在冰箱中長時間靜置，以便讓絞過的肌肉釋放出來的蛋白質可以互相作用形成凝膠。接著把肉餡兒送進低溫烤箱，用非常小的火慢慢加熱。最後，如果能夠讓魚漿條變得酸一點點，再補充一點水分，那麼這樣形成的凝膠，可以在保有堅硬度的同時又有柔軟性。水分，在這裡當然是指帶有強烈香味的汁液，像是海鮮高湯或是魚高湯。



當蛋白質鏈彼此因帶電而產生的互斥力減到最低時，它們會互相連結。

火鍋

怎樣選擇乳酪跟酒，才能做出萬無一失的乳酪鍋？

正統乳酪鍋是來自法國的薩瓦省、瑞士的瓦萊省，還是瑞士弗里堡？然後我們該加一種、兩種還是四種乳酪在乳酪鍋裡？大家可以為這幾件小事爭得面紅耳赤。不過物理化學至少在某方面可以消除一點歧見，那就是解決「為什麼乳酪鍋有時候會失敗」這個問題。乳酪鍋不過是非常簡單的食譜，就是把酒跟乳酪一起加熱而已，但有時候卻會變成硬塊沉到乳酪鍋底而油漂浮在上面。瑞士日內瓦芬美意香料公司的布萊克先生，也是該公司食品科技科學部門的主管，向我們解釋了如何做出萬無一失的乳酪鍋。

既然是由水（酒裡面的水）跟不溶於水的油（乳酪裡面的油）所組成，起司鍋一定要變成「乳化劑」才有可能成功。也就是說，要將油打散成極小滴平均分布到水裡。從這個觀點來看，乳酪鍋跟貝恩式紅蔥醬或是荷蘭蛋黃醬其實是親戚，因為後兩者一樣是將油（奶油）跟水（由醋或是雞蛋提供）打散在一起形成。

在貝恩式紅蔥醬裡，小油滴是被蛋黃裡一種「界面活性分子」所包住。界面活性分子的一端不溶於水（親油性），會聚在一起形成一層膜包著油滴，而將溶於水（親水性）的另一端面向外面的水，讓油滴可以均勻分散在水裡而不會浮到水面。那麼在乳酪鍋裡的界面活性分子為何？那是一群叫做酪蛋白的蛋白質。酪蛋白本來就存在牛奶裡（牛奶也是一種乳化劑），將脂肪包覆成懸浮的小滴聚集在一起，稱為「微胞」。這些微胞中的許多種酪蛋白，藉由鈣鹽（大多含磷酸根）堅固地連結在一起，形成直徑約為數百奈米的小球體。眾多酪蛋白中的一種： κ 酪蛋白，主要分布在微胞外側。因為它們帶電，所以微胞會彼此排斥。這種排斥對於牛奶的穩定性很重要，因為這樣才可以避免被微胞包圍的脂肪彼此因聚集而融合在一起。

在製作乳酪的時候，加入牛奶裡的凝乳酶會將 κ 酪蛋白「親水性」的一端切掉，因此讓微胞不再排斥，彼此快速聚集形成一大塊膠體，連脂肪一起被包在裡面（剩下的液體部分稱為乳清）。既然是我們主動破壞了牛奶的乳化劑特性去製作出乳酪，那乳酪在火鍋中似乎不太可能再自己變回乳化劑。因此，乳酪鍋之所以可以再變成乳化劑，是因為乳酪經過了熟成的過程，還有混合了酒。

乳酪熟成跟火鍋濃稠度

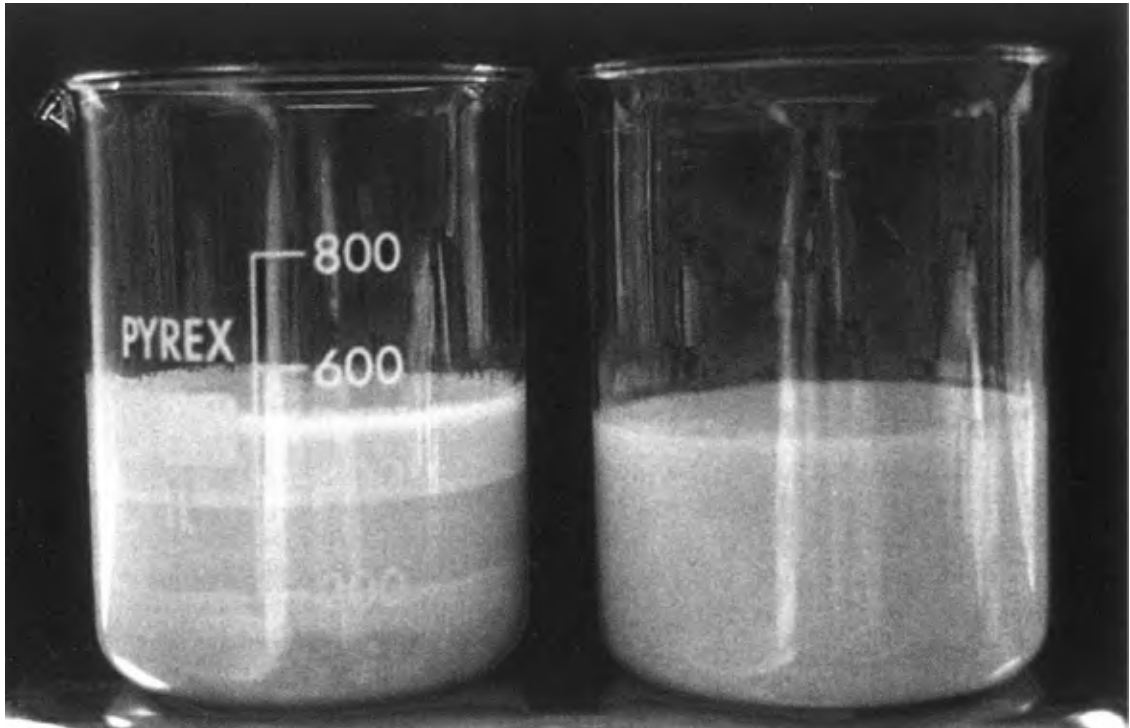
會做乳酪鍋的老手都知道選擇適當的乳酪是成功的關鍵。當然口味跟香味是考量的因素之一，不過較成熟的乳酪比較適合做火鍋，是因為在熟成的過程裡，乳酪中的蛋白酶會漸漸把酪蛋白跟其他蛋白質切成更小段，因此它們可以較均勻分布在水性溶液裡。被切成小段的酪蛋白因而可以再次乳化小油滴，讓它們均勻分布並增加溶液的濃稠度。因為這個原因，熟成較久的卡門貝爾乳酪做火鍋一定會成功。

這個原理其實跟那些所謂「不正統」的做法，也就是加澱粉到火鍋裡，十分類似。不管是麵粉，或是含有澱粉的東西像是馬鈴薯粉，裡面的澱粉粒都會在熱水中膨脹，增加溶液的濃稠度，讓小油滴不容易彼此靠近，因此乳化劑（在這裡當然是指火鍋）就比較穩定。

酸酒跟替代品

不過，一些行家並不接受這種會改變乳酪鍋味道的做法，他們反而比較喜歡技巧性的搭配乳酪跟葡萄酒。他們會選擇比較不甜，甚至十分酸的酒，而可能的話，選擇果香濃郁的酒。為什麼這樣會有用呢？布萊克先生解釋道，因為這些酒含比較高的酒石酸、蘋果酸跟檸檬酸。這些酸根離子，特別是檸檬酸根離子，很容易跟微胞裡的鈣結合（鈣離子會把蛋白質拉在一起，而無法形成乳化劑），因此行家所選擇這些較酸或果香濃郁的酒，可以把含酪蛋白的微胞打散，把蛋白質釋放出來之後包圍在小油滴周圍，因此可以穩定乳化劑。

而化學家們則選擇更麻煩的路，比如他們會在火鍋裡加入碳酸氫鈉（小蘇打），一邊中和酸，一邊形成碳酸氫根跟鈣離子結合。還有另一個方法，如果你懷疑酒裡面含的酒石酸、蘋果酸跟檸檬酸不夠多的話，那就自己多加一些。首選是以鈉鹽形式存在的檸檬酸（就是檸檬酸鈉），加個一到二個百分比，火鍋就萬無一失了。



（左）油水分離的乳酪鍋，以及（右）同樣的材料加入檸檬酸鈉。

烤牛肉

牛肉烤過以後要稍微靜置，以便中心的肉汁可以分散到烤乾的外層

現代人做菜都很趕，而這樣的急躁使他們無法吃到好的烤牛肉（譯注：法式烤牛肉為烤牛肉塊）。他們常忽略一個不可或缺的步驟，那就是烤完肉之後，要把烤箱門打開，讓肉在爐口靜置一段時間。少了這一步，烤肉會變得又硬又乾。真正的專家知道這個步驟是讓烤肉柔軟的關鍵，不過他們的解釋是：在烤的時候，肉汁為了「逃避爐火」，會往肉中心集中。烤完的靜置，可以保證讓肉汁有時間重新分布。這是真的嗎？

讓我們用科學家冷靜的眼光來分析一下烤肉。科學家都知道肉是由肌細胞，也就是肌纖維所組成。細胞被細胞膜像個小袋子一樣圍起來，裡面大部分是水，以及維持細胞功能跟代謝所必需的分子。許多細胞被膠原蛋白圍成一小束肌絲，然後許多小束再被圍住成為更粗的一束肌絲。當然這只是非常簡單的描述，事實上動物的肌肉還含有脂肪、血液……等。

這樣的結構，在被加熱的時候會變成如何呢？熱是透過傳導，從外面傳到烤肉裡面。烤箱的溫度約為攝氏兩百度，因此烤肉從外層一直到裡面溫度降到一百度的地方，水分都會開始蒸發，而這被烤得乾硬的一層其實很薄。在烤肉裡面，隨著溫度慢慢上升，肉也慢慢變化，因為不同的蛋白質遇熱凝結的溫度都不一樣。比如，在肌肉中負責運送氧氣的肌紅蛋白，從攝氏七十度開始氧化，它攜帶的鐵離子從亞鐵變成三價鐵，因此肉也變成粉紅色。到了攝氏八十度，細胞膜開始破裂，使得肌紅蛋白跟其他的氧化物接觸，因此又轉變成棕色。

那麼血液會往烤肉中心集中嗎？從溫度達到攝氏五十度後，肉周邊的膠原蛋白就開始收縮，把肉汁往內跟往外推擠。烤肉中心因為已經充滿各種固體和液體，很難再被壓縮，無法容納更多液體，因此液體大多

會被排出。不相信的人只需去烤幾塊牛肉，測量一下烤前烤後的密度（重量跟體積的比例）改變就知道了。烤肉體積的測量，可以把肉放進裝滿水的盆子裡，然後量一下溢出盆子的水體積即可。

正確的建議，卻是錯誤的理論

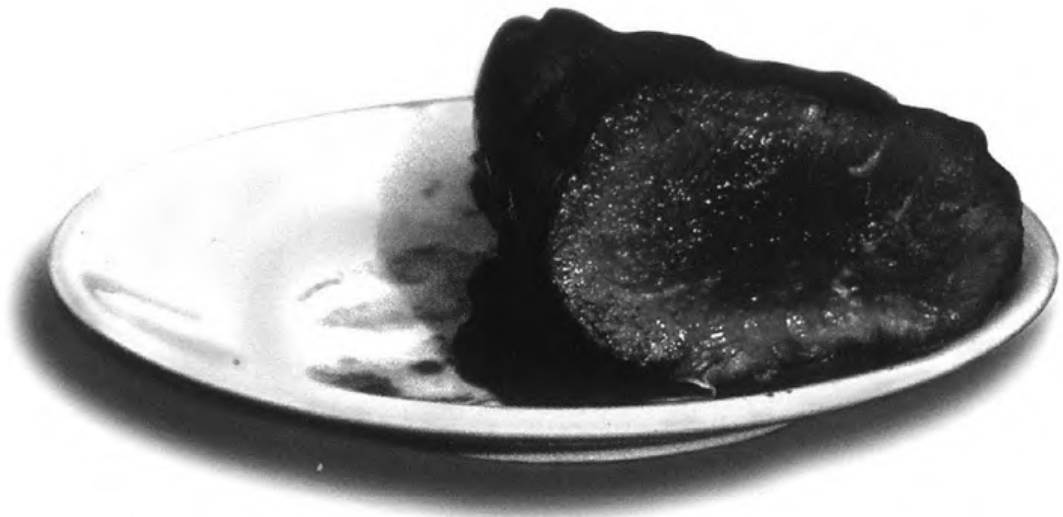
這些測量揭露了一些事情。首先我們注意到，用傳統方法烤過的肉，體積縮小了，重量也減少了約六分之一。這些都是由於膠原蛋白遇熱收縮把汁液擠出，以及周邊水分蒸發所造成的。同時，這些觀察也指出了傳統炙燒理論的錯誤；這些理論認為，烤肉表面蛋白質凝結可以把肉汁封在裡面。比如十九世紀蓋布瑞夫人所寫的一本食譜《模範廚師》就曾指出：把肉叉住放在大火上烤，可以封住肉上的小孔，同時也保存了肉汁。同樣的，現代法國料理的奠基者艾斯可菲在其著作《料理》一書中也提到「快煎」的目的是「在肉周圍形成一層類似護甲，以防止食物內在的汁液太早流失，讓肉能夠比較像是被煮而非碳烤」。而事實上，所謂「肉上的小孔」跟解剖學的觀察不符，另一方面，藉由秤重證明肉汁的流失還是隨著燒烤而增加。

烤肉密度的測量，也證明了肉汁並沒有往中心流動。烤肉中心的密度，其實跟生肉沒有差多少，說明了烤肉中心的改變不大（這其實很合理，因為實際上烤牛肉的中間幾乎都是生的），也沒有充滿周邊流進來額外的液體。

既然如此，為什麼烤完肉需要靜置？測量烤肉中心的重量後發現，將肉靜置一陣子後，肉中心的汁液減少了（重量減少了），而周圍的重量改變則比較小（因為周圍幾乎都烤乾了，因此無法再流失液體）。所以，靜置其實可以讓肉中間的液體往外擴散，也增加了周邊的柔軟度。

最後，可以據此給一個建議：既然烤肉的柔軟度取決於汁液多寡，那何不用針筒，把烤時流失的肉汁注射回去？用鹽和胡椒調味後，這些汁液可以帶給烤肉前所未有的滋味。雖然聽起來像是新穎的建議……但是在古代，廚師們已經知道，在烹飪前可以在肉表面插上用鹽跟胡椒調味

過的培根。



因為溫度不同，肉烤完後顯現出明顯的三層：由內而外，肉中心低於攝氏七十度；粉紅色區為七十到八十度；以及周圍一圈超過八十度的被烤成褐色。

調味的時機

如同《格列佛遊記》裡面爭執該從尖端還是鈍端吃蛋的小人國一樣，調味也有兩派爭執：一派認為應該在烹飪前，一派認為應該在烹飪後

煎一塊牛排，自然地，你一定會要灑鹽調味。問題來了，何時灑？煎以前？煎的時候？還是要吃之前？

廚師會根據他們的經驗來回答這個問題，不過有時候，經驗是不夠的。如同王爾德說過：經驗是我們過去錯誤的總和；而一個錯誤在尚未被發現以前，它會被當成是正確的。因此應該做些實驗，將變數控制住，找出關鍵，直接切入事物的核心……或是煎肉的核心。有人主張要在開始煎肉時灑鹽，這樣鹽才有足夠的時間滲入肉中，就算無法完全進入中心，至少也可以進入表面一定的厚度。反對者則認為如果在煎肉之初就灑鹽的話，肉汁會因為「滲透」的緣故跑出來。

讓我們檢驗一下這兩種說法。肉是由肌肉細胞，也就是肌纖維所組成的，而細胞會把水以及維持生命所需的蛋白質包在裡面。根據反對者的說法，如果肉一開始就跟鹽接觸，因為細胞外面鹽濃度比較高，水分會透過滲透作用流到細胞外面，肉就變乾了，而肉也會因為漸漸失水而造成其他不好的結果。比如，一部分的肉會被流出的汁「煮」而不是被「煎」，因而無法順利被煎成金黃色（又稱褐變）。而既然食物的嫩度一部分依賴其含水量，失去水的肉也失去嫩度（變成沒有水的肉乾，難以下咽）。在「分子美食學」的研討會裡，這個問題常被討論到，有人提出因為這個緣故，造成煎肉顏色不均勻。不過肉會流失的汁液不外是血液或是細胞液。主張肉汁流失的人似乎忘了，肌纖維還有一層由膠原蛋白所構成的結締組織所包住呢。

因為不同的肉（牛肋排、牛排、豬肋排）組成成分都不一樣，要探討灑鹽與失水的關係，問題應該再細分。先舉最簡單的例子來講好了，比如拿紅肉（薄的牛排）跟白肉（雞肉）來比較，看看兩種肉在醃製過

程中的失水速度，這我們可以藉測量肉的重量損失，以及肉中鹽分增加而得知。

灑鹽跟失水

先研究第一個問題：肉裡面有多少水分會因為鹽而流失？我們把一塊肉裹上細鹽，然後每隔一段時間秤秤看重量。實驗結果顯示，失水跟選擇的肉品有關。因為不同的肉切法不同，有些肉品順著肌肉纖維切，有些切法跟肌肉纖維垂直，有些則斜著切。通常肌纖維被切開的話液體會比較容易流失，因此，肋排會比側腹牛排要容易失水（譯注：法國切肋排多半與肋骨平行切肋間肉，不同於美式肋排與肋骨垂直切法）。

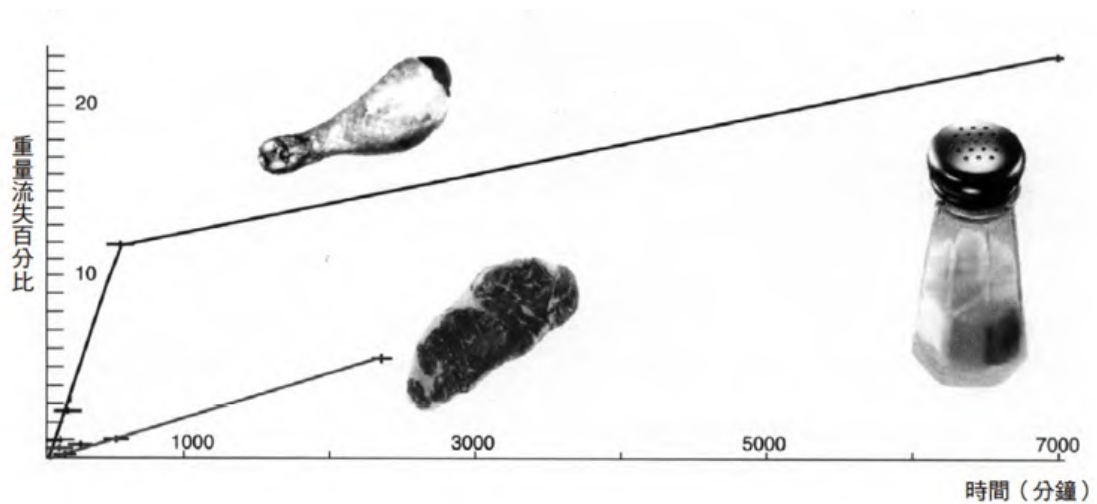
實驗結果同時也顯示，在室溫下側腹牛排的水分流失極慢，而雞肉則會在半小時內流失相當於重量百分之一的水。當然，水分在室溫下跟在煎肉時流失程度一定不一樣，因此這問題還可以再深入探討。但是目前結果很明顯，就算在肉上裹滿鹽，水分也不會完全逸失，更何況在煎肉時我們只是稍微灑鹽，水分流失效應只會更少。看起來鹽並沒有什麼作用，因此目前（但極可能是正確的）結論是：你可以在任何時候灑，側腹牛排不會因此而變乾。

那在烹飪的時候鹽會進到肉裡嗎？我們把兩塊一樣的肉，一塊在煎以前，另一塊在煎以後灑鹽。除了測量它們失水的程度，更進一步用掃描式電子顯微鏡觀察，同時用 X 光射線檢查煎肉裡面的化學成分。

這些實驗是跟巴黎高等物理與工業化學學院的歐里托教授，以及法國高等廚藝學院的帕多與托雄教授所合作的。X 射線非常適合檢查化學物質的存在（尤其是氯離子跟鈉離子，也就是食鹽的組成成分），可以偵測鹽是否進入肉裡。結果十分明顯，鹽並沒有進到肉的中心，反而會在煎的時候流失。此外，當煎肉時如果不加油而讓肉直接跟金屬離子接觸，我們觀察到非常少量（別緊張，僅是極度微量）的金屬離子沾到肉的表面。

再一次，鹽無法進入肉裡，因此我們既不能反對也不鼓勵在煎肉以前灑鹽。

然而肉品的自然本質是如此多樣化，因此也許還是會有一些細微的差異，源自於我們對肉品的要求或想像。「自然」，根據達文西的預言（在《哈姆雷特》裡也如是說），有無數真理從來不是由實驗所揭露的。這並不是說不必做實驗了，而是說，要設計更精細的實驗，以揭露這些迷霧般個人經驗背後的真理之光。



上面是雞肉，下面是牛肉。

用酒醃肉

牛肉用紅酒醃比用白酒好

我們常說：魚要用白酒煮，但是要用紅酒醃牛肉或煮比較硬的肉以使它們柔軟。我們也常說，醃肉過程如果超過兩天的話就不該加入歐芹（俗稱巴西利），以及醃過的肉不可以烤，以免變得太乾。這些傳統祕方有其根據嗎？最近日本的物理化學家證實了一部分傳統食譜。

二十幾年前，在法國克萊蒙費朗的國立農業研究所的研究指出，將肉久浸在酸液裡面可以讓他們軟化。因為跟生肉硬度有關的膠原蛋白以及其他蛋白質會在酸液中溶解，同時離子化，這樣會增加肉的含水量。不過醋並不是唯一的選擇，而酒的作用則不明。日本甲子園大學的上田隆教授（現在在大阪大學工學部）與甲南女子大學的奧田和子教授則更進一步拓展了法國的研究，他們研究了發酵液體，像是醋或是醬油對肉類的影響。

他們剛開始的研究顯示，煮熟後肉的質量、含水量（肉含多少水，以及水分是否容易流失，是決定肉嫩度的關鍵）以及質感會受到醃醬裡面五種成分的影響，分別是：酒精、有機酸、葡萄糖、胺基酸以及鹽。

決定性的醃漬

一九九五年，他們更進一步研究了肉品在被三種液體醃漬後的差異：紅酒、白酒以及只含少數酒類成分的水。他們把約五十克的肉類樣品浸在上述液體中醃三天，然後再用水煮十幾分鐘，而且把肉類樣品的外層跟內層分開來分析。結果發現，浸在紅酒中的肉，含水量跟總體質量都略高於浸在白酒中的肉，而脫水後兩種肉的質量則沒有差異。換句話說，用紅酒醃可以讓肉保有比較多的水分，因此較能保有嫩度。

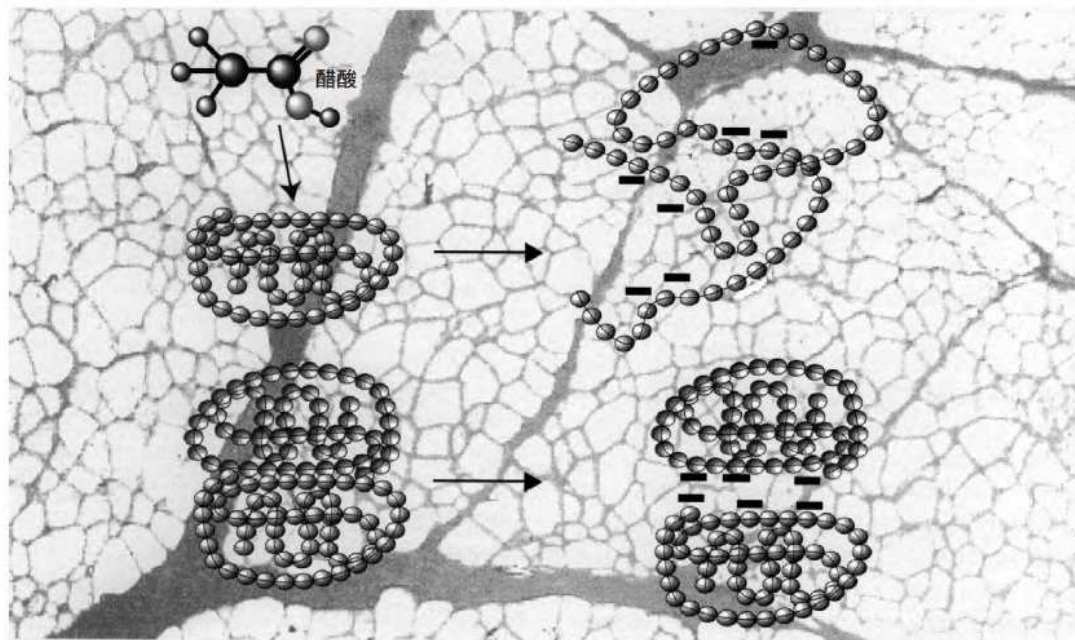
而另一方面，用紅酒醃漬過的肉，內層的抗壓性明顯小於用白酒醃漬的肉。也就是說，紅酒醃漬過後肉質地也比較柔軟。最後，在煮熟之

後也發現用紅酒醃過的肉比用白酒醃過的肉要柔軟，也比完全不醃的肉要柔軟。

這些現象要怎麼解釋呢？上田跟奧田先前已經指出，醃醬中糖分、胺基酸與無機鹽的影響比較小，而紅酒比白酒含有更多的多酚與單寧（也是一種多酚），顏色也較深（事實上，紅酒的顏色是由單寧等多酚類分子造成的）。既然多酚會跟蛋白質作用，兩位日本學者進而試著將肉浸在人工試劑裡：試劑是在水中加入已知濃度的單寧酸（代表紅酒中的多酚）、有機酸以及酒精。

他們發現，含有單寧酸、有機酸及酒精的試劑，成分如同紅酒，對肉造成的作用也跟紅酒一樣。這實驗進一步證實了，單寧酸及有機酸是酒類與肉類作用的主要成分，而在烹飪過程中酒精很重要，有機酸的重要性則其次。

詳細的作用機制目前還在研究中。不過紅酒裡面多酚對肉類造成的作用，似乎是在肉的表面形成一層外殼，讓水分不易流失。因此如同傳統食譜建議的，紅酒跟酸（比如說醋），是讓肉柔軟的好選擇。而關於久醃的肉是否適合烤，以及歐芹的效果，則尚待研究。



酸幫助蛋白質變性（上），因為它可以讓胺基酸長鏈離子化而帶電，帶相同電性的部分會彼此互斥。酸也可以讓蛋白質溶解（下），藉著讓膠原蛋白分解，酸可以讓肉品更柔軟。

新鮮的顏色

如何防止水果跟蔬菜褐變？

現在是生鮮蔬果的時代。蔬果的顏色常是新鮮的保證，不幸的，像酪梨、婆羅門蔘跟蘑菇這些東西幾乎一切開就會變色，要如何避免這種衰退？又要怎麼避免在家裡榨的蘋果汁一端上桌就變深色？廚師會建議使用檸檬，他們認為檸檬汁可以避免這些「代表過熟又傷害蔬果新鮮度」的顏色出現。他們的說法有根據嗎？

讓我們做個實驗。切幾片酪梨，一些直接暴露在空氣中，另一些灑上檸檬汁，等幾個小時之後再比較看看。實驗結果確實驗證了廚師的訣竅有效，但卻沒有解釋為什麼。如果說「酸」是主要原因的話，那醋應該可以代替檸檬，但是實驗結果馬上否定了這個可能性。

其實，檸檬有效的原因是它所富含的抗壞血酸，也就是俗稱的維他命C，是一種抗氧化劑。換言之，純的抗壞血酸（一般藥房可以買到的）應該會比檸檬汁更有效才對，而確實也是如此。既然，我們現在知道空氣中的氧是造成蔬果褐變的主因，那食品工業界就可以在歷代廚師們找到的解藥清單上再加上好幾筆，除了柑橘類水果（檸檬、柳丁、綠檸檬等）還有鹽水，但卻會給蔬果帶來鹹味。

維他命C防止酵素作用

蔬果會褐變主要是因為一種酵素「多酚氧化酶」的作用，它會改變植物裡多酚的結構。多酚的分子結構是一個苯環（六個碳原子組成六角形的環狀結構）在周圍接上一個以上的羥基（-OH）。當有氧氣時，多酚氧化酶會把多酚上面的羥基置換成氧原子，因而形成一種叫做「醌」的分子。聚集反應形成了棕色的色素。這種色素跟皮膚中因為曬太陽而沉澱的黑色素是親戚。這種因酵素所造成的褐變，似乎是植物用來防禦天敵（昆蟲、鳥類）的機制，因此廣見於許多被切開的水果、葉子跟香菇

中；完整的蔬果不會褐變，因為酵素跟多酚被一些膜隔開了。

許多物理性處理都可以避免廚房裡被切開的蔬果的褐變。冷凍跟冷藏可以減緩褐變的速度，但卻不能完全阻止。巴斯德滅菌法可以比較徹底的將酵素去活性，不過並不適用於所有的蔬果，因為它也常破壞蔬果的質感跟顏色。最後，既然隔絕氧氣可以避免褐色素的形成，食品工業界有時候會在充滿氮氣或是二氧化碳的情況下處理食物。

回到化學性的處理。有一些酵素抑制劑，在簡單的處理下就可以阻止蔬果酵素性褐變。比如說，非常微量的水楊脞胺酸就可以抑制蘋果跟馬鈴薯的多酚氧化酶；膨潤土可以吸收蛋白質，也可以減低酵素的活性；明膠（又稱吉利丁）、活性碳跟交聯聚維酮（PVPP）也可以吸附葡萄酒或啤酒中的水溶性酚，因而可以當酒類淨化劑，但是用在蔬果上卻會改變食物的味道。

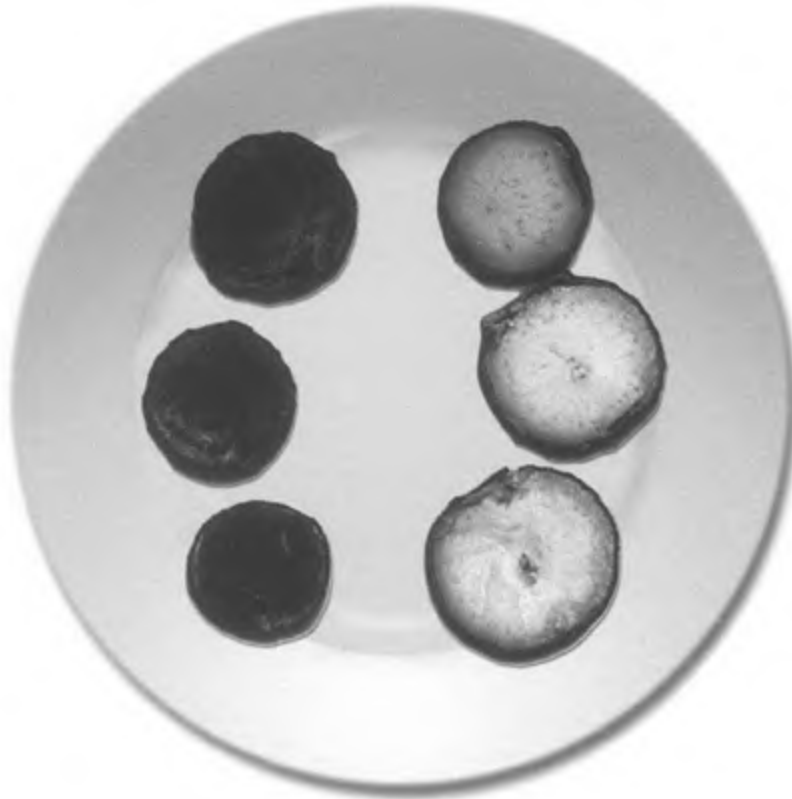
在食品工業或是農業上會用亞硫酸鹽來防止食物的褐變，因為它們會跟形成無色的含硫化合物，舉例來說，製酒業就常用二氧化硫跟重亞硫酸鈉來處理酒，不過它們卻有令衛生單位憂慮的副作用：過度「亞硫酸化」的酒會引起輕微偏頭痛，可能引發氣喘、蕁麻疹、噁心甚至過敏性休克，因此尋找同樣有效但卻比較安全的酵素抑制劑是有必要的。

目前有許多抑制劑已經被找到或者被合成，不過還需驗證其安全性。比如說半胱氨酸（它是一種帶有硫的胺基酸）或是其衍生物，不管是天然化合物（存在於蜂蜜、無花果跟鳳梨中）或者是合成的，都有被考慮。

新的保護性試劑

在國立工藝博物館的研究員尼可拉，與在蒙法維的國立農業研究所的研究員，正在研究如何利用一個大分子：環糊精。環糊精可以把多酚分子嵌在其環狀中心，而達到遮蔽的效果，保護多酚不跟酵素作用。尼可拉跟同事首先在水中溶入一、兩種多酚以及紅蘋果的多酚氧化酶，然

後試驗環糊精的抗褐變效果。在他們能將研究成果應用到業界以前，如果你想榨出漂亮的蘋果汁又不想在無氧的環境下操作，只好先「淨化」蘋果汁，這要讓褐變先慢慢發生。蘋果的多酚氧化酶存於細胞中的葉綠體裡，屬於固體沉積物的一部分。它們會引起褐變、色素聚集，然後沉澱。將果汁靜置一陣子，就可以得到澄淨而琥珀色的蘋果汁了。



靜置在空氣中的酪梨會變深色（左），我們可以利用檸檬汁來避免這樣的褐變（右）。

軟化豆類

小蘇打粉的神效

還需要繼續證明化學在料理中的用處，以及化學並不會傷害到法國人最自傲的傳統美食嗎？讓我們先來看一段食譜，這是節錄於佚名作者在一八三八年所出版的《巴黎廚師》，裡面說道：「豆類、豌豆、扁豆跟其他許多蔬菜，只有在使用非常清澈、較『輕』的水才會煮得好。河水或溪水是最好的，井水則完全不值一哂。在只有井水可用的地方，還是可以在水中加入一點蘇打粉，將粉末完全溶在水裡直到水不再混濁，這時會形成一些沉澱，我們取上面清澈的部分，這樣的水就變成適合烹飪蔬菜了。」為什麼水的品質會影響蔬菜的柔軟度呢？蘇打粉或是木灰（也是由同一位作者所推薦）又有什麼作用呢？

因為鹼性而變得柔軟

木灰或是碳酸氫鹽類的共同點是會讓水變成鹼性。為了了解這種「鹼化」是否會作用在蔬菜上，我們準備了三個一樣的鍋子，用一樣的火來煮扁豆。在第一隻鍋子裡裝入蒸餾水，第二隻則裝入被碳酸氫鈉「鹼化」過的水，第三隻則完全相反地裝入被醋「酸化」的水。實驗結果明顯到根本不需要用實驗室儀器就可以分辨，當在蒸餾水中的扁豆剛好被煮熟時，在酸水中的豆子還硬得跟石頭一樣，而在鹼水中的豆子已經碎成粉了。因此，水的酸度決定蔬菜的柔軟度。

為何會如此？因為植物的細胞是由一層細胞壁所圍住，而壁層的成分是果膠跟纖維素。要讓植物組織軟化，首先要改變這硬得跟水泥牆一樣的果膠外殼結構。在酸性溶液中，果膠會被中和。它們的羧基（ $-\text{COO}^-$ ），因為跟酸中帶正電的氫離子（ H^+ ）結合而呈中性（ $-\text{COOH}$ ）。結果，中性的果膠分子不會彼此互斥，因而可以緊密地結合在一起，讓扁豆變得堅硬。相反的，在鹼性溶液中，碳酸氫鈉會造成羧基把氫離子釋放出來而帶負電（由 $-\text{COOH}$ 變成 $-\text{COO}^-$ ），而彼此都帶

負電的果膠分子就開始互斥，結果造成植物纖維外牆的分解跟崩離，扁豆就變軟了。

水的硬度

碳酸氫鈉只會改變水的酸鹼度嗎？《巴黎廚師》一書有間接地提到了水質硬度的影響，這跟鈣含量有關。為了了解鈣離子在烹飪裡的角色，讓我們拿兩個一樣的鍋子，用一樣的火力再煮一次扁豆。第一隻鍋子一樣裝入蒸餾水，第二隻鍋子則在水中加入碳酸鈣，讓水質變硬。煮了四十五分鐘之後，當蒸餾水中的扁豆已經熟了，第二隻鍋子中的扁豆卻仍像木頭一樣硬。這一次，是因為鈣離子的關係。鈣離子帶有二價正電，會跟兩個植酸（在植物細胞質裡）或是果膠結合，把它們連在一起，因而強化而非弱化它們的結構。單價離子，像是鈉離子，就不會產生這種作用。

食品工業界對這些現象非常有興趣，特別是豆農，因為這可以讓他們的作物更容易被使用。扁豆可以先被煮熟嗎？在蒙法維的國立農業研究所的瓦侯科（派屈克．瓦侯科與法蘭索瓦．瓦侯科兩位）與歐方等研究員正在研究這個問題。如何軟化扁豆卻又不會讓裡面的澱粉粒漏出，也不會破壞豆子外皮而讓內容跑出來。用蒸氣來煮豆子可以達到這些目的，但是要煮很久的時間。

藉由將扁豆在不同的溫度下煮不同的時間，蒙法維的研究員發現，扁豆隨著烹煮時間加長而變軟，也隨著溫度增高而變軟。這現象很理所當然，不過進一步量化後則變得很有意思。如果把豆子的堅硬度跟煮的時間當成曲線圖的座標，每個溫度畫一條曲線，會發現每條曲線都會在煮了特定時間之後突然變平緩。這表示豆子的柔軟度受到兩個因素的影響。第一個因素作用比較快，可能跟水進入扁豆中心的程度有關，造成曲線的第一段；第二個因素作用比較慢，似乎跟豆類澱粉粒在熱水中的「糊化作用」有關，造成曲線的第二段。

此外，在超過攝氏八十度以後，扁豆破碎的比例隨著煮的時間延長

而成指數增加。因此，溫度影響扁豆的完整性勝過扁豆的柔軟度。超過攝氏八十六度時，「破掉的扁豆」將超過「變軟而完整的扁豆」。那麼，從這些基礎研究裡，可以得到哪些烹飪上的應用呢？那就是：要在低於九十度的溫度下煮扁豆，不過這樣要花較長的時間。



舊約聖經故事：次子雅各在父親以撒面前，要用一碗紅豆交換長子以掃的繼承權。而要準備一碗好到足以換取長子繼承權的豆子，要在純水中，用攝氏八十到九十度之間煮。

空心馬鈴薯球

分析一道傳統食譜揭露了如何避免炸物上過多的油

空心馬鈴薯球長得像小氣球，有著炸成金黃色的脆皮。傳說它是在一八三七年八月二十五日發明的。那一天是巴黎到聖傑曼翁雷的鐵路通車典禮，正式午宴裡面原有一道炸馬鈴薯圓片。但是因為火車爬不上最後一段上坡而延誤了，廚師決定中止油炸。當最後賓客終於入座後，他把炸了一半的薯片再次丟回極熱的油鍋裡想要炸脆，結果它們竟膨脹起來了！

之後，不少廚師對怎麼做出這道傳統法國料理中的名作都有不同的意見。而物理跟化學分析有助於解開馬鈴薯膨脹之謎，同時也可以找出如何在油炸時，節省用油的祕訣。

一般食譜並沒有解釋炸空心馬鈴薯球背後的原理。有種說法，認為馬鈴薯圓片的最佳厚度，是由研究油脂與食物而著名的大化學家謝夫何所決定的。歷史容或是對的，因為這道菜要用很多油。但是我卻沒有在謝夫何的著作中找到跟這有關的紀錄。相反的，我找到法國大廚哥倫比耶在一八九三年所寫的一段文字：「感謝德高先生的熱心，以及令人懷念的謝夫何先生他親切又博學的助手，借給我不可或缺的溫度計，讓我得以在一八八四年四月十四日禮拜三，於巴黎瓦斯公司展示廳裡，完成三次跟炸空心馬鈴薯球有關的科學實驗。」

接下來數頁，哥倫比耶敘述他的實驗結果，卻完全沒有提到謝夫何。因此，傳說很有可能將哥倫比耶與德高混淆，又將德高與謝夫何混淆。

膨脹背後的科技

怎樣做空心馬鈴薯球？大部分的食譜這麼建議：將馬鈴薯切成厚約三到六公釐的小圓片，水洗後稍微晾乾，然後將圓片放入攝氏一百八十

度的油鍋中炸第一次。六至七分鐘後，馬鈴薯片會浮起來，將其撈起放在旁邊靜置下，接著再放入更熱的油鍋中炸第二次。許多廚師將成功的關鍵歸因於：圓片的厚度、兩次油炸間隔的時間，或者炸時的溫度。

哪一個才是最重要的因素？為什麼馬鈴薯會膨脹？又要怎麼讓它最佳化？若依照食譜來做實驗，我們首先會觀察到幾件事：馬鈴薯是隔熱體，要把馬鈴薯中間煮熟要花一些時間。馬鈴薯細胞中含有許多澱粉粒，當細胞中水分被加熱時，澱粉粒會膨脹然後糊化。若第一次炸的溫度過高，則馬鈴薯片表面會在中心尚未熟以前，就形成一層極厚的硬殼，這樣，馬鈴薯就不會膨脹。

水蒸氣會把油推開

此外，藉由秤重可以發現，如同我們假設的，炸馬鈴薯中因為加熱而流失的水並不會被油取代。在這約一百平方公分的表面積上，每秒鐘有約八十立方公分的水蒸氣要跑出來，水蒸氣形成的壓力會把油往外推。同樣的，馬鈴薯片之所以浮起來，正是因為水變成水蒸氣，而不是因為水被油取代（馬鈴薯含百分之七十八的水跟百分之十七的澱粉。澱粉比水重，更比油重）。

再者，觀察水蒸氣泡的形成，揭示了馬鈴薯膨脹的關鍵。馬鈴薯要膨脹，水蒸氣必須「突然形成」，才能夠撐起那因為被炸脆而幾乎不透氣的表面。如果



水蒸氣沒有辦法很快形成（所以在第二次炸時溫度要更高），則水蒸氣會慢慢從炸脆的表面的小孔間成串地跑掉，內部壓力就不足以撐起馬鈴薯了。

馬鈴薯膨脹的另一個關鍵，則是這個不透氣的脆面必須在第一次炸的時候就形成。接著在兩次炸之間的靜置，馬鈴薯片內部尚有餘熱而可以慢慢烹煮，此時水分也有機會重新分布到剛剛被炸乾的地方。其實在冷卻的過程中馬鈴薯脆面很可能會跟中心分離。在第二次炸時，水蒸氣會把脆面撐起，因為它們很難一下子從脆面上的幾個小孔間跑掉。

這些分析也解釋了薯片厚度的重要性。如果薯片太薄，則無法形成兩個脆面中間夾著軟泥般的馬鈴薯，水蒸氣量也不夠撐起馬鈴薯。薯片太厚，則中心需要被加熱的時間就會太長，如此一來表面會變得太厚而妨礙馬鈴薯膨脹。

這也是為什麼要非常小心的處理馬鈴薯片。如果在這薄薄的脆片表面上戳一個洞，我們會看到在第二次炸的時候大量的氣泡從洞中溢出，如此馬鈴薯片內部的水蒸氣壓力就不足以撐起馬鈴薯球。

最後，如何將空心馬鈴薯球的吸油量減至最低？耶路撒冷大學的薩吉教授指出，馬鈴薯球的油絕大部分都留在表面，而殘留的程度隨著表面不平滑，以及油被使用的程度而增加。脆球表面愈不平滑，愈容易積油，此外，久炸的油也會形成比較多的界面活性分子（證據是，久炸的油會起泡），而殘留在表面。

銅盆與果醬

一般會推薦用銅盆來做果醬，但是不應用鍍錫的，為什麼呢？

先從傳說開始。一八四七年，食譜《城市與鄉村裡的廚師》的作者（只有留下他的姓名縮寫 M. L. E. A）提到，要做出好的果醬，「一定要用沒有鍍錫的銅瓶（那些上了錫釉的陶器或不上釉的陶器，會把水果燒焦而且帶來怪味）。」接著，在一九〇七年，地質學家兼廚師巴邦斯基，在他寫的食譜《美食學實踐》裡面提到：「要做紅色水果的果醬，最好用琺瑯鍋煮，才不會讓果醬有辛味。用沒有鍍錫的銅鍋煮的最容易有這種怪味。」就在同一時期，藍帶廚藝學校的教授們卻給了完全相反的建議：「要避免使用鐵器或是鍍錫的器皿。」

我們還可以繼續這樣下去找跟果醬有關的傳說，但結果呢？銅器還是別的？鍍錫還是不要鍍？用銅器做果醬的原因，不外乎是那引人懷舊的溫暖橙黃色金屬光澤，而且讓廚房大為增色。然而也很麻煩，因為很重要的是它們在使用前，一定要徹底清洗，而且還不能用氨水洗，不然會帶給果醬非常不舒服的味道。為什麼不用不鏽鋼鍋或是琺瑯鍋呢？銅器除了導熱比較快，還有其他不容置疑的效果嗎？

銅在果醬中的角色

沒什麼比做實驗更有用的了。首先我們把一些紅醋栗或是覆盆子放入銅盆中。為了更精確一點，我們測量了它們的酸鹼度。這些水果的酸度，有時候十分驚人，比如說，我們會測到約 pH3 左右的酸度（用 pH 來代表酸度，從零到十四，零代表強酸，十四代表強鹼），已經跟某些醋的酸度非常接近了。接著，讓我們把銅鍋放傾斜。看看果汁流過的地方，銅鍋似乎被果汁剝皮了，換句話說，本來蓋在表面的銅離子被溶掉了。

這些銅離子對果醬有什麼作用？讓我們做另外一個實驗來研究看

看。先把水果在低化學活性的容器裡煮熟，比如說玻璃容器。把煮好的果醬分成兩份，然後把銅鹽加入其中一份。等果醬冷卻之後，我們發現含有銅鹽的果醬明顯比另一份硬。為什麼呢？因為果醬是由果膠分子凝結起來。果膠由水果中釋放出來，彼此連結成一張網，困住水分、糖分跟水果。通常幾滴酸檸檬汁就可以幫助果醬凝固，因為果膠分子上帶有羧基（ $-\text{COOH}$ ），它隨著環境的酸度不同而會解離。當環境中酸度不夠時，羧基會釋放出氫離子而本身變成 $-\text{COO}-$ ，許多帶負電的羧基彼此會排斥；相反的當環境中酸度足夠時，羧基就會接收氫離子變成中性，因此不會互相排斥。

那銅在這裡面扮演什麼角色？當銅溶在果醬裡變成銅離子時，它是帶有兩個正電的離子，因此可以跟兩個帶有負電的羧基結合，這樣就會加強果膠的連結。換句話說，銅離子讓果膠變得更堅硬，如同前面的實驗所證明的。

不過我們的身體只需要極微量的銅離子，而藍綠色的銅鏽更是讓人望之生懼，能不能找另一種二價離子來代替呢？其實鈣離子也會有類似的效果，不過要用哪種鈣？白堊聽起來就不怎麼讓人有食欲，但是檸檬酸鈣倒是可以。

那麼錫呢？

既然銅有用，那為什麼以前用來塗在鍋子內層的錫不好？實驗證明把紅色的水果像是覆盆子或是紅醋栗放在鍍錫的鍋子裡一點影響也沒有。所以，這個傳說僅是廚藝經驗累積上的一個訛傳嗎？如果錫不會跟水果反應，那也許該懷疑是鍍錫銅鍋的銅（對，又是銅）有問題囉？然而如果把水果放在銅上面，水果也沒什麼變化。

不過金屬通常是以金屬鹽的形式在反應。讓我們在紅色水果上面灑上一些金屬鹽：銀鹽、鋁鹽、銅鹽、錫鹽、鐵鹽等。很快地，灑上錫鹽的水果就顯現出了難看的紫色。這是因為水果中的色素跟金屬結合。而這樣的結合會搶走電子而造成電子分布的改變，水果色素吸光程度就不

一樣。也因此銀鹽讓水果略為泛白，而銅鹽則讓水果變成漂亮的橘紅色。錫讓紅水果變成紫色，這是傳說認為錫不好的原因。

然而今日科技進步，清理鍋子的技巧也遠勝以往。因此傳說應該改成：無論如何要避免用髒的鍍錫銅鍋盛或煮紅色水果。

拯救英式蛋黃醬

一小撮麵粉可以避免蛋白質結塊，不過也可以用攪拌器打散

怎樣拯救已經結塊的英式蛋黃醬？這是很重要的問題。因為英式蛋黃醬可以在許多甜點裡做不同形式的運用。英式蛋黃醬跟卡士達醬最大的差異就是，雖然大家都是用牛奶、蛋黃、砂糖，以及人工香料（比如香草）做成的，但是卡士達醬還會加入一定量的麵粉來防止醬料結塊。反觀英式蛋黃醬，因為少了這個成分，很容易做壞。

在一九九五年四月二十二到二十九日，在義大利西西里的馬約拉那會議中心所舉辦的「第二屆國際分子美食與物理會議」上，廚師與科學家們就聚在一起討論這類問題。名廚如孔提希尼跟白朗就提出許多跟甜點與菜餚有關的問題：英式蛋黃醬、卡士達醬、美乃滋、打發蛋白、酥芙蕾、巧克力奶油醬、果凍、果醬等問題。以牛津大學物理學家庫提、諾貝爾物理獎得主德堅內為首的物理與化學家們，則試圖解答這些由廚師提出，日常烹飪中常見、但卻不明所以的現象背後之機制。他們試著用溶液、乳化劑、慕絲、凝膠或是懸浮液……等觀點來研究醬料。

我們經由實驗解答了關於英式蛋黃醬的問題。如同許多其他棘手的料理一樣，也有許多跟英式蛋黃醬有關的祕方或祕訣流傳著，值得檢視一番。有人說，一撮麵粉就可以防止英式蛋黃醬結塊，為什麼？也有人說，用力搖動可以拯救結塊的英式蛋黃醬，真的嗎？

一撮麵粉跟攪拌機

我們細細檢視每個準備英式蛋黃醬的步驟。一開始，醬料要慢慢加熱（不超過攝氏六十五度），漸漸的，牛奶、砂糖跟蛋黃的混合物會慢慢變厚，如同所有成功的英式蛋黃醬一般。放在顯微鏡下，可以看到很細小的結構（約數微米長）。

接著把這盆醬放入微波爐中微波數秒鐘，直到凝塊出現：這是過度

加熱的象徵。放在顯微鏡下看，這時候細小結構跟剛剛完美的英式蛋黃醬相比，約變成兩倍大，也更緊密。不過除此之外，整體結構大致相同，沒有改變。不過如果再繼續加熱下去，英式蛋黃醬在顯微鏡下的結構就完全不一樣了：我們可以看到有些地方是清晰透明的液體，有些地方則是剛剛結塊的細小結構區，兩者完全的分離。

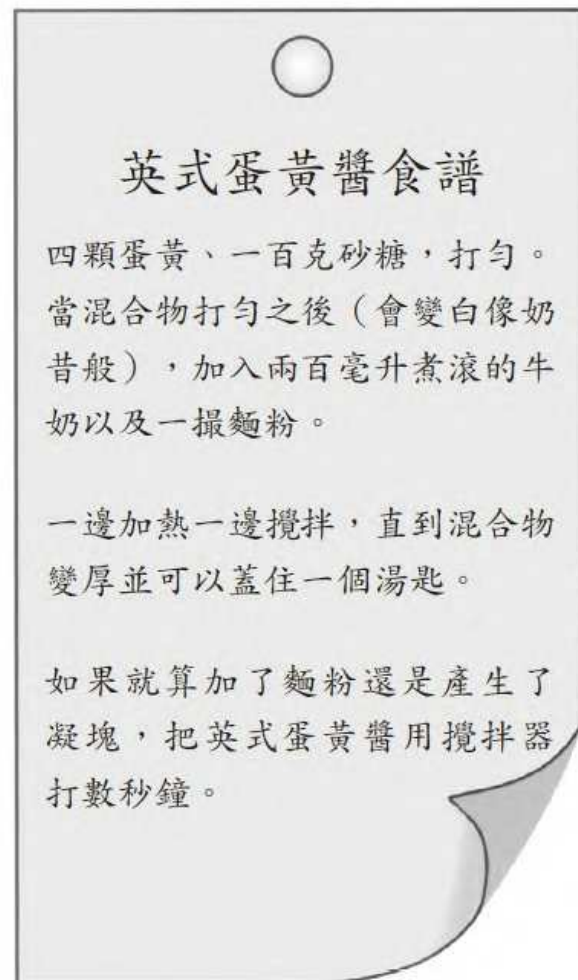
最後，把這盆做壞的英式蛋黃醬用攪拌器拌數十秒，醬料慢慢變成像發泡的慕絲一樣，用肉眼看，剛剛的結塊消失了，而英式蛋黃醬該有的質感似乎又重現了。但是若放在顯微鏡下看，則可以看到細小結構其實是介於完美的英式蛋黃醬，以及剛開始結塊的英式蛋黃醬之間。

不可避免的蛋白質凝結

看起來，製作英式蛋黃醬的過程一定會引起蛋黃的凝結，而這無關英式蛋黃醬成功與否。在顯微鏡下觀察到的細小結構，應該是蛋黃中的蛋白質，在緩慢加熱下，部分開始凝結，經由微弱的化學鍵結合在一起。不過可以用攪拌器打碎，然而這個結構可以被完全打碎嗎？我們真的可以把一盆做壞的英式蛋黃醬變好嗎？

顯微鏡下的觀察說明了攪拌器成功打散了凝結的大塊結構。不過如果要得到跟成功的英式蛋黃醬一樣的結構，需要攪拌更久一點，才能夠完全打散凝塊。

最後，對於那些味覺靈敏到



可以分辨出「完美的英式蛋黃醬」或是「被救回的英式蛋黃醬（有類似蛋捲的味道）」的人，還有一個辦法可以防止英式蛋黃醬被做壞：可以在加熱之前加入一撮麵粉，那麼英式蛋黃醬就算是被煮到滾都不會結塊了。

為什麼麵粉有這種效果？我們還在爭論。不過我們知道當麵粉中的澱粉粒遇到熱水時，裡面的部分澱粉（直鏈澱粉）會跑出來，而水會跑進澱粉粒裡，造成澱粉粒膨脹。膨脹的澱粉粒跟跑出的直鏈澱粉所形成的網子，都會阻礙蛋白質移動，因而避免了蛋白質凝結成大塊結構。

鹽粒

關於這些「白金」的傳聞

跟鹽有關的迷思都非常長壽。在分析它們以前，讓我們先來看看幾則傳說。有些廚師建議，煮水時鹽一定要在水滾了之後才加，因為根據他們的說法，加了鹽的水比較慢滾。這觀點被普遍接受，但是正確嗎？

關於煮肉類高湯，有些食譜建議鹽要在一開始就加，這樣「精華」才會被萃取得比較完全。果真如此嗎？

相反的，鹽不能太早加到生菜沙拉裡，因為鹽會讓蔬菜葉子枯萎。這是從日本傳來的說法，又該如何看待？

法國化學家謝夫何於一八三五年，在他的論文《研究用白水或是鹽水煮蔬菜，所溶出的物質》中指出：「熬蔬菜的水，顏色會變成紅棕色，同時也帶著一股可以察覺的氣味。用鹽水煮同樣的蔬菜，這氣味更強烈。而用鹽水煮菜煮出的滋味也比較強，不過，值得注意的是，它含有比較少的萃取物。」該相信嗎？

應該要小心所有未經實驗證實的主張。比如說，確實加鹽在水中會冷卻它（因為一部分水的熱量用在把鹽溶解上），水的沸點會升高，整體需要加熱的質量也增加。不過在水滾以前或在水滾以後加鹽，這三個現象最終都將一樣。如果我們將水加熱，比較加鹽跟不加鹽（一樣的水量，一樣的鍋，一樣的加熱方法），量到的結果是：在實驗誤差範圍內，加熱的時間都一樣。

接下來看鹽對高湯的影響。一般相信這是滲透作用：分子傾向在環境中均勻散布，直到最後各處濃度都一樣。既然大分子無法穿透細胞膜，只有水會進入或流出細胞：端視情況而定。

如果只考慮到滲透作用，那麼理論上，在鹽水中煮肉，肉應該比在純水中煮要流失更多的水分才對。讓我們做個簡單（不過也很枯燥）的

實驗。將兩塊一樣的肉放在一樣的鍋中，一個鍋裡加入純水，另一個加入飽和的鹽水。然後把這兩鍋肉煮五小時，其中每隔十分鐘量一次肉的重量。五小時之後，我們發現兩塊肉的重量是一樣的。

那麼鹽水對蛋的影響呢？因為有人說要用鹽水來煮蛋，這樣才可以避免水因為滲透壓進入蛋裡面，造成蛋的膨脹而裂開。我們試著在相同的條件下，在純水跟鹽水中各煮了十幾顆蛋，以便了解這個滲透壓，到底會不會讓蛋變重，然後再算算看兩鍋蛋裡裂了幾顆。

花這些工夫來回答這個問題還算值得。鹽並無法避免讓蛋裂開，真正有效的方法是用針在蛋殼上戳一個小洞，這樣在氣室中的空氣比較容易溢出，而蛋殼可以保持完整。不過用鹽水煮蛋有個好處，是上個世紀的廚師就已經知道的了：讓蛋白變得有鹹味，蛋比較美味。

枯萎的沙拉

最後來研究鹽對蔬菜的影響。把鹽灑在沙拉葉上會怎樣呢？我們把細鹽灑在萵苣葉上，結果沒有什麼影響，只要萵苣葉子是乾的，鹽在葉子上好幾個小時也無所謂。因為葉子表面有一層蠟質保護，擋住滲透作用。

那麼在鹽水中煮蔬菜呢？為了解蔬菜在烹飪中流失的物質，我們把鍋子蓋起來煮，然後每隔一段時間秤菜的重量。結果我們發現洋蔥在鹽水中煮，剛開始確實損失比較多的重量，滲透作用在這裡很重要。但是胡蘿蔔則沒有什麼影響。不管是洋蔥還是胡蘿蔔，在鹽水中煮都爛得比較快，不過如果煮得夠久，那蔬菜不管是在鹽水還是在純水中煮，最後都一樣。

為什麼用滲透作用來預測肉類跟蔬菜在鹽水中煮的情況，會失靈呢？在顯微鏡下看一下就可以知道，植物細胞跟動物細胞並不是由半透膜所組成，所以滲透作用並不能順利進行。動物肌肉被膠原蛋白所包住，而植物細胞則有一層堅硬的細胞壁。在剛開始煮時，滲透作用可以

稍微進行，但是當煮了一段時間之後，細胞結構都被破壞了，這時候食物就像多孔的海綿一樣，鹽則無法造成什麼影響。

還有很多其他的傳說：有人說，把削過皮煮熟的馬鈴薯放在過鹹的醬汁裡可以把鹽吸走。有些廚師宣稱他們可以看到過鹹的醬汁中的小結晶。十四世紀的廚師堤赫（人稱泰爾馮）說沒有加鹽或是油的湯或是燉鍋，比較容易煮得溢出來。至於烤肉，有人說不要在剛開始烤前灑鹽，要留到烤後再灑，這樣「鹽才會進到肉裡」。多本食譜的作者馬堤歐說：「把一塊糖浸在醬汁裡兩秒鐘，可以除去過多的鹽。」你們對於這些建議，又有何看法？

香檳酒與小湯匙

在瓶口插入一支小湯匙並不能阻止氣泡跑掉

有人說在打開的香檳酒瓶口插上一支小湯匙，可以讓氣泡保存得久一點。有人甚至強調只有銀湯匙才有這種效果。我們該相信這種可疑的傳說嗎？這聽起來根本像是個做壞的實驗一般。物理和化學上有哪個神奇的效應，可以讓小湯匙阻擋氣泡從香檳這種高級宴會飲料裡面逸失呢？在我們開始研究之前，「香檳區酒類跨領域委員會」的酒類專家們，已經做了一系列嚴謹的實驗來研究這個「小湯匙效應」。他們的結果，發表在《香檳區釀酒者》期刊中，否定了小湯匙的效果。

瓦拉德、提寶索依爾以及帕諾伊提斯三位研究員藉由委員會之助，用品管比較嚴格的酒來做實驗：委員會提供了在同樣釀造情況下的酒，同時也盡量避免了其他因素的差異。

為了模擬被喝掉的狀況，他們把酒倒掉三分之一到三分之二。接著一組酒瓶被打開；一組插入那著名的小湯匙，視情況用銀製或是不鏽鋼湯匙。第三組用酒塞塞住，最後一組則用瓶蓋塞住。所有的酒瓶都直立，溫度控制在攝氏十二度。為了了解氣泡殘留的狀況，他們每隔一段時間就測量瓶內壓力、液體重量，最後還品嚐四組酒口感上的差異。

壓力的差異

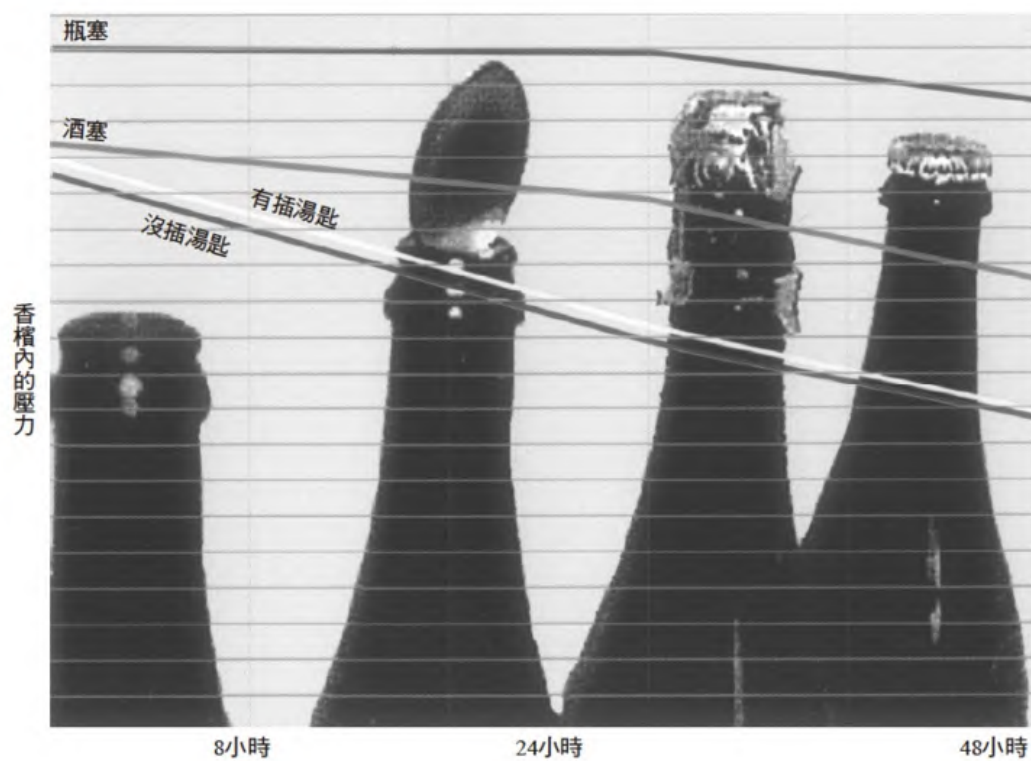
香檳瓶內原本的壓力約為六巴（約五點九個大氣壓）。隨著瓶子漸漸變空，壓力也降低，當香檳剩下五百毫升（標準香檳酒體積為七百五十毫升）時，壓力剩下四巴，當剩下兩百五十毫升時，壓力只剩下兩巴。稍後開始靜置時，研究者發現，那些被打開來靜置的酒，不管瓶口有沒有插入小湯匙，瓶內壓力降低的程度都一樣。用瓶蓋塞住酒瓶，壓力降低比較少（靜置四十八小時之後，壓力降低百分之十；若是完全打開的瓶子，則壓力會降低百分之五十）。

當然那些相信小湯匙有用的懷疑論者，多半會質疑這些初步結果。因此，研究者又測量了第二個參數，那就是因為氣泡流失所造成香檳重量變輕。又一次，他們發現，不管瓶口有沒有插入小湯匙，都不影響打開香檳酒的重量減少。而相反的，用酒塞塞住的香檳酒，重量幾乎沒有減少。雖然還是有一些氣體會從酒裡面釋放出來，但是漸漸累積在液面上的氣體壓力變大後，會阻止其他的氣體繼續跑出來。此外，當我們把酒瓶打開來做測量時，會聽到清脆的開瓶聲，證明了有氣體積在瓶內。雖然如此，溶在液體裡的氣壓，還是大於其他幾組，因為酒塞限制了香檳酒的氣泡逸失。

酒後吐真言

這些測量，再一次證實了香檳酒內氣泡的流失，主要跟液體表面上的壓力、浮在裡面的物體以及瓶內玻璃表面的完整性有關。最後這一點可以很容易被觀察到，比如灑一把沙到一杯香檳酒裡，或者把香檳酒倒入冰凍的杯子裡，都可以看到大量氣泡很快產生。這是因為香檳跟沙子不規則的表面，或者跟冰凍杯子不規則表面接觸的關係。

最後，位於埃佩爾奈的酒類專家們證明了最後也是最重要的一件事，同時也否定了小湯匙的作用：他們一如前述的用各種酒進行了品酒測試。在不讓品嚐者知道酒的來源的情況下，他們證明了小湯匙對於保存香檳酒的氣泡一點影響也沒有。相反的，用工具把香檳瓶密封起來，氣泡保存的效果會好很多。不過不管用哪種方法保存，酒都會略微氧化，因為當酒瓶打開時，已經有氧氣跑進去了。因此不管這傳說是真是假，喝酒都該「今日事今日畢」，打開了就要喝乾！



不同形式的封瓶法決定了氣泡保存的效果。然而不管是銀製或是不鏽鋼小湯匙，都沒有效。

咖啡、茶以及牛奶

怎樣讓熱飲快點變涼

日常生活中有許多問題值得問。比如在雨中用跑的會少淋濕一點嗎？穿白色衣服真的比較不熱嗎？在北半球拔開浴缸塞子，水總是順時針流嗎？這些問題都很容易做實驗來回答，但是我們卻很少做。

在烹飪上也有很多個疑問。像是每天早上喝的咖啡，總是很燙，而我們一直都不知道怎樣讓它冷比較快。有些天才對這個問題很有興趣。根據英國大物理學家霍金的說法，要想避免被咖啡燙傷嘴，最好等咖啡稍微冷一點再加砂糖（當然，前提是你喝甜咖啡），這樣咖啡會比馬上就加入砂糖要冷得快。

這種預測背後的理論根據是什麼？因為熱的物體輻射出來的熱能比冷的物體多。霍金的說法，是根據：物體在一單位時間（比如說一秒）內所釋放出來的熱能，跟物體絕對溫度的四次方成正比。因此讓咖啡自己冷卻，會因為剛開始溫度較高，輻射出比較多的熱能，溫度下降較快。最後加入砂糖則可以讓溫度一瞬間下降（砂糖溶解需要吸熱），完成冷卻程序。如果在一開始就加入砂糖，則因為溫度先降低了一些，輻射效應減少，之後冷卻速度就慢很多了。這聽起來有道理，但是實際情況果真如此嗎？

從理論到實踐

實驗證明（這裡提到的實驗，是在非常嚴格的控制之下，盡量模擬平常喝咖啡的狀況），霍金所預測的效應，微小到幾乎察覺不出來。不過實驗卻顯示了咖啡杯扮演很重要的角色。在剛開始冷卻時，咖啡杯會被加熱（吸收咖啡的熱），然而因為杯子只能靠傳導來散熱，所以冷得比液體慢很多，因此讓整個冷卻程序慢了下來。

那如果我們加入冷牛奶而不是砂糖，霍金的預測會比較有效嗎？跟

剛才一樣，這個實驗也有點複雜。我們首先準備一杯很熱的咖啡，馬上倒入冷牛奶，然後測量溫度下降的情況；而對照組則準備一樣熱的咖啡，讓它先冷卻一些，再加入牛奶，一樣測量溫度。

這一次，理論的預測很準確。我們在兩百毫升滾燙的咖啡中加入七十五毫升的冷牛奶，然後讓咖啡冷卻到攝氏五十五度（也就是一般嘴巴可以忍受的溫度），需時約十分鐘。而如果我們讓咖啡先降到攝氏七十五度再加入牛奶，總共只需要四分鐘就降到攝氏五十五度了。了解物理基本原理的話，咖啡冷卻只需一半的時間。

小湯匙跟散熱器

那麼對於既不加糖也不加牛奶的人該怎麼辦？浸在咖啡裡的金屬湯匙散熱效果如何？咖啡的熱會不會迅速地透過金屬湯匙輻射到周圍環境裡呢？

不必用猜的，也不必計算，直接用熱電偶來測量就好了。結果我們發現放不放小湯匙幾乎沒有差別。當我們比較兩杯剛開始溫度幾乎是攝氏一百度的咖啡時，在等了約十分鐘之後，放不放小湯匙的溫度相差不到一度。小湯匙不是好的散熱器，即使是銀製的也一樣。

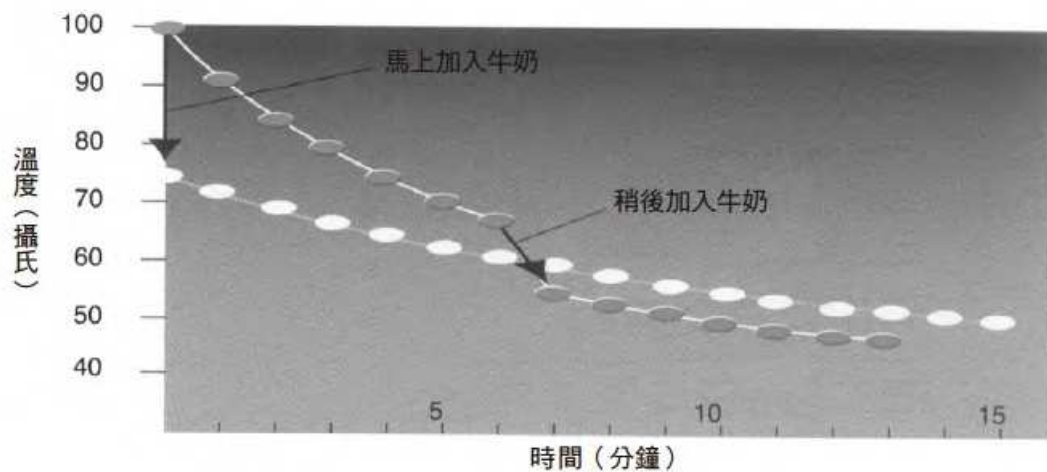
好，咖啡冷得慢，那麼茶呢？熱輻射的程度雖跟液體顏色有關，但是卻不足以影響茶跟咖啡冷卻的速度。當等體積的咖啡跟茶裝在一模一樣的杯子裡時，溫度冷卻的曲線幾乎是重疊的。不過呢，比較大杯的茶當然會比小杯的咖啡冷得慢，不過那是另一個問題了。

最後，讓我們來研究一個在喝熱飲時，常常憑直覺做的事。用嘴巴吹會不會降溫較快？用湯匙攪拌又有沒有用？實驗結果顯示，滾燙的液體每分鐘會降溫攝氏六度，而如果一邊吹一邊攪的話每分鐘會降溫十一度。那麼，吹比較好還是攪拌比較好？

攪拌液體會造成兩種效應：一來它會讓液體均勻混合，所以可以把較熱的液體帶到表面，因而有助於冷卻。二來攪拌時會增加液面的表面

積，所以可以增加冷空氣跟熱液體交換能量的機會。用吹的則會把那些因帶較多熱量而快速移動的水分子吹走（尤其是那些含較多能量已經變成蒸氣的水分子），所以這些分子不再有機會回到液體裡。因為這樣熱飲的平均動能降低。而溫度計實際測量的東西其實正是分子平均動能，所以我們會發現溫度下降。

現在大力地吹一杯熱飲，然後大力攪拌另一杯，並盡量增加液體的表面積，以符合剛剛提過的要求。結果會怎樣？用理論來猜猜看……



咖啡加牛奶的冷卻曲線圖

第二部

味覺的生理學，烹飪的基礎



食物還是藥物

我們的靈長類親戚會根據自身的需求來選擇食物

根據希臘人的說法，所謂野蠻人就是那些就算生病也不會改變飲食習慣的人。巴黎自然史博物館一般生態學研究室的榮譽研究員拉迪克，跟他的同事們的研究顯示，猴子反倒跟文明人很像：在某些時候牠們會吃含有生物鹼（有些具麻醉或迷幻效果）的植物，或是吃土，以便平衡飲食，或者治療腸道疾病。

對甜食有反應，無疑是靈長類動物最重要的適應之一。愈大的動物愈能感受甜味。大型動物似乎比較能分辨帶有甜味的食物，並從中吸收比較多的能量。這個原則對吃草的或是吃水果的動物來說都一樣重要。一個例外是懶猴，對甜味非常不敏感。有可能是因為牠們演變成要能忍受昆蟲跟其他食物的苦味，而其他猴子無法忍受，因此不會發生與之競爭的關係。

人類，正常的靈長類

人類，從能夠感受甜味的觀點來看，跟一般靈長類並無差異。我們身體質量頗大，而我們對甜味又非常敏感。不過這個生物基礎會因不同環境而改變。比如說，熱帶雨林住民跟草原住民對於葡萄糖跟蔗糖的感受閾值就不一樣。因此，住在富含多糖水果的非洲雨林的俾格米人，對甜味的敏感度就低於那些住在草原上、因而食物中含糖較少的居民。

一些研究利用甘味劑來測量不同物種對甜味的敏感度，也證明了上述結果。對人類來說，應樂果甜蛋白（存在西非防己科藤本植物的紅色漿果中）比蔗糖要甜十萬倍，而對非洲的靈長類動物來說也是如此。但是同樣的應樂果甜蛋白對美洲的靈長類動物來說則沒有甜味。這樣的差異也存在於索馬甜（也是一種甜蛋白，由西非植物 *Thaumatococcus daniellii* 果實中萃取出來）中，或許也存在於一九九四年所發現的甜蛋

白 Brazzéin（一樣是非洲植物 *Pentadiplandra brazzeana* 找到的）中。

動物舌乳頭中偵測甜味的蛋白質受器，也許從三千萬年前開始，就形成差異了。那時候正是新世界猴（闊鼻小目）跟舊世界猴（狹鼻小目）分道揚鑣之時。在牠們各自的環境中，隨著能找到的植物而演化；牠們吃這些植物的果實過活，同時也散布它們的種子。既然在美洲還沒有任何植物甾胺型甘味劑被發現，根據演化的結果，將來應該會找出一些新的分子，是新世界猴覺得甜，但舊世界猴不覺得甜的。

從以前我們就知道脊椎動物嘗得出氯化鈉（就是食鹽）的味道，也會在匱乏的時候主動尋找它們。比如我們注意到馬會在需要的時候舔舐岩鹽，而從餵無鹽飲食給老鼠的實驗中，也證實了這個觀察。在自然環境裡，尤其是在森林中，通常不會有鹽匱乏的問題。不過在一九七八年美國的生物學家奧茲卻觀察到，一種極為怕生的猴子：黑白疣猴，平常並不會輕易離開茂密的樹林，卻會在某些時候跑到池塘邊吃一種天胡荽屬的水生植物，而這種植物含有比其他植物更多的鹽分。

天然藥物

也有靈長類動物會在無關鹽類匱乏的情況下吃土。比如說黑疣猴（另一種住在西非加彭森林裡的疣猴）會吃土，而土的鹽含量其實少於牠們日常食用的水果。黑疣猴一年會在兩個時期吃土。其實是因為一年的這兩個時期，牠們必須吃老葉來補充食物（其他時候牠們吃嫩芽跟嫩葉，還有水果跟穀物）。植物的老葉中含有較多的多酚類分子（一個苯環接上數個羥基，-OH），特別是單寧。這些分子會跟蛋白質形成複合物，因此讓蛋白質不好消化。土裡面的黏土跟其他成分是很好的單寧吸附劑，這解釋了為什麼猴子有「嗜土症」，這種吃土的行為其實是一種消除食物中單寧的代償作用。希臘醫學之父希波克拉底曾說：「你的食物就是你的藥物。」也許我們的猿猴遠祖曾在他耳旁如此細語？

通常厭惡苦味可以幫助我們避免吃到危險的東西像是生物鹼（很多具有強烈毒性）、單寧之類的收斂劑、烯類、皂素以及強酸。不過也不

是所有的毒物都有苦味，比如說薯蕷皂苷，一種可以致命的生物鹼，存在於山藥類植物*Dioscorea dumetorum*中，就幾乎是無味的。動物藉由不同的機制像是「恐新症」，也就是懼怕食用新東西，或是吃東西以後產生厭惡感，來保護自己（從老鼠到靈長類都可以觀察到）。不過呢，平常黑猩猩會避免去吃苦的扁桃斑鳩菊，但是在生病的時候卻會食用它們。這種植物含有多種醣類固醇，能夠有效地治療胃腸疾病。我們應該賦予這種行為什麼名稱呢？天然藥膳？



這隻加彭森林裡的母黑猩猩，正在剝一種竹芋科植物*Hypselodelphis violacea*的皮，以便攝取汁液裡面含有的必需胺基酸。

味道與消化的關係

身體吸收味精後會啟動類似消化蛋白質的機制

為什麼只有一點消化後的代謝物進入血液裡，我們就會覺得飽而停止進食？胃脹滿並不一定會帶來飽足感，因為實驗的老鼠並不會因為胃被氣球脹滿了而停止進食。相反的，生物會「預期」到食物的代謝而產生一連串的反射動作。比如說，把糖放在舌頭上，幾乎「立刻」就會引起肝臟分泌升糖素。

法蘭西學院的研究員尼可萊伊地與同事在一九六〇年左右就發現，用糖精刺激味覺受器，會引起胰臟分泌兩種荷爾蒙：升糖素，負責讓身體釋出葡萄糖增加血糖濃度；以及胰島素，負責代謝葡萄糖。此外，刺激甜味受器，會讓身體因預期而產生一連串代謝碳水化合物的反應。

最近，薇亞胡芝、伊凡、科立耶以及尼可萊伊地等人更進一步研究動物在嘗到蛋白質之後的反射以及代謝的情形。其中一個研究的主題是動物在嘗到味精之後的預期性反射，因為味精會帶給動物如同接收了蛋白質一般的訊號。過去只有亞洲菜使用的味精，如今卻普遍被西方食品工業用作提味劑。味精除了鹹味以外還有一種獨特的「鮮味」，而不同於傳統認知的酸、甜、苦味等。

那麼味精會刺激身體提高對蛋白質的代謝嗎？會像一般胺基酸（蛋白質的成分）流入血液中一樣，引起釋放荷爾蒙（升糖素跟胰島素）一般的反射動作嗎？

為了研究這個問題，法蘭西學院的研究員們製作了一台可以分析身體能量代謝的儀器。這台儀器可以區分不同的代謝指數，並且可以分開偵測並記錄動物因為「移動」或是「熱生成」而產生的代謝需求，而熱生成跟動物吃東西有關。此外這台機器還可以記錄動物在平常活動時的「基礎代謝率」。在一九九一年，他們測量動物在休息時的熱生成，據此推測出動物在活動時的熱生成（藉由熱生成來代表身體代謝的程

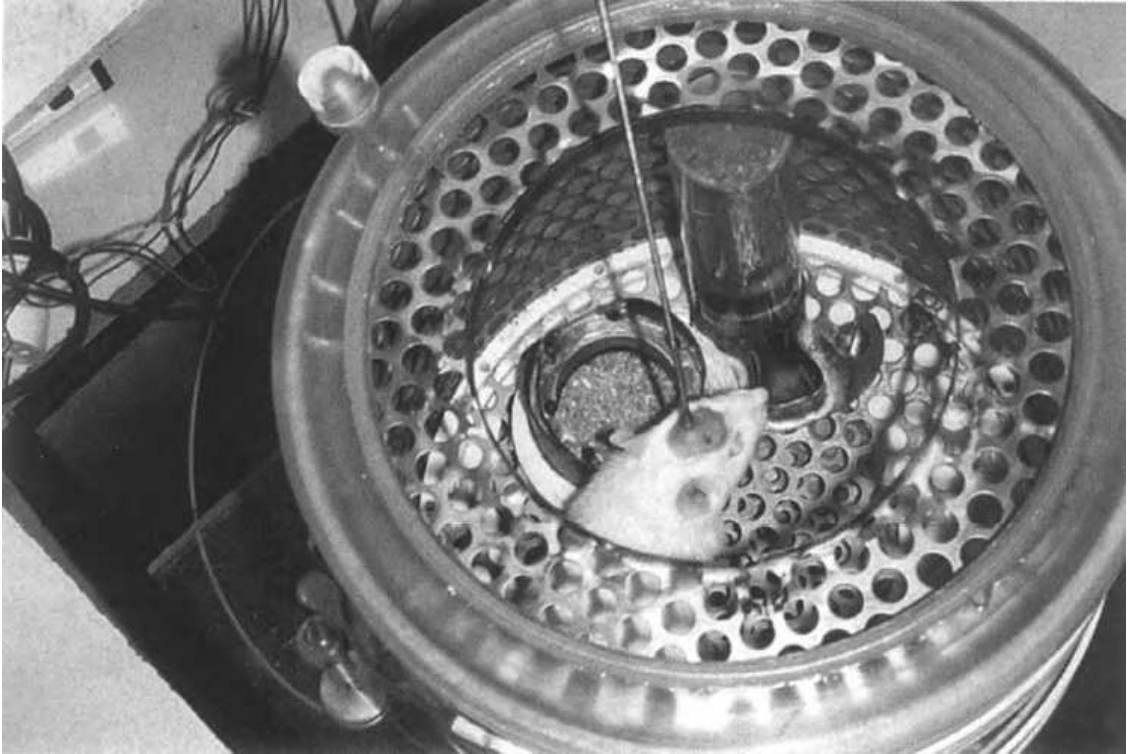
度），結果發現如果把味精導入老鼠的嘴裡或是胃裡，只會引起很輕微的荷爾蒙反應。似乎味素只有在跟其他食物訊號加在一起時，才可以引起任何身體對代謝的準備。

為了證實這個假設，他們從籠子上方連接一根導管，然後把導管固定在實驗老鼠的嘴裡，這樣實驗者可以直接把味精溶液或是蒸餾水注射到牠們嘴裡。接著讓老鼠可以在籠子裡面移動，然後持續記錄老鼠的代謝指數。

在手術之後他們先讓老鼠習慣從這根導管獲得水或是味精溶液。之後在餵老鼠食物的時候，讓老鼠一邊進食，他們一邊注入不同濃度的味精溶液。控制組的老鼠則在進食時注入蒸餾水。

接著他們發現，當伴隨著標準飼料時，味精的味道引起很大的代謝差異：在有味精的情況下，因為進食所產生的「熱生成」特別快也特別高。因此，味精的角色有點像是蛋白質版的「糖精」，可以透過味道欺騙動物，就算飼料裡面大部分是碳水化合物，動物還是以為吃到的是蛋白質。

不過，當實際代謝所給的訊號，跟舌頭嘗到的訊號不一致的時候，動物可以被欺騙多久呢？這種「期待性」的反射又能造成多少「飽足感」呢？還需要其他實驗來了解。



老鼠被植入一根導管，然後放在一個可以記錄其生理代謝量的籠子裡。

大腦中的味覺

藉由核磁共振儀的測量，我們找出腦中感受味覺的區域。

「直至今刻尚未出現過足以對味道做出嚴謹評估的環境，以致我們被迫運用普通而有限的字彙如：甜、酸甜、苦澀來表達味道，又或其他種種字彙最終也僅能以美味與不美味作結。我們身後之來者應能知之更詳。」

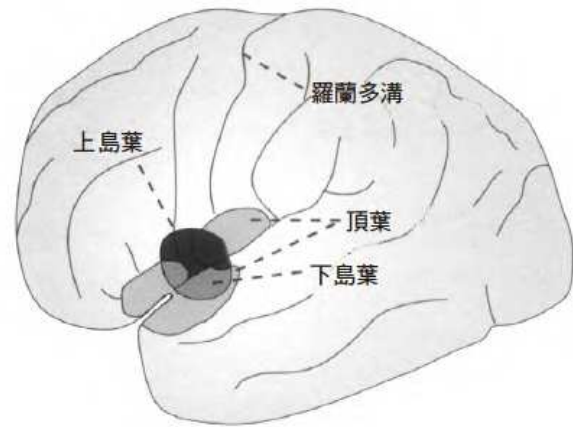
布希亞薩瓦杭已經預見了，今日的神經生理學家，確實已經在研究舌乳頭表皮細胞表面的味覺受器。與此同時，核磁共振攝影技術也揭露了這些受器接受味道之後，怎麼把訊息傳至大腦，然後處理。

在核磁共振攝影技術成熟後，可以藉由偵測腦中不同區域的血液流量來得知大腦活動，神經生理學家就對像是語言、計算以及記憶等認知活動，特別有興趣。而其他感覺像是嗅覺，則非常少研究，味覺則是完全被忽略（順道一提，雖然我們通稱「味覺」，不過所謂「味覺」其實是品嚐食物時，綜合了許多感官所引起的一種知覺，這裡所說的則僅局限於「舌頭味覺」）。在巴黎近郊馬錫的瑟芙與佛荷安，以及在奧賽醫學中心的勒畢安等三位神經生理學家找出了腦中接受味覺刺激的區域。

關於這方面的知識基礎其實非常薄弱。過去僅能藉由觀察大腦某些部分在二次大戰被摧毀的病人，我們推測大腦頂葉蓋靠近羅蘭多溝（又稱中央溝）的部分在味覺中扮演重要的角色。然而電生理學實驗卻有完全不同的結論：結果顯示反而是在大腦島葉裡面的某個區域才跟味覺有關。

現在用核磁共振攝影技術來探討這個問題，必須要求受試者躺在一個兩公尺長的管道裡，然後用一根軟管餵給他們不同味道的溶液，以限制他們能嘗到的味道。受試者將喝到阿斯巴甜溶液（甘味劑代表甜味）、鹽水、奎寧溶液（苦味）、甘草酸（甘草甜味）、鳥糞核苷單磷酸（鮮味，類似味素的味道）以及D 式蘇胺酸（難以言喻的味道，你要

自己嘗嘗看）。實驗一開始受試者會先喝水，然後是溶液，然後再喝水，照此類推。這樣可以避免受試者習慣於前一種味道，因為為了讓核磁共振攝影擷取足夠的訊號，每種味道至少要刺激十幾秒。



在品嚐味道時大腦不同區域受到刺激的情況。

味覺區域的「側邊化」

受試者會被要求專心在這些味道上，以避免腦中其他活動的干擾。然後他們要用指標在一個刻度表上移動，來描述味道的強度，神經生理學家則在旁邊計算不同溶液與大腦不同區域活動的相關性。最終他們對大腦活動與味道之間的關係下了結論：每個個體之間有很大的差異，而且雜訊很嚴重，以至於他們必須分析非常多次實驗才能定位出大腦負責味覺的區域。

第一批實驗結果顯示，大腦裡面有四個區域會受到溶液的刺激，分別是：島葉，以及圍繞在旁的額葉蓋、頂葉蓋以及顳葉蓋。因此並沒有一個所謂的「大腦味覺中樞」或是「不同區域負責不同味道」的現象。而另一方面，腦中有些區域偶爾會被活化，這些區域已知是跟語言認知有關。據此，他們推測味道的偵測也跟味道的名稱有關。

第二批研究，比較五個左撇子與五個右撇子的大腦對味覺的反應後發現，兩組人的腦中上述四塊區域，對於同一種味道，只有偶爾會有互相對稱的現象（譯注：一般右腦控制左手，左腦控制右手，這稱為對稱現象，或側邊化）。然而島葉卻隨著不同組而有不同方式的活化。島葉可以分為上下兩個區域。兩組人員上島葉部分，在嘗到味道時都會被活化，然而下島葉部分，卻隨著使用手的習慣而不同。因此，大腦處理味覺訊號的區域，跟處理語言或是動作一樣，都有側邊化的現象。

接著第三系列的研究比較在嘗到單一味道，或者是味道混合著刺激

或是辛辣味時，大腦的反應。這一次結果顯示大腦對兩種味道的反應是一樣的。這也解釋了為什麼味覺，這種藉由品嚐食物所引起的一般知覺，是如此的難以分析。大腦是統合了許多不同受器所傳來的訊號，然後才建構出味覺這種感覺的。



一張大腦味覺區域的照片。

在舌乳頭中

我們找到了味覺細胞的作用機制

在一九九四年，紐約哥倫比亞大學的艾克塞跟巴克，發現了鼻黏膜中接收氣味分子的蛋白質受器，解開了嗅覺之謎，該實驗室後來獲得二〇〇四年諾貝爾獎。這個發現曾轟動一時，然而對於那些欲解開舌乳頭味覺之謎的研究人員來說，卻不足夠，味覺如何作用仍然是個謎（譯注：舌頭表面肉眼可見的小突起稱舌乳頭，表面覆蓋一層表皮細胞。有一些表皮細胞特化成味覺細胞，聚在一起形成味蕾）。兩年之後，紐約西奈山醫學院的黃、甘儂與馬格斯基等人發表了他們在「味覺導蛋白」上面的研究結果。其實這個蛋白質他們在一九九二年就從舌乳頭表面細胞中純化出來了，但是一直不知道它的功能。現在生化學家發現，如果抑制這個蛋白的合成，實驗小鼠會因嘗不出苦味而不再排斥苦味，不過更讓人驚訝的是，小鼠也嘗不出甜味了。

簡而言之，味覺的傳導，是味道分子與舌乳頭裡味覺細胞表面的「受器」或是「離子通道」結合，因而引起一連串的反應，而造成細胞膜內外電位差改變。當這個電位差夠大時，味覺細胞就會刺激神經，然後把訊息傳入大腦。

不同味道分子的作用方式並不盡相同。比如說氫離子（酸味分子）跟鈉離子（鹹味分子）是通過細胞膜上的離子通道直接進入細胞內，因為它們帶電，所以會直接造成細胞內外的電位差改變，然後刺激神經。而其他分子像是甜味分子、苦味分子或是甘草甜味分子則會跟相對應的味覺受器（一般來說受器都是蛋白質）結合。這些味覺受器嵌在味覺細胞表面，直接跟外界接觸。

根據我們對細胞訊息傳導的了解，這些受器應該都是跟另一群蛋白質結合在一起的，這群蛋白質稱為 G 蛋白。G 蛋白活化後，會再調節另一群稱為「第二信使」的分子，由它們把訊號帶到細胞裡面。不過細胞

表面的味覺受器非常難以偵測跟純化，因為它們跟味道分子的結合非常薄弱。這當然造成生化分析上面的不便，但是卻是味覺上的一大優點。想想看如果每個味覺受器都跟味道分子形成強而堅固的結合的話，我們大概就很難快速嘗出不同味道了。

在找出味覺受器之前，馬格斯基他們先開始研究味覺細胞裡的 G 蛋白。藉由一種稱為「聚合酶鏈鎖反應」的技術，他們複製了許多舌乳頭表皮細胞的基因，尤其是那些在細胞中表現特別多的 G 蛋白次單元，然後他們發現有一個稱為「味覺導蛋白」的 G 蛋白，只會在舌乳頭表皮細胞裡面表現。

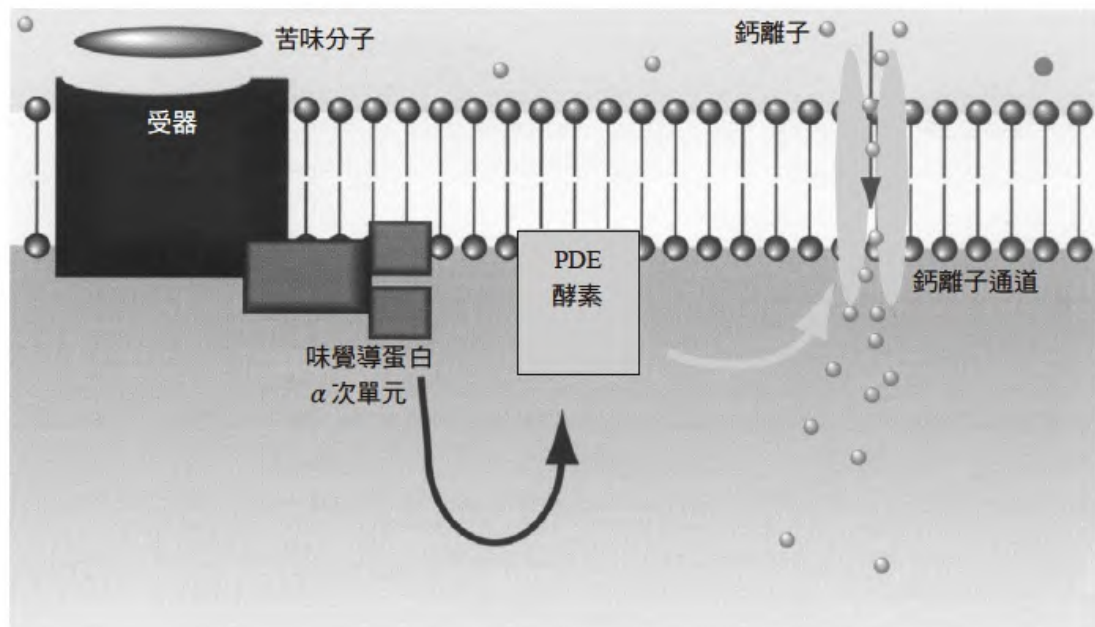
這些研究顯示了味覺跟視覺的相似性，因為舌頭裡的「味覺導蛋白」，跟眼睛裡的一種「轉導蛋白」非常相似，而這個「轉導蛋白」也是一種 G 蛋白，存在於視網膜的桿狀細胞與錐狀細胞裡。更有趣的是，馬格斯基他們後來也在舌頭裡面找到了「轉導蛋白」。

眼睛跟味蕾

發現這樣的相似性很有啟發性。如果舌乳頭的作用方式跟眼睛一樣的話，那麼味覺細胞裡的「味覺導蛋白」跟「轉導蛋白」應該會活化一種酵素（PDE），然後降低細胞內的環狀腺核苷單磷酸（一種第二信使分子）的量。第二信使分子的減少，改變了細胞表面離子通道跟其他酵素的活性，阻礙了細胞表面的鈣離子通道也阻斷了鈣離子流通。

為了證實這個假設，馬格斯基他們轉殖出一種特別的老鼠。這些老鼠從生下來，味覺導蛋白 α 次單元就沒有活性（因此味覺導蛋白沒功用），接著他們研究在餵給這些老鼠不同味道的溶液時，牠們的行為。與此同時，他們記錄老鼠顏面鼓索神經的電生理訊號。鼓索神經負責把味覺訊號傳到大腦。他們發現，當餵給老鼠酸味跟鹹味溶液時，老鼠的反應很正常。但是當餵給苦味如硫酸奎寧或是苯甲地那鉍（兩種都是苦味分子），或者餵給蔗糖、甚至甜味非常強烈的甘味劑時，神經訊號卻非常微弱。

可是為什麼甜味跟苦味的訊號並沒有完全中斷呢？馬格斯基他們的解釋是，還有轉導蛋白沒有被抑制，它平常會跟味覺導蛋白一起負責傳導味道訊號。他們下一步的實驗將是把味覺導蛋白跟轉導蛋白的基因表現同時抑制掉。



苦味訊號始於一個苦味分子跟味蕾表面的受器結合。這個受器跟味覺導蛋白之類的G蛋白結合在一起。味覺導蛋白會藉由調整進出細胞的離子流來調整細胞內外的電位差。當刺激足夠時，味覺訊號就會被傳至大腦。

鹽怎麼改變食物的味道

鹹味可以轉化跟降低苦味與甜味

有兩件事情是讓每個老饕都害怕的：痛風跟無鹽飲食。對抗痛風，他們可以盡量不吃貯放過的野味，但是對付無鹽飲食就束手無策了，只能咒罵開處方的醫師。這個懼怕其實是有根據的。在美國費城莫乃爾化學感覺中心的波尚研究團隊研究顯示，缺少鹹味並不是無鹽飲食的唯一不便之處。沒有鹽的話，無法遮蔽令人不悅的味道，也無法帶出好吃的味道。



在本書的第一部分，我們已經知道了鹽如何改變食物的質感，卻沒提到它在味覺上的影響。氯化鈉（食鹽）本身是一種味道分子，會刺激味覺上的細胞受器。除此之外它還有其他功效嗎？它們真如一般人說的會「提味」嗎？

關於這個問題，在莫乃爾中心被實驗檢驗過了。波尚博士研究了氯化鈉以及其他鹽類：氯化鋰、氯化鉀、天冬胺酸鈉等。

實驗的目的，是要解開關於「鹽的矛盾」：過去其他的研究顯示，當與其他味道配對時，鹽要麼會遮蔽配對的味道，要麼沒有影響；然而所有老饕都知道，沒有鹽的食物不只不會鹹，更是無味。又比如說，廚師會在做派的餡兒裡面加鹽（就算是甜派餡兒也會加一撮鹽），不是為了讓它變鹹，而是為了提味！

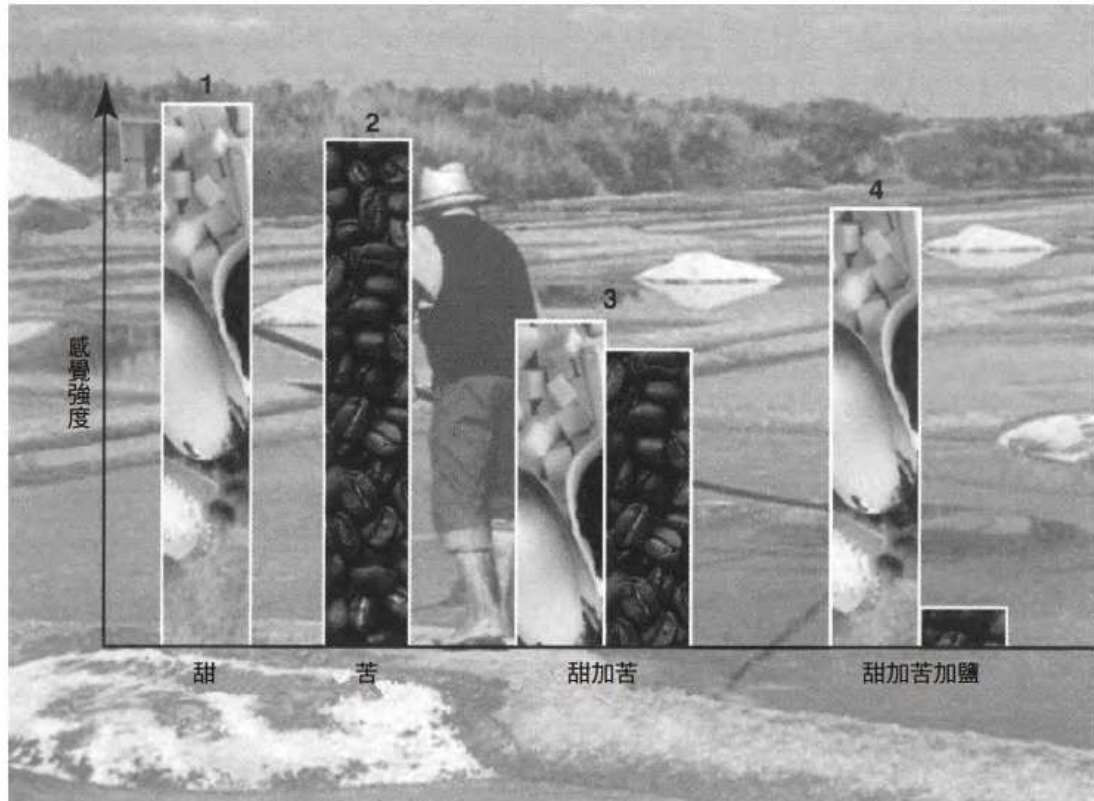
過濾味道

這些來自費城的科學家想要知道，鹽是否如傳說的會「選擇性過濾」掉不同味道，也就是遮蔽那些讓人不悅的味道（像是苦味），然後增強那些好吃的味道（像是甜味）。據他們判斷，單純把鹽跟另一個味道配對可能不夠，因此他們準備了混有一到三種下列味道的溶液：尿素（苦味）、蔗糖（一般砂糖）以及醋酸鈉（代替鹽）。選這三種溶液是有理由的：把蔗糖加到尿素裡，可以遮蔽尿素的苦味；醋酸鈉可以像鹽一樣提供鈉離子，卻沒有太多鹹味的干擾。他們準備了不同濃度的溶液來混合：尿素有三種濃度，蔗糖有四種，醋酸鈉也有三種；然後找十幾位受試者來品嚐這些混合溶液，然後記錄下受試者感覺的苦味、甜味或是其他味道的強度。

一如原本預期的，醋酸鈉也可以降低苦味。不過完全超乎過往烹飪經驗的是，鹽比糖更能遮蔽尿素的苦味：混合了蔗糖、尿素跟鹽的溶液，比起只有蔗糖跟尿素的溶液要更甜也更不苦。另外，醋酸鈉會讓高濃度的蔗糖溶液（含低濃度的尿素）變得更甜。這可能是因為原本少量尿素的苦味會遮蔽一部分高濃度蔗糖的甜味，而醋酸鈉消除了尿素的苦味。另一個實驗結果也符合這個解釋：如果只有蔗糖跟醋酸鈉的話，溶液的甜度完全不會改變。

這些結果，加上後來他們又用其他化合物所做的實驗結果，顯示了鈉離子扮演了重要的角色。是鈉離子遮蔽了苦味（很可能也遮蔽了其他難吃的味道），強化了好吃的味道。因此，鈉離子並不是「提味劑」，應該說是它改變了味道。習慣上我們會在許多食物中加鹽，像是青菜（常有苦味，如苦苣；但也很多是甜的，像胡蘿蔔跟豌豆）、脂肪或是肉裡，原因也許是潛意識裡我們希望遮蔽那些不好的味道，然後增強那些好吃的天然味道。這些實驗也解釋了，為什麼有些咖啡愛好者會在濾紙中灑一小撮鹽，因為這樣可以消除咖啡因的苦味。

雖然我們還是不知道鹽是如何刺激味覺受器來達到這樣的效果，不過至少我們知道為什麼無鹽料理讓人皺眉頭了。



在帶甜味跟苦味的溶液（三號）裡加鹽，會變得更甜也更不苦（四號）。在這個實驗裡糖溶液跟尿素溶液的濃度都是固定的。

味覺偵探

找出第五種味道的分子受器

生理學的聖杯之一終於到手了！長久以來生理學家就一直試著了解：在舌乳頭表皮中的細胞是怎樣偵測味道分子的呢？我們假設這些細胞表面有一種由蛋白質構成的「味覺受器」，味道分子會附著在上面。但是這些味覺受器是如此難以捉摸，因為它們只會跟味道分子形成微弱的結合，因此就算把舌乳頭細胞打散成蛋白質溶液，也無法把這些蛋白質受器抓出來（譯注：如果味道分子跟受器結合力強的話，可以用味道分子像磁鐵一樣把受器蛋白從溶液裡釣出來）。不過這個造成實驗困難的缺點，卻是生理學上的優勢。因為如果味覺分子跟受器的結合太強的話，那每個分子都會占據受器並刺激很長時間，我們分辨不同味道的能力就會變得很弱，品嚐食物也要用慢動作才行。然而正是因為著眼於「微弱結合」這樣的特性，邁阿密大學的生理學家找出了感覺「鮮味」的味覺受器。

一直以來我們都認為舌頭只能嘗出四種味道：酸、甜、苦、鹹，不過這並沒有真正經過縝密的驗證。一九〇八年，日本東京帝大的池田菊苗教授（日本味之素公司創辦人之一）找出了穀胺酸鹽（是穀胺酸這種胺基酸的離子鹽，也就是味精），帶有特別的味道，不是酸甜苦鹹的任何一種。

這個「第五種味道」的觀念還要經過很久的爭執，最後才被大家接受，特別是在大量使用味素的亞洲菜在西方世界普及之後。我們甚至發現許多動物也嘗得出這種味道。為什麼呢？也許是因為穀胺酸鹽存在許多富含蛋白質（也就是胺基酸長鏈）的食物中，像是肉類、奶類以及海鮮中。偵測這種味道對於個體來講十分重要，因為這訊號是「飽足」的關鍵。我們並不會因為胃被脹滿而停止吃，而是因為大腦接受了感覺系統傳來的訊號，告知身體已經吃進了夠量的食物，才停止吃。

從嘴巴到大腦

在邁阿密大學的喬德哈里團隊，根據十年前（約一九九二年）法國馬錫神經生理實驗室的佛荷安等人的研究成果：既然穀胺酸鹽也是一種神經傳導分子，也就是說腦中神經細胞彼此傳遞訊息用的分子，由一個神經細胞釋放去刺激另一個神經細胞的受器。那何不找找看在舌頭的味覺細胞中，有沒有長得像神經細胞訊息受器的分子呢？

從這個主意出發，喬德哈里他們先尋找那些跟 G 蛋白黏在一起的蛋白質（見第二部第四章）：因為味覺細胞的受器一般都嵌在細胞膜上，並面對外面，而 G 蛋白則在膜裡面，緊黏在旁邊；受器接受刺激後，透過 G 蛋白把訊息傳入細胞內。後來他們果然找到了一個蛋白質長得跟神經細胞的「穀胺酸促代謝型受器」極為相似，但是這個受器胺基酸序列並不完整，他們稱它為 mGluR4。

尋找味覺受器

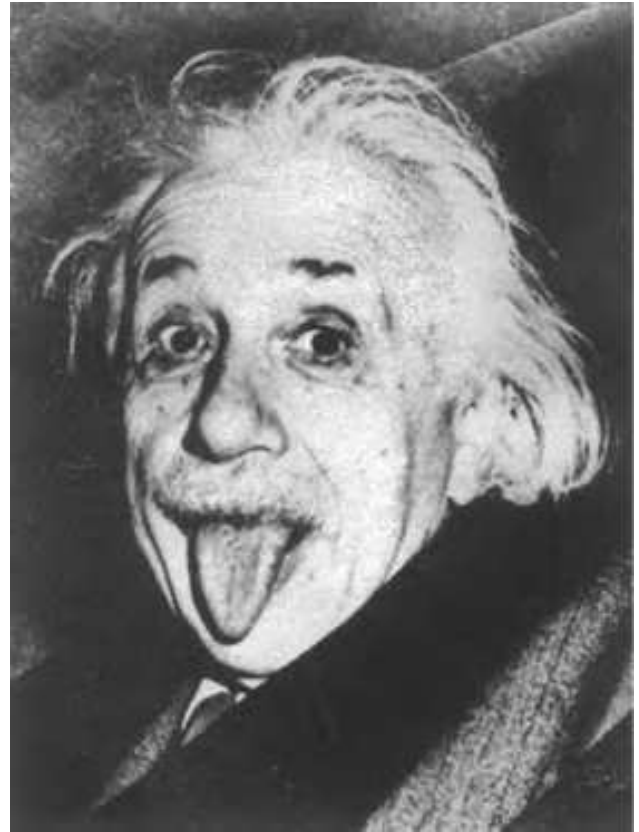
在大腦中，完整的受器因為結合力強，可以偵測到極微量的穀胺酸鹽。這樣的受器如果放在嘴裡的話，因為食物中味素含量高，應該一下就會飽和了。喬德哈里的團隊指出，這個截短後的受器，可能就是為了適應嘴裡面的環境而演化出來的。跟腦中的受器的胺基酸序列比較，喬德哈里他們發現大鼠味覺細胞中的受器比較短，少了前面三百個胺基酸，而且跟味素的結合力也非常弱。尤有甚者，活化這個 mGluR4 所需要的味素溶液濃度，跟生理學實驗上大鼠所能夠嘗出的最低濃度，差不多是同一個濃度等級。

為什麼這個少了一半的受器，跟味素的結合力就比較弱呢？喬德哈里他們發現，這個蛋白質的結構很像一種細菌的蛋白質，而我們對這個細菌蛋白質的結構做過詳細結晶學的研究。這個細菌蛋白質有兩個地方會跟味素結合，而 mGluR4 缺少了其中結合力比較強的那段。

科學家們最後當然還是要問，mGluR4 是不是真的就是味素的味覺

受器呢？也許 mGluR4 到頭來只是大鼠的另一個神經訊息受器，不過很多證據可以證明並非如此。

首先，還有其他味道分子會刺激 mGluR4，而大鼠似乎分不出這些分子跟味素的差異。這其實在預料之中，因為佛荷安她們已經觀察到大腦跟舌頭對這些味道分子的反應是一樣的。另外一點是，mGluR4 只會在舌乳頭表皮細胞中合成。最後，不管是完整的或是少一半的 mGluR4 都只有在舌乳頭細胞中被找到，而不存在嘴裡的其他地方，所以應該只跟偵測味道有關。



這個發現引出許多其他問題：mGluR4 是唯一的「鮮味受器」嗎？它會不會偵測其他味道分子？舌頭裡的味覺細胞，每個是不是只表現一種味覺受器？找出鮮味受器只是序曲，因為生理學家們已經找到其他類似的蛋白質，也是味覺受器。此外了解 mGluR4 還有應用之處，那就是可以藉由分子的模型來預測，還有哪些分子會跟它結合。

用電腦來找新的味道分子也許指日可待。

苦味

我們知道味道不只有四種（酸甜苦鹹），
而生理學家還找出了連苦味都有好幾種受器

在一九九四到九五年時，嗅覺生理學家的研究有了重大突破，藉由分子生物學的技術，他們找到了鼻子裡構成嗅覺受器的蛋白質。而此時我們對舌乳頭表皮味覺細胞中的味覺受器，卻仍是一無所知。現在這個空白漸漸被填補起來了，在美國邁阿密大學的卡伊塞多與洛普的研究顯示，舌頭可以區分許多種的「苦味」。

在兩千年時，當初找到「嗅覺基因家族」的科學家之一巴克博士，又找到了一群類似的蛋白質，它們命名為「苦味受器」。接著其他科學家發現，這家族裡每一種受器，都只對特定苦味分子有反應。然而在此同時，還有研究指出，一個味覺細胞裡可以表現出許多味覺受器的「訊息核糖核酸」（訊息核糖核酸負責控制細胞裡味覺受器的製造），因此合理的推斷是，「一個」味覺細胞應該可以偵測「數個」不同的味道。

根據對大鼠、猴子與人的神經生理實驗結果顯示，這些動物都可以區分許多種不同的苦味。這種能力的生理基礎是什麼？到底一個味覺細胞只能偵測一種味道，還是可以偵測多種味道？這些問題很煩人，不過我們會懷疑其他科學家的研究成果，那是因為從舌乳頭細胞到大腦中間的訊息傳遞，夾雜著非常多干擾，並沒有那麼容易分析。

邁阿密大學的生理學家們，想用一種新的影像技術來解決這些問題。當味覺受器受到刺激時，細胞表面的鈣離子通道會打開而造成鈣離子流。藉由細微滴管之助，他們把一種螢光顏料注入單一細胞裡面，這種顏料會隨著鈣離子濃度不同而變色。螢光顏料的好處是可以被雷射所激發（因此可以跟沒有染色的細胞區分），然後螢光顏色的變化可以被一種「共軛焦顯微鏡」觀察並記錄下來。這種技術的特點是，不需要切片或分離就可以看到組織裡面的細胞生理變化，所以可以「即時」偵測

味覺細胞受到不同苦味分子刺激的狀況。

一些苦味化學物質如環己醯亞胺可以引起強烈卻短暫的鈣離子變化，而其他苦味分子像是苯甲地那鉍、八醋酸蔗糖酯、苯硫脲以及奎寧則會引起較弱但是較持久（可長達數分鐘）的刺激。他們發現這幾種分子刺激細胞所需的最低濃度都不一樣，而刺激的強度隨著濃度增加而增加。此外，這些細胞生理上面的記錄，跟動物行為學上量到的最小濃度（餵大鼠不同濃度的上述苦味溶液，然後記錄他們的反應）相當吻合。

五種苦味

在經過非常詳細的研究後，他們發現在觀察的三百七十四個細胞中，只有百分之十八的細胞（約六十七個細胞）會對一種或是多種低濃度苦味分子有反應。而在那些有反應的細胞裡，百分之十四對環己醯亞胺有反應；百分之四點五對奎寧有反應；百分之三點七對苯甲地那鉍有反應；百分之二點四對苯硫脲有反應；百分之一點六對八醋酸蔗糖酯有反應。

整體而言，苦味細胞在一個舌乳頭所有表皮細胞中所占的比例，約等於苦味細胞在所有受測細胞中的比例。他們沒有找到「專門偵測苦味」的舌乳頭（事實上每個舌乳頭表皮上分布有偵測不同味道的味覺細胞），而苦味細胞在舌頭上的分布跟比例，與訊息核糖核酸的研究吻合。這個實驗再一次證實了（不過這次是從細胞生物學的角度），不同於過去大家普遍接受的假設，舌頭上面並沒有特定的味覺區塊。

那每個苦味味覺細胞都會對上述五種苦味溶液產生不同的反應，還是一種細胞專司一種苦味？卡伊塞多跟洛普他們對同一個細胞用五種溶液連續刺激的結果發現，大部分會對苦味有反應的細胞都只對其中一種有反應，而鄰近的細胞可能對另一種溶液有反應。

有四分之一的細胞會同時對兩種苦味的溶液有反應，有百分之七的細胞會對兩種以上的苦味有反應。上述兩群細胞是互斥而彼此沒有關聯

的，同時增加苦味溶液的濃度並不會改變觀察到的苦味細胞比例，顯示這些細胞相當專一。

找出能偵測「眾多」苦味分子受器（苦味再也不是單一味道了）的結果，也解釋了動物行為學的研究結果，特別是解釋了動物有區分不同苦味的能力。每種苦味味覺細胞的神經，無疑的應該會聚集成一束，然後把特定苦味訊號送到大腦裡。

現在剩下的工作，就是要幫不同的苦味命名囉！

環己醯亞胺



奎寧



苯甲地那銨



苯硫脲

小心嗆辣高熱！

為什麼辣椒灼口？

怎樣做出一道完美的菜餚？廚師很自然的會想到各種傳統食譜，然後把已經被歷史驗證過無數次、那些應該會調和的食材拿來混在一起。不過如果還能夠考慮到，那些被混在一起的食材分子，要能夠調和的刺激味覺、嗅覺、熱覺、機械性感覺受器，甚至是辣覺受器，豈不更好？



不過要實踐這樣的想法，目前還缺少一些詳細的基礎。我們知道甜味可以遮蔽酸味跟苦味，或者鹹味可以帶出其他味道，但是對於這些分子作用機制的了解卻還不足夠。比如說，為什麼辣椒會讓嘴巴有灼熱感？又為什麼嗜辣者可以忍受那些極辣的菜餚，而不吃辣的人卻連一點點也受不了？又為什麼我們會喜歡吃這些應該是會帶來痛苦的東西呢？在加州大學舊金山分校的朱里斯教授等人，研究了辣椒素（辣椒主要的辣味分子）的受器，而解答了這些問題。

數十年前，在人類生理學上有一些重大的突破，那就是關於嗎啡以及衍生物在腦中作用機制的研究。如果人類腦中有嗎啡的受器，那代表腦中應該有類似嗎啡的分子才對。這個預測是正確的，不久之後我們就發現大腦會分泌內生性鴉片，也知道了身體如何利用這些化學物質來調節痛覺。

因此，朱里斯等人也認為，既然人類會吃那些帶有辣味分子的食物，必定是因為我們有這些分子的受器，特別是應該有類似的內生性分子，而且很可能痛覺系統的調節有關。

那要如何找出這些受器呢？他們找出嘴裡對辣覺有反應的神經細胞，把它們的訊息核糖核酸分離出來，然後再把它們反轉錄回去成為去氧核糖核酸（譯注：去氧核糖核酸代表細胞全部的基因，但是只有被用到的基因才會轉錄成非常不穩定而小片段的「訊息核糖核酸」。因此把這些訊息核糖核酸分離出來再反轉錄回去成為穩定的去氧核糖核酸，就可以知道細胞用了哪些基因）。他們把這些基因放進不同細胞中去表現，然後看看哪些細胞會對辣椒素有反應。最後他們終於找到了一個受器，稱為VR1。他們把VR1的基因放進體外培養的青蛙卵細胞裡去研究。

他們發現這個VR1其實是一個細胞膜的通道蛋白質，也就是說會在膜上形成調節細胞內外離子濃度的離子通道（特別是鈣離子）。它有四個次單元，當受到辣椒素刺激時，這個通道會打開。

這個研究跟美食有什麼關係？早期的心理生理學研究，已經建立了一個類似芮氏震度計的「辣度指標」，這是由美國化學家斯柯維爾所建立的。根據電生理儀器的測量，當辣椒素濃度增高時，受到刺激的青蛙卵細胞（帶有VR1），訊號也隨之增加，想必換成是腦中神經細胞，應該也有類似反應。這實驗同時也提供了辣度指標的科學基礎。

朱里斯等人也指出，辣椒素是油溶性，當它溶在油裡時，可以從神經細胞外面或裡面刺激VR1。辣椒素的油溶性解釋了為什麼喝水無法止辣，但是吃點麵包卻比較好。

為何習慣吃辣

第三個跟辣味受器有關的發現是，為什麼有人會習慣吃辣？對於VR1的刺激會導致鈣離子流入細胞內，然後當細胞內膜電位超過一定程度就會產生一個神經訊號。然而，當細胞裡面有過多的鈣離子卻對細胞有害。帶有VR1的青蛙卵細胞，在經過數小時連續的辣椒素刺激之後就會死亡。無疑的，這是因為過多的鈣離子湧入細胞裡面的關係。

為什麼嗜辣者習慣吃辣，似乎是因為舌頭上神經細胞的死亡。這也解釋了為什麼辣椒素可以治療因病毒感染或是糖尿病引起的神經性病變，或者是類風濕性關節炎：藉由殺死痛覺神經來達到止痛的目的。

最後，生理學家也測量了，當溫度快速增高時，也會引起鈣離子經由VR1 進入細胞裡，很像受到辣椒素刺激時的情形。因此VR1同時是一個辣覺也是熱覺受器，這解釋了為什麼辣椒讓嘴巴噴火。



辣椒的辣度是由斯柯維爾辣度指標來描述：墨西哥guajillos辣椒（左）有三千斯柯維爾單位，圭亞那紅辣椒（Cayenne辣椒，中）有四萬個單位；墨西哥habaneros辣椒（右）則有三十萬個單位。斯柯維爾指標是由辣椒素的濃度所決定的。

冷的味覺

冷或熱都會引起味覺，就算沒有食物也一樣

關於味覺生理學的研究最近幾年正有一波波的新發現。我們找到了辣覺的分子生理基礎，也在味覺細胞裡面找到了味覺的生理機制。二〇〇〇年四月，找到了第一個（終於）味覺受器：鮮味受器。現在味覺生理學家有許多工具來找出其他味覺受器。不過接下來被找到的這個卻出人意料，因為它是一個溫度受器：改變舌頭表面的溫度就會引起有味道的感覺，即使其實完全沒有味道分子存在！



當我們吃東西時，不同的食物分子會刺激各種受器，像是鼻子裡的嗅覺受器，舌頭上舌乳頭表面細胞中的味覺受器，痛覺受器（吃辣的時候），還有感覺機械性動作的受器以及溫度受器。這些感覺是怎麼彼此作用，然後統合在一起形成一種「味覺」呢？我們一直以為這些感覺應該是分別藉由神經細胞，一個接一個的傳到大腦的某區，然後在那裡有個中心會解讀這些訊號，把它們統整成為一種「味覺」。不過數年前神經電生理學家了解到，這個假設似乎無法解釋味覺。所有味覺訊號在傳到第一個神經中繼站時就已經被統合了，也就是說，味覺的統整是在舌頭上。

加熱舌頭

為了了解這種統合之後的生理結果，在耶魯大學的克魯茲跟格林開始研究食物的溫度對於味覺受器的影響。他們對受試者的舌頭用熱電極（可以藉由電流來調整溫度的儀器）來刺激，因此他們也「重新發現」了「熱味覺效應」：一種由冷或熱所引起舌頭上的味覺。其實三十五年前已經有人發現這種效應，不過當時是被用在一個錯誤的理論中，所以後來被遺棄了。

並非所有受試者都有類似的熱味覺效應，不過，對於大多數受試者來講，在舌尖加熱（到攝氏三十五度）會產生輕微的甜味，而如果冷卻舌尖（到攝氏五度）會造成酸的味覺，或者有一個受試者報告有鹹味。加熱舌根的話只會造成很弱的甜味，但是冷卻會帶來比較明顯的味道，或者是苦或者是酸。有一部分受試者則完全沒有感覺到任何味道。

這個奇怪的現象值得探討。克魯茲跟格林首先試著建立溫度跟味道強度之間的關係。他們發現舌尖所感覺到的甜度，隨著溫度增加（到三十五度）而增強。而隨著溫度降低，酸味漸漸變成鹹味。而既然有受試者指出舌尖跟舌邊緣會有不同的感覺，他們也仔細印證了這些感覺：熱味覺效應造成的甜味在舌尖最強烈，而造成的酸味則在舌邊緣較明顯。



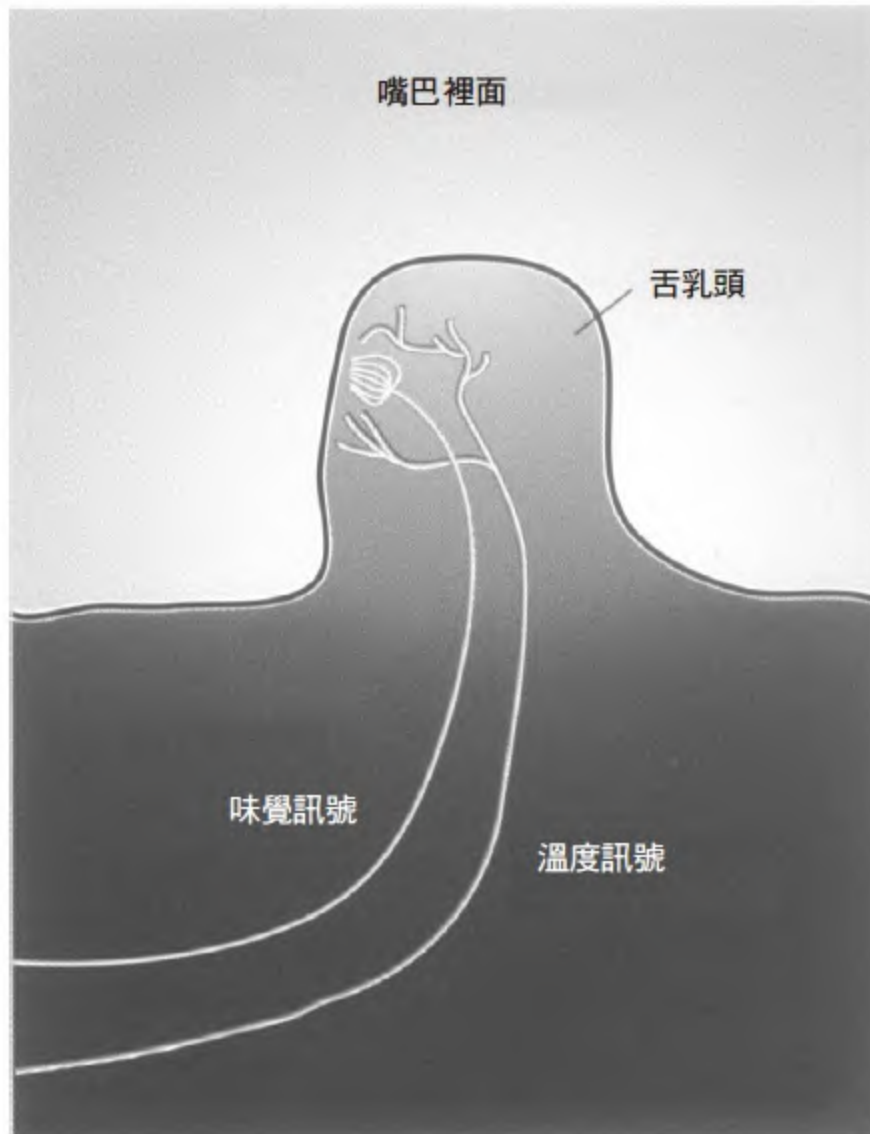
解決矛盾

要怎麼解釋這些結果呢？我們知道有兩對腦神經纖維遍布在舌乳頭中，一條是鼓索神經（屬顏面神經第三分支），會傳遞與味覺有關的訊號；而三叉神經的第三分枝（下頷神經）中的舌神經分枝則遍布在舌乳

頭的表皮細胞中，靠近味蕾附近（味蕾是一群特化的表皮細胞，在舌乳頭上），它負責傳遞溫度、痛覺以及觸覺。由此可知，在嘴巴中溫度跟味覺的接收器是非常靠近的。

因此，也許溫度的改變會連帶刺激到本來負責傳遞味覺的神經。根據這個假設，我們可以藉由只刺激味覺受器來阻斷熱味覺效應。反過來說，如果熱味覺效應並不是因為刺激到正常味覺受器所引起的，那麼阻斷味覺受器並無法阻斷熱味覺效應。這已經有人在實驗了。

那麼廚師可以怎麼應用這種熱味覺效應呢？其實因為我們並非只用舌頭特定區塊來品嚐，熱味覺效應在日常飲食中影響極小。不過呢，大家還是可以試試看自己是不是有「熱味覺效應」的人，只要用舌尖去尝尝一塊冰塊，或是用舌尖尝尝一杯溫水。



在舌乳頭中，熱覺受器（右）跟味覺受器（左）相當靠近。

咀嚼

了解咀嚼，可以幫助我們思考如何料理食物

那位發明早餐玉米片的家樂氏博士曾建議：一個健康的生活是建立在

細細咀嚼上。「咀嚼吧，咀嚼！」他的理論其實只是一個古老東方傳統的化身，那就是「每一口白米飯都要咀嚼一百次」。一次、十次、一百次……不過，為什麼我們要咀嚼呢？這當然是為了把食物切成小塊，然後藉由口水潤滑，才比較容易進入消化系統。不過在倫敦牙科研究所（位於皇家外科學院裡）的盧卡斯與龐茲卻找到咀嚼的其他功能。在毫不注意的情況下，我們會一直咀嚼直到食物被口水黏住，並被壓縮成一個食團吞下，而將小食塊誤入氣管的危險降至最低。因此，不同食物會有不同的最小咀嚼次數。



藉著宣稱「動物餵食，人類品嚐」，布希亞薩瓦杭想要忽略我們的動物天性，這天性也同時困擾著那些啟蒙時代的貴婦人：她們因此視慕絲為流行，因為慕絲可以讓她們「避免那醜陋的咀嚼動作」。但是想想那些香脆的食物，或黏牙的口感，為了能享受所有烹飪能帶來的快感，還是接受我們的人性跟生理學特性，好好享受美食吧。

咀嚼可以把食物切成直徑小於咽喉的尺寸以便吞嚥。不過我們通常會咬得比那更多，因為身為一個耗能的哺乳類動物，我們還會藉由咀嚼來增加食物跟酵素作用的表面積，因此咀嚼也間接地加速了食物的吸收速度。

龐茲跟盧卡斯建立了一個模型，用來了解在咀嚼時，口水分泌如何能確保食物黏合。他們的模型考慮了許多作用在食物顆粒上的力量，比如食物顆粒之間的沾黏力，以及食物與口腔的沾黏力。這些力量與口水的分泌以及咀嚼時擠出來的汁液有關。

當咀嚼時，小顆粒的食物比大顆粒的食物要難切成更小塊；此外依照不同食物的物理特性，它們會被分成不同數量的小塊。為了簡化這個問題，兩位英國學者假設每個食塊都被分成球體，然後他們計算要把這些球體聚在一起的表面張力是多少。

最後，龐茲跟盧卡斯認為，當食塊彼此的黏合力超過食塊跟口腔的黏合力時，食物才會聚集在一起。藉由電腦的計算，他們考量了不同作用力的影響，也參考了許多人類生理學研究的參數，最後得到的結論是，當兩種食物的質地相差很大時，最少要咬一百五十下才可以把食物咬成一個食團，比如說在咬生胡蘿蔔（比較難被咬碎）以及巴西栗（很容易被咬碎的堅果）時。

電腦計算也顯示食團的黏合力，在開始的時候很弱，接著快速增加，然後在咬二十幾下時最大，然後當食塊愈變愈小時開始降低。

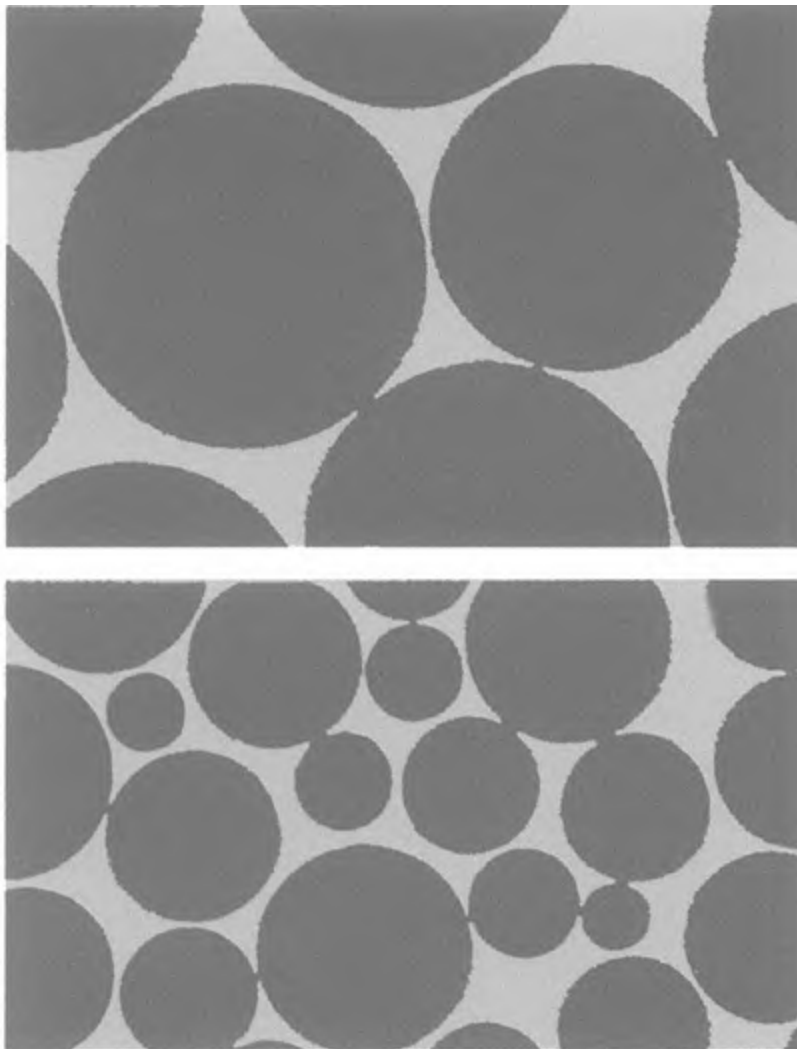
要怎麼驗證這個模型呢？他們找受試者咀嚼食物後再吐出，測量食團的黏合度，然後跟電腦的計算做比較。基本上兩者大致吻合，不過實際上受試者咀嚼次數都略高於電腦計算的次數。當然這是因為人並不是機器，「創造者造人時，強迫他以食維生，誘以他食欲，賞以他滿足」。既然吃是快樂的，我們藉咀嚼延長這個快樂，而非僅是為生存所需將食團黏在一起。

咀嚼模型與烹飪

這樣的模型可以怎樣應用在烹飪上呢？依照食物材質不同，我們可以選擇增加或減少咀嚼次數。我們觀察到加入引起口水分泌的成分（比如說單寧），或是增加液體讓牙齒咬出比較多汁，會減少食團的黏合

度，因而延長咀嚼的時間。是否因為如此，老饕常會在吃飯時喝富含單寧的紅酒呢？

增加食物黏合度應可增加吸收的速度，不過這也是讓食品工業在做纖維食物時困擾的一點，咀嚼次數減少意味著釋放出較少的香味分子。一般來說，「身體會自動偵測咬一口食團所需的最佳咀嚼次數」這種假設，應該可帶給廚師一些點子去使用黏的、Q 的、乾的、吸水的……等食材。



食塊在剛開始被咬（上）以及咀嚼之後（下）的分布。

肉的嫩度

用咀嚼來認識肉的「嫩度」及「多汁性」

在不到十年的時間之內，肉的嫩度變成品質最重要的指標。我們知道老饕都不會吃硬梆梆的肉。不過，到底什麼是「硬梆梆的肉」，反過來說，什麼又是「嫩肉」？我們似乎忘記了，肉不是一塊「奶油」，而它的質地軟硬其實屬於肉的本質一部分。我們其實也常常把肉的「硬梆梆」跟「少汁」以及「需要咀嚼很久才能吞下去」當成同一件事。為了了解肉的結構跟質地之間的關係，位於帖依克斯的國立農業研究所的科學家們，用不同方法準備了好幾種牛肉，然後分析這些樣品咀嚼起來的感覺。



長久以來，我們都誤把肉品的「質地」跟它的「物理結構」當成同一件事。其實「質地」應該跟咀嚼肉品時，物理與化學刺激造成的心理反應比較有關。依據感官受器接受到的刺激，我們會調整咀嚼食物的機械動作。在不斷地咀嚼之後，肉的結構被改變了，質地也才會顯現出來。那要怎樣了解肉的質地呢？

米歐契、居里歐里、馬托尼耶以及德安斯菲爾德等人研究了這個問題。他們研究了「品嘗者的感覺」、「肉的物理特性（抗壓性、切開的難易度）」以及「咀嚼時肌肉的電生理訊號」之間的關連性。研究樣品是用各種不同方法準備的牛肉：有些樣品在屠宰之後立刻冷凍，讓肉品變得堅硬（硬到連烹飪都無法改變性質）；有些樣品在攝氏兩度下經過長時間低溫熟成。還有些肉品分兩組，都先經過攝氏六十度或是八十度的烹煮，然後一組用機器分析，另一組由經過訓練的品嘗者去分析肉的

彈性、剛開始的嫩度、整體嫩度以及咀嚼時間（咀嚼到可以被吞嚥的時間）。當品嚐者咀嚼的同時，科學家也記錄他們顫肌與咬肌的肌電訊號。

實質的硬度

機械性的測量結果，證實了在帖依克斯建立多年的研究結果：立即冷凍會讓肉的「抗壓性」以及「難切性」增加三到四倍。相反的，低溫熟成的過程則讓這兩個物理特性降低。此外，在較高溫烹煮後（八十度）會增加肉的抗壓性，但是不影響切開的難易度。最後，造成不同肉類樣品差異主要原因，在於「肌原纖維蛋白」（負責肌肉收縮），以及包覆著肌肉的結締組織（由膠原蛋白所構成）。在品嚐肉品時，個別品嚐者也有很大的差異，對於相同的一塊肉，大家反應都不相同。低溫熟成以及烹煮溫度會影響他們在咀嚼時的感覺，但是在肌電生理訊號的紀錄上卻沒有差異。

在受測時，品嚐者會記下他們的感覺。他們都能正確指出最硬的肉：肉的種類、保存方式以及烹煮的溫度會影響他們的感覺，因此會改變他們的咀嚼方式。不過他們記下的感覺跟科學家所預期的並不一樣。比如說，肉的「彈性」跟「起始嫩度」未必一致；而肉的「多汁性」卻跟「起始嫩度」有關，但卻與肉的「彈性」無關。多汁性受「烹煮溫度」的影響甚多，但受保存肉的方法影響較小。有趣的是，肉含水少未必代表「較少汁」，直到今日，我們仍然不知道一般所謂「多汁」到底是什麼機制，是在肉中與在嘴巴中水分的多寡？還是脂肪多寡？抑或是咀嚼時引起口水分泌多寡？

總結起來，品嚐者可以將肉分成五組。最嫩的肉是熟成最久的肉品，最硬的肉則是屠宰後立即冷凍的肉。增加熟成的時間只對在攝氏八十度烹煮的肉有影響。而在攝氏六十度烹煮的肉會比在八十度烹煮的肉要來得嫩。肉的「多汁性」與烹煮溫度最有關，跟肉保存或是熟成無關，跟肉的種類也較無關。肉咬成食團所需的時間也跟烹飪溫度有關。

口感的可信度

結果，機械性測量、受試者的感覺還有肌電訊號紀錄，對於肉的嫩度都顯示出一樣的結果。剛開始咬幾口的感覺並不足夠，需要長時間的咀嚼才足以判斷。相反的，肉的「多汁性」則應在剛開始咬時就下判斷，因為這是判斷肉的一般特性，不能在嚼習慣了之後才判斷。

這樣的實驗也提供了許多資訊給研究方法學。它指出了用人的感官去判斷不同樣品是最靈敏的。關於肉的感官刺激，人類在咀嚼過程中可以比機器提供更詳細的資訊。關於肉的彈性、嫩度與硬度，最好的指標是咀嚼的次數，相反的關於肉的多汁性，抗壓實驗是最好的指標。我們知道品嚐者會因食物不同而調整他們的咀嚼方式，不過他們會在咀嚼的哪一個階段調整？需要再研究。

測量香味

愈細嚼慢嚥，愈能聞到食物的香味

我們在吃飯的時候，鼻子聞到的是什麼味道呢？有很長一段時間這一直是個無解的問題，因為我們沒有辦法在鼻子嗅覺受器旁邊直接做化學分析。從一九九六年開始，英國諾丁漢大學的泰勒與林佛斯，就跟日內瓦芬美意香料公司合作，嘗試用儀器來研究「咀嚼時食物香味分子是怎麼被釋放出來」這個問題。他們的結論是，同一種食物對不同人來說，香味各不相同。



食物的香味對味道來說非常重要。香味通常是在咀嚼的過程中揮發出來，然後經由後鼻窩跑進鼻腔刺激嗅覺受器。不過這些味道很難分析，因為這些分子會跟唾液以及其他食物中的成分交互作用，別忘了，食物的香味並非各種化學成分單純地混合在一起。

因為氣味分子存於食物的蒸氣中，科學家們曾試著去測量食物上方空氣中的香味濃度。但是因為咀嚼、呼吸跟唾液分泌都會改變香味分子釋放方式，所以不能直接這樣量，必須要在吃東西的時候測量「嘴巴中」的香味濃度。

泰勒等人使用新式質譜儀來直接測量受試者咀嚼時「呼吸氣息」中的香味濃度。這些帶有香味的氣體會被注入機器的游離室裡，在這裡有一根通電的探針會將水分子電離，被游離出來的氫離子會把它的電子傳給氣味分子，然後這些帶電的氣味離子形成離子束被一連串帶電的電極板吸引後，被注入一個聚焦室裡聚集，之後送到機器的分析室裡。

細嚼慢嚥的智慧

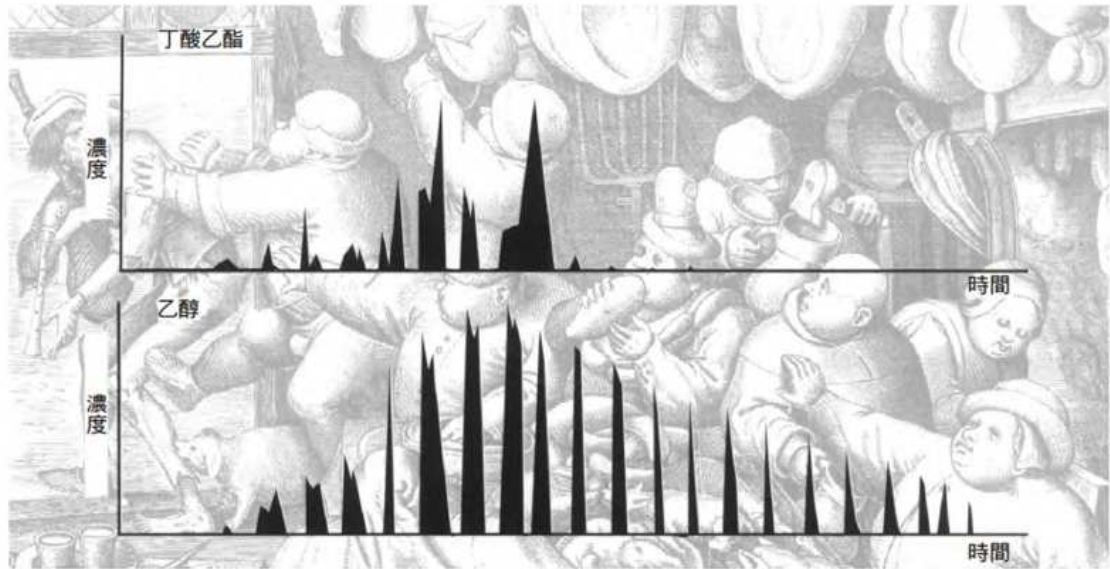
藉著這種新式儀器之助，泰勒等人先研究由明膠跟蔗糖所組成的簡單膠體，如何在咀嚼時釋放出其中的揮發性氣體（比如說丁酸乙酯，可以在水果例如草莓裡面找到，還有乙醇）。他們把一根集氣管放在受試者的鼻孔中而不影響他們呼吸，然後收集一部分鼻中氣體。

初次觀察的結果一如預期，分子的濃度隨著呼吸的頻率而有周期性的改變，他們於是想要知道在每次呼吸時，每種分子可以測得的最大濃度是多少。以丙酮為例，每次呼吸能測到最大濃度都一樣，因為丙酮這個分子是肝臟代謝脂肪酸後的產物，平常就存在呼吸中，因此是背景值。

而丁酸乙酯以及乙醇（酒精）就不同了，它們只存在膠體中，因此只有在咀嚼時才會被釋放出來。丁酸乙酯可以在咀嚼時被測到一分鐘左右，而乙醇則久一點。因為乙醇可以溶在水裡，所以被釋放出來之後一部分會溶於唾液裡，一部分存在空氣裡。空氣跟唾液中的酒精會彼此交換，這種交換是由咀嚼引起的，而可以一直持續到咀嚼結束之後。

這個實驗結果也如口香糖製造商所假設的：香味的釋放跟咀嚼的速度以及口香糖的柔軟度有關。此外，比較三個人吃相同的食物（含有乙醇、正丁醇跟正己醇的膠體）的結果顯示，「香味不平均」效應的存在。在不同的受試者口中，香味釋放的情況也都不一樣。在呼吸氣息中能測到的最大香味濃度，以及釋放最大香味所需的時間，跟受試者咀嚼的速度有關。咀嚼快的人所能測到的最大香味濃度比較低，無疑的這是因為他們把膠體咬碎得比較不完全。因此布希亞薩瓦杭是對的，他說：

「狼吞虎嚥之人無法嘗出令人印象深刻的味道，這僅是一小群菁英的特權。也因此，他們才能夠將那些送給他們評鑑的菜餚分出等級。」



受試者一邊咀嚼明膠膠體，一邊測量呼吸氣息中兩種揮發性的氣體濃度。每一個峰值代表一次呼吸循環。

小孩的口味

觀察孩童在托兒所的行為揭露了他們未來飲食習慣的改變

愛好美食的父母總是不斷逢人就喋喋不休的抱怨：小孩只愛澱粉類食物，像是麵、米跟馬鈴薯；或者愈淡的乳酪愈受歡迎，愈無味的肉類像是雞肉也受歡迎。為什麼嬰兒喜歡從這些無味的食物開始他們的飲食之路？怎樣才能將他們導入「正軌」呢？心理學家跟社會學家應當可以研究小孩如此讓父母失望背後的

「生物動機」，不過這次卻是感官與生理學家先來做實驗，探索孩童的食物選擇與這些選擇的演變。



這個實驗是從一九八二年開始到一九九九年，在第戎醫院的葛發雷托兒所進行，而直到最近才開花結果。它的對象是二到三歲的幼兒，基本原則是讓幼兒在午餐的時候可以自由選擇餐點。實驗時每次午餐會提供八種食物：有麵包，兩種前菜，一種肉類、肉製品或是魚肉，兩種蔬菜或是兩種澱粉類食物，兩種乳酪。因為幼兒天性受甜味吸引，所以甜點只被用來當零食而並不包含在名單裡。幼兒吃完可以再拿，但是在同一餐裡同一種食物不可以拿超過三次。每一年都有二十五個幼兒受試，而導師會安排並記錄下幼兒的選擇。八種食物都被同時擺放在桌上，幼兒可以自由選擇想吃的，也可以什麼都不吃。在整個系列實驗結束時他們大概準備了總共一百一十種餐點，而共有四百二十位幼兒受測。

最近，在第戎國立農業研究所香味實驗室的妮可勞絲跟伊桑姝，跟第戎醫學院的波吉歐合作，對累積的資料抽絲剝繭加以分析。他們的問

題很多，像幼兒都吃哪些東西？他們有沒有特別討厭的食物？當他們選擇不同的食物時要怎麼解釋？他們的喜好有差異嗎？是因為幼兒的個人差異嗎？對這些問題，剛剛出爐的研究結果給了許多答案以及新的資訊。

喜歡淡口味

首先他們觀察到，如同父母說的，幼兒特別喜歡澱粉類食物，還有肉類。對乳酪的選擇，他們偏好味道淡的、質地軟的。二到三歲的幼兒極少選擇洛克福藍紋乳酪（以發霉與口味重而聞名）。也許大一點的小孩會變成乳酪愛好者，但是在包尿布的時候恐怕還不會。關於澱粉類食物，幼兒偏好麵、米飯或薯條，而較不喜歡麵包則是此時期的特徵。整體而言最受歡迎的食物有：薯條、生豬肉香腸、法式鹹派、義大利麵、煎魚排、米飯、馬鈴薯泥、火腿以及牛排。這些結果一如預期，不過這次比較科學量化。

醬料讓食物被接受

不過關於對肉類的選擇，就令研究者驚訝了。幼兒對於肉類的選擇幾乎沒有區別，烤豬肉、小火雞肉、烤小羊腿排或是內臟類都可以。至於蔬菜（雖然比肉類較不受歡迎）幼兒的偏好就比較明顯受到蔬菜種類以及料理方法的影響。比如說菠菜泥，很多人認為幼兒一定會討厭，卻是最常被選擇的當然是要灑上白醬之後。其他的蔬菜像是苦苣、包心菜（不管生的或是熟的）、番茄或是四季豆對幼兒的吸引力則很低，似乎是質地較硬的、纖維較多的（因為難以咀嚼）東西會被拒絕，帶有明顯苦味的也不受歡迎。

為什麼孩童選擇這些食物呢？妮可勞絲她們試著把這些選擇跟食物的營養價值做連結。結果發現，含熱量愈多的食物愈容易被孩童喜歡（不過乳酪除外）。這觀察的結果，是因為幼兒的口味仍受其本性影響嗎？我們知道給嬰兒嘗酸甜苦鹹四種味道的溶液時，嘗到酸味或苦味他

們會皺眉顯示出厭惡，嘗到甜味則會顯現出高興的表情。這其實跟以水果為主食的猴子一樣，都會以甜味來代表含熱量高的分子（如糖類），而苦味則代表毒性生物鹼。不過漸漸地，經由文化影響與制約，幼兒學會品嚐不同的食物。制約使得幼兒的大腦，可以將「飽足」與「吃到『不甜』的高能量食物分子」做連結，特別是脂肪類的食物。文化的影響，解釋了為什麼某些很小的幼兒，在吃到「味道很強烈」的食物時，會顯現出美味的表情，而其實生物本能應該會選擇拒絕這些食物。

一樣，也不一樣

第二個重要的觀察結果，則有關於不同孩童選擇「味道強烈」食物時，表現出極大的差異。至今沒有任何一個分析可以解釋這種差異，它與性別、哺乳習慣、家中排行或是身體質量指數（用體重除以身高平方，用來測量體脂肪的指數）都無關。因此我們仍不知道為什麼不同小孩對於「味道強烈」食物的喜好差異如此巨大。

關於幼兒對食物的選擇喜好，一直沒有太多研究。這也是為什麼這些先驅的研究留下大量無法解釋的觀察結果。特別是我們還要等上一段時間，才能夠將前述那些被研究的小孩，與他們長大成人後的飲食習慣做連結。不過這是必要的代價，如果想要了解幼兒如何學習飲食習慣的話。長久以來我們都假設幼兒時期的接觸，會影響他們長大後的飲食習慣，但卻從來沒有人證明過。食品工業對於這些研究必然很有興趣，如果他們希望自己的產品能長久暢銷，就要了解小孩對食物喜好的變化。

食物過敏

如何預測跟預防基因改造食物所引起的過敏？

在美食的國度裡，並非只有美食、香味與歡愉。在歐盟的七個國家裡，約有四分之一的人口宣稱自己對食物過敏或者有不耐症。不過臨床檢測出來的結果顯示，實際數目比宣稱的少（只有約百分之三點五的族群）。儘管如此，這仍是一個嚴重的公共衛生問題，因為食物過敏的症狀有變嚴重的趨勢。在近十年之內因



食物所引起的過敏性休克案件增加了五倍，而且其中很多是致命的，特別是那些由花生或相關製品所引起的。在薩克雷的國立農業研究所與原委會的食物過敏實驗室裡，瓦爾跟他的同事們就在研究牛奶及奶製品為何會引起過敏？雖然牛奶裡引起過敏的蛋白質（過敏原）其實結構很像人體自身的蛋白質，而人對於自己的蛋白質一般是不會產生反應的。這些科學家也用動物實驗中利用的一種稱為「基因免疫法」的技術來預測過敏。

為什麼近年來對食物過敏的比率增高呢？食物過敏案件的增加似乎與對花粉過敏病人數的增加有關。病人身上對花粉反應的抗體，有時候也會跟來源毫不相關的分子（像是食物分子）反應，這是所謂的「交叉反應」。會發生的原因主要是因為，這兩種不同分子表面上的「抗原決定位」長得很像，也就是說，這兩個分子雖然來源不同，但是某個暴露在外面的小片段碰巧有相似的結構，因此成為免疫系統的目標。這個現象解釋了為什麼對外國水果（如酪梨、奇異果、香蕉……等）過敏的案例也跟對latex乳膠過敏案件增加有關。

除了這些「傳統的」過敏食物以外，現在又多了基因改造食品。這些食品帶有原本食物中不會有的蛋白質，所以在食用前一個很重要的問題就是，它們會不會引起過敏？因為至今並沒有太多案例報告，那要如何決定它們的致敏性呢？有很多方法現在正被使用：首先可以利用過敏病人的血清來做試驗，因為他們的血清裡含有會跟過敏原反應的抗體；或者做皮下注射試驗，把可疑的分子打入人體皮下看看會不會引起過敏反應；或者利用實驗動物來做試驗，科學家餵給致敏（因為一般動物不會過敏，所以需要先引起動物的過敏體質）實驗動物這些可疑分子，看看會不會引起過敏；最後是利用蛋白質的胺基酸序列分析來預測新的分子會不會引起過敏。

最後這個方法是未來的趨勢，不過要使用這個技術，首先要建立一個完整的資料庫，把所有我們已知且分析好的過敏原胺基酸序列輸入。而正是藉由這樣的資料庫，瓦爾等人得以比對人體 β 酪蛋白跟牛乳中的 β 酪蛋白的致敏性。

對牛奶過敏

牛奶蛋白質中百分之八十都是酪蛋白。酪蛋白又可以分為四種，分別是 α S1、 α S2、 β 以及 κ ，其中 β 酪蛋白是很重要的過敏原。九成以上對酪蛋白過敏的病人，血清中都有會跟 β 酪蛋白結合的 E 型免疫球蛋白（人體裡面一種會引起過敏反應的抗體）。

在一九九七年時他們就指出，某些過敏病人的血清裡面，有會跟乳清中蛋白質反應的 E 型免疫球蛋白，而這些抗體也同樣會跟人體中相似的蛋白質交叉反應。既然牛奶跟人乳中都有 β 酪蛋白，這種交叉反應會不會也發生在 β 酪蛋白上呢？他們於是測試了二十個對牛奶 β 酪蛋白過敏的病人血清，發現這些病人的 E 型抗體同樣也會跟人的 β 酪蛋白反應。

為什麼會有這種交叉反應呢？因為人跟牛的 β 酪蛋白，有一半的胺基酸序列是一模一樣的。那麼研究這種胺基酸序列的相似性有什麼用處

呢？其實是這樣的，在這段共同的胺基酸序列裡，有一段會讓牛跟人的 β 酪蛋白形成螺旋般的結構；而有另一段序列帶有許多「磷酸化位置」。所謂磷酸化位置，是說在蛋白質形成之後，這些位置會被加上「磷酸根」，這過程稱為「磷酸化」。這是「後轉譯修飾」，這會因為蛋白質的帶電性不同，而改變它的結構跟性質。瓦爾他們指出， β 酪蛋白的致敏性，會因為「磷酸化」而改變。

預測過敏原

時至今日，使用這些檢驗法來檢查基因改造食品的分子，並沒有發現它們含有特別的過敏原。這些研究同時也幫助發展預防食物過敏的療法。在 β 酪蛋白引起過敏的例子裡，試著把牛奶的 β 酪蛋白換成別種 β 酪蛋白並沒有用，因為不同奶中的 β 酪蛋白結構太相似了。不過瓦爾的實驗室現在正在小鼠身上測試另一種「基因免疫法」。簡單的說，他們將一段過敏原插入細菌的基因序列（我們稱為質體）裡，然後把這段質體當作疫苗打入小鼠體內。這樣的疫苗會引起一些免疫反應，而這種反應剛好可以壓制過敏反應。這樣的基因免疫法被證實對於減低乳球蛋白（另外一種牛乳中的過敏原）過敏症有效，它可以持久而明顯地降低血清中對抗乳球蛋白的 E 型抗體。

警戒：李斯特菌污染

食物污染的警報見證了微生物學的發展

李斯特菌的食物污染總是引起軒然大波，這種意外可不可以避免呢？李斯特菌污染因為會致命所以引人矚目，然而同樣令人印象深刻的則是，公共衛生防護措施從來沒做得這麼好過。但是這些措施仍無法避免高危險族群的傷亡，這些族群包括了：孕婦、老年人、幼兒以及免疫不全病人。因為其實公共衛生警告，往往要在事件發生之後才會發布，它是藉由流行病學的回溯調查，去比對從受害者身上跟致病食物中分離出來的菌種。而微生物學家更深入的研究，應該有助於讓我們更加了解李斯特菌與其他食物中無害菌種之間的差異。



當務之急應該是區分致病的菌種。只有當我們能區分出致病菌種，我們才能了解哪些族群容易受害，也才能檢驗市面上的產品。在法國弩利黎市的國立農業研究所的傳染病與免疫實驗室裡，帕東跟他的同事就專門研究李斯特菌的致病性。從農產品中分離出來的李斯特菌，其致病性有極大的差異。我們要怎麼區分有害跟無害的菌種呢？最近幾年微生物學家已經可以分出兩種李斯特菌，一種是會致病的「單核細胞增生性李斯特菌」，另一種則是無害的「英諾克李斯特菌」。儘管這樣的分類已比以往精確了（也因此可以避免不必要的警報），但是卻仍嫌不足，傳統檢驗還是無法區分出不同菌種間的致病性差異。

快速檢測法有助於發布警報

傳統的李斯特菌檢測法是利用實驗室動物（一般都是用小鼠），科學家將想要測試的細菌打入小鼠身上觀察致病性。這樣的檢測法既費時又費錢（養實驗動物需要相當多經費），因此應該尋找更好的檢測法來取代它。

帕東等人最近發展出了一種利用體外細胞培養進行檢測的方法。他們在體外培養人體腸道細胞（這也正是李斯特菌入侵人體時的大門），要檢測時，把帶有細菌的懸浮液加入細胞培養皿中。一般腸道細胞會貼在培養皿底部形成一片薄膜，而當加入致病性的細菌時，細菌會因為傷害細胞而在薄膜上面形成許多洞，隨著細菌的量增加，洞也會增加。

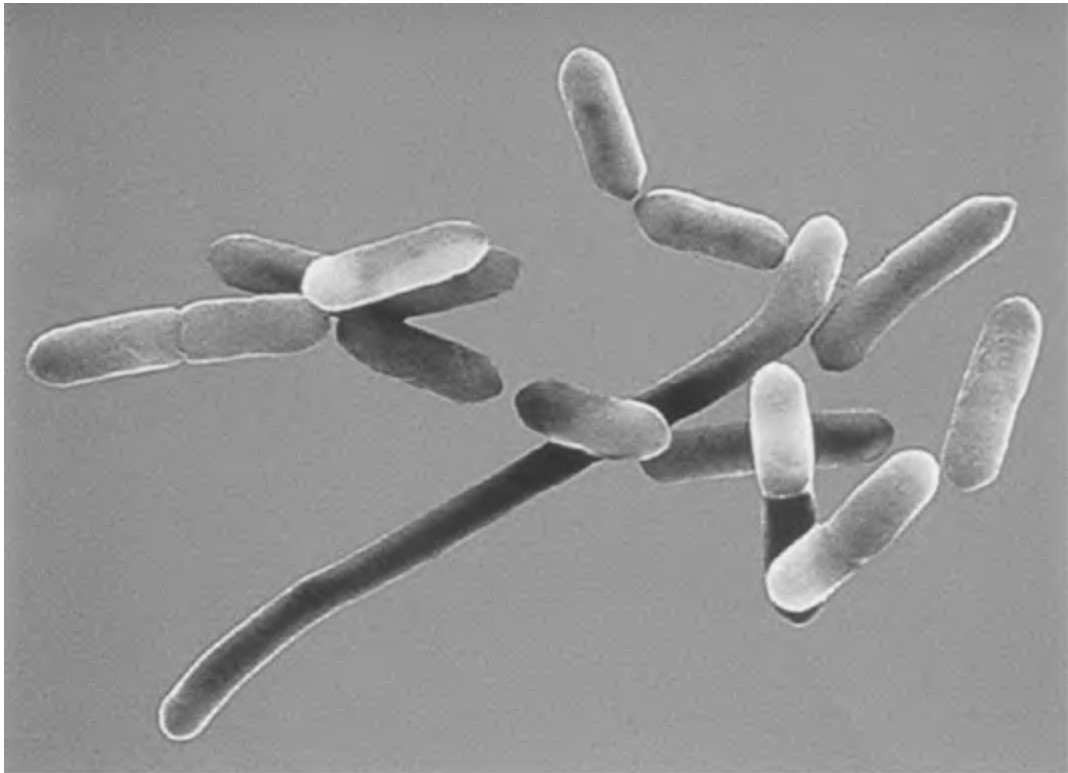
當這個技術成熟了之後，帕東他們再次肯定了以往的研究，指出所謂「單核細胞增生性李斯特菌」並不是一個單一的菌種，其中有一些菌種的致病力極低，有一些菌種則無害（這結果也在實驗動物身上獲得證實）。接下來他們就去分析「單核細胞增生性李斯特菌」的基因跟所分泌的蛋白質，看看哪些是有毒的。這是一個為期三年，聯合許多實驗室的國家型計畫，他們要研究四百多種「單核細胞增生性李斯特菌」，當找出其中會致病的種類之後，會把基因跟無害的種類拿去比對。

這個研究計畫同時也伴隨著研究農產品中的李斯特菌種。我們想要知道哪些產品以及生產方法容易滋生致病性李斯特菌？哪些產品容易讓毒素殘留？因此要研究製造時的濕度、溫度、酸鹼度、與污染有關的保存期限，最終目的是希望能讓製造業的品質管制最佳化（這是依法規定的，而檢測的頻率則隨產品不同而各異），同時也提供政府部門檢測依據。

美食與危險

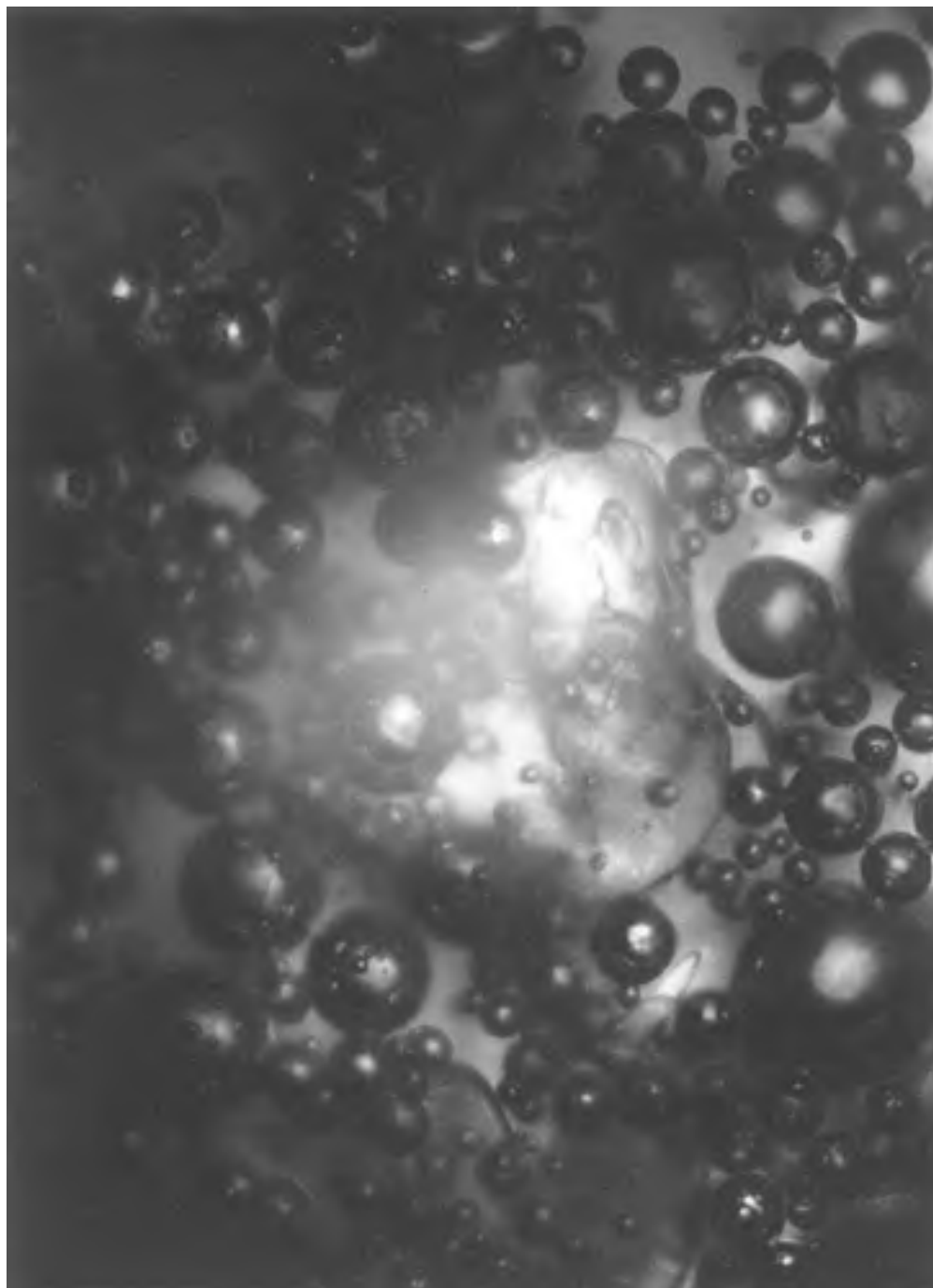
公布食物污染的新聞對於製造商跟消費者來講都是擾人的，但是它卻是必要手段，尤其是在檢測出問題時，必須強迫業者將食品下架，以避免意外發生。而是否需要特別針對某一類產品呢？有一些產品特別容易被污染，是否該乾脆禁止食用它們？根據帕東博士的意見，禁止食用

特定食物並非他們的目標。我們並不打算禁止生產法國熟肉醬或是用生奶製成的乳酪，目的是讓高危險族群提高警覺。這就像我們在警告跟教導之後可以讓孩童獨自過馬路一般。禁止某些食品是十分嚴重的手段，對製造業跟社會大眾影響頗大，而且可能讓消費者轉而去走私更不安全的食品。



並非所有的李斯特菌都有危險。

第三部 探索與開發新典範



麵包的祕密

化學家正在尋找讓蛋白質連結的更好的辦法，以改良傳統麵團

麵粉的成分是做麵包成功的關鍵。麵粉的成分主要有兩部分：澱粉粒跟蛋白質。澱粉粒會在遇到熱水時膨脹，而蛋白質部分則會在揉麵團時互相連結形成所謂的麵筋（蛋白質多寡，決定了麵筋的含量）。為了要讓麵包做得更好，研究這些蛋白質怎麼連結是很重要的。蛋白質互相連結的力量如何影響麵團呢？我們已經知道構成蛋白質的胺基酸長鏈裡如果有兩個硫原子，就會彼此形成鍵結（稱為雙硫鍵），而現在我們又知道還有其他力量也會幫助蛋白質連結，這些都會影響麵筋的結構。

麵包的品質取決於麵筋，因此要好好控制蛋白質分子間的連結。麵筋是一種具有「黏彈性」的網絡，也就是說當拉扯時會伸展，而拉力消失時它會部分回復成原來的狀態。如果沒有麵筋這種特性，麵包不可能做得成。因為當酵母菌產生二氧化碳時，會在麵團裡形成小氣泡，小氣泡被麵筋網絡困住，這樣麵團才會被撐起來，並且可以維持被撐開時的形狀。

早在一七四五年時，義大利化學家貝卡利就發現萃取麵筋的方法。他把麵粉加一點點水去揉成麵團，然後把麵團放在水流下面洗。水流會把白色的澱粉粒洗走，剩下留在指間的就是麵筋。現在化學家更證實了，小麥裡面只有一部分不溶於水的蛋白質：醇溶穀蛋白，是構成麵筋網絡的主要成分。這些醇溶穀蛋白主要有兩類，一類是麥膠蛋白，它們是由單一蛋白質鏈（也就是只有一條胺基酸長鏈）所組成；另一類是麥穀蛋白，它們是先由一條胺基酸長鏈纏繞形成一個蛋白質次單元，許多次單元再被雙硫鍵結合在一起而形成一個巨大蛋白質。那麼巨大的麥穀蛋白彼此之間會不會再被雙硫鍵連在一起呢？一般觀念認為，當麵包師在揉麵團的時候，應該會讓雙硫鍵在這些不同的醇溶穀蛋白之間不斷的形成、斷裂再形成。

麥穀蛋白有一個中心區塊（「區塊」是蛋白質構造中的功能單位，麥穀蛋白的中心區塊大小約是四百四十到六百八十個胺基酸，內含許多短而重複的片段），旁邊有兩個終端區塊。這個中心區塊決定了整個麥穀蛋白的大小（用分子量來計算），而旁邊的兩個區塊裡則帶有許多半胱胺酸（一種胺基酸）。半胱胺酸是少數帶有硫原子的胺基酸，因此可以形成雙硫鍵。不過這些化學特性並不足以解釋麥穀蛋白形成麵筋的能力。



散布在水中的澱粉粒（左）以及萃取出來的麵筋（右）

麵的線索

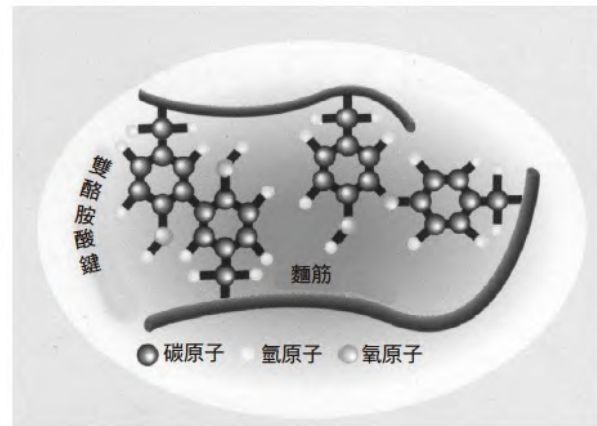
四年前，法國南特國立農業研究所的戈根證明了，有些醇溶穀蛋白也可以經由兩個酪胺酸（也是一種胺基酸）連結在一起，成為雙酪胺酸鍵（酪胺酸的側鏈上有一個亞甲基- CH_2 -，再接上一個苯環，苯環再接上一個羥基 OH ）。以這研究為基礎，美國堪薩斯大學的媞莉等人則更進一步證明雙酪胺酸鍵在麵筋中的重要性。他們從揉麵團過程中的不同時間點，各取出一些麵團樣品，用化學方法去分離、分析裡面麵筋的成分。結果發現雙酪胺酸鍵的數量會隨著揉麵團的時間而增加。現在的問題是，雙酪胺酸鍵對於麵團的結構，有什麼重要性呢？

進一步的研究顯示，麵筋裡面有兩種雙酪胺酸鍵。一種是兩個酪胺酸苯環上羥基旁邊的碳原子連結在一起；另一種稱為異雙酪胺酸鍵，是一個酪胺酸的羥基中的氧原子，跟另一個酪胺酸苯環上羥基旁邊的碳原子連結。

這個發現曾引起了研究麵筋的化學界一陣騷動。不過在生化學家的眼中，這種雙酪胺酸鍵在植物蛋白裡其實十分常見，許多植物蛋白的胺基酸序列跟蛋白質構造，與麥穀蛋白都很相似。不只是植物，這種雙酪胺酸鍵也存在昆蟲跟節肢動物體內，比如在一種稱為「節肢彈性蛋白」的蛋白質中，以及脊椎動物的膠原蛋白跟彈力蛋白中也有。因此可以說，麵包師在揉麵團的時候，同時也創造了生命。

而戈根他們也發現雙酪胺酸鍵可以經由酵素催化而形成，比如過氧化酶，平常就存在麵粉中。也許在做麵包時，長時間的揉麵團過程，可以讓酵素跟麥穀蛋白有足夠時間作用，去形成必要的雙酪胺酸鍵。現在剩下的問題是，雙硫鍵跟雙酪胺酸鍵在麵筋中分別扮演什麼角色？

最後，我們了解了這些鍵結，又該怎麼利用這些知識呢？也許我們可以加一些添加物到麵團中，讓麵團更完美；比如使用添加物讓麵團變軟容易揉，或者使用添加物讓麵團變厚變硬。舉例來說，當我們加入一些氧化劑，像是抗壞血酸（維他命C）或是溴酸鉀到麵團裡之後，就會增加雙酪胺酸鍵的數目。過去我們認為這是因為雙硫鍵的數目增加，但其實是兩種鍵的數目都有增加。我們也許還可以再想像一下，用一種新的方法來選擇做麵筋的麥子，可不可以測量雙酪胺酸鍵來判斷麵筋的好壞？



在揉麵團時，麵筋（黑線）中的兩個蛋白彼此形成雙酪胺酸鍵。

麵包跟酵母菌

麵包的味道取決於發酵

現代人常抱怨法國麵包，尤其是最具代表性的棍子麵包，比起以前來得沒味道，而且也更容易乾硬。抱怨第二點其實並不公平，因為別忘了，棍子麵包本來就是特別因應城市人的需求而發明的。都市人可以在一天之內隨時去巷口麵包店買麵包，因此烤得表皮酥脆要比保存期限更重要。不過確實許多麵包師也承認，他們現在比較在意揉麵團時的機械動作更勝於麵包本身的口味。

麵包的口味，一部分來自於烘烤時分子因為化學作用，而形成外面的脆皮部分。而至於裡面的麵包心部分，在南特的國立農業研究所，有兩間實驗室則正在研究，釀酒酵母的成分或發酵的產物，如何形成氣體進而膨脹成麵包心。他們比較了含有酵母菌或是沒有酵母菌、有發酵或是沒發酵的麵團烤出來的麵包，以及不同麵包製作法所做出來的麵包差異。

做麵包最傳統的方法就是「直接發酵法」：首先將麵粉、水、酵母及鹽混合在一起的麵團揉二十幾分鐘，然後讓麵團發酵四十五分鐘（初次發酵），接著將麵團分成棍子麵包的分量，再讓它發酵一百分鐘（再次發酵），接著將麵團送進兩百五十度的烤箱烤半小時，就完成了。另外一種「液種法」步驟跟直接發酵法一樣，不過是讓麵團在半液體狀態下進行「預先發酵」，也就是先讓一定量的麵粉跟一定量的水混合，得到像製作可麗餅一樣的麵糊，然後將這樣的麵糊發酵數小時，再加入麵粉攪拌直到麵團變成跟「直接發酵法」的麵團一樣厚實，接下來的步驟跟直接發酵法都一樣。最後一種做法，則事先將麵團跟天然酵母菌與乳酸菌一起培養，做出「老麵」，再拿去做麵包。

要做出一點「醋」

在一九八五年時，有人曾對不同的麵包裡面的氣體成分做過一些分析，當時並沒發現有什麼不同，但是品嚐者卻都能明顯區分出不同的麵包。唯一有不同的是氣體中的某些有機酸，似乎隨著麵包做法而有差異。特別是用液種法或是老麵團做出的麵包，醋酸含量比直接發酵法要多了二倍（液種法）到二十倍（老麵法）。而在老麵團裡還多了乳酸，這是因額外將乳酸菌跟酵母菌混在一起後的產物。

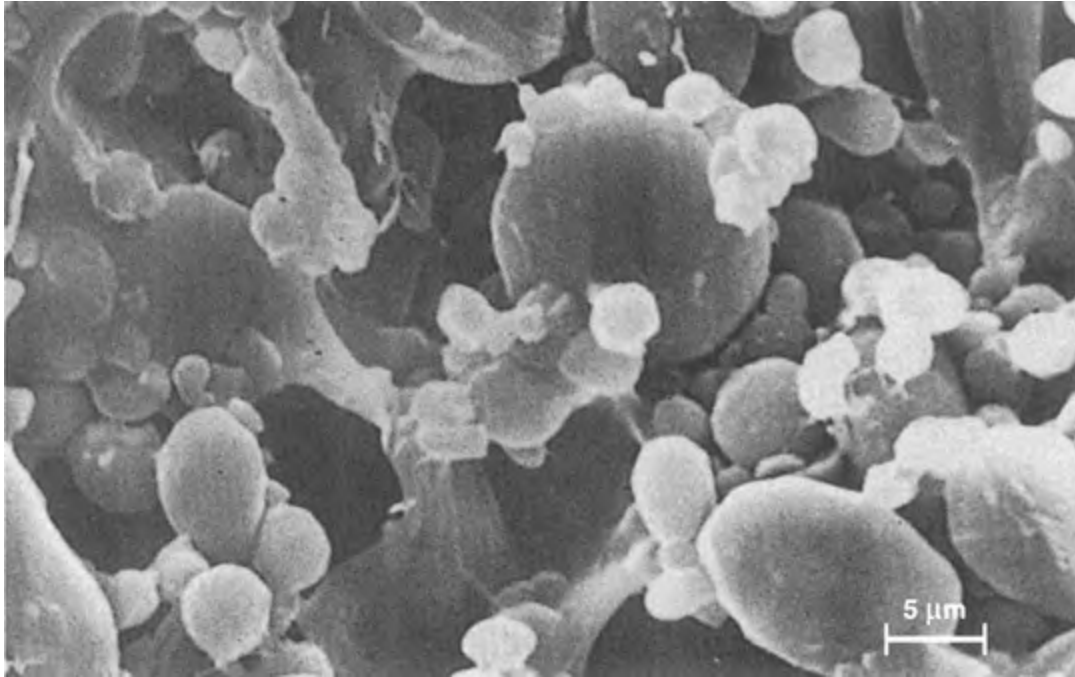
之後對於直接發酵法的研究，則更進一步的顯示了酵母菌在麵包中的作用，會隨著烘焙這複雜的環境而改變。如果比較直接發酵法的麵包，與除去酵母菌功能（把酵母菌抑制、完全不加酵母菌，或者在烘焙前才把酵母菌加入麵團裡）所做出來的麵包，結果可以發現，酵母菌的存在改變了許多法國麵包中的成分，因為酵母菌發酵是造成一些化學物質存在麵包中的主因，如 3-羥基-2-丁酮（又稱丁偶姻，帶有奶香）、3-甲基-1-丁醇（又名異戊醇）以及苯乙醇（帶有凋謝玫瑰的味道）。

而在沒有放酵母菌的情況下，麵包中其他化學物質會比一般麵包多，特別是單元或是多元不飽和醛類，或是醇類如戊醇跟苯醇類化合物，這也許是因為麵粉中的脂質氧化所生成的（類似脂肪壞掉的過程），這些產物會影響麵包的味道。而酵母菌本身成分對麵包的影響則不大。

因為麵團轉變成麵包的過程複雜，因此國立農業研究所微生物實驗室的科學家們，也開始研究尚未烘焙的麵團。他們研究了含或不含酵母菌、有發酵或是沒發酵的麵團。在這最後一系列的研究裡，他們除了分析麵團的化學成分，也把麵團的氣味成分經由許多溶劑萃取，再通過「層析儀」的管柱把它們分離出來，拿給受試者聞，並比較結果。

這次分析也發現了發酵過的麵團含有比較多的各類醇類、酮類、酯類以及內酯類化合物；他們也再次印證發酵的麵團含有比較少的醛類。然而雖然經由層析儀證明了酵母菌發酵造成較高的醇類，對於受試者的嗅覺來說，醇類化合物對於發酵麵團的氣味卻沒有什麼影響，反而是醛類還有另外兩種未知的化合物影響味道比較大。

當年在做這些研究時，麵包店正漸漸停止摻蠶豆粉或是黃豆粉在麵粉中（目的是讓做出來的麵包心比較白）。研究結果顯示，摻有豆粉的麵團如果在揉比較快又比較久的情況下（通常是機器揉），會產生出正己醛，造成一股油味。一些麵包店現在開始重新使用以前被放棄的製法，例如液種法，目的除了增加麵包的變化以外，也讓這個跟人類歷史一樣古老的產業重新充滿生機。



在麵團裡生長的酵母菌。

神奇的蛋黃

難以置信的蛋黃結構

把一顆蛋擺在眼前，不管是生的或是煮熟的，你覺得蛋黃會在哪裡？當然，物理學家會這樣回答：因為對稱的緣故，蛋黃一定會坐落在垂直軸上。但是還有其他的可能性：蛋黃可能在上、中間或是下方，對吧？可以做一個簡單的實驗：把蛋黃放在一個又高又細的杯子裡，上面疊上許多蛋白，就可以看到蛋黃慢慢浮起來。同理，我們推測在雞蛋裡面的蛋黃應該也會如此。



那麼那個把蛋黃圍住的「卵黃膜」，具有連結蛋黃跟雞蛋其他部分的功能，會不會限制蛋黃在完整雞蛋裡面的移動呢？有很多實驗可以證明不會！比如，我們可以做一顆直立的水煮蛋，當煮熟之後你會發現蛋黃就浮在最上面。也許你會說，這是因為煮熟時蛋白質變性，所以破壞了雞蛋內部的結構。那再做另一個實驗來看看：把一顆完整的雞蛋泡在醋裡面約兩天，等到蛋殼幾乎都被醋溶解掉了之後，你會看到蛋黃還是飄在雞蛋上面（雞蛋會維持完整形狀的原因，是因為蛋白外面還有一層殼膜維持了雞蛋的形狀，此外最外層的蛋白因為被醋變性而凝結）。

又或者，最簡單的辦法就是小心把蛋殼上方剝開一個小孔，看看蛋黃在哪裡。

我們也可以用更複雜的方法來研究雞蛋。如果用 X 光射線去照雞蛋，因為蛋殼不透 X 光，所以會形成黑色的陰影，這樣無法看到清楚的影像。但是如果用超音波去看，卻可以看到雞蛋驚人的結構。下頁的圖是個例子，我請家兄把雞蛋上方剝開一個小孔，將超音波探針放入裡

面偵測。蛋黃似乎是有好多層、跟樹木的年輪一樣的結構。

為什麼蛋黃會有這種結構，而我們吃時卻完全沒有注意呢？其實雞蛋裡面有深黃（厚約兩公釐）跟淺黃（厚約〇.二五到〇.四公釐）兩種，形成的原因是因為母雞在白天跟晚上製作出的蛋黃顏色不同，這也跟母雞餵食的頻率有關。在晚上所生產出來的蛋黃色素濃度，會比白天淺很多，日積月累下來就形成一層層的蛋黃。

顆粒與漿質

如果我們繼續在顯微鏡下深究蛋黃，會發現深黃跟淺黃兩層蛋黃，成分並不均勻，而是由許多顆粒分布在連續性的「漿質」中。這些結構跟烹飪有什麼關係呢？

在南特的國立農業研究所裡，安東的團隊就在研究這個問題。他們用離心的方法（把液體放在像脫水機一樣的槽裡旋轉，重的顆粒會靠邊，輕的會靠中心），把顆粒跟漿質分開。經過分析後，他們發現蛋黃的組成約是一半的水，三分之一的脂質（多半是膽固醇），然後剩下百分之十五左右的蛋白質。蛋白質跟脂質常常會結合在一起形成脂蛋白，而根據密度不同又可以分為低密度脂蛋白，主要存在於漿質裡；以及高密度脂蛋白，存在顆粒中。

這些蛋黃結構與烹飪的關係是什麼？我們必須把不同成分分開才可以研究它們的特性。安東他們發現，當加熱至攝氏七十度時，低密度脂蛋白會形成膠質。正是

這樣的膠質（其成分是蛋白質跟脂質，特別是膽固醇），決定了蛋黃在烹飪時的表現。

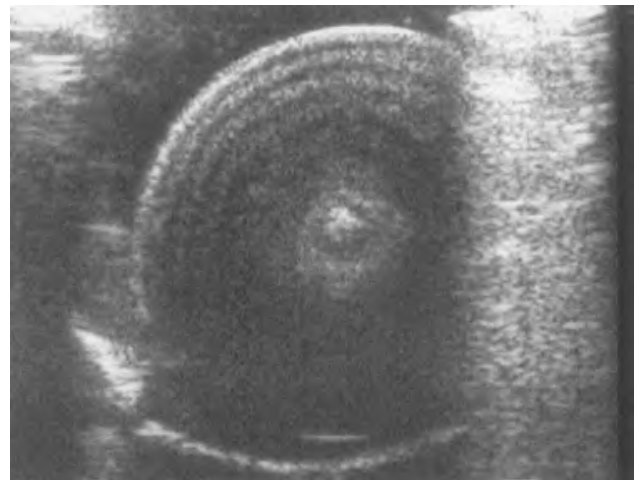
以美乃滋為例，它是由油形成小滴均勻分布在水裡面（由蛋黃跟醋提供），一直以來我們認為這種結構會長久穩定存在是因為，蛋黃中的「卵磷脂」跟其他磷脂類分子的作用，果真如此嗎？還是這其實是蛋白質（如同牛奶中一樣）的作用？安東他們分析了這個問題。他們首先研

究，形成美乃滋這種「乳劑」狀態，主要是跟蛋黃中的漿質部分有關，還是跟顆粒部分有關？

因為蛋白質溶於水的程度，取決於溶液的酸鹼度；安東他們首先就研究在蛋黃中，蛋白質的溶解度與溶液酸鹼度（用 pH 值來表示，愈小愈酸），以及溶液中含鹽量的關係。他們發現蛋黃漿質中的蛋白質，可以溶於各種酸鹼度或是鹽度的溶液中，但是顆粒中的蛋白質則需要特定的環境。當溶液的酸度是 pH3 時（跟美乃滋的酸度一樣）微溶；然後當溶液變成中性（pH7），再加入一點鹽時溶解度會稍微增加（因為本來有鈣離子把蛋白質連在一起，而鹽中的鈉離子會置換鈣離子，打破這種連結，蛋白質就溶解了）。

不過蛋白質的溶解度並非影響乳劑穩定性的唯一因素。當乳劑中小油滴碰撞機率降低，乳劑也會更穩定。蛋黃漿質在酸性環境（pH3）時最穩定，而此時溶液中的鹽分並沒有影響。反之由蛋黃中顆粒部分所形成的乳劑，對酸度跟鹽度卻非常敏感。由整顆蛋黃所做成的乳劑，其特性跟由漿質所做成的乳劑特性大致相同。

總而言之，蛋黃中的漿質，決定了整顆蛋黃在作成乳劑時的特性，其中蛋白質的部分比磷脂類要更能穩定乳劑。在漿質中的低密度脂蛋白，彼此是如何作用呢？是藉由靜電力互斥，還是因為蛋白質的空間阻力所以互斥？在 pH3 的環境下，蛋白質會變成帶電分子，因而彼此互斥而讓小油滴分開；而當 pH 升高到七時，蛋白質變成中性，就只剩下空間阻力隔離小油滴了。這些物理現象科學家還在研究。



蛋黃的超音波影像：蛋黃有一層層的結構。

其實一顆簡單的蛋黃，還是有很大的學問在裡面。

味覺的矛盾

我們聞到的味道，隨著香味分子在不同的環境而不同

一杯醋本來難以入喉，但如果加入大量的糖，就變得可以飲用了。可是如果去量它的酸鹼度（用pH來表示），卻根本沒有改變。那為什麼我們感覺酸味變淡了呢？這其實是因為，味覺受器所接受的訊號，會隨著受器所處的環境而改變。而嗅覺受器周圍的環境也同樣影響我們的嗅覺。在南特的國立農業研究所裡，卡斯特連跟他的同事們就在研究這種受器與環境的互動，以便了解食物香味的運作原理。

大部分的食物都含有水跟油，而油跟水是不互溶的。同一個香味分子，根據其化學特性的不同（親水性或是親油性），在水跟油裡面的分布也不一樣。當食物被送進嘴裡時，香味分子或是味道分子會先溶在口水裡面（水相層），之後再跟細胞膜表面（油相層）接觸；在這裡它們才會碰到味覺受器。同時，還有一些分子會溶在水蒸氣中（在嘴巴裡形成，氣相層），然後進入鼻腔中，才有機會跟嗅覺受器接觸，而嗅覺受器跟味覺受器一樣，都是位於油性的細胞膜表面。換句話說，要掌握食物的香味，必須要先了解這些分子如何在這兩種液相層（水跟油）中間轉換，以及如何從這兩層中進入氣相層。

為了要了解這些分子的移動，卡斯特連他們製作了一台機器，可以讓中性油與水接觸，然後可以測量香味分子在四相中的分布：水層、油層、水上方空氣中以及油上方的空氣中（儀器請見次頁圖）。接著他們將香味分子，或者溶在水中，或者溶在油中，再去測量香味分子在其他三相中的濃度。根據實驗狀況的不同，香味分子的移動路徑也不一樣。比如說，當溶在油裡時，分子會同時跑到「油上方的空氣中」，以及向下擴散到「水層」然後跑到「水上方的空氣」中。

他們測量了許多香味分子的移動路徑：酯類、醛類、醇類或是酮類。結果他們發現，對於酯類跟酮類來說，從油中擴散到水中比從水中

擴散到油中要快得多；而對於醇類跟醛類來說，則是從水中擴散到油中比從油中到水中要快。

這樣的實驗結果其實跟一般認知有矛盾。因為比如說，醇類一般是水溶性（酒精就是一種醇類，想像一下酒精快速溶在水裡），基於這種特性，我們會以為它很難從水相擴散到油裡面。那為什麼實驗的結果卻是相反呢？其實是因為在這種實驗環境裡，測量到的並不只是香味分子在兩種相層中間擴散的速度，還要考慮到香味分子從液相跑到上方空氣中的速度。以醇類為例，既然它不容易溶於油中，那分子一到油裡就會傾向離開油層跑到更上方的空氣中，因而從水裡拉來更多香味分子；換句話說，香味分子從任何一種液相跑到空氣中的速度，要快過任何兩種液相中間擴散的速度。

鼻中聞到的氣味

為了要能進一步掌握食物中的香味分子，這樣的實驗還必須跟鼻中的嗅覺受器聞到的感覺來比較才完整。要被聞到，香味分子首先要穿過蓋在鼻腔中的黏膜層，然後溶在親油性高的細胞膜上，才能接觸到嗅覺受器。

卡斯特連他們也研究了受試者在水上方跟在油上方所聞到的香味。他們把同一種分子，或者溶在水中或是溶在油中，並且調整分子在液體中的濃度，以至於機器在液面上所測出的香味分子分壓（代表氣相中的香味濃度）相同，然後請受試者去聞水面上或是油面上的氣味。

很矛盾的，人類鼻子聞到的味道有時候跟機器略有不同。對於某些分子來講，鼻子聞到的味道強度很接近機器所測量到的味道濃度（比如說沉香醇，隨濃度不同，可以造成薰衣草香或是佛手柑的香味）；但是這並沒有一定的規則可循，因為對於其他分子來講，鼻子聞到的卻跟機器有很大的差異，比如說1辛烯3醇（有一種林下灌木叢跟香菇的味道）、安息香醛（杏仁的味道）以及乙醯苯（蜜蠟的味道）。很顯然的，混了水蒸氣之後會影響鼻子對香味分子的接收。

這種現象同樣可能影響食物味道的接收，想想看加了糖的醋。這也解釋了為何食物的質地會影響它的味道跟香味，因為質地會影響食物在口中咀嚼的時間長短，因而改變了氣味或是味道分子停留在口中的時間，也改變了這個分子傳到味覺受器或是嗅覺受器的速度。所以，調得太酸的美乃滋可以多打幾下會變得比較不酸，因為質地變得比較厚，就會減慢分子傳導的速度。



用來測量香味分子在水中跟在油中傳導速度的儀器。而上方的金屬針筒可以收集水面上或是油面上擴散出來的香味分子（因為油比水輕會浮在上層，所以側邊的針筒可以收集到油上面的氣味，而中間的玻璃管直接穿過油層到達水層，可以收集水面上的氣味分子）。

食物的味道

沙拉醬的質地決定它們的味道

所有的廚師都知道，過多的麵粉會讓醬料味道變淡。原因是，食物的味道並不單單只是靠香味分子存在，還要看這些分子如何作用。無味的分子像是蛋白質或是澱粉粒，會跟一些香味分子連結，絆住它們而讓我們聞不到。哪些香味會這樣被遮蔽呢？



單單了解分子間可能的化學鍵結，並不能給我們滿意的答案，因為還有分子的物理特性會來參一腳。即使是在均質的狀況（比如說溶液中），香味的釋放也會受到溶液濃稠度的影響，而食物更像是更雜亂的系統，比如小氣泡會被液體或是固體困住（在慕絲中），或者像小油滴會分散在液體各處（像是乳劑），又或者固體小粒子也會分散在液體中（懸浮液）等等，香味分子在這種環境下，不管介質是連續性的或是散亂的，被釋放出來的方式跟單純從溶液中跑出來必定是完全不一樣的。

此外還有更複雜的因素影響。比如說在乳劑中，小油滴是被一層「界面活性分子」所包住而分散在液體中。界面活性分子因為既溶於水又溶於油，幾乎必然會跟香味分子鍵結在一起而讓它們難以被聞到。為了研究香味分子如何被釋放出來，在第戎的「國立農業研究所」與「國立高等食品與營養應用生物學校」裡，查莉、吉夏與她們的同事，就與阿莫哈梅爾醬料公司的研究員合作，以沙拉醬為材料進行研究。

沙拉醬的香味

他們所研究的沙拉醬（沙拉醬就是一種乳劑），是由酒醋、檸檬汁跟鹽調出來的水相液體，攪拌入葵花油，做成乳劑（也就是說，小油滴要能均勻混在液體中），而這是藉由乳清蛋白來維持的；最後再混入黃原膠（是由細菌發酵葡萄糖所產生的多醣體）跟澱粉粒來穩定沙拉醬。在這樣的沙拉醬裡，他們又加入了已知量的香料分子來試驗：比如在油裡面加入「異硫氰酸烯丙酯」帶來一點芥末味，而在水相裡則加入苯乙醇（提供玫瑰香味）跟己酸乙酯（果香味）。他們製作了許多不同的乳劑，每種乳劑中小油滴都有固定的尺寸。然後請受過訓練的品嚐者來判斷各種乳劑散發出的香味，同時記錄下各種香味的強度，諸如檸檬味、醋味、芥末味的強弱等等。

測試出來的結果並不容易分析，因為醬料中的酸味很強，品嚐者必須很勉強才能描述出其他的味道。然而基於多年的訓練，他們畢竟還是可以描述出整體的味道，結果發現諸如雞蛋的味道、雞蛋的香味、芥末的味道、牛油的味道會隨著油滴的尺寸變大而比較強烈；相反的，柑橘類的香味則隨著油滴變大而減少。

香味分子的移動

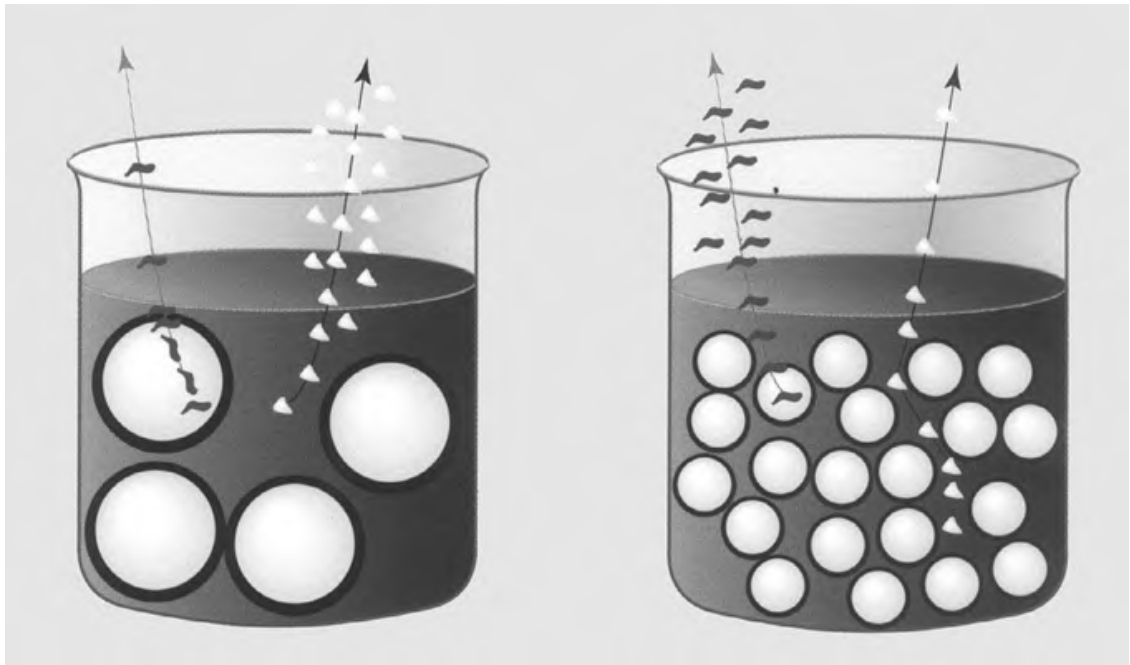
為了解釋這些結果，他們更進一步去分析了「沙拉醬上方空氣中」香味分子的濃度。結果發現，水溶性的香料味道強度會隨著油滴變小而減少，相反的油溶性的香料味道隨著油滴變小而強烈。

讓我們想想看為什麼會有這種差異。在製作沙拉醬的時候，當油跟水的分量固定，用力攪拌會形成比較多也比較小的小油滴，這時候溶在油中的香料要到達小油滴的邊緣距離就比較短；而同時小油滴比較多，整體表面積也比較大，那包覆油滴的界面活性分子就只能形成比較薄的膜，因此香味分子也比較容易穿透。最後，要穿越的液體路徑比較短（香味分子在液體中容易被食用膠等物質困住），香味分子會比較容易穿越而跑出液面。

而對於溶在水中的香料而言，這些效應剛好相反。比較多而密的小

油滴對它們而言是增加了液體的濃稠度，油滴間水層變得較薄，而香味分子很難在這些薄水層間穿越，因此比較不容易聞到。

這是通則嗎？既然各種食物的組成都不相同，還需要更多的研究來了解各種機制的重要性，以解開香味分子釋放之謎。如希波克拉底說過：「生命短暫，藝術卻源遠流長；機會稍縱即逝，實驗有誤差，難以讓人下判斷。」



當油滴大的時候，水中的香味（白色分子）比較容易跑出來被聞到，而油中的香味（黑色分子）比較難被聞到。而在油滴小的時候則恰好相反。

結塊與凝絲

結塊是因為水在膠體跟在澱粉塊中滲透極慢

醬料結塊是廚師之恥！但令人失望的是，它可能會出現在所有跟麵粉有關的醬料裡，比如說牛奶白醬。各家食譜都有各自建議的方法來避免，有些人建議先將奶油與麵粉一起加熱做成奶油麵糊，然後再將牛奶倒入。在這裡有些人說要用冷牛奶，其他人則建議用滾燙的牛奶。還有人主張順序應該倒過來，就是將奶油麵糊倒入牛奶中，這裡又根據不同說法，有人主張用冷牛奶有人主張熱牛奶。



到底該採用哪一種方法才好？我們就浪費一點麵粉、奶油跟牛奶來試試看這四種排列組合吧。結果我們發現，其實結不結塊只跟混合的速度有關：不管是把奶油麵糊慢慢加入牛奶中或是把牛奶慢慢加入奶油麵糊中，其實都不會結塊。但是如果把兩者一下子就混在一起，馬上就結塊，特別是把奶油麵糊快速倒進熱牛奶中。

這個實驗是告訴了我們一些技巧，卻無法解釋原因。讓我們抽絲剝繭排除各種因素來分析一下。奶油主要是用來煮麵粉用的，因為麵粉本身無味，奶油可以跟麵粉起化學作用產生一些味道（煮時變成黃褐色就是因為產生的香味分子造成的）。不過奶油並不是造成結塊的原因，因為單把水跟麵粉混在一起也會結塊。所以是為什麼呢？麵粉，主要是由澱粉粒跟蛋白質組成；而澱粉粒裡面含有直鏈澱粉（又稱糖澱粉）跟支鏈澱粉兩種。這兩種分子都是聚合物，也就是說由許多相同的葡萄糖小單元，重複連結成為長鏈。直鏈澱粉是一條長鏈，支鏈澱粉則有分支。這些分子在冷水中溶解度都很差，但可以溶於熱水。在熱水中澱粉粒會膨脹，形成一種膠（水把澱粉粒膨破後，直鏈澱粉會漏出去，而在外面

形成膠質），也就是我們熟知的澱粉漿（或稱糊化）。

這樣的描述給了我們一些線索去了解麵粉結塊的原因。是否因為一塊麵粉掉進熱水裡，在周圍很快形成一圈澱粉漿，而限制水滲透到中心呢？可是這解釋聽起來不完整，因為如果水可以滲到麵粉塊周圍，為什麼最終卻不會到達麵粉塊中心呢？

「一度空間」麵粉塊

剛剛我們看到，一切都跟混合的速度有關。所以讓實驗條件簡單一點：做出一個「管狀」結塊，這樣才可以觀察到中心部分。怎麼做呢？我們可以在一支試管中倒入一些麵粉，然後在麵粉上面倒入水（最好倒入有顏色的水，這樣才可以根據顏料移動來觀察水的擴散）。當在室溫中觀察，我們可以看到一開始倒入水時，水很快地就滲入麵粉上層，但是之後速度就慢下來了，慢到約每小時滲入不到一公釐。

現在用電阻（比如說電湯匙）來加熱水，熱水會進入澱粉粒讓它們膨脹起來，然而這糊化的外層會限制顏料（代表水）更進一步擴散。此時擴散的速度增加為一小時數公釐。

所以結論是，因為水從糊化的麵粉外層向內擴散極慢，結果讓中心保持乾燥。也就是說，熱水讓外層的澱粉粒糊化，澱粉分子連結成一層膠膜，結果減緩了水往中心滲透的速度（其實這現象背後還有水跟澱粉分子更複雜的互動），因此中心可以保持乾燥好一段時間。具體來說，一個直徑一公分的麵粉塊掉進熱水裡時，會形成厚不過一到兩公釐的糊化外層，但是已足夠延長水滲透進麵粉塊中心的時間，而這時間遠超過大部分烹飪所需的時間。

而要解決麵粉結塊的問題，完全不需要任何物理知識。只需要用攪拌器，把麵粉塊打散成小塊，小到比已經糊化的外層小即可。

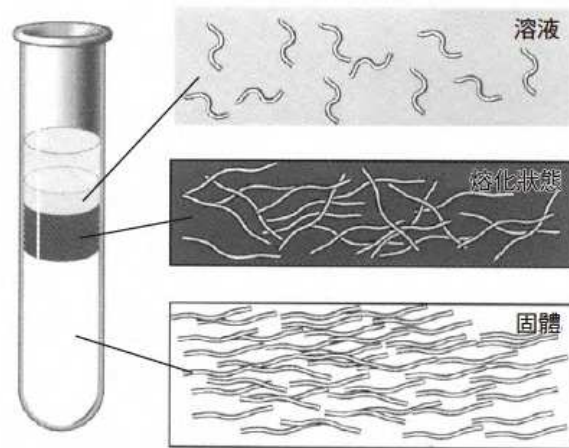
明膠結塊

造成麵粉結塊的原因，是否也可以解釋其他東西的結塊？舉例來說，廚師都知道明膠片（又名吉利丁片）需要先在冷水中泡軟才能放入熱水中。如果沒有遵守步驟，你會得到一堆難溶的絲狀物，跟掉進熱水而結塊的麵粉一樣難以解決。這樣的絲狀物，是否跟麵粉塊一樣有一層被水溶掉的外殼跟乾燥的中心？要回答這個問題，先看看水怎麼在明膠凍中擴散。把一點咖啡粉放在明膠凍表面，我們會觀察到一圈褐色慢慢以咖啡粉為中心擴散開來，不過速度很慢，大約是一天擴散一公分。

接下來用明膠來重複剛剛放澱粉在試管中的實驗。我們一樣會看到有顏色的水，在明膠裡擴散極慢，但是這時有個新的現象出現了：在上層的明膠變成溶液，溶液之下的明膠部分卻熔化了（但沒有變成溶液）。

沒有泡過冷水就直接放入熱水中的明膠片也是如此。明膠片的中心會因熱而熔化，而分子會彼此黏在一起，結果形成難溶的絲狀。

而泡過冷水的明膠片，因為水有時間滲入中心，之後加熱的時候會造成明膠溶解，因此絲狀就不會出現。



絲狀會出現的原因，是因為當明膠片被直接放到熱水中時，熱水滲入很慢，而中間的明膠因熱而熔化。我們可以在試管中觀察這種現象：當蓋在明膠上方的水被加熱時（試管最上層），水會擴散但只會形成很薄的一層溶液（試管第二層），而下面的明膠卻會遇熱熔化（試管第三層）。

慕絲

泡沫的穩定，與介於空氣跟水之間的蛋白質分布有關

慕絲很輕盈，因為大部分都是空氣，所以現代廚藝界跟食品工業界喜歡大量使用。慕絲的基底其實就是把蛋白打成極細的泡沫，但是因為蛋白成分的多樣性，加上無法掌握形成慕絲的最適當情況，進而會造成不穩定的結果，這總困擾著食品工業界。如果能進一步分析構成慕絲的蛋白質，以及它們的物理與化學特性，可以讓我們更了解不同蛋白質組成，如何影響它們形成慕絲。

慕絲的細小泡沫，是一層層的液體膜。因此，慕絲存在的前提就是：這些液體膜不會塌陷，以及就算液體往下流，膜還可以撐得住自己。打蛋白泡沫顯示出，讓慕絲穩定的一個條件就是泡沫要細、氣泡要小，這樣「表面張力」才會大過讓液體往下沉、讓空氣往上升的「重力」。

在南特的國立農業研究所裡，杜雅跟勒費佛，與在土魯斯的帖席耶，藉著比較不同蛋白質所構成的薄膜，發現薄膜的穩定度，取決於薄膜中蛋白質的互動，以及這層薄膜的濃稠度。

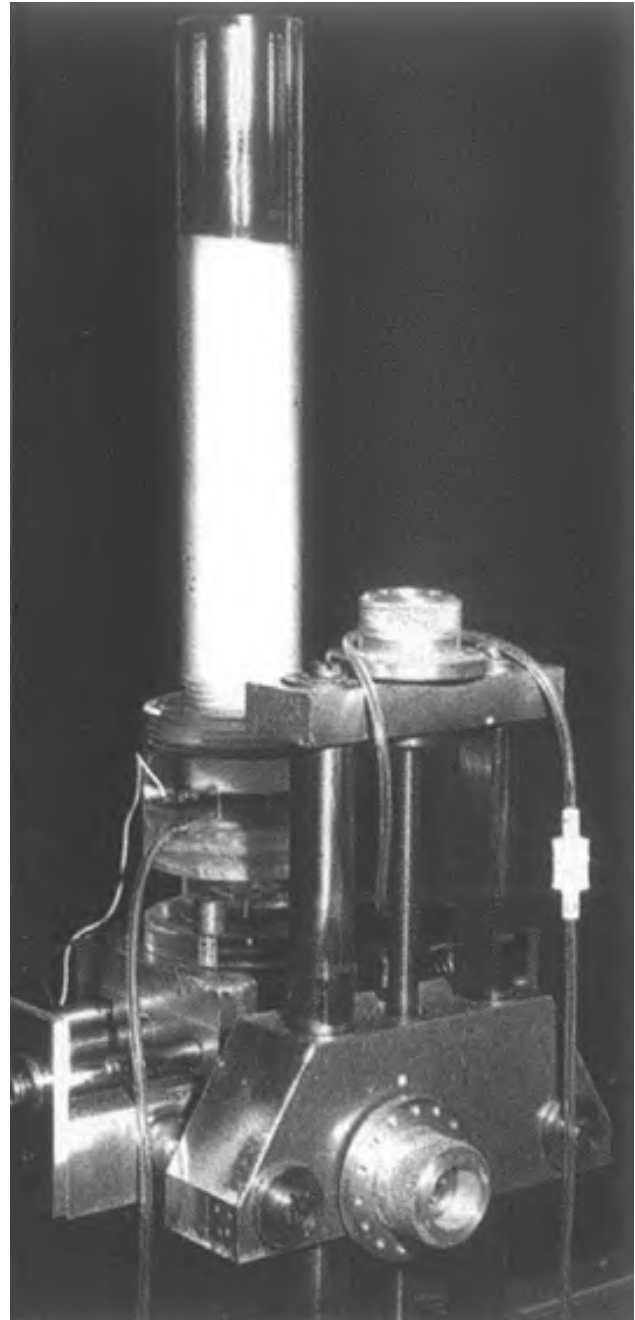
對於慕絲來說，一個重要的穩定因素就是介於空氣跟水之間的蛋白質膜的「界面張力」。科學家們測量這種張力的方式，是在一杯液體的表面覆蓋一層由蛋白質形成的薄膜，然後將一片極為乾淨的白金刀片，插入液體中，再把刀片抽出。愈多的液體沾附在刀片，界面張力就愈大，要把它抽出所需的力量就愈大。蛋白質可以改變界面張力的原因，是因為它是由胺基酸長鏈所組成，而長鏈中有些部分屬於親水性（溶於水中），有些部分屬於疏水性（不溶於水）。當蛋白質分布在水跟空氣間形成薄膜時，它們會把親水的部分面向水，而排斥水的部分面向空氣。而它們傾向增加與空氣跟水接觸的面積，因此有助於形成慕絲。

我們可以藉著增高慕絲的黏稠度來讓它穩定（比如加點糖或是加入

甘油），其實主要是改變這層吸附膜的液體流動性。在蛋白質慕絲中，這層膜會因為蛋白質分子內跟分子間的連結而變得堅固，比如說蛋白質裡如果有兩個以上的半胱胺酸，就會形成雙硫鍵。也有比較微弱的連結，例如氫鍵或是凡德瓦力。

杜雅等人對於蛋白質在慕絲中的角色特別有興趣，他們想知道蛋白質的濃度對於泡沫界面張力的影響。我們已經知道溶水性高的蛋白質，並不容易吸附在水跟空氣的交界處，因此就算濃度增加，對於界面張力的減少也沒有太大助益。除此之外，對於其他蛋白質（也可以說絕大部分的蛋白質）的影響，我們幾乎一無所知，也難以分析，因為蛋白質的構造太複雜。不單單因為蛋白質分子是由各種不同胺基酸所組成的長鏈，而長鏈可以折成許多不同形狀；更是因為蛋白質有帶電的部分，除了自己分子內會互相吸引（或排斥）以外，分子間也會互相影響。

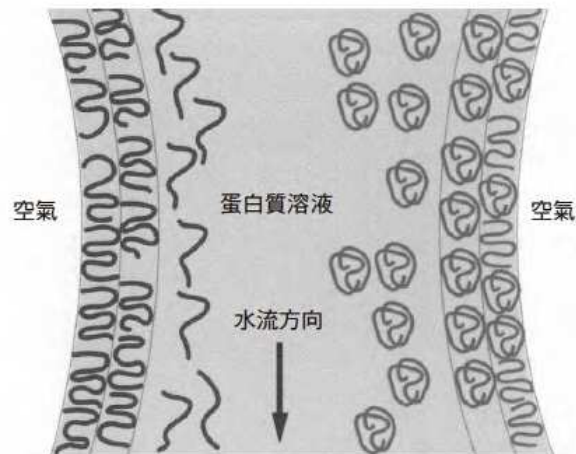
目前關於這種聚合物性質最精確的描述，應屬於在薩克雷原委會的諾貝爾獎得主德堅內與他同事達吾所提出的。他們預測愈能吸附在水表面、愈密集的分，愈能降低界面張力。但是帶電的蛋白質讓整個情況



一：可以操控蛋白的儀器。空氣可以由管柱下方多孔的小盤子注入，打到充滿蛋白質的溶液中。

更複雜了。因為蛋白質的帶電量愈大，它愈溶於水，愈難吸附在液體表面，密度也愈低。但是反過來說，蛋白質外圍若帶有電性的部分，則會降低蛋白質分子間與分子內的吸力或排斥力。

為了測試種種理論預測，杜雅他們特別使用酪蛋白做材料，原因是因為酪蛋白並不會折疊成一個球，因此在形成慕絲時也不會「展開」（科學上叫蛋白質變性），因此可以讓實驗簡單不少。在測試了諸多蛋白質之後他們發現，如果用球蛋白或是非球形蛋白做慕絲，界面張力會隨著蛋白質濃度增高而增加。有兩種蛋白質會吸附在水跟空氣的界面，而它們組成明顯不同的兩層膜。蛋白質濃度較低時，第一層膜會先形成在表面，如果增加蛋白質濃度會造成第二層蛋白質膜出現。



二：在慕絲中的氣泡，是由液體膜所隔開，而液體膜是由溶在裡面的蛋白質所穩定住。在左邊所表示的是非球形蛋白質被吸附在表面，右邊則是被吸附的球形蛋白。有些球形蛋白已經展開（代表蛋白質變性）。

在空氣跟水界面聚集的球蛋白與非球蛋白，其主要的差異在於：非球形蛋白只會形成一種形狀，而球形蛋白則會形成因為胺基酸數目不同，還可以再形成兩群，而它們吸附在表面的能力也不一樣。

香腸

我們找到了決定香腸香味的分子

傳統香腸的做法，是先把肉混合做成絞肉，然後混入糖、硝酸鉀跟香料，混合好之後塞入腸衣中，接下來進行數月的乾燥過程。這個方法，因為沒有加入任何發酵的介質（那些會酸化或是產生香味的微生物）去控制，有可能做出最好，也有可能做出最糟的香腸。如果天然的微生物酸化不夠，那致病細菌就會大量滋生。或者呢，原本的腸道細菌可並不全部都會產生令人愉悅的味道。



為了避免這種困擾，食品工業界使用發酵來控制香腸品質，但是卻容易陷入另一種困境：許多大量生產的香腸都過軟（因為乾燥的過程往往不到一個月），而且香味無法與傳統香腸比較。不過現在情況即將改變，因為食品工業界開始致力於生產頂級食品。在香腸方面，他們委託在克萊蒙費朗的國立農業研究所，來研究做出頂級香腸的條件。

要改進就先要了解產品，要了解產品就要分析。國立農業研究所的貝達傑、蒙泰兒與塔隆等人先萃取乾燥香腸中的成分，再用「氣相色層分析儀」去分析造成香腸香味的分子。這種機器可以讓香味分子溶在氣相溶劑中然後通過一條毛細管，在通過的時候因為各分子大小不同移動速度也不同，會被分離開來，之後他們再使用質譜儀（可以用來鑑定氣相色層分析儀分離出來的分子）來判定分子性質。藉著這些高科技產品，他們可以分析用來做香腸前的絞肉，也可以在製造過程中做分析。

首先他們注意到香腸的香味是由一百多種有機分子所組成的，這些

分子是由肉中酵素作用產生，以及絞肉發酵代謝出來的。接著他們分析由不同的細菌組成所做出來的香腸，發現這些讓香腸熟成的細菌對於香味具有決定性的影響。

其中一個系列的實驗，他們用不同比例混合了嗜酸細菌（屬於乳酸桿菌屬以及小球菌屬）以及會產生香味的細菌（都屬於葡萄球菌屬）去製造三十條香腸（六種細菌混合，每種混合做五條香腸），然後去分析香腸產生的香味，同時也請十二位受過訓練的聞香師來聞。當然，他們有事前溝通好使用相同的詞彙來定義各種味道。

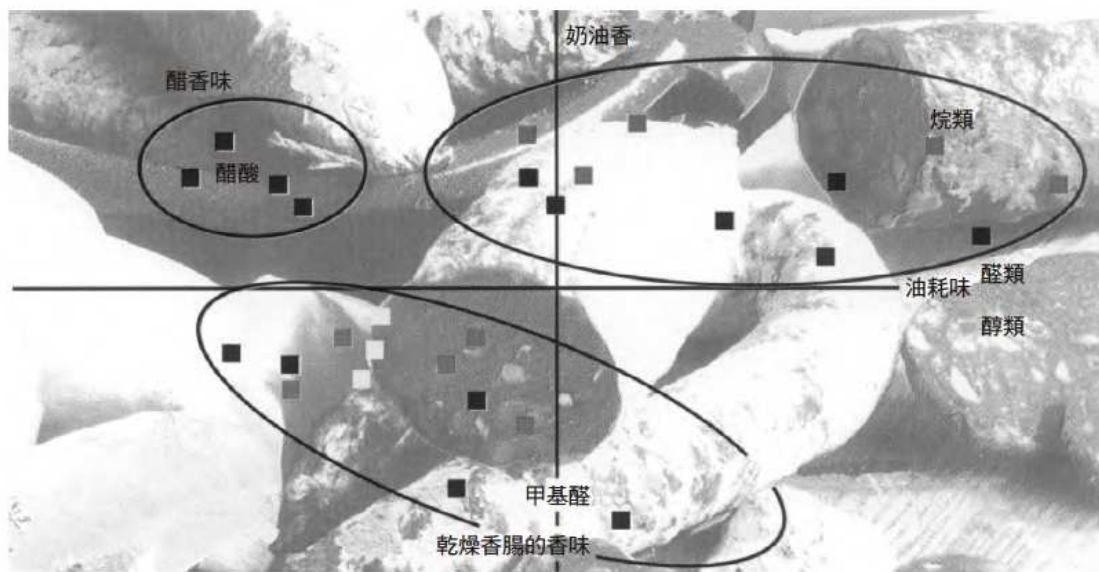
把實驗的結果用統計分析後發現，菌種對香味有很大的影響。更精確的來說，脂肪的氧化對香味的影響最大。油耗味（就是脂肪酸敗味）是伴隨著醛類、烷類以及醇類的生成而產生，而香腸的香味則是跟丙酮類以及甲醛類的產生有關。而糖分的降解則會讓香腸產生或者是醋的味道（因為產生醋酸），或者是奶油的香味（因為產生了 2,3-丁二酮）。

因此呢，這個分析告訴我們，香腸製造過程有點像製造優格：健康牛奶中的好菌叢，決定了最終產品的品質。由此觀點來看，在製造香腸的時候，如果能使用好的菌種來保證熟成的過程，就可以得到香味四溢的香腸。

包裝跟香味

另一組實驗，由薇亞瓏的團隊所做的，則顯示了熟成過程的長短以及香腸包裝對於香味的影響。過長的乾燥時間往往會造成香味的流失，因為在乾燥的時候，蒸發掉的水分會把香味分子一起帶走。但是同時香腸的味道卻會比較強烈，因為在香腸變乾變硬的過程中，鹽分的濃度愈來愈高。那如果用一層塑膠膜，在熟成的時候包住香腸，可不可以避免香味因乾燥而流失呢？薇亞瓏他們發現這樣做香腸乾燥的程度有限，而糖類的降解過程卻完全不一樣。包住的香腸香味比較不酸而奶油味比較濃郁。

最後，他們也研究了各種香味如何透過芳化作用（又稱香花作用）形成。他們去追蹤各種香料後來所產生的芳香分子，比如烯類代表調味裡有胡椒存在、大蒜會產生含硫分子，而干邑會產生酯類（由乙醇跟含鹽肉類中脂肪酸反應所產生的）。根據這些分析，食品工業界可以找出讓香腸風味絕佳的辦法。更好的是，了解了香腸的香味之後，就可以用合成香料去彌補不完整菌種發酵時所缺少的香味。最近，卡布旭利公司的胡先生，就試著將 1-辛烯-3-醇酯加入香腸中，結果帶來獨特的「林間灌木叢」香味。



用不同嗜酸菌與產生香味的細菌組合去做出香腸，然後依據其香味分子來做的分類。

西班牙生火腿

這火腿的「法定產區證明」背後大有學問

最近這幾年，西班牙火腿的消費量已經攀升到每年三千萬條腿。其中一些頂級火腿是用來自西班牙西南方的伊比利豬（每年約可製一百萬隻火腿），遵循古法所製造。這些火腿的風味非常特別，歐盟甚至頒給它們「法定產區證明」。這種絕佳的風味是怎麼形成的呢？在卡薩雷斯獸醫學院的文塔那斯與他的同事，就詳細分析了冗長火腿製作過程中的每一個階段，然後找出造成火腿獨特風味的原因。



傳統火腿的製造過程，其實從養豬階段就開始了。農家對伊比利豬採自由放養的方式，餵食橡樹果實與野生草藥（這是豬飼料的主要成分）讓牠們成長增肥，一直到豬隻長到一百六十公斤左右才屠宰（一般是在晚秋）。屠宰之後豬腿被保存在攝氏零度左右的環境兩天，然後農家會用含有百分之一硝酸鉀的粗鹽摩擦火腿準備醃製，接著將火腿放在鋪滿這些鹽的檯子上低溫（攝氏零到四度）醃製一個禮拜。去鹽之後，火腿會繼續被保存在低溫環境下兩到三個月，然後才進行風乾熟成的步驟。風乾熟成約需一個半月，此時也是溫度開始回暖的時候，直到氣溫達到約攝氏十八度。接著，夏天來到，火腿繼續被保存在室溫一個半月，才進入最後熟成的階段。在最後熟成階段，火腿要被送進地窖裡面繼續保存約十四到二十二個月。

這樣冗長的步驟其實是根據經驗，並為了適應埃斯特拉馬杜雷地區的特殊氣候而發展出來的。然而時至今日，有控溫功能的冷房已經可以

克服氣候的變化。為了將傳統古法與現代設備完美結合，火腿製造業者必須了解每個過程精確的溫度與時間，而且最好整個醃製時間可以縮短。那要怎麼調整才不會影響到火腿的風味呢？

早在一九七〇年代，一些化學家的研究已經指出，一些食品（例如乳酪）的特殊味道是因為在製造過程中，蛋白質（也就是胺基酸長鏈）與脂質的降解產生的分子造成的。同樣的分子是否是形成西班牙火腿風味的原因呢？或者，這些分子只是一些中間產物？從一九九〇年開始，文塔那斯他們就研究火腿製造過程中的每一個步驟中，蛋白質與脂質改變的程度。他們發現，在鹽醃的階段會造成蛋白質分解，因而釋放出許多胺基酸；而這些胺基酸會被進一步分解成香味分子的前驅物。

許多化學反應都在此出現，比如說像梅納反應：這是一種胺基酸與糖類結合的反應，是造成諸如烤肉香、烤麵包香以及烘咖啡香味的主因。這反應也會在食物長時間保存時出現，並造成食物變褐黃色。另一個反應則是史特烈卡降解反應，是胺基酸與其他酸類（特別是脂質分解時釋放出來的脂肪酸）反應，這種反應會造成有香味的醛類。

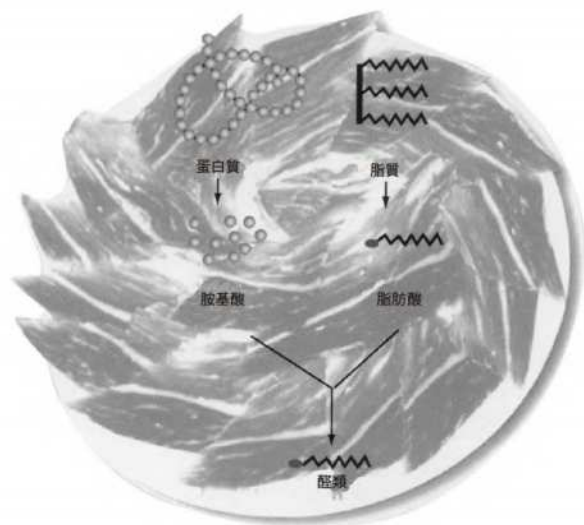
熟成過程是高級火腿的關鍵

在伊比利火腿中，梅納反應的產物，隨著熟成時間愈長而愈多；因此也可以說，沒有長時間的熟成，是無法得到風味絕佳的火腿。而更重要的是，在鹽醃過程中所產生的醛類，會參與梅納反應，並產生一些分子延遲脂質的酸敗（油耗）。

而另一份更新的研究則從另一個方向來研究火腿。他們先辨識出火腿的香味分子，然後才去找這些分子的來源。這些分子中最多的就是烷類了，這是一類由碳原子跟氫原子用單鍵結合起來的化合物。在西班牙火腿中，可以找到兩種烷類。第一種是直鏈烷類（碳原子單鍵結合成長鏈做骨架，旁邊接上氫原子），很有可能是脂質分解而來的；另一種則是分支烷類（碳原子骨架有分岔），則是來自飲食中大量的橡樹果實，而這正是伊比利豬的特色之一。因此，化學的研究支持「法定產區證

明」，只有在伊比利橡木林中自由放養的豬才可能做出好的火腿。

而另外一類重要的香味分子則是直鏈醛類。這是史特烈卡降解反應的產物，不過也有可能是飽和脂肪酸油耗產生的。在此，化學研究再次證明產地的重要性，伊比利豬的脂肪分布如大理石般均勻，而且富含不飽和脂肪酸。



有兩種反應產生的醛類，是造成西班牙火腿香味的關鍵。一種是蛋白質的降解（左），另一種是脂質的降解（右）所產生的。

鵝肝醬

如果在屠宰後立即製作，鵝肝嘗起來更美味也不容易化開

在法國，阿爾薩斯跟西南地區都宣稱是自己先發明鵝肝醬。不過其實羅馬人已經有用無花果灌食鵝的紀錄了，所以其實肥肝並不是近代的產物。倒是它的烹調方法是最近才改變的。過去處理鵝肝，都是在屠宰數小時之後才進行烹飪。不過，法國在食品相關法令改變之後，屠宰場被集中管理，鵝隻在屠宰之後會尚在「溫體」的情況下立即摘除肝臟並進行烹調。這樣的改變對肥肝的品質有什麼影響嗎？

在一九九〇年初，位於阿緹蓋的國立農業研究所裡，胡斯婁派耶與姬兩位研究員與他們的團隊就研究了鵝肝的烹調問題，結果他們發現，溫體摘除肝臟所做出的鵝肝，比起傳統方式處理的鵝肝，要保存更多脂質。傳統業者聽到這消息應該會很高興，不過他們還是會擔心：這樣鵝肝的味道還會一樣嗎？這可是關係到法國美食光榮裡重要的一環呢！為了回答這個問題，在克萊蒙費朗的國立農業研究所裡，胡賽阿可琳姆他們就詳細分析了在兩種製作方法下，鵝肝的氣味與味道有何差異。

他們在阿緹蓋地區灌食飼養了三十隻鵝，然後屠宰後立刻將肝臟取出，較大的一葉延著長軸等分成兩塊，其中一塊用攝氏一〇五度滅菌五十分鐘，而另一塊則先放在冰箱中數小時，再進行前述相同的處理。接著，他們將兩塊肝臟讓受過訓練的試吃者品嚐（這可真令人羨慕）。

之前根據鵝肝醬與鴨肝醬比較所做的研究（結果顯示兩者有極大的差異），已經建立好一套評鑑標準，讓研究人員來判斷肥肝的品質。試吃者必須在十八個項目中給分數（每項從一到二十分），包括了：外觀（分成結實度、光滑度以及血絲）、氣味（家禽肝味或是肥肝味）、質地（黏牙程度、結實度、堅實度、是否入口即化、是否有顆粒、油脂量、光滑度以及易碎度）、口味（偏酸、偏苦）、整體香味（家禽肝味、肥肝香味或是油耗味）。結果經過統計之後就可以給研究人員足夠

的資訊。

研究人員首先證實在適當的使用狀況下，人體其實是很可靠的機器。品嚐者所給的評鑑，可以很明顯的區別出兩種鵝肝製作方法的差異，特別是立刻烹調的鵝肝，比較有血絲、入口即化、比較肥美、比較光滑、較沒有顆粒、比較不容易碎、比較沒有苦味，同時鵝肝的香味也比先冷藏再處理的要濃郁許多。更重要的是，這許多特性是彼此相呼應的。比如入口即化的鵝肝，也是那些含脂肪較多、顆粒感較少、比較不易碎也比較不堅硬的鵝肝。黏度比較高的鵝肝，也同時是那些比較肥而較不易碎的。同樣的比較結實的鵝肝也是比較硬、比較光滑，也比較不易碎的。最後，顆粒感比較多的鵝肝是比較易碎、比較不肥美也比較不光滑的。

愈是入口即化愈香

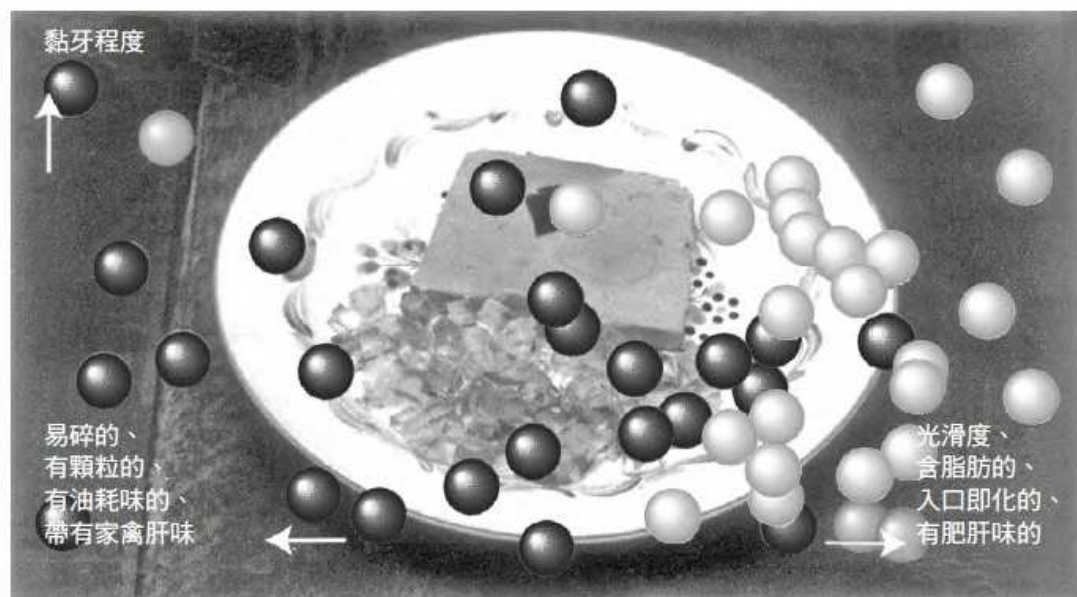
同樣的，這些統計分析也顯示出了「味道」跟「香味」之間的關連。家禽肝味與腐壞味，是跟鵝肝香味相反的味道；而酸度愈高，鵝肝的香味愈少。而鵝肝的質地評鑑跟香味呈現特別明顯的正相關；除了外表的光滑程度跟鵝肝味道有關以外，在質地上是否入口即化、結實度、肥美度、口感光滑度都跟香味有關。

在沒有預設立場的情況下，品嚐者將鵝肝分成了兩組，第一組多半是先經過冷藏處理的鵝肝，質地比較多顆粒、較易碎、帶有家禽的肝腥味，有時還有一點油耗味。第二組則多半是屠宰後立即烹調的鵝肝（當然還是有含幾塊是冷藏過的），較肥美，較入口即溶也比較光滑。

為什麼會有這種區別呢？實驗結果顯示，比較脂質溶化的比率（就是在烹調時流失掉的脂肪），先冷藏處理的鵝肝會比直接處理的鵝肝要高得多（百分之二十一比上百分之九），我們因此假設在溫體摘除肝臟，可以避免肝組織的變質，因而避免細胞膜的破損，所以減少了脂質流失的程度。

此外，對於先冷藏的肝臟來說，愈重的肝，脂質溶化而流失的比率愈高，但是對於直接烹調的肝臟則沒有影響。而不管是哪一種烹調法，鵝肝的結實度與堅硬度，都跟重量成反比，愈重的鵝肝常常是愈不結實也不堅固的。而隨著脂肪流失得愈多（大約一半先冷藏的肝臟都會這樣），鵝肝嘗起來也顆粒愈多、較易碎、略有油耗味也較不光滑，不入口即溶，較不結實肥美也較不香。

因此，食品業者可以放心了，新的屠宰烹飪法不但不會傷害他們的產品，反而會有更好的效果。而廚師也因此可以知道，要做出好的鵝肝，廚房要更靠近產地。

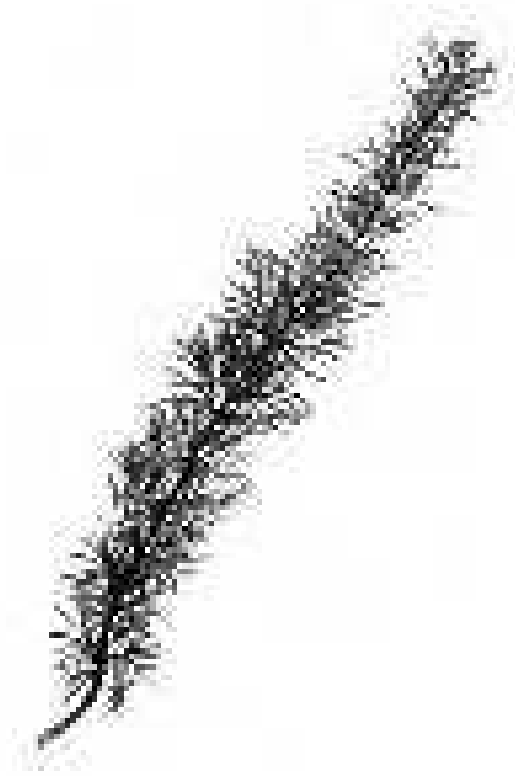


鵝肝的味道、香味，與製作的方法有關。品嘗的結果可以把鵝肝分組，一組是屠宰後立即烹調的鵝肝（淺色點），另一組是照傳統方法先冷藏數小時後再處理的鵝肝（黑點）。

抗氧化劑

植物的一些芳香分子可以避免食物中油脂的氧化問題

一旦跟空氣接觸後，奶油或者其他還有油脂的食物，就會開始酸敗（油耗），這是一種自發性的連鎖反應所造成的，稱為脂肪酸的「自氧化反應」。這種脂肪酸的降解，會產生令人不悅的味道，也會產生所謂的「自由基」，而對人體有害。要怎麼去對抗這種天然的反應呢？「光」和「氧氣」都會引起反應，但是光是避開光跟氧氣是不足夠的，因為自氧化反應的前驅物已經存在食物裡，因此我們還必須使用抗氧化劑，去阻斷這些反應。



具抗氧化效果的迷迭香。

有些食物含有天然的抗氧化劑，因此可以避免油脂的酸敗，比如說像是初榨橄欖油中的生育醇（就是維生素E），或是檸檬中很多的抗壞血酸（就是維生素C）。為了延長食物的賞味期限，食品工業界先是使用這些天然的抗氧化劑，然後又開始嘗試合成效果更強的抗氧化劑。然而，消費大眾非常懼怕這些未知合成物可能含有毒性，因此迫使研究人員必須尋找其他的天然抗氧化劑。

了解脂肪酸的自氧化反應，有助於研究這些抗氧化劑。脂肪的構造是長串碳鏈（C）旁邊接上許多氫原子（H）。氧化反應起始於「光線」打斷脂肪中碳與氫的鍵結-C-H，讓它們均勻裂解而造成一個碳自由基-C·（也就是碳上面帶一個不成對電子）。碳自由基很不穩定，因此

會快速跟空氣中的氧氣（ O_2 ）結合，把不成對電子轉移到羧基上形成自由基 $-COO\cdot$ ，而這個自由基又會去跟另一個 $-C-H$ 反應，把電子轉移過去造成另一個碳自由基 $-C\cdot$ ，然後 $-C\cdot$ 再跟氧氣反應，如此一直連鎖反應下去。

食品工業界使用的抗氧化劑通常是酚類（最簡單的酚就是六個碳原子圈成六角形的苯環，每個碳上接一個氫原子，但其中有一個碳則接一個羥基 $-OH$ ）。這些酚酸類（比如說天然食物中很多的類黃酮）以及它們衍生的酯類，都有抗氧化性。抗氧化劑的特性來自於它們的結構：特別是苯環中心電子的「非定域化作用」。不同於一般鏈狀分子（當原子鍵結時電子會固定在兩個原子之間），苯環的電子會在六個碳原子中間不斷移動，也可以說電子是六個碳原子所共有的，這叫做「非定域化」。當這樣的分子與脂肪自氧化所產生的自由基作用時，苯環吸收不成對電子變成自由基，但是苯環自由基是很穩定的，因為這個不成對電子會被六個碳原子共有，因而不容易跟其他分子反應。如此，這個連鎖反應就被打斷了，脂肪的酸敗也被中止。

即使尋找抗氧化劑的研究，目標非常明確，但是工作進展很緩慢，因為這種氧化作用發生得本來就不快，一般食品酸敗的速度其實頗慢（真是不幸中的大幸）。

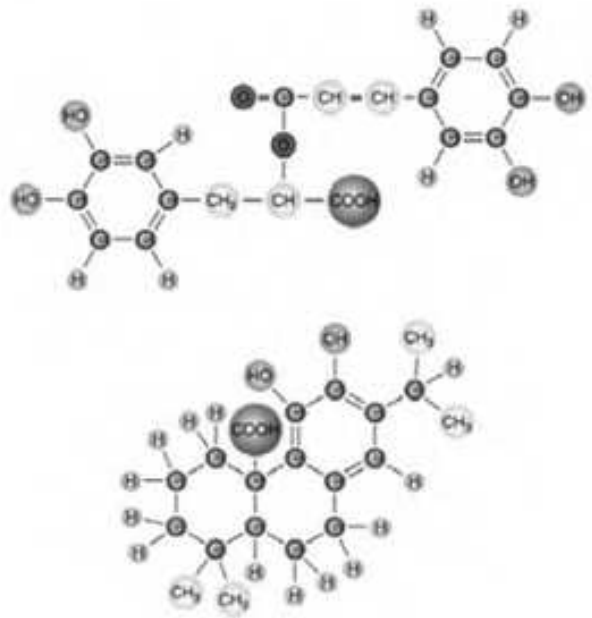
傳統的酸敗實驗需要觀察好幾天，這樣讓系統化大量尋找抗氧化劑的研究變得難以執行。

位在馬錫的國立高等農業與食品工業學院裡，就有人解決了這個問題。一間專門研究化學與天然受質的實驗室就發展出一套技術，讓抗氧化的研究可以在數小時內知道結果。他們的做法，是把氧氣打入一種親油性的溶劑十二烷中。然後把亞麻油酸甲基酯（一種要被氧化的油脂）溶入十二烷裡，接著把要測試的抗氧化劑加入。當溫度被加熱到攝氏一百一十度（實驗所需的溫度），根據氣相層析儀的分析，他們發現若是沒有任何抗氧化劑的保護，一半的亞麻油酸甲基酯會在三小時左右被氧

化掉（一半分子被氧化的時間稱為半生期）。抗氧化劑的功效，則是根據是否能延長這個半生期來判斷。這種快速實驗有兩個用途，一個是研究各種抗氧化劑的化學特性，以便預測哪一種抗氧化劑的效果最好。另一個則是研究使用各種植物芳香分子來當成抗氧化劑的可能性。

他們比較了工業上最常用的抗氧化劑：丁基羥基甲氧苯（BHA）、二丁基羥基甲苯（BHT）、第三丁氫（TBHQ）以及沒食子酸丙酯（又名五倍子酸丙酯），與多種植物酚酸類的抗氧化效果，結果顯示了許多天然的抗氧化劑都有很強的功效。而實驗結果也指出，這些天然分子的抗氧化效果，似乎跟它含有的羥基（-OH）數量有關，而穩定度則跟電子的「非定域化作用」有關。找出這樣的規則有助於預測未來分子的抗氧化效果，也有助於尋找自然界中可能存有這些分子的地方。

他們用這個快速的測驗法檢驗了許多植物萃取出的分子，也印證了許多一直以來被認為有抗氧化效果的植物，比如迷迭香、鼠尾草、丁香、百里香、牛至、薑以及辣椒確實有抗氧化效果，但是豆蔻沒什麼效果。迷迭香、鼠尾草、丁香跟薑的萃取物有著近似於 α 生育醇（一種維生素 E）的抗氧化效果，這差不多是 BHA 或者 γ 生育醇（另一種維生素 E）的十分之一。而胡椒、洋香菜、西洋芹、印度芹或是羅勒則沒有顯現出任何抗氧化效果。此外，與過去的研究一致的是，安息香與香草有著類似 α 生育醇的抗氧化效果。這兩種植物成分中含有香草醛，因為



迷迭香酸的化學分子結構（上），以及鼠尾草酸的化學分子結構（下）。

具有抗氧化效果，曾在一九八九年時引起許多注意。

在眾多植物萃取物中，抗氧化效果最明顯的莫過於迷迭香、丁香、鼠尾草、薑還有安息香了。特別是鼠尾草，根據研究結果顯示它含有六種效果很強的抗氧化成分：含量較多的是鼠尾草醇、鼠尾草酸以及異迷迭香醇；此外還有迷迭香雙醛、迷迭香醇以及表迷迭香酚等。

鱒魚

物理跟化學家們研究他們盤中魚排的特性，以便決定最恰當的烹飪法

怎麼決定一條海鱒（見下頁圖）品質的好壞？粉紅色的魚肉是否是最佳保證？海鱒又該如何烹飪才可以滿足老饕的舌頭？又該如何養殖才適合食品工業界去加工，製造出燻魚這類產品（這可是法國的著名特產之一呢）？

雖然法國身為世界數一數二的鱒魚產地，但是對於水產養殖方面的關注卻比其他肉品要落後快三十年。特別是在基因選殖上面明顯不足，導致魚種的變異性太大，而讓食品加工業難以處理。為了了解不同鱒魚間品質不同的原因，位於南特與雷恩的國立農業研究所的佛柯諾、拉赫許與他們的同事，就與法國海洋研究所，以及許多私人企業合作，來研究鱒魚肉的物理與化學特性，以及魚排與味覺的關係。

我們已經知道，大型鮭科魚類肉質在烹調中的表現（像是煙燻或是醃漬），與品嚐起來的口感，主要是跟魚肉中脂肪的含量有關，因為大部分的香味分子是油溶性的，而在加熱或氧化時也由此傳遞味道。艾莎美公司以及位於卡馬雷的賽米食品研究站（屬於海洋研究所）將河鱒養殖在海中，提供了研究材料。根據初步分析，這些魚類的肉裡含了約百分之六十五到七十五的水，百分之二十到二十四的蛋白質，以及百分之二到十二的脂肪。

他們發現肉是不是呈現粉紅色似乎無關乎品質。這其實跟飼料中類胡蘿蔔素（蝦紅素或是斑蝥黃質）的多寡有關。雖然不同種類的魚，對於這些色素的沉積速度也會因為基因不同而有差異，但是魚肉是否呈粉紅色主要還是與飼料中有無這些類胡蘿蔔素有關，這會造成魚肉由黃轉為粉紅色。

既然如此，為什麼同一隻母魚生出的小魚，長大後魚肉卻會有不同的深淺色呢？這是因為每隻小魚成長的速度並不相同。研究結果顯示，

魚在成長過程中會在肉中積蓄脂肪，長得愈大的魚，脂肪堆積愈多（通常也成長愈快）。隨著色素在脂肪中濃度愈高，肉就變得愈紅，因此長得快的魚，肉也比較紅。簡單的說，一條鱒魚吃得愈多，長得愈快，也就比小的魚要吸收更多的色素。換言之，如果能控制每條魚成長的速度，就可以控制煙燻魚排的品質。

而魚肉口感的物理與化學特性，跟魚肉的組織有關，而魚肉的組織跟其他肉來相比是大異其趣。在一般肉類中（牛肉、豬肉），肌纖維（就是肌細胞）非常長，然後許多束集合在一起，由一層結締組織（膠原蛋白）所圍起來成一束。許多束再由膠原蛋白圍成更粗的一束，這樣一直下去。因此，煮牛肉時其實是在變硬（膠原蛋白遇熱變性）與變軟（膠原蛋白分解）中間尋找微妙的妥協。

魚肉本質就該煮軟

然而對於魚肉來說，烹飪的時間卻不能太長，因為魚肉只有很少量的膠原蛋白。魚的肌肉細胞並不是被捆成一束一束的，而是聚在一起形成片狀，只有在最表面的地方由膠原蛋白覆蓋支撐。其中每一片魚肉之間是由脂肪組織所隔開，因此脂肪組織對於支撐魚肌肉的結構來說十分重要，對於決定魚肉的口感來說也有決定性的影響。根據一些魚肉抗壓性的研究結果指出，鱒魚的魚肉要比其他淡水魚類（例如鯉魚或是鯰魚）要來得結實。

最後為了了解魚肉在烹飪時的改變，他們比較了同一條魚的魚排在不同處理下的差異。其中一塊魚排一被切下就先記錄各種特性，其他的則在切下來後先放在不同溫度下烹調，在這一系列的實驗中，烹調的最高溫度從攝氏十度開始每次增加五度，直到攝氏九十度。魚排被密封在一個塑膠袋裡，烹飪時溫度每一分鐘增加一度。烹飪完迅速把袋子浸入冰水中降溫，煮完之後再記錄魚肉特性。

這樣的研究結果指出，烹飪甚少改變魚肉的化學，但是卻增加了魚肉的抗壓性，原因很直接的就是因為加熱讓魚肉的蛋白質變性凝結。魚

肉整體的組成改變不大，因為所有的成分都等比例隨汁液流出。流出的汁液裡面還有很多脂質，因此原本溶在脂肪中的紅色素也跟著流出，同時魚肉因為蛋白質變性，而亮度增加。總結來說，約有百分之十到二十的成分會隨著汁液流出，而且隨著烹調時的最高溫度增加而增加。

研究人員今日還在鑽研烹飪對魚肉的影響（鱒魚魚肉似乎並不會因為煮得愈久而愈柔軟）。另一個研究魚飼料與魚肉味道關係的實驗則指出，不同魚飼料可以大幅改變魚肉的化學成分，但是對於魚肉味道則沒有顯著的影響。為什麼魚肉不會像雞肉一樣，隨著飼料的不同而改變味道呢？這還是個謎。



河鱒（上）以及虹鱒（下）是今日最常見的食用鱒魚（雖然一般認為鱒是淡水魚而鮭是海水魚，但是兩者分類上都是鮭科鮭亞科的魚類，而在俗名命名上常有混淆。這裡指的海鱒學名是*Salmo trutta trutta*，是洄游魚類；而河鱒是*Salmo trutta labrid*，本屬於淡水魚。虹鱒跟牠們都不同屬，虹鱒是*Oncorhynchus mykiss*，台灣又稱麥奇鉤吻鮭）。

烹飪時間

如何決定烹飪時間的長短，以便保持肉的鮮嫩多汁？

眼前如果有一塊牛肉要烤，該烤多久？怎麼決定？這是個古老的問題。在布希亞薩瓦杭的《味覺生理學》裡就已經問過了。

在各種不同的烹飪方法中，有什麼定律或規則嗎？先不談異國風的烹飪技術（比如大溪地的酸煮魚，就是把魚肉浸泡在綠檸檬汁裡），廚師們最好記得，所謂烹飪就是藉由熱讓食物「變形」的一種技術。

用熱空氣來幫忙加熱

既然如此，問題應該是：如何把熱傳導到食物裡？傳統烹飪法中，廚師會利用熱空氣、液體或是微波等來加熱食物。讓我們分析一下這三種手段其中之一：熱空氣。所謂用氣體加熱，就是諸如煙燻、風乾、文火慢燉、用烤箱烤或是用蒸的。

曬乾或風乾跟煙燻一樣，烹飪時間都很長，因為熱流的溫度只比室溫略高一些。「蒸」則比較有效率，因為食物會接收到蒸氣的能量以及凝結在食物表面的熱水滴的能量。然而，蒸的限制是，溫度最高只有攝氏一百度左右。在烤箱則完全相反，裡面的熱空氣（當然最終還是含有一些水蒸氣）的溫度可以達到更高溫，但這也同時是問題所在：要烤多久？廚師只能靠經驗來解決這種問題，因此出現了一些口訣像是：「一鍋十分鐘，每多一磅再加十二分鐘。」

這種口訣有根據嗎？首先要注意的是，食物的「最厚處」才是決定讓食物每部分都達到理想溫度的關鍵。因此，烤一條「一公里」長的香腸跟烤一根「十公分」長的香腸所需的時間，將會是一樣的，如果香腸一樣粗的話。

此外，食物厚度變兩倍，烹飪時間要變四倍，因為熱要傳遞的距離

變成兩倍，而需要加熱的分量也變兩倍。如果食物是球體呢，那加熱的時間應該是食物重量的三分之二次方，這會是一個剛開始快速上升，後來趨緩的函數曲線。這種計算的結果很接近經驗法則，但都不適用於小於一定尺寸的食物。

同樣是藉由熱氣加熱，古老的烹飪法例如文火慢燉乃是高難度的工程。傳統上先用高溫把肉表面烤成焦黃、也殺死微生物之後，再把肉品放在灰燼裡面慢煨（以前用陶製燉鍋，現今則大多用琺瑯鍋），像某些著名作家說的，「上蓋灰燼，下覆灰燼。」這樣熱流的溫度將低於一百度，但足以讓鍋料裡面干邑的酒精揮發（一般都會加入），以及配菜的芳香分子跑出來。因此肉是在一個充滿香味的環境中烹飪，同時又不會失去水分，因為溫度低於沸騰所需的攝氏一百度。

每個必經的階段

這種烹飪法今日在許多餐廳中都很流行，稱為「低溫真空烹調法」。廚師會把食物放在一個塑膠袋裡抽真空密封，再置於低於攝氏一百度的環境下烹飪。這樣烹煮的時間很長，跟古老的煨法一樣，但是好處是可以事先準備菜餚。以前的廚師就非常了解這項優點，因此連《外場經理的科學》一書作者梅農先生（於一七五〇年），在他的書中都沒提及烹飪所需的時間。因為他知道只要食物是在低溫下烹飪，時間長短並不會影響什麼結果。特別是，這樣煮出來的肉特別多汁，因為肉汁並不會被蒸發，也因此肉特別嫩。

早期文火慢燉之所以是高難度的技術，因為要擔心餘燼忽然間又燒出火燄；這個烹飪法今日卻可以輕易做出卓越的料理，只要我們使用可以調節溫度的烤箱，還有記住幾個關鍵的溫度即可。在攝氏四十度時肉類失去透明度，因為肉裡面的蛋白質開始變性（蛋白質是胺基酸長鏈摺疊捲曲而成，遇熱時長鏈會展開，然後彼此任意連結，稱為變性）；在五十度時肌肉纖維開始收縮；在五十五度時，肌凝蛋白（雞肉中負責收縮的蛋白，一般與肌動蛋白共同作用）構成的纖維開始變性，而膠原蛋

白（與肉的硬度有關）開始溶解；到了六十六度時，更多不同的蛋白質開始變性；在七十度時，肌紅蛋白不再與氧分子結合，因而肉開始變成粉紅色；在七十九度時肌動蛋白開始變性；到了八十度時，細胞膜破碎，肉開始變成灰色；一百度時水分開始蒸發；到了溫度超過一百五十度時，許多反應像是梅納反應開始發生，造成肉品變棕色而產生特殊香味。

這些參考有什麼用呢？用處就是，如果使用一台可以調整溫度的烤箱時，廚師就可以精確選擇需要烹飪的時間，以達到他想要的結果，而不必去依賴那些不可靠的經驗，也不用像以前一樣擔心忽然燒起來的灰燼會毀了一道菜。有些人喜歡帶血的牛肉，但是要注意的是，較低的烹飪溫度有時也會助長病原菌。低溫烹飪是冒險的，但是卻可以做出很好的菜。



法國二十世紀初的陶燉鍋，凸出來的蓋緣讓它適用於文火慢燉法。

烤肉的味道

烤肉的香味跟它的脂肪含量有關

肉的脂肪有味道嗎？如果有，是什麼味道？我們以前一直認為脂肪唯一的作用就是溶解芳香分子（因為大部分都是不溶於水的），我們也認為脂肪會因為酸敗，或者在烹飪的時候被氧



化，然後帶來壞味道。不過廚師都知道肉的香味會因為肉所帶的脂肪，或者做菜時加入油脂而改變。今日的化學家已經確定脂肪也會在「梅納反應」裡面扮演某些角色，而梅納反應的產物，是加熱食物時主要的香味分子。

香味分子有數百種，隨著肉的不同、動物的年齡、飼食的飼料或不同烹飪方法，而有不同。更重要的是，有些含量很少的芳香分子卻在香味上扮演重要的角色。產生香味分子的一個重要反應就是梅納反應，這是一種胺基酸跟糖（像是葡萄糖）之間所發生的化學反應，由法國化學家梅納在一九一二年於南錫發現。這種反應會產生烤麵包香、烤肉香、啤酒香、巧克力香……等香味，同時也會產生類黑精（又稱梅納汀），而造成食物煮熟時變成黃褐色。

化學家一直在尋找肉類香味分子的前驅物。經過數十年的努力，他們發現這些分子通常是小分子（分子量不大），而除了造成梅納反應最典型的分子（糖跟胺基酸）以外，他們還找到了磷酸糖、核苷酸、胜肽（較短的胺基酸鏈）、醣蛋白以及有機酸。

而脂肪呢，我們一直對它有誤解。以前只知道脂肪形式之一的磷脂質（脂肪酸分子接上一個水溶性分子團）非常容易被氧化，這是造成油味跟酸敗味的主要原因。不過在一九八三年時，位於英國布里斯托的科

學家莫特拉姆與愛德華觀察到，脂肪對於熟食的味道來說也很重要。接著在一九八九年時他們的同事法莫指出，脂肪本身以及脂肪降解後的代謝物，都會引起梅納反應，進而改變食物的香味。

剛開始他們的研究結果顯示，把三酸甘油酯（一個甘油分子上接三個脂肪酸，是自然界油脂最普遍的形式）抽出對於熟食的香味並沒有什麼影響。但是如果把磷脂質（大部分都是一個甘油分子接上兩個脂肪酸，再接上一個含磷酸根的親水性分子團）除去，則會讓原本熟肉的味道變成烤肉味或是烤餅乾味。一般認為這是因為三酸甘油酯只含有很少的多元不飽和脂肪酸（脂肪酸的長鏈是由碳分子為骨架，如果碳碳之間很多雙鍵的話，稱為多元不飽和脂肪酸），因此比較穩定；相反的磷脂質因為含有大量的多元不飽和脂肪酸，因此很容易氧化，而同時它們的親水端分子也會被氧化。

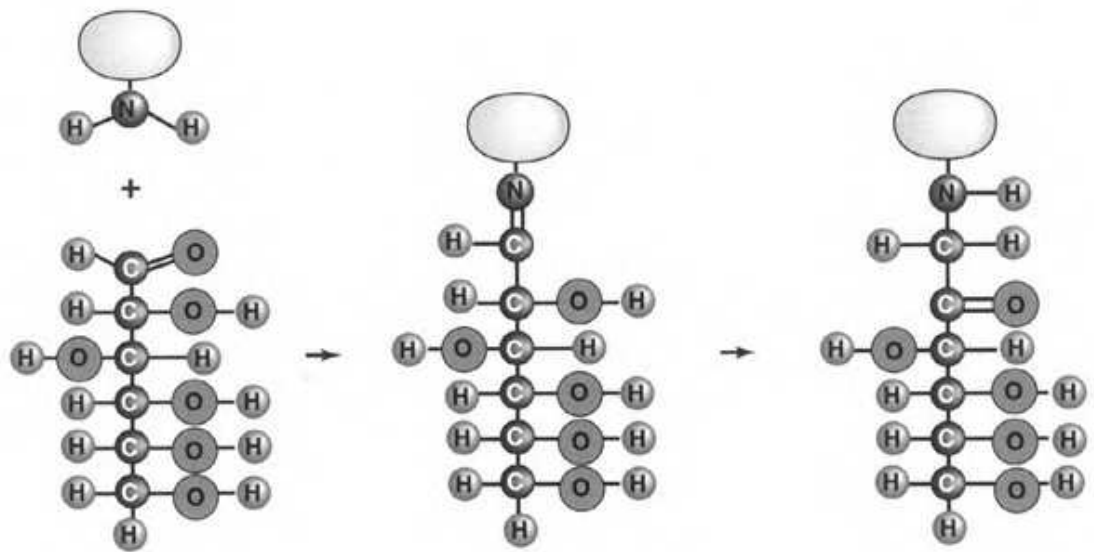
由實驗來證明

在南特的國立農業研究所裡，岡德梅、樂森聶梅妮耶與他們的同事就在研究磷脂質在梅納反應中的角色。他們用一個簡化的系統，把含半胱氨酸（一種胺基酸）的水溶液中加入核糖（糖類）來產生梅納反應。選擇這兩個分子的原因是，半胱氨酸含有一個硫原子，而與形成熟肉的香味分子有關；而我們對核糖在烹飪中的活性已經了解不少，而且核糖可以從核苷酸中獲得。他們於溶液中再加入構成磷脂質主要的脂肪酸（亞麻油酸、棕櫚酸或是乙醇胺），或者加入整個磷脂質（磷脂醯膽鹼、磷脂醯乙醇胺；都是構成細胞膜的成分，也是肉品主要的磷脂質）。這些分子的濃度模仿肉中所測量到的分子濃度，然後把這個混合液加熱到攝氏一百四十度。

因為梅納反應所產生出來的分子實在太多了，因此岡德梅他們把兩種樣品產生出來的氣體通過層析儀，然後只觀察那些有差異的部分。同時他們也把重心放在所謂「雜環族化合物」（比較有可能是肉類香味分子）以及脂肪的氧化物。不同分子通過層析儀時會產生不同訊號，在比

較兩種氣體多出來與減少的訊號之後，他們確定了「磷脂質」比「三酸甘油酯」要重要。同時他們也發現，由磷脂質所造成的肉香，主要是因為兩種效應：第一種，油脂香味來自於脂肪酸氧化後所產生的羰基（一個碳原子與氧原子以雙鍵結合， $C = O$ ）；而另一種效應則是油脂或者油脂降解後的分子，與梅納反應的產物或中間物互相反應所產生的。這種化學反應會產生某些新分子，然後減少其他分子。

我們知道某些梅納反應的產物可以防止脂肪氧化。岡德梅他們還進一步觀察到，在他們的實驗系統中所產生出的香味，比較像是因為阻礙了梅納反應（因而比較不能抑制脂肪氧化），而不是因為增加了脂肪氧化。一般的脂肪比較不會跟水溶性分子接觸到，但是磷脂質因為含有一個親水性端，所以會跟梅納反應的中間產物作用。



（左）梅納反應的第一步，一個胺基酸分子（在上面）與一個糖類分子連結，先形成一個中間產物（中），然後再經過「安瑪多立」重排反應，形成一個新分子（右）。

肉的柔軟度

為什麼適合煮的肉不見得適合烤？

肉類味道要好，一定要經過一段時間「熟成」。一般在屠宰過後，屠體就會開始變硬（以牛肉為例大約是二十四小時），接下來要經過數日的熟成，這期間肉的硬度慢慢減少約百分之八十（以牛肉為例需要經過十天）。有沒有一種方法可以加快這個過程？或者，至少知道屠體或是肌肉部分最少熟成所需時間，以便得到足夠柔軟的肉？位於克萊蒙費朗的國立農業研究所裡，專門研究肉品的研究員伍瓦利跟他的同事們就針對這個問題研究，以便預測不同肉品所需要的適當熟成時間。

動物肌肉在屠宰後第一階段的變化就是漸漸變硬。在屠宰後，動物肌肉會持續收縮跟放鬆，因為細胞裡面還含有許多「三磷酸腺苷」，這是所有細胞的「能量分子」。當生物死後，細胞內固有的化學循環會持續生成然後消耗三磷酸腺苷一段時間，以維持運作。但是因為沒有血液循環帶來新的能量，最後只能靠消耗肌肉細胞內用來儲存能量的「肝醣」（是存在肌肉中的糖類形式）來產生三磷酸腺苷時，肌肉會因為無法放鬆而維持收縮的狀態。

在這個階段，因為沒有血液帶來氧氣，因此肌肉中不管是肝醣或是葡萄糖的分解都是靠「無氧呼吸」，而這樣會產生乳酸；同時呢，三磷酸腺苷的消耗會釋放出磷酸，因此肌肉會開始酸化。不同肉類的酸化速度都不一樣，比如說紅肉酸化得比白肉要慢，程度也較輕，但卻也因此比較容易受到細菌的影響。紅肉通常藉由消耗血液供應的氧氣來產生能量，因而收縮也比較慢；而白肉一般不消耗氧氣，而收縮也比較快。

肌肉分解跟肉品軟化

肌肉僵硬的狀況會決定下一階段的進行：肌肉軟化。肌肉軟化的原因很可能是因為整個組織結構被破壞了。長久以來我們把造成肌肉僵硬

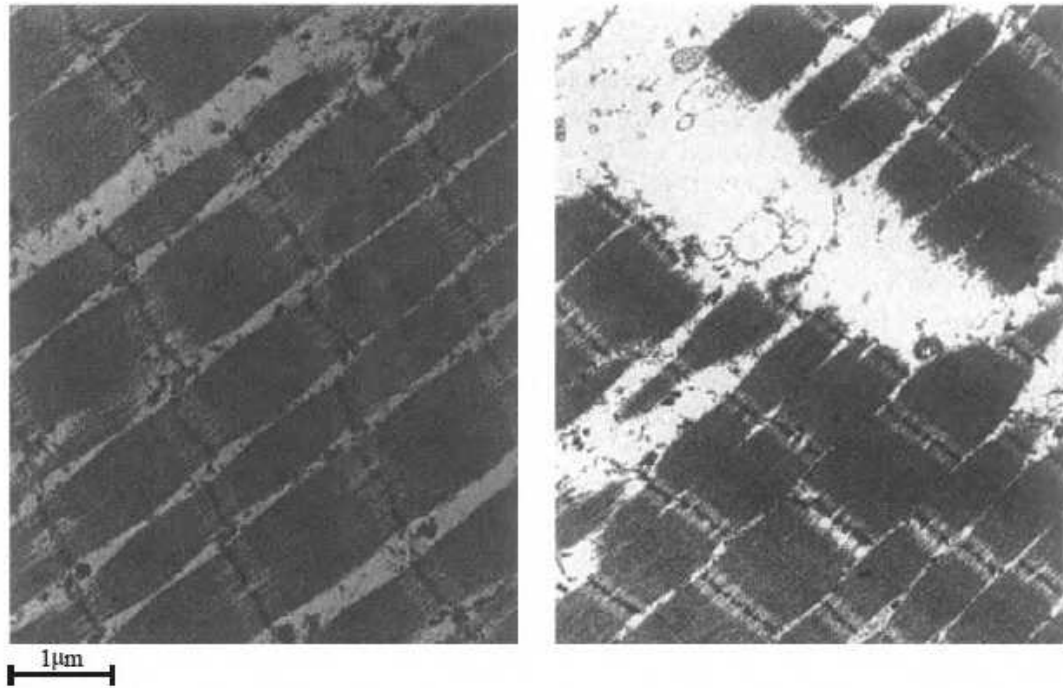
的原因分成兩種：一種是膠原蛋白所造成的，另一種是肌原纖維造成的。膠原蛋白是一種堅固的結締組織蛋白，它們把許多肌纖維（肌細胞）圍成一束肌束，再把許多肌束圍起來形成肌肉。而肌原纖維則是肌細胞裡的細絲，由許多特殊蛋白質構成，藉滑動來造成肌肉收縮。現在我們知道，在肉類變軟的過程裡，膠原蛋白的變化很少，因此它們決定肉類最基本的硬度。膠原蛋白在不同肉品裡面的分量都不同，因而決定了這些肉品適合的烹飪方式。含膠原蛋白多的肉類適合用煮的，含膠原蛋白少的肉類適合用烤的。

而關於肌原纖維呢，有兩種機制可以造成肌原纖維的軟化。一種是藉由「蛋白分解酶」的作用來分解蛋白質，因而瓦解了肌肉的纖維構造；另一種則是藉由滲透壓的改變，而讓蛋白質分開，也會破壞肌肉的構造。

伍瓦利他們研究了三種可以分解肌原纖維的蛋白酶：組織蛋白酶（又稱細胞自溶酶）、鈣蛋白酶以及一種稱為「蛋白酶體」的蛋白質複合物（因為被發現不久，所以許多特性尚不清楚）。在肌肉中，這些酵素的活性受到酸鹼度、鈣離子濃度以及三磷酸腺苷濃度等等因素的影響。當動物還活著時，這些酵素會被許多抑制劑控制，以防止它們分解細胞。而在屠宰之後，這些蛋白酶的控制機制就被破壞了（一部分原因是因為肌肉酸化）。同時，細胞內滲透壓的增加也會加速這些酵素的作用；許多小分子以及游離鹽類在細胞質中堆積，讓本來聚集的蛋白質團分開，因而蛋白酶就更容易接觸到它們的作用對象，因而加速了分解的速度。

當然不同肉品被蛋白酶分解的速度也不一樣，比如說，紅肉被分解的速度與白肉被分解的速度就有極大差異。這些差異不只是因為不同肉類的肌原纖維有差異，更是因為不同肉類的肌原纖維排列與延伸性有所不同。收縮愈快的肌肉（較白的肌肉）愈容易受到酵素的分解。這個現象至少一部分解釋了為什麼在不同年齡的牛身上，肉品軟化的速度不一樣。小牛牛肉熟成期約為四到五天，而成牛熟成期約為八到十天。因為成牛牛肉比小牛肉紅，因此也較不容易被酵素分解。

了解這些機制之後，把這些參數加入選擇肉品的考量中，肉品公司就可以控制肉類的嫩度，或者更簡單的說，控制肉的品質。因為今日大部分的注意力比較是被放在如何加速動物成長上面，在過分選擇之下，成長較快但肉也較白的牛，比起同一種牛但用正常速度成長來說，前者要比較無味，肉也比較不多汁。耐心跟時間才是最重要的。



（左）屠宰之初動物肌肉收縮的樣子，與熟成十天之後（右）酵素破壞了肌原纖維，也讓肉品軟化。（ μm 微米）

「彈牙」的義大利麵

該怎麼煮才對？

義大利麵要怎麼煮？許多人就是把義大利麵條丟進滾水中，煮約八分鐘之後撈出來，但是這可不保證一定會好吃。雖然煮法看起來很簡單，但是其中卻包含不少訣竅跟學問。首先就是放鹽的問題：要在煮麵的時候灑鹽嗎？為什麼？接著是油的問題：在煮麵的時候加油是必要的嗎？又該如何避免麵條黏在一起？

一般人在家裡可以很快製作出很好的義大利麵條，方法就是把麵粉（一般都是用麵粉，不過現在也有人用玉米粉，或是栗子粉），跟一點鹽、水、油以及雞蛋混在一起做成麵團。經過長時間揉出來的麵團，先壓成薄片之後再切成麵條，之後放入水中煮三到六分鐘。在這樣煮的過程中，麵粉中的澱粉粒會吸水膨脹（糊化），同時蛋跟麵粉中的蛋白質也會變性，形成一片不溶於水的網絡，攔住澱粉粒，讓它們不會被洗到滾水裡面。

這種自製的麵條，可以利用增加雞蛋含量的方式來避免麵條黏在一起。主要的原因是，煮麵時如果蛋白質的含量夠多，而可以在澱粉粒糊化以前就先形成網絡，那麵條就會比較堅固而不會黏在一起。相反的，如果澱粉的糊化在蛋白質形成網絡以前就發生，那麼一部分的澱粉分子（特別是直鏈澱粉）就會跑到滾水裡，而麵條的表面則會充滿支鏈澱粉分子，而造成麵條黏在一起。在撈起來濾掉水分之後，加入一塊奶油或是一些橄欖油，可以避免熱騰騰的麵條在盤子裡黏成一堆。

為了了解工廠生產出來的麵條，在蒙特佩利爾穀物技術實驗室（隸屬於國立農業研究所）的費耶、阿貝卡西斯、歐唐等人，就跟他們的同事研究了「麵的生化學」。他們希望了解哪些蛋白質是決定義大利麵條品質的關鍵。

硬麥子的麵筋

食品工業界一般會選擇比較硬的麥子製作麵條。如果不加雞蛋，麵粉裡的蛋白質（更精確的說，麵筋，或是麩質）會形成網絡。這些麵筋可以在將麵粉和水攪拌時觀察到。經過長時間的揉麵之後，把麵團放在水龍頭下面沖洗，可以發現並不是所有的東西都溶於水。剩下留在手中有點彈性的部分就是由麵筋蛋白質所組成的。麵筋的含量，在硬麥子裡比在軟麥子裡多，因此費耶等人對於硬麥子的蛋白質組成與它們的基因歧異度特別有興趣，同時他們也研究了用不同方法製麵，哪一種比較能夠形成想要的蛋白質網絡。

判斷工廠麵條好壞的一個條件，首先要看是否帶有金黃琥珀色，再來是烹飪時的表現。麵條必須不容易沾黏，即使在稍微煮過頭的情況下也不會沾。為了滿足這些條件，食品製造業會選擇最適當的硬麥子，含有較多結實又有彈性的麩質。而費耶等人的研究則指出，麵筋的彈性跟一種特殊蛋白質（麥膠蛋白gamma 45）有關。含有麥膠蛋白gamma 45普遍存在許多較硬的麥子中，不過其實它的含量只是代表另一種小分子量的麥穀蛋白（另一種麵筋中的蛋白質）較多。

研究所人員找出了最佳製麵的方式，就是把麵條經過攝氏九十度乾燥過程，這樣麵條在煮的時候才比較容易形成不溶的蛋白質網絡。然而這個高溫乾燥的過程必須在乾燥過程最後才進行，這樣才不會傷害麵條裡面的澱粉粒。在混合麵團以及使用高壓螺旋擠壓泵分麵條時也要小心不要傷到澱粉粒。高溫乾燥會影響麵條的顏色，因為它會抑制兩種酵素，一種是脂肪加氧酶，會破壞黃色素；另一種是過氧化酶，會讓麵條變褐色。

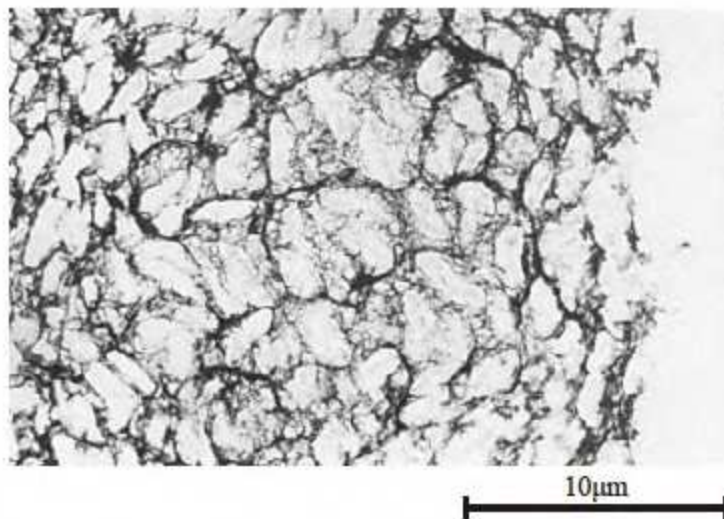
油、水跟酸度

在了解麵條這麼多之後，該怎麼煮麵才恰當呢？首先要注意的是，麵條的蛋白質含量必須要高。如果沒有用硬麥子做的麵粉，就必須加入雞蛋，或者在揉麵跟壓麵時要非常小心，以便麵筋的網絡可以順利形成，同時麵團要有足夠的水來濕潤幫助蛋白質彼此連結。不管麵條的成

分是什麼，都必須使用滾水來煮，這樣才可以縮短煮麵的時間，而麵粉的溶化可以減到最低。

那麼需要在煮麵的時候加油嗎？把義大利麵在水中久煮（煮過頭）的實驗顯示，不管有沒有加油，對麵條的沾黏度都沒有不同。除非當麵條煮完之後，表面直接與油接觸，才有防止沾黏的效果。油必須要裹在麵條表面才能防黏，因此在煮完之後加一塊奶油，或是在一盤麵上灑上橄欖油會有一樣的效果。

最後，煮麵的水也有一定的影響。在南特國立農業研究所的勒費佛指出，在富含蛋白質的水中煮麵條，麵粉澱粉粒會釋放出比較少的直鏈澱粉。因此，我們可以在高湯中煮麵。此外，費耶他們也做過實驗，當把麵條放在礦泉水裡煮時，會增加麵粉溶化的程度，也會增加麵條的黏度；而如果把麵條放在稍微酸化的水裡煮（比如加入一小匙醋或一點檸檬汁，或者雨水），會讓麵條的表面不易沾黏，即使煮過頭也一樣。稍微酸一點的水（pH6 左右）可以讓麵粉中的蛋白質維持中性，這樣它們比較容易彼此連結，困住澱粉粒，麵條也就比較不會沾黏了。



在這個義大利麵的顯微鏡截面圖裡，南特國立農業研究所的戈朗特別把蛋白質網絡染色。

被遺忘的蔬菜

想要開發新蔬菜，就必須先了解它們的香味、營養跟烹飪方法

你聽過「草石蠶」、「香瓜茄」、「防風草」、「南美燈籠茄」、「管狀香菜芹」嗎？這些新成員，豐富了僅由大家熟知的蘿蔔、韭蔥跟馬鈴薯等所組成的蔬菜家族。位於安傑的國立園藝與景觀研究所裡，裴宏等人就在研究這些「被遺忘的」/「未知的」蔬菜，以了解它們最佳的栽種與繁殖方法。不只老饕會歡迎這些新蔬菜，經濟學家也對裴宏等人的研究很感興趣，因為目前市場上趨近飽和一成不變的農產品，往往降低了它們的投資報酬率；對於農人來說，種植一種新作物（或是重拾被遺忘的作物）有時候是有必要的，因為這樣可以讓作物更有吸引力，而且可以在還不普及時賣個比較好的價錢。

沿著古老的軌跡走

想要引進一種新的或被遺忘的農產品，必須伴隨相當程度而且費時的研究。因為首先要讓農業生產者知道種植這些新作物的可行性，接著要說服消費者這些新作物有好的味道或是高營養價值。過去花了數十年的時間才讓草石蠶跟南美燈籠茄（屬於小燈籠茄家族）打入法國市場跟餐飲界。而下一波要被端上我們餐桌的應該是管狀香菜芹跟海花菜。

有時候重新引進「被遺忘」的蔬菜會比較容易，因為常常有過去對這種蔬菜的研究資料可循，或者，可以利用過去對同一家族蔬菜的研究。比如，可以利用對其他包心菜的知識來研究海花菜（都是十字花科的植物），或者利用洋香菜家族（都是繖形花科植物）像是西洋芹之類的知識來了解管狀香菜芹。

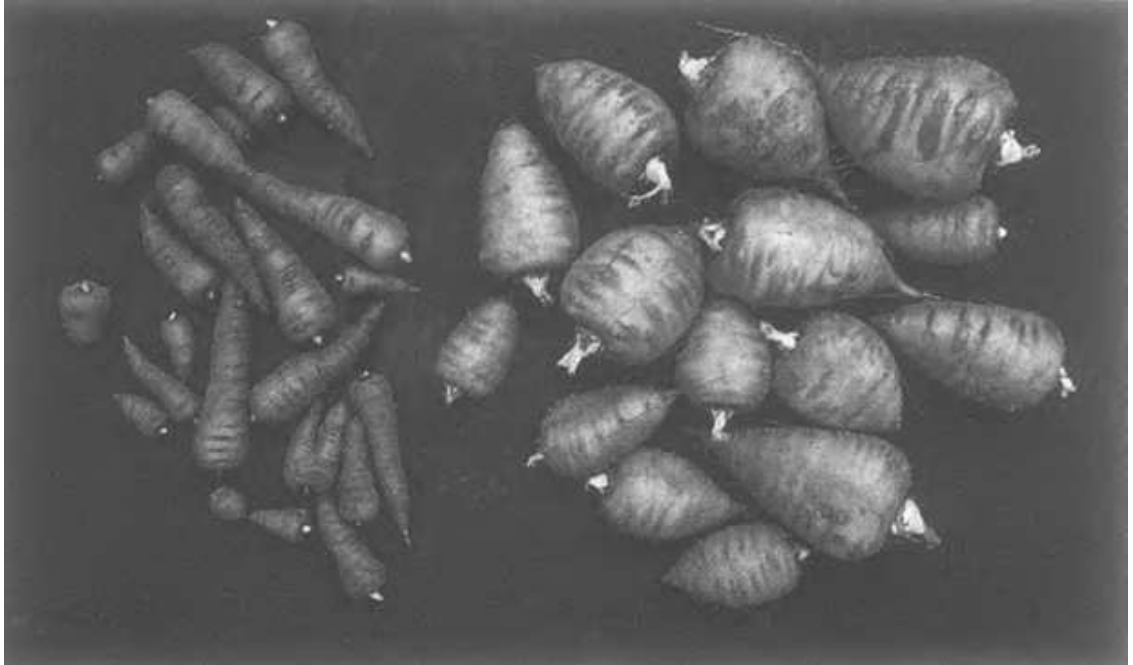
野生的管狀香菜芹多長於法國東方，早在一八四六年時就被法國農藝學家庫希烏斯（其實是比利時法蘭德斯人，農藝學家，一五二六年生於比利時，一六〇九年死於荷蘭）記錄。但是儘管經過眾多園藝學者的

努力，這個植物始終不普及。當國立園藝與景觀研究所開始它們的研究時，管狀香菜芹僅僅只出現在杜耳以及奧爾良附近的幾個農場裡。

管狀香菜芹通常都是在秋天播種，然後於隔年七月收成它的根（長得跟胡蘿蔔很像）。要留種的話，帶種的植物則在十二月種植。那為什麼管狀香菜芹如此不普及呢？當然有許多原因：首先它的種子沒有經過適當的「層積作用」不會發芽，再者種子的發芽潛力只維持一年，而植物的收穫量並不大，只有菜根長到一定大小時才有食用價值。此外，這個植物的味道清淡，有點類似栗子，質地脆弱，一旦有損傷就很容易受到腐生黴菌的感染。

為了克服菜根尺寸以及質地脆弱的問題，研究人員嘗試將野生種與農場溫室栽種的種類雜交，或者進行組織培養嘗試找出變異種。與此同時，他們也研究改進種植的技術，特別是找出克服種子休眠期的方法，讓管狀香菜芹能在農場上繁殖較快。根據對於同一家族物種休眠機制的了解（往往只是因為種子外殼含有一些抑制劑，很容易去除），裴宏等人嘗試了許多方法來控制種子的休眠期，包括改變溫度、改變光照周期、使用生長激素（吉貝素與細胞分裂素），甚至將種子保存在無氧的環境下等等。最後他們發現種子的休眠期是胚胎的天性，是在種子成熟的最後階段嚴重脫水時所形成。而如果把種子暴露在濕冷的環境中八到十個禮拜，休眠期就可以被打破。

同時在育種上面他們也栽培出許多優良品種以及滿足市場需求的雜交種。不過這些成果並不保證蔬菜就會行銷成功。這些技術還必須轉移給有興趣的農人、種子製造商，還必須花工夫引起消費者注意。同時也需要營養學上面的研究來指導如何烹飪處理這些新蔬菜。比如說管狀香菜芹澱粉含量少，富含還原糖，並且存放時有股特殊的香味。著名的廚師可以根據這些研究來寫食譜，這有助於推廣這些新蔬菜。



基因改良前跟改良後的管狀香菜芹根。

如何保存蘑菇

在人工製的大氣下，蘑菇可以保存比較久

蘑菇很脆弱，難以長久保存。有趣的是一般消費者可以忍受野生菇類受點傷，但是卻希望超市蘑菇潔白、莖柄短小、莖傘尚未打開、莖褶還被包在裡面看不到等。因為大家都知道蘑菇的變化非常快，只消幾天蘑菇就會變黑、莖柄伸長、莖傘打開露出黝黑的莖褶。更糟糕的是，這時候它們的質地跟味道都不對了。

那麼蘑菇生產者該怎樣延長蘑菇的壽命呢？最新的第四代即食沙拉技術，可以將沙拉在「人工大氣」下面處理並包裝，讓許多食品製造業者開始把腦筋動到蘑菇身上。位在蒙法維國立農業研究所的一個團隊，就與「食品工業與包裝環境研究發展協會」合作，找出如何改變保存環境來延長蘑菇的賞味期限。接著他們又研究各種保鮮膜的效果，然後找出最適合用來控制保存環境的。

會呼吸的蘑菇

研究人員首先研究蘑菇在室溫下的保存期限，以便了解冷藏環境是不是可以延長蘑菇壽命。一般市場處理蘑菇的方法，是將蘑菇在攝氏一到兩度的冷藏室中保存一到兩天，然後再放在室溫架上展示出售一天。這樣的處理流程讓蘑菇在賣出去之後，只剩下非常短的保存期限。之後若是放在攝氏十一度、相對濕度百分之九十的環境下，蘑菇還剩三到五天可以看，但是升個兩度（十三度），蘑菇壽命就只剩三天。

而受惠於「即食生菜沙拉」所發展出來的「冷藏鏈」物流系統，也讓蘑菇可以被包裝在特殊塑膠袋裡延長保存期限。不過，要保存在哪種大氣環境之下，才能將蘑菇的壽命延到最長？蘑菇在這種包裝下的變化又是如何呢？

如果包裝中完全無氧，蘑菇很可能會受到有害的厭氧菌如肉毒桿菌

侵襲。但是如果包裝中含氧，蘑菇就會繼續呼吸生長。從一九七五年開始我們已經知道蘑菇的顏色跟質地與它被保存的環境息息相關，我們已經知道在一個二氧化碳濃度高、氧氣濃度低的環境下，可以降低真菌細胞的呼吸速度，進而讓它們慢點壞掉。

那麼，怎樣的大氣比例最適合保存蘑菇？由布里翁所領導的團隊，就研究了當保存在攝氏十度下，不同的氧氣跟二氧化碳比例，對於蘑菇的影響為何。

他們發現，空氣中二氧化碳對於植物毒性，是隨著含量增加而增加。這可以由把蘑菇放回正常空氣時，測量到蘑菇所增加的呼吸強度而得知。因為二氧化碳的毒性傷害了植物細胞膜，因此讓某些酵素容易跟受質接觸到而起反應，結果造成蘑菇的顏色變黑。由保存顏色的觀點來看，二氧化碳跟氧氣的濃度最好都保持在百分之十以下比較好。

然而從質地的觀點來看則恰恰相反，蘑菇最好保存在二氧化碳高於百分之十的大氣下。因為蘑菇有一層由基丁質組成的結構，可以保持蘑菇的形狀。被置於攝氏十度、百分之十五二氧化碳的環境下時，蘑菇可以保存一個禮拜蕈傘的膜都不裂開，而維持法國人最喜歡的鈕釦形狀。二氧化碳濃度愈高，這個形狀維持愈久。此外他們也發現，愈潮濕的環境蘑菇愈快壞，因此把蘑菇放在冰箱裡時，袋子不要封緊。

在這樣的情況下，要找出一個平衡點來保存蘑菇。二氧化碳的濃度不能太高，這樣蘑菇才可以維持漂亮的顏色；但也不能太低，不然外形變化太快。他們發現，二氧化碳的濃度控制在百分之二點五到五之間，而氧氣的濃度控制在百分之五到十之間，似乎是最適合保存蘑菇的。

要怎麼維持這樣的大氣環境呢？布里翁他們比較了新式可透氣的聚丙烯（PP）保鮮膜與傳統可延伸的聚氯乙烯（PVC）保鮮膜的效果。他們把蘑菇放在小籃子裡，用保鮮膜包住籃子，然後保存在介於攝氏四度（食品製造業冷藏鏈的溫度）到十度之間八天。八天之後，那些被放在十度又沒有被包起來的蘑菇，百分之八十五蕈傘都撐開了。而有包保鮮膜的蘑菇，不管是在四度還是十度，生長都延遲下來。而保鮮膜愈不透

氣，可以延遲生長愈久。現在科學家把重點放在如何將保鮮膜的透氣度（水蒸氣）最佳化。



完整的蘑菇（左圖）與放置幾天生長後的樣子（右圖）

松露

所有的歐洲松露都是同一種，

而與中國松露則差異很大

松露是黑色的鑽石！多少人為它寫下溢美之詞，沒有一個美食作家不談到它，也沒有一間餐廳的廚師會忽略它（除非他們志不在得到星等）。好幾個世紀以來，我們一直在爭辯松露的價值：佩伊高（著名松露產區）的黑松露跟勃根地的松露絕對不一樣，而法國的松露絕對優於西班牙松露或是義大利松露等。科學可以賦予這些評論客觀的看法嗎？在蒙特佩利爾就有研究團隊在研究各種黑松露的基因差異。他們發現影響松露氣味差異的，主要是來自生長環境而不是基因差異。



在歐洲，大約有十種不同的松露，都是屬於塊菌屬的真菌。一般最著名的黑松露，雖然又名為「佩伊高松露」（學名為黑孢塊菌），但實際上分布於西班牙、法國跟義大利。然而它的食用價值，卻依產區不同而有差異。為了解釋這種差異，蒙特佩利爾國立農業研究所的雷蒙等人，就與發展研究所的科學家合作，想知道這種差異有沒有受到基因的影響。

他們從法國跟義大利等地蒐集了兩百多種樣品，然後分析比對這些黑松露的DNA（去氧核糖核酸）序列。他們特別注意所謂的「衛星DNA」序列，因為同屬不同種生物之間的差異，會在這裡表現出來。然而他們卻沒有發現各種黑松露之間有任何不同。他們也比對了黑松露與其他松露像是「夏季松露」或是「勃根地松露」的基因序列，結果一如

預期的發現，夏季松露跟黑松露有很大的不同，但是夏季松露跟勃根地松露的差異就很模糊了。基因學的研究顯示這兩個松露應該屬於不同種，生物學家稱這種外形極相似但其實不同種生物為「物種複合體」。

該怎麼解釋這種不同地區黑松露間基因的同質性呢？雷蒙他們相信，上一次冰川期曾經把一小群黑松露，伴隨著適合它們生長的宿主樹木，困在地中海沿岸。因為松露必須寄生在宿主樹木根部形成一片網絡，藏在地下，所以隨宿主樹木分布。而我們平常吃的松露，其實是真菌的繁殖器官，又叫子實體。黑松露成熟然後形成子實體的季節，都是在冬季，也就是介於十一月到隔年二月之間，因此它們的生長範圍被局限在南方海邊。等到稍後冰期消退，天氣回暖後，黑松露就隨著宿主樹木往北拓展到氣候適合生長的地方。上個冰期約在一萬年前結束，這段時間足夠黑松露分布在整個南歐，但沒有時間演化成新種。

相反的，夏季松露在春天成熟，勃根地松露在秋天成熟，因此在冰川期被保存在比較北的地方。由夏季松露跟勃根地松露現今生長在比法國北跟東的國家可以得知，它們能忍受比較冷的氣候。這也解釋了松露的基因差異，現代的松露其實是上述好幾種不同松露的後代。

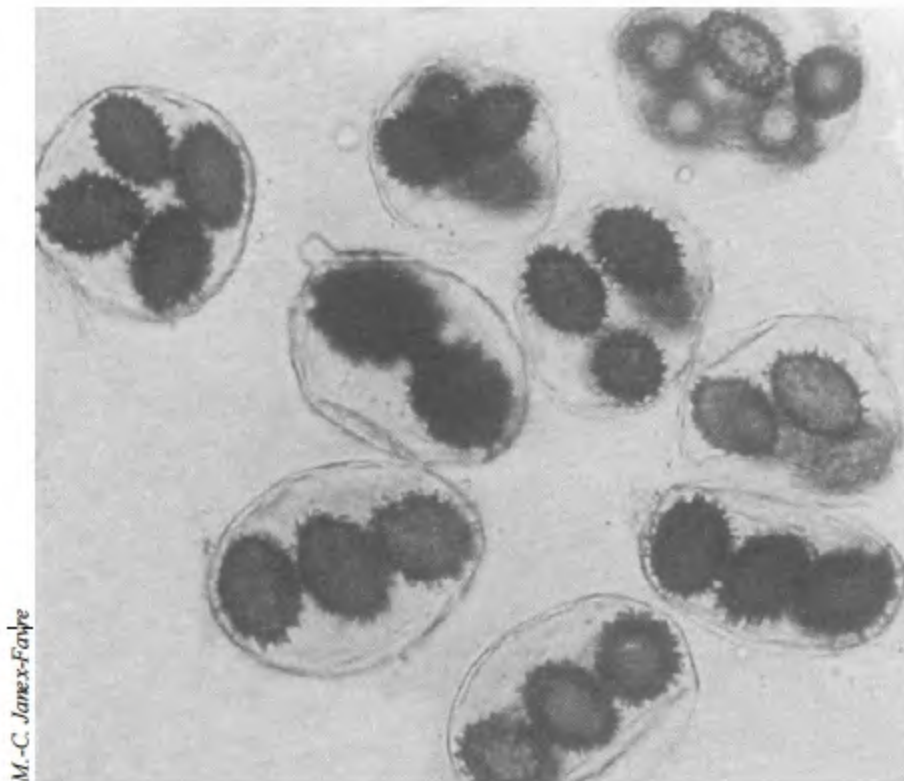
喜馬拉雅松露

這些研究也比較了中國松露跟歐洲松露，每年都有不肖商人試圖利用中國松露來魚目混珠。在一九九六年時，巴黎第六大學的賈娜法荷就跟她同事研究了中國松露，也就是學名為喜馬拉雅塊菌、印度塊菌跟中國塊菌的三種真菌。這些塊菌分布在喜馬拉雅山腳下大約在海拔兩千公尺的高度，生長於地下十幾公分處。它們外形很難跟法國黑松露區分，但是價格極為低廉。

中國松露的外形變化很大，極不完整，表面凹凸不平。子實體的直徑可達約七公分，表面有一層像是方形底座倒金字塔般的細小凸起。但是這樣的外觀幾乎跟佩伊高黑松露一模一樣，雖然後者的凸起比較平坦，較不明顯。不過在顯微鏡下，兩者內含的孢子卻有很大的差異。這

樣的差異，是因為兩種松露生長的環境不同，還是因為它們的基因本質不同？在克萊蒙費朗的岡德碧芙與她同事就分析了這兩種松露的基因差異。他們發現這兩種松露的分類基本上就不同，中國松露貧瘠的味道並不是因為生長環境，而是因為兩種松露基因不同。

回到黑松露這個話題上。既然歐洲的黑松露味道跟生長環境有關，但是環境到底是如何影響的？科學研究還不清楚，而生物學家正努力解開這個謎。



中國松露的孢子都是二到六個聚在一起，跟黑松露的孢子總是兩兩成對不一樣。

更豐富的滋味

要如何困住芳香分子，讓菜餚味道聞起來更濃郁？

有些傳統食譜聽起來有點矛盾。舉例來說，做一道「鴨骨汁燉鴨」，廚師首先會把鴨胸肉跟鴨腿肉切下來拿去烤，接著他們會使用剩下的骨頭跟碎肉，混合蔬菜跟香料，在水中煮成一道含鴨肉味道的醬汁。不過既然都是鴨肉，為什麼要這樣多此一舉

呢？我們可以想見，在完成的菜裡面，鴨肉跟鴨肉醬汁釋放香味分子的方式跟速度都不同，因此這種準備法應該可以讓香味在口中持續比較久。



自從「高溫擠壓烹飪技術」被廣泛應用於食品工業界之後，如何保持食物的香味就變成一個很熱門的問題。這個技術是從塑膠工業模仿來的，基本上就是在在一根細長的圓筒軸心中有一根「擠壓螺軸」，螺軸周圍是一圈圈的刀片，有一點像是絞肉機般的構造。不過不同於絞肉機的是，這個螺軸的螺距（刀片間的距離）會慢慢縮窄。因此在螺距寬的一端加入固體或液體，當它們在被旋轉送到螺距窄的一端時會被強力壓縮。這壓縮的力量十分強烈，以至於水分被強力擠出噴口時會蒸發，而食物則會瞬間「膨脹」起來。許多餐前開胃點心就是這樣做出來的。

這擠出水分的過程會造成香味流失，因為香味分子會被水帶走。許多食品公司因此會在點心做好之後再噴灑上香料，但是這步驟又會大幅增加成本。因此，他們很想知道是否可以在擠壓機裡面引發化學反應以產生香味分子，或是困住香味分子。

要如何困住食物香味分子呢？以鴨骨汁燉鴨的醬汁為例，廚師會將鴨骨跟碎肉與蔬菜在水中長時間烹煮，目的當然是為了將鴨皮、鴨骨跟韌帶裡面的「明膠」萃取出來。不過這也造就了「熬煮」的效果（而化學家對此非常熟悉），就是將肉類跟蔬菜的香味與滋味分子也萃取出來。由此，食物香味分子就會存於兩種完全不同的環境中：一部分的香味分子會分布在肌肉間的脂肪中，而另一部分的香味分子則溶於醬汁溶液中。在嘴巴中，這兩種香味分子釋放出的方式不同，因此鴨肉的香味可以持久。

困在溶液中

想想看，如果食物的香味在嘴巴中持續的時間，跟香味或滋味分子被釋放出來多寡程度有關，那我們是否可以藉由改變香味分子周圍的環境，來控制香味分子的釋放呢？

在單純的情況下，這些香味分子都是極易揮發在空氣中的。而它們在空氣中的飽和分壓（可以看成香味分子的最大濃度）隨溫度增高而增加。廚師可以藉由將香味分子溶在不同溫度的環境中，來改變香味釋放的多寡。

既然香味分子可以溶在液體裡，那它們揮發的程度也與溶劑有關，端看溶劑是水、酒精還是油，因為分子跟不同溶劑的結合力都不一樣（比如飽和脂肪酸跟不飽和脂肪酸與香味分子的結合力就不同）。

玩弄分子間的結合力

要如何減緩香味分子釋放的速度？有時候這可以藉由將香味分子與較大較重的分子連接在一起而達成。比如說，我們知道碘液會把含有澱粉的食物染成深藍色，這是因為澱粉粒中的直鏈澱粉（由葡萄糖連結起來的長鏈大分子）會捲曲成螺旋狀，把碘分子包在中間。一般來說，在水中，直鏈澱粉分子則會把「不親水」的分子包圍在中心，而碰巧許多的香味分子都是不親水的。不過直鏈澱粉不是唯一有這種作用的分子，

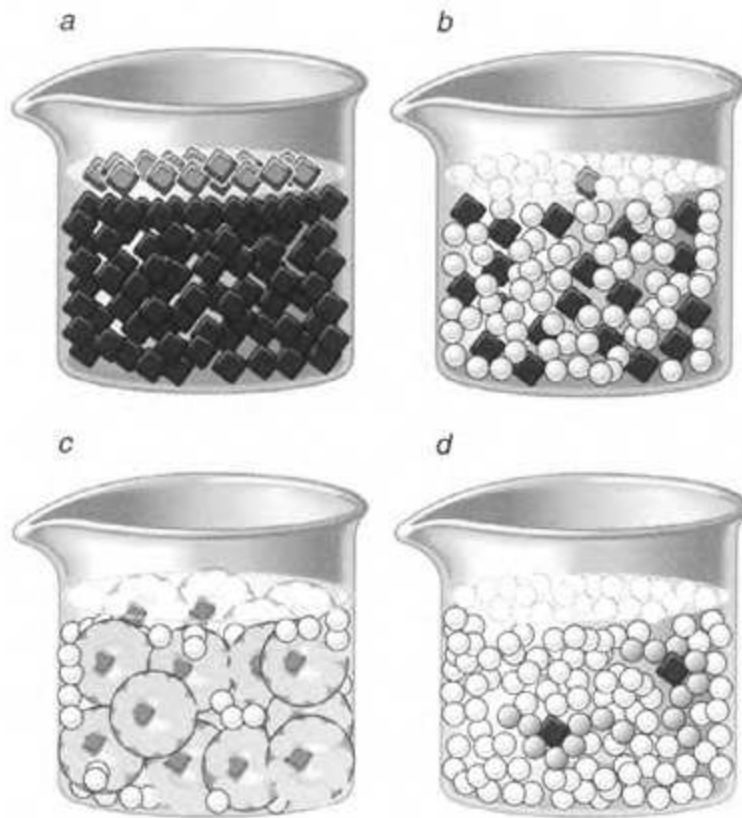
明膠也有類似的功能，因此適合用於醬汁中。總結來說，好好選擇有彈性的聚合分子都可以減緩香味分子釋放的速度。

將香味分子區隔開來則是另一個比較徹底的方法。比如許多香料，只有當在嘴巴中把它們的細胞咬破時才會把香味分子釋放出來。而乳劑（就是將油溶於水中或是水溶於油中）、慕絲、果凍、麵條都是類似的狀況。同樣的，廚師也可以利用一種叫做「脂質體」的分子。簡單來說這是一種「人造細胞」，也就是用類似細胞膜的分子去組合成一種空心小球。

除了這些顯微鏡等級的區隔以外，也有大尺度的區隔，比如菜餚或是甜點的填充餡料或夾心，都是長久以來已經被使用在烹飪上面的方式。

最後，我們也可以讓香味分子浸入食物本身，比如將肉類用香料醃，或者在高湯中煮，都可以讓香味分子浸入肉裡面。在烹飪上已經使用的技術就有熬煮、浸泡、浸漬等等。

總之，有許許多多的方法可供廚師使用，來加速或是延遲香味分子在品嚐時釋放的時機。由此，廚師可以做出一種「味覺層次」，像是上等好酒帶給品嚐者如同「孔雀開屏般的」一波波味道。



味道分子在（a）單純只含味道分子的環境、（b）溶液中、（c）乳劑中以及（d）跟大分子結合在一起時，釋放出來的方式都不一樣。

薯條

第四代沙拉包裝技術可以直接包裝生馬鈴薯，

這比當前的冷凍薯條吸油量要少很多

在法國幾乎所有餐廳裡賣的薯條都是冷凍包裝薯條。而在家裡，一般人還是比較喜歡新鮮薯條，因為它們有個優點：吸油少。在蒙法維的國立農業研究所的瓦侯科等人，曾研究出所謂「第四代蔬菜包裝技術」，就是將蔬果在人造大氣下包裝，以保持鮮度的一種技術，這有可能改良冷凍薯條的性質嗎？

這種改變只會影響到家用薯條。冷凍薯條對餐廳或是在食堂來說是有其必要性，因為它們的需求量很大，薯條都要事先處理。但是馬鈴薯一被切開跟空氣接觸之後就會開始變黑（褐變），因為原本細胞內被區隔開的酵素跟受質現在有機會彼此接觸。跟空氣接觸後，酵素會把這些受質慢慢變成黑色素，這跟我們皮膚中的黑色素組成很像。

為了對抗這種酵素造成的褐變，冷凍薯條在包裝前都會先炸過。在被削皮跟裁切之後，工廠會先將薯條乾燥，然後用油炸（通常都是用棕櫚油，因為比較便宜），最後再冷凍。消費者買回家之後可以將冷凍薯條用油炸加熱，不過這樣薯條因為冷凍時造成許多小孔，因此薯條吸油量大增。另一種方式是用烤箱烤，但是這樣薯條會變得很乾。

保存薯條的空氣

要怎麼避免這些問題呢？瓦侯科他們就研究如何在受到控制的大氣下包裝生馬鈴薯，這又稱為「第四代薯條包裝」。為了能得到滿意的結果，他們研究了每一個步驟中可能避免褐變的方法。首先，他們發現馬鈴薯最好能在水流中削皮，以便將對植物細胞的傷害減到最低。而之後切裁馬鈴薯時，不鏽鋼刀片也要愈鋒利愈好。

接下來馬鈴薯條最好能保存在攝氏四度，這樣沒有受傷的健康細胞代謝也可以降到最低。馬鈴薯條可以用脫水機或是抽氣的方式來脫水，然後保存在富含「惰性氣體」的環境下。除了避免氧氣，包裝的塑膠袋也要選擇最不透氣的。經過這樣的處理，生薯條可以保存在攝氏四度十天都不會有任何改變。不過在保存的過程中，馬鈴薯細胞會漸漸開始堆積糖類，因此在炸的時候會發生褐變，這有點像是烤麵包時形成的金黃色硬塊。但這樣處理後的薯條，不管是味道或是口感都跟新鮮薯條無分軒輊，吸油量也很相似，也就是說，兩者都只有傳統冷凍薯條吸油量的一半。

深思熟慮炸薯條

薯條要怎麼炸？每個廚師恐怕都會有不同的意見，他們也有自己的方法。也許應該要先弄清楚，我們期待盤中的薯條長什麼樣子？然後才去理性分析研究，怎樣的烹飪手段可以達成這種期待？

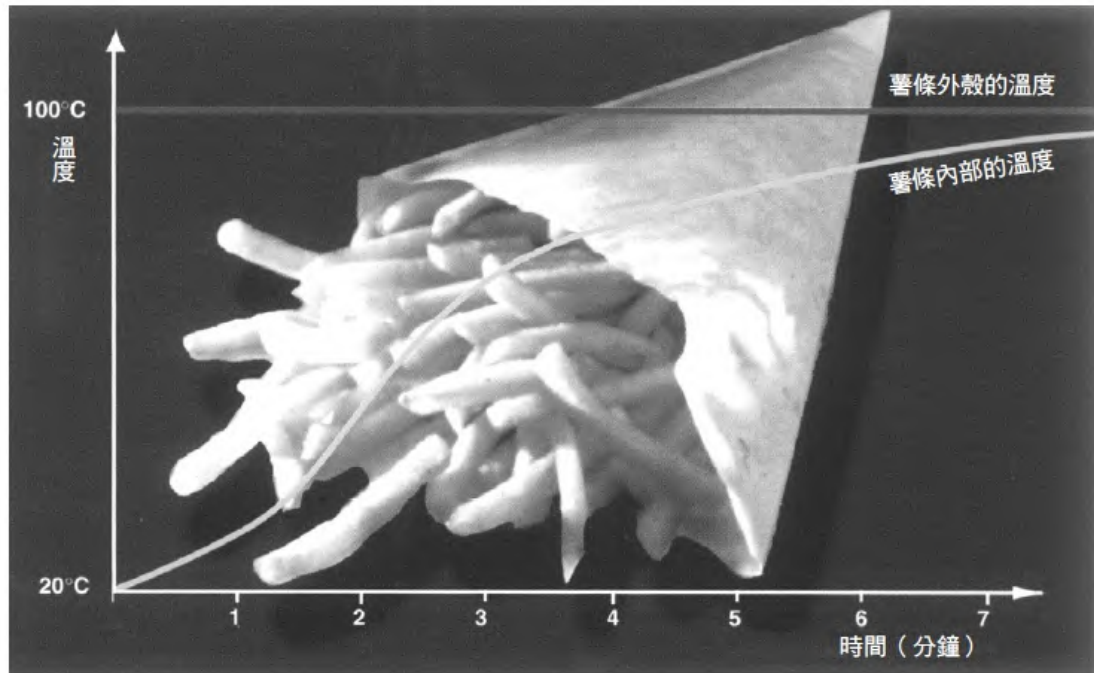
一個好的薯條內心應該要鬆軟，愈少油愈好，而外皮應該要脆而不焦。同時別忘記了，烹飪是一種「熱傳導」的過程，將熱由食物外面傳導到中心，伴隨著「形成清脆的外殼」與「將中心煮熟」這兩個現象。

馬鈴薯是由細胞所組成的，而馬鈴薯細胞主要成分是水跟澱粉粒。當熱傳導到薯條中心時，一部分的細胞會因此分解，而跑出來的澱粉粒浸泡在熱水中就會破裂而釋放出長條的直鏈澱粉。薯條堅硬的外殼，則是因為水分完全被蒸發光而形成的。

如果把一根「熱電偶探針」（熱電偶比溫度計要更靈敏而可靠）插入薯條中心可以發現，薯條中心的溫度上升極為緩慢，即使把薯條放在攝氏一百八十度的油中炸，薯條中心的溫度也要好幾分鐘後才會到達攝氏八十五度，因為馬鈴薯的導熱性很差。換句話說，如果第一次油炸的溫度過高，薯條的外殼會先焦掉，而中心還沒煮熟。

不過呢，炸油的溫度也不可以過低，否則薯條外殼形成速度太慢，

薯條就會吸油。一般來說，十二公釐寬的薯條在攝氏一百八十度的熱油中炸七分鐘，可以得到很好的結果。之後再用攝氏兩百度的熱油炸，直到得到金黃色外殼，則是最完美的薯條。



薯條溫度表。薯條內部要好一陣子才會到達攝氏一百度。

馬鈴薯泥跟牛奶白醬

蛋白質會改變水中澱粉的特性

為什麼用水拌出的馬鈴薯泥，要比牛奶拌出的馬鈴薯泥黏稠許多呢？在南特的國立農業研究所的勒費佛與杜布利耶，過去曾經研究過蛋白質對澱粉粒膨脹與糊化的影響，現在則完整解釋了這個廚師早已注意到的現象，並也指出了如何將麵粉加在醬汁裡使用。

麵粉跟馬鈴薯的共通處在於兩者都含有大量的澱粉。這些澱粉以澱粉粒的形式存在，裡面有兩種分子：直鏈澱粉，是由數百個葡萄糖分子連接成一條長鏈；支鏈澱粉，跟直鏈澱粉結構類似，但是有許多分岔。在每一個澱粉粒裡面這兩種分子都是以結晶的形式存在。

在將麥子磨成麵粉的過程中，麵粉中的澱粉粒會跟空氣接觸。相反的，馬鈴薯中的澱粉粒則跟水分一起被包圍在細胞中。澱粉粒並不溶於水，因為支鏈澱粉幾乎不溶，而直鏈澱粉則只溶於熱水（溫度必須高於攝氏五十五度）。

當我們烹飪馬鈴薯時（不管用熱空氣、熱水或是熱油），熱藉由傳導作用進入馬鈴薯中心，會造成澱粉糊化，這跟煮西班牙肉湯醬汁或是牛奶白醬時會發生的現象一樣。煮這些含麵粉的醬汁時，我們把滾燙的液體（水、牛奶或是高湯）倒入麵粉中，這時候熱水會滲入澱粉粒中溶解直鏈澱粉分子，同時改變支鏈澱粉分子的結晶構造，並讓整個澱粉粒大幅膨脹，而澱粉粒也變得軟化。因為直鏈澱粉分子會漏到澱粉粒外面，醬汁就變得濃稠。所以，把麵粉加入醬汁中會造成醬汁濃稠，一方面是因為澱粉粒膨脹體積變大，彼此互相阻礙牽制，另一方面則是溶出的直鏈澱粉讓液體的流動性降低。

就算廚師不了解醬汁變濃稠背後的整個分子科學原理，但是他們一定知道醬汁要保持熱度。以白醬為例，一旦冷卻就會形成一些結塊。這是因為液體冷卻之後，漏出來的直鏈澱粉分子彼此開始互相連結，形成

一張網絡，把膨脹的澱粉粒、水以及許多分子困在其中。

勒費佛與杜布利耶做了實驗證明，當有蛋白質存在時，澱粉的糊化跟膨脹反應都不一樣。而牛奶中就含有很多酪蛋白。在牛奶中酪蛋白彼此會連結形成一些小滴，我們稱這種小滴構造為「微粒」。微粒會把油脂包圍在中心，因而可以均勻的分布在水裡。因為這種特性，酪蛋白這種「乳化劑」被廣泛運用在食品工業上，用來製作冰淇淋、各類醬汁、乳製品、蛋奶凍等食品。

加到麵粉裡，蛋白質會大大減低直鏈澱粉從澱粉粒中漏出來的程度，也會限制澱粉粒膨脹的體積。稍後酪蛋白會把液體分成兩部分，而加速部分澱粉糊化：一部分是含有較多酪蛋白的小水滴，分布在另一部分含有直鏈澱粉的液體裡。雖然都是水相，但是酪蛋白將小水滴與澱粉液隔開了，形同增加了澱粉的濃度，因而讓這部分澱粉的糊化更容易進行。

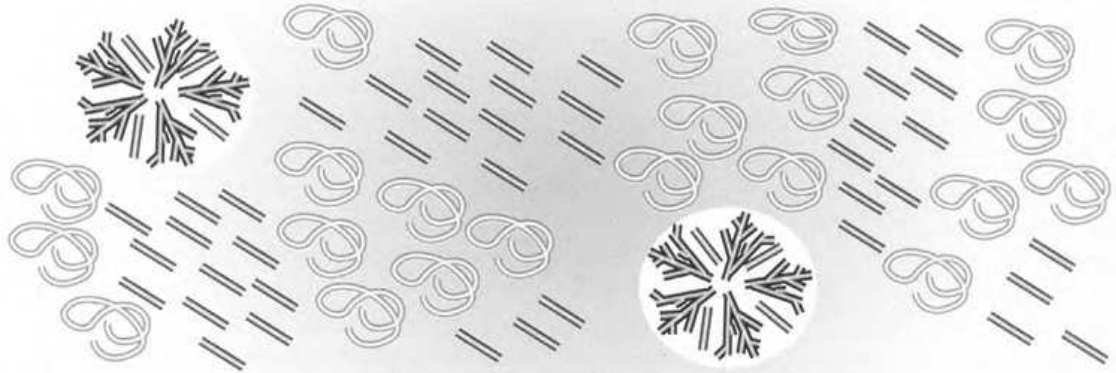
馬鈴薯泥中的蛋白質

這樣的現象對於馬鈴薯泥有什麼影響呢？當我們烹飪馬鈴薯時，馬鈴薯裡面澱粉的糊化是不完全的，因為細胞中的水分並不足夠。而用叉子把馬鈴薯在水中壓碎，可以讓糊化完全進行，讓直鏈澱粉漏出來也讓澱粉粒完全膨脹，馬鈴薯泥就會變得黏糊糊的。相反的，如果是在牛奶中壓碎馬鈴薯，因為酪蛋白限制了澱粉粒膨脹的程度，所以馬鈴薯的口感就比較好。

而要做醬汁的廚師一定要把這個現象記住，當他們想加入麵粉改變醬汁質地時，別忘了肉汁中的明膠也跟牛奶中的酪蛋白有一樣的效果。

在研究溶液黏稠度對流動性造成的影響時，勒費佛他們還發現了一個有趣的現象，烹飪上也許用得到。他們發現完全膨脹的澱粉粒具有「搖變性」，也就是說在搖動的時候結構會被破壞，因此液體在嘴巴中就會比在盤中較不黏稠。而使用麵粉來讓醬汁濃稠的話，因為醬汁中的

蛋白質會限制澱粉粒的膨脹程度，因此這樣形成的溶液濃稠度幾乎是不變的。在醬汁中稍微漏出直鏈澱粉會順著溶液流動的方向排列，而整個澱粉粒因為膨脹不多，結構跟形狀並不會有太大的改變。



蛋白質（捲曲細線）溶在含有澱粉粒（淺色圓球）的環境中，會將液體分成兩部分，一部分是含有較多蛋白質的小水滴，一部分是含有較多直鏈澱粉（直線）的澱粉液。

海帶的纖維

海帶裡面還有許多有營養價值的纖維

自古以來，亞洲人就知道食用海帶海藻，把它們加到湯裡或是沙拉裡，當成蔬菜的一種。而在法國呢，它們往往只被當成碘的來源、肥料，或是添加劑來增加食品膠質或是改變食物質地。法國衛生單位最近（原文二〇〇二年出版）才剛核准十一種海藻當作蔬菜食用，但是關於它們的化學成分、在體內的代謝過程我們卻所知甚少。研究它們的纖維成分將有助於了解這些海帶的營養價值。

纖維飲食成為流行，始於一九七〇年代，英國醫師柏奇發現了許多消化、代謝與心血管疾病，都與缺少高纖飲食有關。纖維這種大分子是構成植物細胞壁的主要成分，人類的酵素無法消化它。纖維是由纖維素，以及其他醣類構成的長鏈分子所組成。因為其結構複雜，在柏奇醫師的發現後，相關研究有很長一段時間沒有太大的進展。不過今日的研究人員已經有足夠的科技來克服這些困難，進而重拾研究。

纖維與消化

在南特的國立農業研究所，拉艾等人就利用最新的科技來研究大型海帶中的食用纖維成分。一般萃取纖維，都會先用各種酵素先除去非纖維成分之後，再依照其溶解度分類。水溶性的纖維包含了「果膠」（造成果醬膠狀的水果多醣）、「海藻多醣類」以及某些「半纖維素」；而不溶水性的纖維則包括了「纖維素」、其他的「半纖維素」以及「木質素」。水溶性的纖維常常具有特殊的「流變性質」（有點類似黏稠度），一般認為它們具有降低血液中膽固醇的效用，同時也會影響身體對碳水化合物跟脂質的代謝。而不溶於水的纖維則有助於加速腸道蠕動。

許多不同的研究已經印證了纖維的這些特性，而拉艾等人則進一步

詳細研究了海藻的食用纖維成分。他們改良了傳統的重力分離法來分離纖維。這種分析法是先用酵素處理海帶，除去澱粉跟蛋白質成分後，再讓大分子在不同的溶液（水或是酒精）中沉澱然後分析。在一九九一年拉艾他們終於成功研究出，在模擬腸道的環境之下，可溶在液體中的多醣類含量。

他們用此方法研究所有的海藻，同時證明了海藻確實有卓越的特性。比如他們發現裙帶菜（海帶芽）的整體食用纖維含量高達百分之七十五，而陸生蔬菜中纖維含量最高的布魯塞爾迷你捲心菜，只有百分之六十。這些纖維在消化道中又會怎樣呢？拉艾他們首先用褐藻掌狀昆布來研究。在法國每年要採收數萬噸這種海帶（光是一九九二年就採收了六萬五千噸），利用它們的膠質來製作褐藻酸鹽。因為每噸約值兩百四十法郎（約三十七歐元，不到兩千台幣），值得我們花一點點時間來研究。這種海帶含的多醣類稱為昆布糖（一種葡萄糖聚合物），可以溶在極酸的溶液中；而褐藻酸鹽則可以溶在中性溶液中；剩下不溶的纖維則是由纖維素所組成的。

而另一種歐洲人從十八世紀就開始食用的紅藻類 *Palmaria palmata*，則似乎隨著在消化道裡面移動會持續被溶解。其他兩種藻類，海青菜跟扁石髮（都是石蓴科的綠藻），是最近被開放的十一種藻類之二，現在在超市被當成蔬菜或調味料販賣。它們的可溶性纖維主要是一種石蓴聚糖，而不溶性纖維則主要是聚葡萄糖。溶解度都跟紅藻類的差不多。

海藻增厚劑

了解了海藻纖維性質以及吸收方式，我們就可以開始利用這些被忽略已久的海帶海藻，也可以從它們裡面萃取出大量的成分。現在萃取的方式，一般是先用大量的酸液重複沖洗海帶，這樣可以先除去昆布糖跟聚海藻糖，並且將褐藻酸鹽轉換成褐藻酸。可溶性纖維這時候就會被溶出來。接著我們把海藻在熱鹼液裡面攪動（主要是用碳酸鈉溶液），並

且借助一些「絮凝劑」，可以把不溶的部分分離出來並用空氣吹開。這些被吹出來的纖維就是主要的副產品，成分多半是纖維素。

食品製造業萃取陸生植物纖維後（比如從甜菜根、穀類或是水果），主要是用來生產早餐或是其他食品添加成分。那海帶的纖維也可以做同樣的用途。

同時，研究了海帶纖維的化學特性，應該可以讓我們如同處理麥子一般來處理海帶。從麥子處理到麵粉生產需要了解這些穀物複雜的結構，而跟澱粉的相關研究已經相當成熟，但是關於藻類的基本結構、那些巨大糖聚合物（纖維）的基本組合單元，研究才剛起步。我們對於這些糖單元是如何排列、如何鍵結仍然所知甚少。如今，化學家才剛剛了解海藻纖維的糖單元（如字母一般），現在要學著怎麼把這些字母拼成正確的單字。



大西洋羅亞爾省的聖吉爾達海角的天然海帶農場。

乳酪

要用傳統生產方式，需要有科學分析數據支持

為了捍衛卡門貝爾乳酪跟其他生乳製造乳酪的權利，法國人必須證明這些乳酪從美食觀點來說，比其他用巴斯德滅菌法乳品做出的乳酪，有更卓越的特色。



不過唯有將生乳跟巴斯德滅菌牛奶所做出來的乳酪，拿來做一個比較，分析其詳細化學、香味成分跟質地，才會具有說服力。在這種費時的儀器分析成功前，歐洲的許多食品研究所（在法國，就有國立農業研究所跟康提區格呂耶爾乳酪跨領域委員會等）先利用一種性能相當良好的儀器來分析乳酪：人類。

利用層析儀來分析乳酪的化學成分，已經被證明並不足夠。人類的鼻子在偵測殘留的化學成分（大多數是香味分子）方面，有時候是難以匹敵的。另一方面，許多「質地特性」對機器來說難以測量，比如說黏糊、易脆或是不均勻的質地。

然而另一方面，品嚐是一種完全主觀的動作，它綜合了許許多多不同的感官資訊，品嚐者有時候很難將它們個別區分開來。在一個跨歐洲的研究計畫：FLAIR（歐洲食品與農業製造研究）裡，一群專門研究乳酪的感官分析專家就試著將品嚐評審的訓練標準化，同時他們也試著去定義所謂「硬」與「半硬質」的乳酪。他們一共使用了六種具有法定產區證明的乳酪：康提乳酪（來自法國侏羅省）、伯堡乳酪（法國薩瓦省）、帕米吉安諾、雷吉安諾乳酪（也就是帕馬森乳酪）跟梵堤納（兩種都來自義大利）、馬宏乳酪（西班牙）以及阿彭策爾乳酪（瑞士）。

乳酪的質地

乳酪的質地是其最重要的特性之一！想想那如軟麵糊般的卡門貝爾乳酪或是較Q 的格呂耶爾乳酪。不是沙狀的口感，也不同於阿拉伯膠做成的糖果或是膨鬆的餐前小點心，乳酪的質地所給的感官刺激無法僅用「單一特徵」來下結論，因為這質地屬於整體風味的一部分。

許多參與研究的歐洲實驗室，根據乳酪的表面特徵、機械性特徵、幾何特徵與其他特殊口感，找出了一種描述乳酪質地的方法。為了可以更精確的描述受試者所感受到的口感刺激與強度，研究者請他們將乳酪的口感與其他參考食物做比較，諸如蘋果、餅乾、香蕉內皮等。哪些質地特徵應該要被納入來定義一種食物？又要如何讓這些定義被廣泛接受？在一九六〇年代，美國食品製造業的研究人員曾經提出一套關於食物質地的一般分類法。不過在研究了乳酪之後，這個分類法被認為並不適用於乳酪。在此同時，分析感官刺激的研究人員提出了另一套描述乳酪質地的方法。他們比較了三組受試者：未受過訓練的評審來分析；受過訓練的評審分析並用「事先定義」的詞彙描述；以及受過訓練的評審用直觀的詞彙描述。要制定一套被國際認可的分類需要藉由嚴格的方法學研究，因此他們最後決定根據受過訓練的評審，用事先定義好的特徵來描述未知的乳酪樣品。

在受測的同時，他們讓評審把品嘗乳酪分成下列幾個階段：觀察樣品；觸摸樣品；咀嚼樣品；咬散樣品；在吞嚥之前將樣品咬成球狀食團。而既然乳酪質地的評估被分成表面特徵、機械性特徵、幾何特徵與其他特殊口感四個大類，品嘗的每個階段也要分析這四類特徵。每種特徵的強度被分成七級，然後有至少三種參考物來比較。品嘗都在攝氏十六度下進行。他們將樣品乳酪的尺寸切成一百五十立方公分大小的長方形，約兩公分厚。評審可以用眼觀察到切面、開口、撕裂面、是否有結晶、有油滴或是水滴。接著樣品被放在盤子上，評審用手觸摸可以得知表面質地，用食指去感覺乳酪表面的顆粒感或是潮濕感，這些是表面特徵。接著他們將乳酪沿著擠壓方向（乳酪餅的垂直方向）切出一條寬一．五公分、高五到八公分的棒狀，用來決定機械性特徵。評審可以用拇指擠壓來感覺乳酪的彈性、堅硬度（用輕咬一下來決定）、變形度

（在斷裂以前可以承受的最大變形程度）、易脆度以及沾黏性。而研究所人員定義的「幾何特徵」，是指在咀嚼時所察覺到乳酪的形狀、大小以及顆粒質感（細沙感、顆粒感或是纖維感）。最後關於其他特殊口感則包含了其他較複雜的感覺，像是可溶性、潮濕感（乾燥或是多汁等）、澀的口感。

有時在品嚐終了後，評審會覺得需要綜合這所有的感覺來記住一個整體的口感，這時候他們會用「結實」、「濃稠」或是「具侵略性」等詞彙來描述。

文化性的參考

用來當作這些口感特徵的參考食物，則選用在歐洲常見、製備過程已經標準化又簡單的食物。比如說「粗糙感」會用青蘋果、黃香蕉的外皮、海綿蛋糕、布列塔尼奶油酥餅來做參考；而「可溶性」則是用長條瑪德蓮蛋糕、熟蛋黃或是一小塊蛋白糖霜來比較。

在定義「硬質」或是「半硬質」乳酪的特色上面，這些研究將會跟後續的機械性與生化研究做相關比較。而關於軟質乳酪，將有一個新的歐洲共同計畫來研究。因為對於生乳製造的軟質乳酪其特色，還有許多客觀特徵需要被釐清。不過卡門貝爾乳酪並沒有包含在這個計畫裡，因為缺少企業的參與。因此，生乳製成的卡門貝爾乳酪，其優越性目前只有行家才認可。

（一般所稱格呂耶爾乳酪是指來自瑞士格呂耶爾省。不過法國康堤跟伯堡兩地也有類似的乳酪製法，所生產的乳酪又稱法國格呂耶爾乳酪。根據法國法律，這兩種乳酪裡都必須要有洞。瑞士格呂耶爾乳酪一般沒有洞。）

從牧草到乳酪

乳牛的食物決定了乳酪的品質

「風土呀！」好幾年來食品業者講的除了這個就沒別的了，這經常是為了保有獨占性或是拓展市場。他們說在產地跟產品之間有一種特殊的關係，這是任何山寨版產品所難以比擬的。也因此只有他們的產品才值得被授予「法定產區證明」。



對於釀酒業來說，農藝研究已經證明了氣候、土地跟日照等等的決定性影響。但是對酪農業來說這問題則比較棘手。克萊蒙費朗國立農業研究所的庫隆等人，就與北阿爾卑斯地區與中央山地區的酪農業者合作研究這個問題。他們闡明了土地與許多乳酪之間的關係，也提出了一套客觀的準則可以用來定義所謂的「法定產區證明」。

口味跟產區的關係

為什麼一種乳酪品質會好？乳酪的品質特色可以是來自產區、可以是來自乳牛的品種，也可以是來自酪農的製作過程。基於某種不明的原因，酪農很喜歡強調環境對於乳牛的重要性，特別是飼料的影響：新鮮牧草、乾草或是青貯飼料（是指將牧草潮濕存放於青貯塔或青貯窖中，慢慢發酵的飼料）。然而飼料真的會決定乳酪的品質嗎？

在一九九〇年時庫隆等人第一次嘗試研究這個問題。他們以康提區格呂耶爾乳酪為對象，比較了二十種不同牧場的乳酪，結果顯示乳酪生產地的地理位置跟口味確實有一定的關係。換句話說，我們可以清楚的定義「生乳」與「康提區乳酪」的關係。之後關於瑞士區格呂耶爾乳酪氣味分子的研究也顯示，吃阿爾卑斯山牧草的乳牛跟吃平原牧草的乳

牛，其牛奶所製作的乳酪有明顯的差別。以乳酪氣味成分中的類化合物含量（檸檬烯、蒎烯跟橙花醇）來說，山區牧草乳品的乳酪明顯比平原牧草乳酪的含量要高。為何會有這種差異呢？農業學者假設這是因為牧草不同所致。

然而，在這些早期的研究中，乳酪製作方法以及乳牛的差異並沒有被考慮進去。如果我們改變了乳牛品種跟生產方式，那這些差異還會存在嗎？也就是說，如果用製作平地乳酪的方法去處理阿爾卑斯山區乳牛的牛乳，那還會有典型山區乳酪的味道嗎？

霍布洛雄乳酪的產地

庫隆他們就用霍布洛雄乳酪來研究這個問題。他們比較許多不同牧場的乳酪，結果發現在控制了乳酪生產方式的情況下，霍布洛雄乳酪的味道取決於乳牛的飼料。他們更進一步比較同樣在阿爾卑斯山上放牧的乳牛，但是一群養在南坡，植被以鴨茅跟紅狐草為主；另一群養在北坡，植被稀疏分布著禾本科植物普通翦股穎以及那杜草，或者有少量的蘚苔跟一種薑屬植物。這兩種牛奶所製成的乳酪在味道跟顏色上面都有顯著差異。南坡乳牛所製成的乳酪顏色比較淺也比較油亮，味道比較強烈，有果香味略帶刺鼻味。

這些差異可能是直接來自飼料裡面的分子成分不同。最好的例子就是胡蘿蔔素，這個分子存在植物裡，是造成乳酪顏色的主因。另一個原因則是某些牧草含有弱毒性的成分，像是毛茛屬植物、立金花（又稱驢蹄草）之類，在阿爾卑斯山北坡似乎比較多，會改變乳牛乳腺細胞的通透性，因而讓某些酵素比較容易進入牛奶裡面，進而改變乳酪的味道。最後，我們還沒有考慮到存在這些牧草裡面的微生物，也很有可能改變乳酪的味道，但是這一點還尚待證明。

青貯飼料的影響

最近的研究則檢視了青貯飼料對乳酪的影響。在某些地區對青貯飼

料有兩極化的評價，有人說它會使乳牛生產出二流的乳酪。這一次，他們比較了超過二十間農場的乳酪。這些農場用生乳所製造的聖奈克特乳酪，都被公認具有品質保證。他們請評審評估了六十多種乳酪，比較其味道、香味跟質地。

他們發現乳酪的品質主要跟生產方式以及牧草種類有關，而跟如何儲存處理青貯飼料無關。尤有甚者，用餵食乾草或者青貯飼料的牛隻所生產出的牛奶，製作出來的乳酪並沒有太大的差別。若好好處理，青貯飼料除了對乳酪的顏色有影響以外，對於品質的影響甚微。



乳酪的味道

乳酸跟礦物鹽是影響羊乳酪味道的主要分子

香味是食物製造業的大明星。已經有許多公司專門製造香精香料，販賣給優格公司、湯料公司、醬料公司等等食品製造業者。可是，只有香味的食物除了取悅鼻子以外，什麼也不是，因為它還缺少滋味。因此，這個我們還不甚了解的味道分子，也同樣重要。一般都是把味道分子溶在水裡來研究，但是它們在水中跟在食物中有一樣的效果嗎？在第戎國立農業研究所香味研究室的沙勒、恩格爾與妮可勞絲等人，就以俗稱「褲子鈕釦」的小鈕釦羊乳酪來研究這個問題。



咀嚼食物時，味道分子會藉由唾液被送往舌乳頭上的味覺受器。因此科學家們就特別注意這些溶在水中的味道分子（也就是說，溶在食物的水分裡）其他水溶性分子的互動。在乳酪中，水溶性的味道分子多半是乳糖（一種糖類）、乳酸（乳酪製造時，由微生物分解乳糖所形成的）、礦物鹽、胺基酸以及胜肽（其實就是較短的胺基酸鏈）。雖然大部分這些分子的味道是已知的，但是我們不知道把它們混在一起時的效果。因為這些水溶性的分子混在一起時，有些會遮蔽其他分子的作用，而有些則會增強其他分子的作用。

為了研究這個問題，沙勒他們就將羊乳酪裡已知的水溶性味道分子，用不同組合混在一起來做實驗。

因為胜肽很難被鑑定出來，因此沙勒他們試著從二十公斤的乳酪中

分離出水溶性成分，他們把液體部分離心，一次又一次通過愈來愈細的濾膜，先濾掉分子量大於一萬的分子，再濾掉分子量大於一千的部分，最後得到分子量小於四百的分子，就是乳酪中的胜肽。

全部缺一

為了了解這些水溶性成分對於味道的影響，他們把分子調成溶液，然後找了十六位受試者組成評審團來品嚐。所有溶液基本上都含有相同的成分，但是缺少一到數種分子，以便釐清它們的作用。當然這個實驗也是在控制非常嚴格的情況下進行：受試者不知道每杯溶液的成分、受試者都被隔離在單人小間、小間裡面用紅色燈光來排除溶液顏色的影響、受試者都有一個鼻夾以排除嗅覺的影響等。

在訓練完畢開始品嚐時，受試者要將所嘗到的各種味道強度標記出來，而這個強度是跟一杯已知的參考溶液做比較。

鹽的影響比胜肽大

第一次的味覺分析結果頗令人訝異。雖然許許多多的研究指出胜肽的味道，但是羊乳酪中的胜肽，不管是大分子或是小分子，對於味道既沒有直接影響也沒有間接影響。那為什麼以前的研究發現胜肽是苦的呢？也許將來其他研究會發現胜肽在其他乳酪裡面是帶有味道的，但是至少目前沙勒他們在後續的研究裡排除了胜肽。

而關於乳糖，在比較了含有缺少乳糖的溶液之後，研究人員也發現乳糖對於樣品溶液的味道沒有影響。胺基酸也一樣：對味道沒有影響。而相反的，乳酸跟礦物鹽則是兩個對味道有決定性影響的分子。酸味主要是由乳酸跟磷酸釋放出來的氫離子所造成，而氯化鈉會增強這個味道。因此，在有鹽的情況下，酸味的分數都比較高。這是為什麼呢？恐怕還需要更多的研究。

而鹹味主要是來自於氯化鈉、氯化鉀、氯化鈣、氯化鎂，以及磷酸

鈉等礦物鹽。一部分的苦味來自於氯化鈣跟氯化鎂，而氯化鈉跟磷酸會遮蔽一部分的苦味。至於甜味跟鮮味呢（由麩胺酸鈉，也就是味精的分子，這種被大量使用在湯跟醬汁中的分子所造成），因為太淡了，很難說是水溶性分子所造成的。

綜合的味道

除了提供乳酪水溶性分子的詳細味道資訊以外，這些研究還說了什麼呢？首先就是，一種分子並不總是對應到一種味道；而更重要的，不同的分子彼此會有遮蔽或是增強的效果。此外，現在我們知道可以在乳酪中加入哪些分子，來強化某些味道，或者是遮蔽其他味道。然而酪農業者很難應用這些結果，除了因為法律規範以外，在脫水的過程中，溶在牛奶裡分子的流失是難以控制的。不過老饕卻可以在乳酪上灑不同的礦物鹽來消遣，來吧！氯鹽！來吧！磷酸鹽！

優格

如何藉由改變成分跟製作步驟來增加優格的細滑程度呢？

怎麼做出好的優格？這其實是個笨問題，因為有人喜歡水水的優格，而有人喜歡比較濃的優格。這問題本身其實很複雜，我們真正想知道的應該是：在一般的情況下，如何能藉著調整牛奶的成分跟改變製作過程來準確地得到想要的味道跟口感？雖然現在離這個目標還很遠，不過在達能企業的托瑪與帕克，以及第戎農業與食品工業學校的庫托東跟羅利安合作，已經發現了乳酪的質感跟牛奶裡的「微結構」有關，而這個「微結構」是隨著牛奶裡面蛋白質跟脂質濃度不同而改變。

要解答前面那個複雜的問題，最好的辦法就是做實驗。讓我們做個優格看看：在牛奶裡面加入一匙商業優格，然後慢慢加熱個幾個小時，優格就「好了」，科學家會說：這是膠體形成了。

牛奶其實是一種乳劑，也就是說酪蛋白聚集把脂肪包成許多非常小的油滴（微粒），均勻分布在水裡。水中同時還溶有許多分子，像是乳糖。當我們在這個乳劑裡面加入優格時，其實是把細菌（保加利亞乳酸桿菌跟嗜熱鏈球菌）「播種」到牛奶裡，這些細菌可以確保牛奶發酵。細菌會把乳糖轉化成為乳酸，而這種酸化反應會讓酪蛋白的微粒聚集，形成一張網絡，把水、水溶性分子、油滴跟增生的細菌困在其中。

訂做想要的「質地」

不過上面說的這個優格食譜，如果沒有很小心處理，非常容易失敗。再做另一個實驗就可以知道為什麼。在兩杯一模一樣的牛奶裡加入不同的優格，會得到兩種口感跟味道都不一樣的優格。同樣的，如果用葡萄糖酸內酯（這是一種會慢慢酸化環境的分子）來凝固牛奶，我們又會得到跟前面完全不一樣的結果。更有趣的是，如果我們在不同的溫度凝固牛奶，結果又不一樣了。

不過這些實驗雖然有趣，卻對食品製造業沒有太大的幫助。食品製造業必須要能夠做出品質保證穩定的產品才行，這就回到我們最初的問題。

為了能夠一次就解決這個問題，省去日後的麻煩，達能企業跟第戎的科學家把重點放在一件事上，那就是牛奶的成分。既然食品製造業都用所謂的「加料牛奶」來製作優格，也就是使用奶粉、濃縮乳或是加入不同的牛奶成分，了解不同成分如何影響牛奶的「微結構」應該有助於了解優格的質感。

因為天然的東西變異過大，他們使用含有固定成分的合成乳劑來做研究。方法是將乳脂跟脫脂牛奶混在一起通過「微射流均質乳化機」（可以把混合液用高壓通過一根窄徑管子噴射出去）。利用光線通過乳劑會擴散（散射）的原理，觀察光線擴散的程度可以得知乳劑中小油滴的大小。

蛋白質就夠了

他們發現跟以往的研究不一樣的結果：改變樣品中油脂或蛋白質的濃度，並不會改變小油滴的大小。當油脂的濃度增加時，看起來像是油滴變大，但事實上只是許多相同尺寸的小油滴聚集在一起而已。而當油脂增加時，小油滴的數目很自然的也變多。但是蛋白質似乎永遠足夠去覆蓋在小油滴外層來乳化它們。

既然蛋白質並非唯一個界面活性分子（也就是可以覆蓋在油滴外面的分子，一端跟油接觸，另一端跟外面的水接觸），科學家們繼續研究，當加入額外的界面活性分子到已經乳化的液體裡，或是先加到混合液裡，再通過「微射流均質乳化機」乳化，又會怎麼樣呢？

我們通常認為，如果加入的界面活性分子具有較高的親水性跟親油性時，它們應該會很快的插入那些小油滴的表面。不過實驗結果證明，除非把額外的界面活性分子在混合液乳化以前就加入，不然不會有影

響。當額外的界面活性分子加到已經乳化完成的液體裡時，包在小油滴外面的蛋白質一點都不受到影響，而小油滴聚集的狀態也沒改變。然而，如果把界面活性分子在油水混合之初就加入，之後再乳化，那蛋白質的分布情況就有所不同，而油滴比較不會聚集。

這些研究結果為製造新優格開了一條路，可以讓我們做出細滑程度跟全脂優格一樣的瘦身優格。



左圖：在優格裡面小油滴會因為酪蛋白聚集而集合在一起。

右圖：如果在配牛奶時加入界面活性分子，則小油滴會分散開來。

固體牛奶

如何順利的讓牛奶凝固？

隨著經驗的累積，廚師們漸漸學會用牛奶為基底做出「固體」的料理。舉個例子，乳酪，基本上就是某種形式的「保久乳」，藉由破壞牛奶的液體結構，把水分用「乳清」的方式除去。而優格呢，則是在牛奶裡種入細菌，像是保加利亞乳酸桿菌跟嗜熱鏈球菌。這些細菌會把牛奶中的主要糖分：乳糖，轉變成乳酸，因此造成環境酸化，然後在液體裡形成一張網絡。從物理的觀點來看，優格是一種膠體。



最近幾年，食品製造業的發酵跟凝乳技術已經改良很多，他們也找出在凝乳過程中可以決定質地的確實步驟，據此可以用牛奶做出變化多端的食物。同時，加入各種原本用來製造醬料的膠化劑跟增稠劑之後，更可以開發新的乳製品點心。不過有時候難以解釋的意外卻會發生，好比說當把明膠加入熱牛奶時，會產生一種令人不悅的結塊。在南特國立農業研究所的杜布利耶、布希歐與蓋涅等人的研究就指出，所有的膠化劑或是增稠劑，在過量的時候都會破壞牛奶的結構。

為什麼這些膠化劑跟增稠劑會有這種共通的特性？而它們的成分跟來源都很不一樣呀！像明膠是從動物骨頭中萃取出來的，澱粉是從穀物或是植物塊根莖中獲得，紅藻膠跟褐藻酸鹽是從海藻中提煉，聚半乳甘露糖（像是古亞膠或是刺槐豆膠）來自種子，果膠是從不同植物中提煉，漢生膠則由澱粉發酵得來。

糖，不穩定的添加劑

化學實驗顯示了這些物質的共通性。除了明膠以外，所有這些物質的化學組成

都是「多醣類」，在化學組成上跟糖類屬於同一家族，都帶有許多「羟基」（-OH），可以跟水分子連結因而讓溶液變得濃稠。

不過在牛奶裡面，多醣類除了跟水以外，還會跟許多溶在水中的蛋白質，特別是酪蛋白結合。酪蛋白平常在牛奶裡面會聚集成微粒的構造，或是溶在水中，或是覆蓋在油滴表面。那為什麼多醣類跟微粒以及小油滴之間的這種連結，會造成牛奶的不穩定呢？

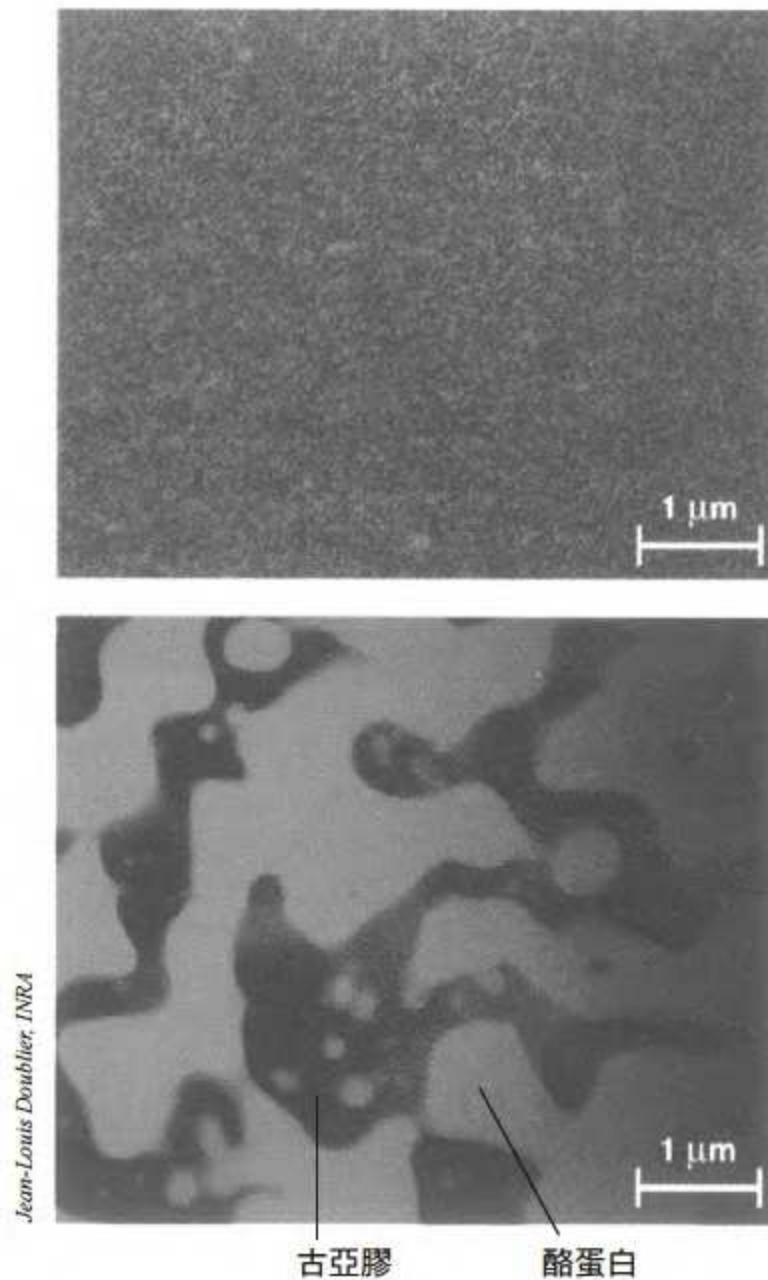
杜布利耶跟他的同事就利用掃描式雷射共軛焦顯微鏡來研究。這種顯微鏡可以觀察到樣品表面以下非常精確的一點。他們把酪蛋白染成一種顏色，再把多醣類染成另一種顏色，然後放在顯微鏡下，看看多醣類跟蛋白質都往哪些地方集中。他們發現當多醣類的濃度增加到一定程度時，即使肉眼還看不出溶液穩定度被破壞，但是溶液已經被多醣類分隔成不均勻的狀態了：多醣類會聚集在一區，而蛋白質會聚集在另外一區。尤有甚者，某些多醣類在很低濃度的時候就會造成這種不均勻效果，但是這改變不是馬上發生，速度要比濃稠的溶液慢很多。換句話說，食品製造業如果不知道這點，很有可能會發現自己的產品，在出廠時好好的，但到消費者手中卻結塊了。

平衡造成的不平衡

過去，兩位日本學者朝倉昌與大沢文夫就研究過膠體（大型粒子溶在水中）裡面的「絮凝與空乏作用」，而在牛奶中似乎也有類似的現象。簡言之，溶液中的粒子，在彼此之間的互斥力大於吸引力時，會達到一種平衡（分子互斥的力量來自於分子表面帶電而造成靜電排斥）。

這種平衡，會因為加入大分子的多醣類而被打破。這些大分子的體

積之大，因此它們不可能「均勻地分散」在鄰近的小分子中。因此在鄰近的小分子區，大分子的濃度可以算是「零」，這個區域稱為「空乏區」。一般在溶液裡面，各種分子傾向於均勻分布於各處。然而既然多醣大分子無法往「空乏區」移動，它們聚集在空乏區外面等於增加了大分子的濃度，所以水分子會離開空乏區來稀釋大分子濃度。這樣的結果，讓空乏區的小分子彼此距離靠近。在牛奶裡，這會讓酪蛋白（小分子）絮凝起來，因而造成結塊。



混合了古亞膠跟酪蛋白的溶液。當古亞膠濃度很低的時候溶液是穩定的（上圖），但是當膠濃度增加時則不穩定（下圖），古亞膠開始把酪蛋白分隔開。

這個大分子共有的特性，解釋了為什麼任何一種多醣類加入牛奶中，都會造成牛奶結塊。而唯一克服之道，則是加入的多醣類愈少愈好。

水手有句俗諺說：「船愈堅固愈好。」不管是船殼、船索、船桅、繫杆都要強化再強化，以免斷裂。在食品製造業上，這樣的觀念一點用處也沒有。

沙巴庸蛋黃醬的慕絲

醬汁因為雞蛋的凝結而穩定

想像一個完美的、理想的、柏拉圖式的沙巴庸蛋黃醬，它應該是怎樣的呢？沙巴庸這個字是從義大利文 zabaglione 變來的，做法則是混合蛋黃跟糖，並加入甜葡萄酒打均勻，之後加熱。一邊加熱一邊打勻，我們會發現醬汁開始變成慕絲。這樣的醬汁通常可以伴隨切片水果品嘗，或者放在小杯中當作餐後酒飲用。這道料理會發生的意外是，如果醬汁不發怎麼辦？物理跟化學知識能不能保證我們成功？

先讓我們看看現存數不清的沙巴庸蛋黃醬食譜好了。在打鼓人出版社所出版的《料理》一書中，作者歐克朗建議：「一顆蛋黃配上半個蛋殼分量的糖，兩份半個蛋殼量的酒。兩顆蛋黃為一人份。把這份料理放入琺瑯鍋裡用小火加熱，攪拌、攪拌、一直攪拌。這個過程不會太長，也不隱晦，不過需要有慧眼。我不知道你們的眼光夠不夠敏銳，可以看出沙巴庸蛋黃醬慢慢變細並接近完成。在那個時候要繼續攪拌，你可以感覺到醬汁的密度變大，然後，睜大眼注意看，因為在某個瞬間醬汁會突然變成細泡狀，而液體連滾沸都不需要。」

聽起來未免太神祕了，跟煉金術差不多，而且很多人還是失敗了。讓我們用這份食譜提到的配方來做個實驗。首先把它的分量轉換成精確的科學計量，然後稍微改變一點，比如說準備兩份沙巴庸蛋黃醬，需要四顆蛋黃，兩百克的糖。現在在其中一份裡面加入三百毫升的水，而第二份則只加入一百毫升的水。我們會發現第一份醬汁會變成慕絲，第二份不會。

水是必需的

怎麼解釋這個現象？先注意一件事，蛋黃會讓液體變濃稠，並且讓慕絲的泡沫壁變得堅固，當然前提是慕絲要能夠形成。然而，要形成分

隔小氣泡的壁層，必須要有一定分量的水，而前面的第二份沙巴庸蛋黃醬似乎就是缺少水。該怎麼驗證呢？我們可以在前述沒發起來的沙巴庸蛋黃醬裡面，倒入兩百毫升的水，然後重新加熱，並且一邊攪拌，最後它會發起來。這樣就證明了，這份醬汁一開始的問題就是水不夠，不過這也給了廚師一個很重要的建議：如果沙巴庸蛋黃醬沒有發起來，可以加多一點液體再做一次。

那麼糖在這裡有什麼用呢？當然糖會提供醬汁甜味，不過它的分子（蔗糖分子）具有高度親水性，會跟水分子連結在一起，水分子很可能因此難以形成分隔氣泡的壁層。要證明糖的這種性質，我們比較一下剛剛準備的沙巴庸蛋黃醬，跟另一份醬汁。這次一樣是用四顆蛋黃，但是只用一百克的糖，然後分成兩份，一樣是分別加入一百毫升跟三百毫升的水。含一百毫升水分的醬汁這次會發起來，不過比起前面做的醬汁要差一些，因為它的水比起蛋黃來說還是太少。而含三百毫升水分的醬汁也會發起來，不過後來會液化回去，因為它的水比起蛋黃來說太多了。

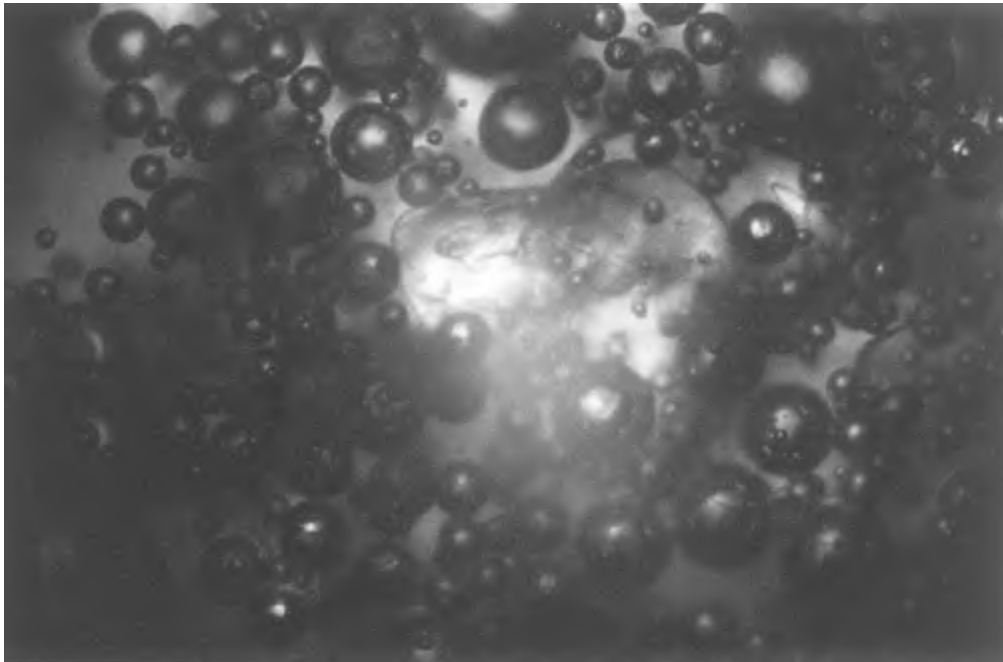
要空氣氣泡，但是不要蒸氣泡

現在讓我們專心在烹飪步驟上。該怎樣加熱沙巴庸蛋黃醬？在沒有科學理論解釋以前先觀察，我們可以發現，沙巴庸蛋黃醬似乎要慢慢加熱才會發得比較好。為什麼會這樣呢？讓我們研究一下沙巴庸蛋黃醬為什麼會發成慕絲。是不是在鍋子底部形成的水蒸氣，被上面凝結的雞蛋所困住呢？根據這樣的假設，當沙巴庸蛋黃醬慕絲形成的時候，我們應該可以測得鍋子底部的溫度達到攝氏一百度。不過有些廚師反對這種說法，根據經驗，他們建議沙巴庸蛋黃醬只要加熱到攝氏八十度，慕絲才能形成。到底該怎麼辦？

好，讓我們用理性思考，如果在烹飪沙巴庸蛋黃醬時要一直攪拌，這應該是為了讓空氣進入醬汁中。而在這個烹飪過程中唯一會發生的科學變化，就是蛋黃的變性（凝結），會在攝氏六十八度時發生。因此，我們可以預測，其實不需要加熱到八十度，更不需要加熱到攝氏一百度

（蛋白形成的慕絲甚至只要在室溫就行了），只要達到攝氏六十八度，慕絲就可以形成，而蛋白質也可以穩定組成氣泡間的壁層。

實驗證明上述的理論可以做出成功的沙巴庸蛋黃醬。所以我們應該使用哪個溫度來烹飪呢？六十八度？八十度？還是一百度？根據點心師傅的說法，好的沙巴庸蛋黃醬必須不能帶有煮熟的蛋味。從這樣的觀點來說，攝氏六十八度做出來的沙巴庸蛋黃醬應該是最好的。這樣的製程可能會比較長，但是哪個老饕不會為完美的沙巴庸蛋黃醬等待呢？



當我們攪拌蛋黃跟糖時，醬汁會變白，因為我們把空氣泡打到醬汁裡（圖中外暗內明亮的圓球形）。如果我們停止攪拌好一陣子，蛋黃會在糖結晶的表面凝結，而糖再也無法溶解，就形成圖中央看到的結晶塊了。

水果糖漿

怎麼把糖的濃度調到最適合保存水果？

秋天近了，水果開始結實纍纍。不過之後寒冷的冬天會把它們一掃而盡。該如何留住它們呢？烹飪上面有許多方法，從釀製到冷凍，都可以使用。不過不管是哪一種方法，目的都是為了避免微生物滋生。在室溫下，像水果這種水量跟營養都很充足的環境，最容易讓微生物快速生長。現在，我要把重點放在做水果糖漿這個方法上，就是把水果浸泡在糖漿中。要怎麼根據科學理論來處理呢？



有做過水果糖漿的人都知道，這有點像是古希臘水手在危險的海峽中航行，一側藏著賽拉女妖（要麼是水果會在糖漿中慢慢膨脹直到脹破），另一側是卡利布代大漩渦（要麼水果會整個皺縮）。善於觀察的廚師會察覺，第一個問題很可能是因為糖漿的糖不夠多，而第二個問題則可能是因為糖加太多了。所以問題來了，要怎麼決定糖量？

用研究來解釋

要回答這個問題，需要分析一下烹飪的過程。一般的食譜都建議不要使用熟透的水果來浸泡。然後先把水果上用針戳好幾個洞，放入「二十度糖漿」中，把玻璃罐蓋起來並用布包住，置於滾水中加熱。加熱時間為數分鐘，依據水果的尺寸而有不同。比如紅醋栗只要煮兩分鐘，杏之類的要煮五分鐘。

這步驟很好理解，目的就是為了用熱殺菌，這是個自古以來就被使用的步驟。不過現代的廚師應該多了解一些，而不僅只是重複古老的食譜。他們該知道殺菌的程度，取決於加熱的溫度與時間。既然這裡溫度是固定的，那麼殺菌的程度就跟加熱的時間有關。而傳統食譜會根據水果大小不同而規定不同的加熱時間，不過這是不對的，因為所有的水果都應該加熱相同的時間，殺菌程度才會一樣。可是這樣小一點的水果就有可能「煮過頭」，而老饕對此一定不會高興。

另一個細節則是用布包住玻璃瓶。這比較是經驗而非科學，主要是因為當在盆子裡面隔水加熱玻璃罐時，滾水從下面升起撞擊玻璃罐，如果沒保護好玻璃罐可能會打碎。

糖漿的強度

接著回到糖漿的問題。傳統食譜有時候過於簡潔。什麼叫做「二十度糖漿」？這很明顯不是指攝氏二十度。這裡你可能要有一點做甜點糕餅的知識，才知道有兩個容易搞混的計量，一個是「波美糖度」，算法是一百四十五減去一百四十五除以S，這裡S是指糖的比重。另一個是「布裏糖度」（又叫巴林糖度），是測量糖在整體重量裡占的比例。為什麼食譜不直接講，一公升的水裡該溶多少糖就好了？下面我們就會看到，在做糖漿的時候，廚師可以根本不用管這些複雜的計量。

關於水果糖漿的問題，主要就是：假設我們確實殺菌了，如何避免水果在太稀的糖漿裡面膨脹？以及如何避免水果在太濃的糖漿裡面皺縮？首先為何會有這兩個現象呢？因為水果會隨著滲透壓而改變。當水果在糖漿裡面放置夠長的時間後，它會傾向跟環境達到一個平衡，也就是說在水果裡面的水的濃度要變成跟水果外面的濃度一樣。

我們可以用顯微鏡來看一下。把植物細胞放在有糖結晶的溶液裡，水分會透過細胞壁跟細胞膜往外流失，以便讓細胞內外的水分濃度達到一樣。水果本身是一群細胞的集合，所以這樣的現象一樣會在大尺度範圍發生。

當糖漿的濃度太稀，等於水果裡面的水分濃度較低，水果就會開始吸水，因而膨脹最後脹破。相反的糖漿濃度太濃，水分就會往外流失，這跟用鹽來醃製讓小黃瓜或是茄子脫水，是一樣的道理。

然而這些現象解釋並無助於讓我們做出好的水果糖漿。到底要加多少糖，才能把糖漿做好呢？讓我們準備一系列的糖水來實驗看看：從每公升含十克糖、二十克糖……一直到飽合溶液為止，接著把水果放進去（比如說用李子，然後像食譜建議的一樣在上面戳幾個洞）。這時你會發現水果會浮在比較濃的糖水中，但是在比較稀的糖水中會沉下去，這很正常，因為糖水的密度是隨著糖變多而變大。現在靜靜觀察一段時間，這耐心終會有所回報。你會發現水果浮在表面的那幾瓶糖水中，水果都皺縮起來；而沉下去的那幾瓶中水果則脹裂了。

當然啦，這樣的結果並不總是絕對的，因為一批水果裡面每個成熟度都不同。光看同一瓶水果漂浮的情況，就會發現有些沉有些浮，因為它們的成熟度不同，組成也不同，特別是糖分含量也不一樣。此外，果核跟果肉的密度也可能不同。

讓我們把實驗再做得稍微複雜一點。在剛才的一系列糖水中，放入完整的水果、切成四分之一帶果核的水果、四分之一不帶核的水果，以及單獨放果核。這時候我們會發現果核其實沒有什麼影響，因為水果之間成熟度所造成的差異，會大過果肉跟果核之間的差異。

最後講一個比較有效的辦法，來決定糖漿裡面糖的濃度。廚師可以先準備一瓶比較濃的糖水，讓所有的水果都能浮在液面，然後慢慢加水，直到水果離開液面，這就是最適當的濃度了。

現在讓我們等待冬天來臨吧！

果醬跟纖維

用擠壓烹飪法來回收纖維

果醬常常會找廚師的麻煩，尤其是當冬天要做橘子、柳丁果醬的時候。有時候水果是水果，果汁是果汁，而不是讓人期待的完美半固體。要怎麼避免這個烹飪的災難呢？在南特的國立農業研究所裡，提寶、荷娜、阿可賽羅以及哈蕾等人就回答了這個問題。



不過他們當初研究的目的是為了食品工業界的另一個問題。他們的研究指出，常用來製作雞尾酒小點心的「高溫擠壓烹飪法」，可以用來回收果膠，就是那種在檸檬、柳丁果肉裡，以及甜菜等蔬菜水果裡含量豐富的膠化劑。

做果醬時失敗的原因，聽起來有點弔詭。因為果膠這種分子，是跟植物細胞的纖維素以及其他多醣類（就是由簡單糖分子連接成長鏈所形成的大分子）結合在一起。這樣構成了大部分植物的細胞壁成分，只有穀類沒有這種分子。然而為什麼不是每次都能成功萃取出來呢？因為在做果醬的時候，為了避免流失太多香味分子，我們往往不會加熱太劇烈。因此果膠的連結常常沒有完全打斷，就算它們都在容器裡，卻沒被釋放出來，也就無法在溶液中形成膠質網絡。

而在食品工業界，他們有另外一個問題要問。在榨完蘋果汁，或是做完蘋果酒之後會剩下一堆蘋果渣；榨完檸檬或柳丁果汁之後也會剩下一果肉；萃取完甜菜的糖之後會剩下菜渣，這些都含有很大量的植物纖維，他們希望能再加利用。比較傳統的做法，是把這些纖維用酸或用熱處理，讓果膠釋放出來再純化。之後用它們來做膠化劑、稠化劑，或是用來包覆洋芋片。未來，也許還會開發廢水處理的功能，因為果膠容易

跟金屬離子形成鍵結，因此可以淨水。

然而，用酸處理有諸多不便，因為酸有可能會讓果膠分子降解，切斷這些糖分子間的鍵結，或是改變糖分子的化學構造，而有可能讓果膠失去膠化劑的功能。

從化學聚合物到食用聚合物

在南特，他們已經研究高溫擠壓烹飪技術好幾年了。通常這是用來處理肉品或是澱粉，現在他們想到也許可以用這個技術從水果果肉中萃取出果膠來。用在食品工廠裡的食物擠壓機（這技術其實是從塑膠聚合物工業學來的），往往有一組或是數組阿基米德螺旋，轉速各不相同。食物通過它們時會被切碎然後從一個噴嘴噴出，在此處食物會快速膨脹。而在通過整台機器的過程中，許多地方的溫度都被控制住，因此食物可以保持特定的溫度。

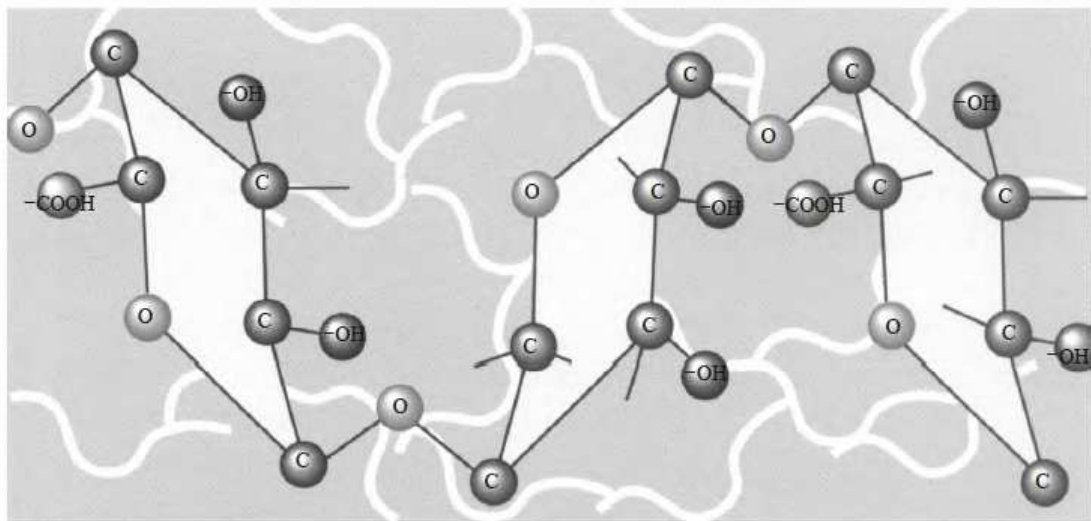
哪些植物的果膠符合做成膠化劑的條件呢？果膠的特性取決於它們的化學成分，而每種植物又略有不同。綠檸檬、檸檬、柳橙跟蘋果的果膠，都可以膠化得很好；但是甜菜的果膠不會凝結，不過卻可以跟重金屬分子結合得很緊密，而且在稍微改變其化學成分之後，可以做成吸水性很強的膠體。在化學特性中，「酯化」跟果膠的特性特別有關。構成果膠的糖分子骨架，有些側鏈帶有羧基（ $-\text{COOH}$ ），而這些羧基有時會被酯化，酯化程度則依不同水果而有不同。酯化之後，羧基就變成甲基酯基（ $-\text{COOCH}_3$ ）。這種酯化會影響果膠分子彼此的結合能力，因此不同水果果膠酯化程度不同，結合能力也各不相同；也可以說，是酯化決定了不同果膠作為「膠化劑」的能力。因此，任何一種果膠萃取方法，如果目的是為了拿果膠來做膠化劑或是增稠劑，都要注意保持這些側鏈的完整性。

擠壓烹飪技術有許多優點，除了整組機器比起傳統萃取所需的設備來說，要簡單而便宜許多以外（在南特他們所使用的機器全長不過一公尺而已），操作過程更比較省時且自動化。而它可以萃取出跟傳統方法

一樣多的果膠，同時又不會破壞分子結構。提寶他們發現，萃取果膠的步驟中，切割果肉的過程是最關鍵的，只要避免食物變熱，果膠的結構就可以保持。

給烹飪的建議

那這些研究可以給我們做果醬怎樣的建議？我們可以在室溫下榨果汁，然後把水果剩餘帶很多果膠的纖維部分小心打碎（既然沒有擠壓機，可以用食物處理機），接著把打碎的果肉倒回果汁中，小心加熱。最後要注意的是，既然果膠分子有可能比較喜歡跟容器的銅原子結合，請不要把做好的果醬在銅盆中冷卻，最好使用玻璃容器。



果膠是由糖分子所組成的長鏈（圖中的歪曲六角形）。糖分子上接有碳原子（C）、氧原子（O）、羥基（—OH）以及羧基（—COOH）。果膠分子彼此的連結是形成膠體的原因。

巧克力的霜化

為了避免的巧克力霜化，最好冷藏保存

糟糕，那醜陋的白色頭皮屑蓋在巧克力上了！要怎麼避免？又為什麼會這樣呢？法國國家科學研究中心的奧立馮、凱勒，以及達能企業的路瓦塞爾和勒克等人，就解釋了為何巧克力這種「半液體」的食品，裡面有部分成分會慢慢移動到表面並且結晶，因而造成巧克力的霜化。

巧克力基本上是糖結晶以及可可粉，均勻分布在可可脂裡面。而可可脂所形成的固體結晶，扮演著把所有固體分子連結在一起的角色；有點像是水泥把沙土碎石固定在混凝土裡一樣。不過巧克力的凝聚並不容易形成，因為裡面的糖結晶本身是親水性的，而可可脂具疏水性，兩者互斥。巧克力大師常常會在「加熱均化」這個步驟加入卵磷脂，來讓糖跟可可脂這兩種本性互斥的物質連結在一起。

從一九六〇年代開始，我們就知道漂亮的黑巧克力變白，是可可脂隨溫度變化的特性之一。可可脂混合了半固體跟半液體的油脂，它們有六種不同的結晶形式（編號一到六）。而只有一種非常精確的加溫跟降溫過程（稱為定溫熔化），可以形成夠穩定的結晶，而不會霜化。其他任何不當的降溫過程都會把巧克力做壞。

在 X 射線下面的巧克力

科學的分析有沒有辦法揭開霜化的祕密？奧立馮他們測量定溫熔化時巧克力黏度的變化，以便了解結晶的過程。X 光射線的分析顯示，定溫熔化良好的巧克力，會結晶成第五種形式。而進一步用偏光顯微鏡檢視發現，剛做好的巧克力表面是沒有結晶的，只有幾個小洞，這應該是氣泡在表面破裂所造成的，此外還有一些裂痕。在正常的儲存情況下，霜化進行得很慢，小結晶會漸漸在小洞跟裂痕周圍聚集。相反的，如果巧克力放在溫度變動大的環境下，霜化在幾天之內就會出現；而此時巧

克力表面跟裡面的結晶都變成第六種。

這種現象該如何解釋？一直以來我們都以為，巧克力的霜化是因為一部分的可可脂漸漸往表面移動，然後在這裡形成第六種結晶。不過今天我們知道，巧克力的油脂組成，在霜化部分跟其他部分並不一樣。而康皮恩大學的阿德涅與夏夫洪等人則發現了第六種結晶比第五種要穩定得多，而形成這兩種結晶的溫度（同時也是熔點）差異，只有攝氏一．五度。此外，第六種結晶構造要比第五種來得更緊密，因此在兩種結晶轉換的過程中，一部分的可可脂會被推擠到巧克力表面。

熔點的差異，很自然反映了油脂的組成。可可脂的分子，是一種三酸甘油酯。這個分子長得像是一隻只有三齒的梳子，基座的部分是一個甘油分子，然後三個脂肪酸長鏈分子像是三隻齒一樣的連在上面。一般的脂肪酸是一條碳原子長鏈，碳跟碳之間由單鍵或是雙鍵連結。雙鍵的數目愈少，三酸甘油酯的熔點溫度就愈高。

被結晶推擠

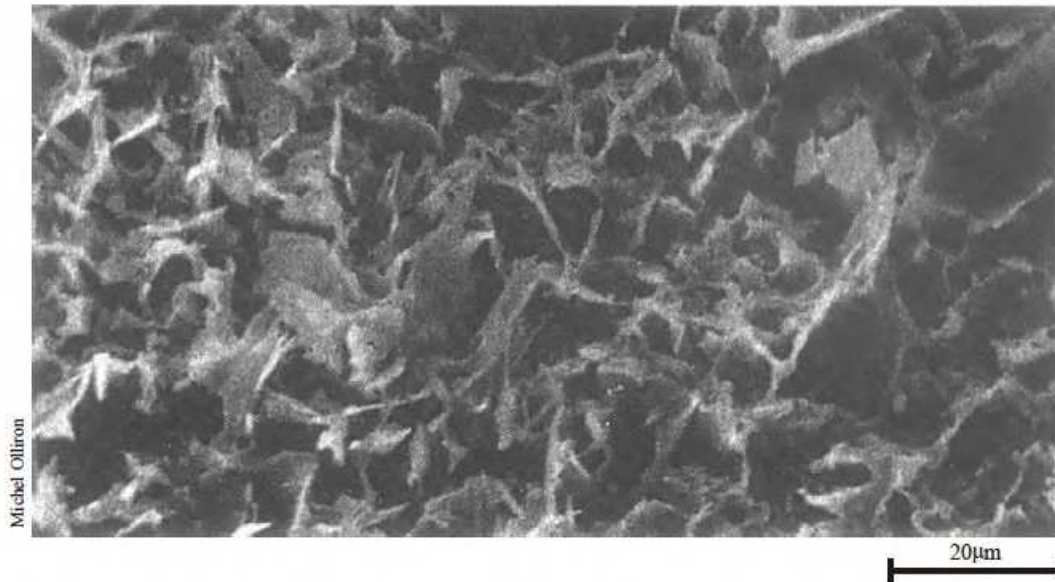
通常，可可脂液相的比例會隨著溫度增高而增高，與此同時液相裡會變成含有比較多「只有一個雙鍵」的三酸甘油酯，因為這種分子的熔點比較低，因此會先變成液體。而巧克力霜化是一種冷卻時的再結晶過程，也就是富含這種分子的液體再變回固體。

霜化特別容易發生在那種包有多脂成分夾心的巧克力上。當兩塊多脂的塊狀放在一起時，它們的脂肪會互相混合，特別是在高溫時（也就是說變成液相的脂肪分子比較多，移動也比較方便的情況下）。而霜化巧克力的結晶，跟其他部分的巧克力結晶成分很不一樣，因為它含有特別多的「單一雙鍵三酸甘油酯」。

相反的，霜化巧克力的結晶幾乎是不可還原的，不管是不是夾心巧克力。當夾心部分的脂肪向外層巧克力移動時，會增加外層巧克力液相的比例。而跟霜化研究結果相吻合的是，這種液相增加的結果會加速

霜化的進行，但不會改變巧克力組成。

這些研究告訴我們，如果想要保存巧克力的香味跟外表，儘量在低溫下保存（比如說攝氏十四度）。這樣可以把儲存時必然會發生的脂肪移動減到最低。然後在品嘗前讓巧克力回溫一下。



巧克力表面霜化部分的第六種結晶。

焦糖

我們終於知道焦糖分子是什麼

早在西元前六十五年時，羅馬哲學家塞內加就提過焦糖了，但是超過兩千年來，我們對於焦糖的化學反應、糖加熱時那無可比擬的香味，卻所知甚少。最近，位於格勒諾勃的法國國家科學研究中心德斐與噶西亞費南德茲等人，根據最新的糖類化學知識，以及新的分析技術，終於找出了焦糖分子們（不管是帶香味或是不帶香味的）。



焦糖化與梅納反應，這是烹飪上含糖食物最重要的兩個化學反應。梅納反應也會發生在烤肉時、烘焙咖啡時、釀啤酒或是烤麵包等眾多地方，因為梅納反應主要是糖類與胺基酸或是蛋白質所發生的反應，但是焦糖化卻只跟糖有關。事實上，這兩種化學反應很可能真的占了烹飪上糖類化學反應的絕大部分，而兩者比例多寡，則視烹飪時糖與蛋白質的含量而定。

從我們懂得烹飪糖以來，焦糖化反應就改變了食物的風味與面貌。但是這到底是怎麼發生的呢？這個謎題漸漸變成經濟上的重要問題。光是在法國，食品製造業每年要生產一萬五千噸的焦糖，用在乳製品、點心餅乾、糖漿跟烈酒、啤酒跟其他酒精飲料、咖啡、湯品等。

科學傳統

第一系列跟焦糖有關的科學研究，是法國化學家佩里哥於一八三八年做的。之後焦糖研究彷彿變成了夢魘毫無進展，直到一八五八年才有

傑利斯、熱拉爾與穆德等人提出將焦糖的非氣相部分（占焦糖化產物的百分之九十五）分成三部分：焦糖烷、焦糖烯與焦糖炔。這是藉由不斷將焦糖溶在酒精跟水裡面所得到的，但是這種定義，在化學上面來說，模糊得很，比起布希亞薩瓦杭與化學家泰納爾當年提出那有名而錯誤的「肉香質」（肉類主要香味成分）來說，沒高明多少。如果我們用他們的方式重複去沉澱焦糖，會發現每個部分都含超過一種以上的分子。

一個世紀以後，再度重拾過往的研究。我們似乎在焦糖裡面找到了一些腐植酸，一些未知產物的還原分子、具有跟褐煤一樣的單寧特性，然後我們也觀察到焦糖會跟酒精作用。同時在焦糖的氣相成分裡也找到了一些分子：像是5-羥甲-2-糠醛，以及其他二十幾種造成焦糖獨特氣味的化學成分：甲醛、乙醛、甲醇、乳酸乙酯、麥芽醇等。

然而，對於焦糖的非氣相成分進展仍非常有限，直到一九八九年，新的分析技術終於讓我們可以偵測到葡萄糖的代謝分子。

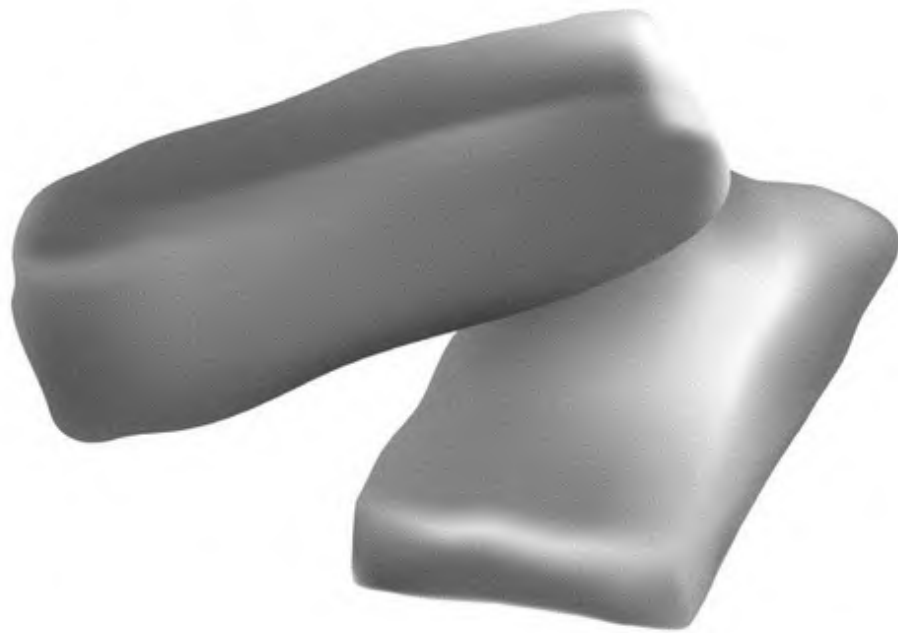
除去水分之後

蔗糖分子是一種雙糖，是由一個葡萄糖跟一個果糖分子結合而成。這兩種糖分子，每一個都是由六個碳原子組成骨架，然後其中五個碳原子各帶有一個羥基（-OH），第六個上面則有一個氧原子，以雙鍵連接在碳原子上。葡萄糖跟果糖分子是環狀，以糖苷鍵（ $-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-$ ）的方式結合在一起。德斐他們本身專精於糖類化學，因而使用糖類的分析法來研究焦糖的非氣相成分，並且解開了形成焦糖的長串化學反應。特別是他們發現了果糖形成的二酐，或者說兩個果糖環以兩個 $-\text{CH}_2-\text{O}$ 這種鍵結連在一起，因而在兩個環狀分子中間形成了第三個環。許多分子都會形成這種構造，因為糖類分子其實有多種「異構物」，也就是說分子的成分一樣，但是用不同方式連結在一起。

德斐他們接著指出，以蔗糖焦糖化的過程為例，非氣相的成分是由將蔗糖分子分解成葡萄糖與果糖而得來的。這些單醣分子接著會彼此任

意結合形成寡糖，也就是短的糖鏈。葡萄糖會跟果糖連接，果糖也會跟果糖連接……如此這般。

這些新發現對於食品製造業來說很重要，因為這樣他們可以宣稱聚葡萄糖是一種自然產物。聚葡萄糖常被用在加了甘味劑（因此不含糖）的食物中，來改變食物的質地。既然這種聚葡萄糖也存在焦糖裡，它們並不適用於與其他人工合成分子相同的規範。此外，研究其他糖類焦糖化反應又更容易了。



新鮮吐司與乾脆麵包片

吐司麵包的分子運動其實跟塑膠很像

麵包如果放在廚房一陣子，就會乾掉且變味。放冷凍庫的話，似乎變化慢一點。但是到底該放在幾度，麵包才可以長期保持在剛出爐的狀態呢？攝氏七度？零度？還是零下十度？關於這個問題，國立高等農業、食品工業與環境科學研究所的科學家們就利用他們對「聚合物」的知識來研究這個問題。所謂聚合物，是一種由許多類似的「單體」連接起來成為一條長鏈般的大分子。而從這個角度來研究食物應該是合理的，因為食物含有許許多多的聚合物。比如說構成麵粉裡面「澱粉粒」的分子，就是直鏈狀葡萄糖聚合物（直鏈澱粉）跟分岔鏈狀葡萄糖聚合物（支鏈澱粉）兩種。而蛋白質則是由胺基酸連成鏈狀的聚合物。

在比較高溫的情況下，聚合物大分子會處於「液態」，這些分子有足夠的能量可以任意移動碰撞，因此整團物質會流動。當溫度降低時，聚合物開始形成橡膠般的固體，有些分子會形成結晶，但是此時它們仍保有滑動的能力。當溫度低於玻璃態轉移溫度時，聚合物就被固定住，整團物質也因此變成固體；這時那些結晶，被分散固定在其他「非晶態」的聚合物鏈中，或者說結晶分散在「玻璃」中。這種物質的結構，隨冷卻的情況而不同。當快速冷卻時，物質的黏度增加太快，以至於大部分的分子來不及形成結晶，非晶態的玻璃結構就會成為主要成分。

而實際上，很多食物的結構都跟玻璃一樣。比如說在水中煮糖時，隨著水蒸發糖濃度增加，會慢慢形成類似玻璃的構造。奶粉、咖啡粉也是，果汁有時候也是類似玻璃的構造。那麼吐司麵包呢？它們是否也是一樣，在新鮮時是類似橡膠態，而當變質時開始玻璃化形成一種結晶跟非晶態混合物？為了研究這個問題，勒梅絲特、達薇杜以及芳姐聶等人，就比較在不同溫度下脫水的吐司麵包，與那些被擠壓出來的乾脆麵包片，它們的分子運動模式。

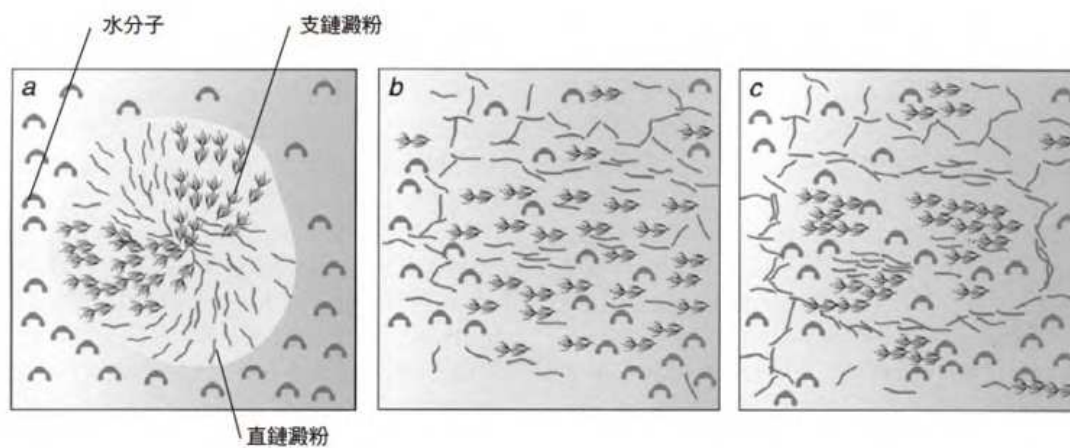
當我們加熱麵團（基本上就是麵粉跟水的混合體）時，澱粉粒會膨脹而直鏈澱粉會滲透到周圍的水中。在冷卻時，這些直鏈澱粉會形成一張網絡，把水分子跟含支鏈澱粉的澱粉粒困在其中。勒梅絲特她們首先把許多麵包樣品放在乾燥器中脫水一個禮拜，讓麵包的水分被磷酸酐完全吸光。接著她們再把乾掉的麵包放在固定濕度的環境下讓它們重新吸水並用不透水的矽膠膜包住。之後她們讓麵包在受控制的狀況下變形，並用黏彈性測量儀測量麵包變形所產生的力。由此可以得到一個麵包的彈性係數，也就是所謂的楊氏模數。

把麵包冰在零下二十度

她們的這些研究有很高的實用性價值。根據多次實驗所累積出來的結果，我們可以預測麵包以及同類食品，隨著含水量以及結晶狀況，所造成機械物理特性的改變。而我們更知道，就算冷凍起來水都結冰不會移動了，但是只要這個溫度尚高於玻璃化轉移溫度，麵包質地的改變就會繼續進行。在攝氏零度到零下二十度之間，麵包會繼續走味。因此為了保持麵包的質地，應該要將其保存在低於這個玻璃化轉移溫度下。

以前我們一直認為，造成走味的原因，是澱粉的「回凝作用」，也就是直鏈澱粉會慢慢形成結晶，然後把水釋放出來。但是勒梅絲特她們發現，事實上是直鏈澱粉跟支鏈澱粉共同形成一種含水結晶。而脂質會延遲麵包的變質，因為脂質會跟直鏈澱粉形成結晶，因而使直鏈澱粉跟支鏈澱粉的「共結晶」比較不容易形成。

不過，這種共結晶不是造成麵包變質的唯一原因，在麵包結構裡面「非晶態」部分的分子運動其實比較重要。含水量是麵包保存的一個重要參數，因為含水量會影響非晶態部分的彈性，進而改變結晶形成的速度跟形式。



a. 澱粉的膨脹、b. 澱粉的糊化，以及 c. 麵包的變質示意圖。

阿爾薩斯的風土

地形的開闊度，是葡萄酒品質的關鍵

釀酒者跟果農，對於所謂「風土產地」之說幾乎毫不懷疑，且認為這是構成所謂「法定產區證明」的基礎。但這真有根據嗎？為此，農業學者就專門研究了氣候、土壤、母岩等自然環境，想知道哪些天然條件確實會影響葡萄的生長。位在科爾馬的國立農業研究所裡，勒彭等人詳細研究了阿爾薩斯地區的天然環境。結果他們發現，地形的開闊度，也是構成所謂「風土」裡重要的一環，至少跟「地下水量」以及「日照量」是同等重要的。

葡萄果農尋尋覓覓理想的果園，是那種容易造成葡萄結果，而不容易長葉或藤蔓；同時讓葡萄裡面要能累積糖分（以供發酵用）以及香味的環境。葡萄還要成熟得夠早，才不會受到任性的秋天氣候糟蹋，這也就是說葡萄要生長得夠早。因此，長久以來大家一直認為日照量是構成良好產地的主要因素。

應阿爾薩斯區跨領域酒類中心的要求，勒彭他們延續了一九七〇年代瑟岡等人在波爾多地區的研究。根據瑟岡等人在釀酒學研究所的研究結果顯示，土壤，藉由其中可以滋養葡萄藤的水分，構成了葡萄生長的重要因子。最好的土壤，是那種可以穩定供水，同時又能適度缺水的地方。這樣的環境最適合葡萄成熟。

此外，一九七五年時在安傑的國立農業研究所，莫拉等人也研究了羅亞爾河谷地區的紅酒法定產區（這包含了索木爾香琵伊、希儂以及布戈伊等地的卡本內弗朗葡萄）。他們的研究印證了瑟岡等人的結論，同時更進一步指出愈快在春天變暖的土壤，葡萄會愈早開始生長，因而愈適合做葡萄園。根據安傑地區的研究，他們認為也許可以用所謂「地形開闊度」來歸納氣候特徵。他們假設葡萄在谷地（地形開展狹窄處）跟在山丘上（地形開展寬闊）生長的狀況不一樣。而勒彭等人就研究阿爾

薩斯地區的葡萄生長狀況是否符合這個假設。阿爾薩斯屬於半大陸地形，因此葡萄園跟波爾多或是安傑地區有很大的差異。他們所研究的地區，位於科爾馬附近，文澤海姆跟席格海姆之間。

阿爾薩斯的母岩跟土壤當然很久以前就被研究過了，但是都不足以應付企業的需求。這次勒彭等人的研究範圍總計一千七百五十公頃，同時更詳細到對每一公頃的土壤都進行分析，以便找出可互相比較的土壤學參數。最後他們從各種判斷不同類型土壤的標準裡面，找出三十幾種土壤學參數使用。他們在許多地方鑽深井，以判斷土壤性質；同時也定義了土壤「開闊度」，就是比較風向圖八個方位的地平線高度。

產地的地形與氣候

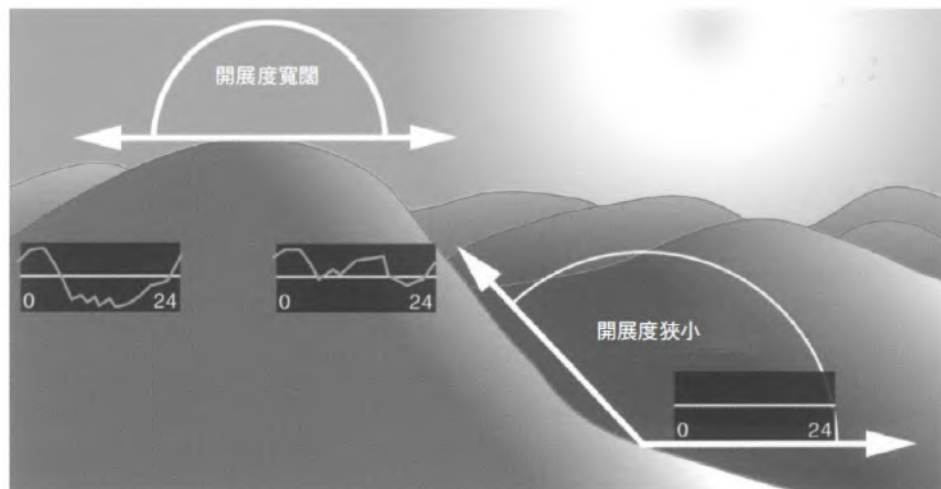
勒彭等人研究的葡萄園多半是「格孚茲塔明那」種。他們在深井旁同時豎立小氣候站以蒐集氣候資料。研究結果發現，從年度平均氣候來看，各地區之間的差異其實不大；各產地之間氣候比較明顯的差異，只會發生在短時間之內。比如說在天氣不好多雲時，氣溫只跟高度有關；而當天氣晴朗時，晝間氣溫則跟高度、坡度、方位、東西地平線的高度，以及土壤的含熱性質有關。

他們所蒐集的這些資料，可以幫助了解「中氣候」，也就是所謂地區型氣候，像是坡區或是谷地裡的氣候。綜合這些研究結果，以及其他地形與氣候學資料，他們可以更精確的定義「產地或風土」。他們認為，氣溫是很重要的，而地形更決定了當地的「中氣候」。

那麼，到底怎樣算是好的產地呢？勒彭等人指出，阿爾薩斯不同於波爾多或是羅亞爾河谷。這裡的差異主要存在於收成時葡萄成熟度。如同所有研究過的葡萄園，水供給的狀況決定了葡萄從開花結果到成熟的時間。當水分供給充足時，葡萄會比較晚熟，因為葡萄藤葉子長得比果實要快。但是當水分供給不足時，葡萄成熟也會延遲。因此格言說，葡萄必須忍受缺水才會結果，並不完全正確。嚴格來說，減少水分供應必須是有限度並且規律的。

現在阿爾薩斯的風土已經被細究過了，剩下的工作就是建立這風土跟酒類品質的關係，而科學家們正在研究酒中的香味分子。科爾馬國立農業研究所的謝佛跟他同事們，最近就觀察到烯醇類的氧化物含量有很高的變異性。

地形的開展度，可以總結成葡萄園的日照與通風程度。舉例來說，圖中的三種地形，我們用平地（最右邊）的氣溫做基準來比較，看看在一個晴天時兩地氣溫變化差異。



酒的餘韻

唾液裡面的酵素，可以增強一種蘇維儂種白葡萄釀出的紅酒的香味

生化學家對於釀酒過程的各步驟都非常有興趣，但是他們卻很少注意到品酒時的生化現象。最新的研究結果倒是揭露了一些品酒的祕密。我們最近發現，由蘇維儂種白葡萄所釀出來的酒中，有一種分子（香味分子前驅物），必須要跟唾液酵素作用之後，讓酵素把這個前驅物切開，香味分子才有作用。因此，品酒後必須等稍微久一點，才能聞到香味。

在一九九五年時，波爾多釀酒學研究所的達西耶跟杜布厄迪找到了這個分子，在蘇維儂葡萄酒香味裡面占有重要地位；因為它造成蘇維儂葡萄酒有「黃楊木」或是「金雀花」的香味。這個很簡單的分子，骨架只有五個碳原子，但很特別的是它還有一個硫原子。達西耶他們發現這個分子是在酒精發酵的時候產生，同時也鑑定出它的前驅物。更有趣的是，他們發現如果用不同種的酵母菌去發酵釀酒，對於將前驅物轉換成香味分子效果也不一樣。那時候為了想要了解這個香味分子前驅物的構造，他們利用一些可以將香味釋放出來的酵素來做實驗。他們的想法是，知道酵素怎麼切開前驅物，就可以知道前驅物的構造。

因此，在蒙特佩利爾國立農業研究所的拜雍諾夫就開始研究糖酶，這種酵素可以切開烯類香味分子跟連在上面的糖分子。不過呢，他們發現在蒙特佩利爾所研究的糖酶並無法產生蘇維儂酒的香味，因此這個香味分子並不是跟糖分子連在一起。

胺基酸跟含硫的香味分子

同時，他們也開始研究另一群可以切開含碳香味分子與含硫香味分子的酵素，想知道這些酵素是否有可能把香味釋放出來。他們特別注意一個叫做解離酶的酵素，這是由一種腸道細菌「黏液真桿菌」所分泌

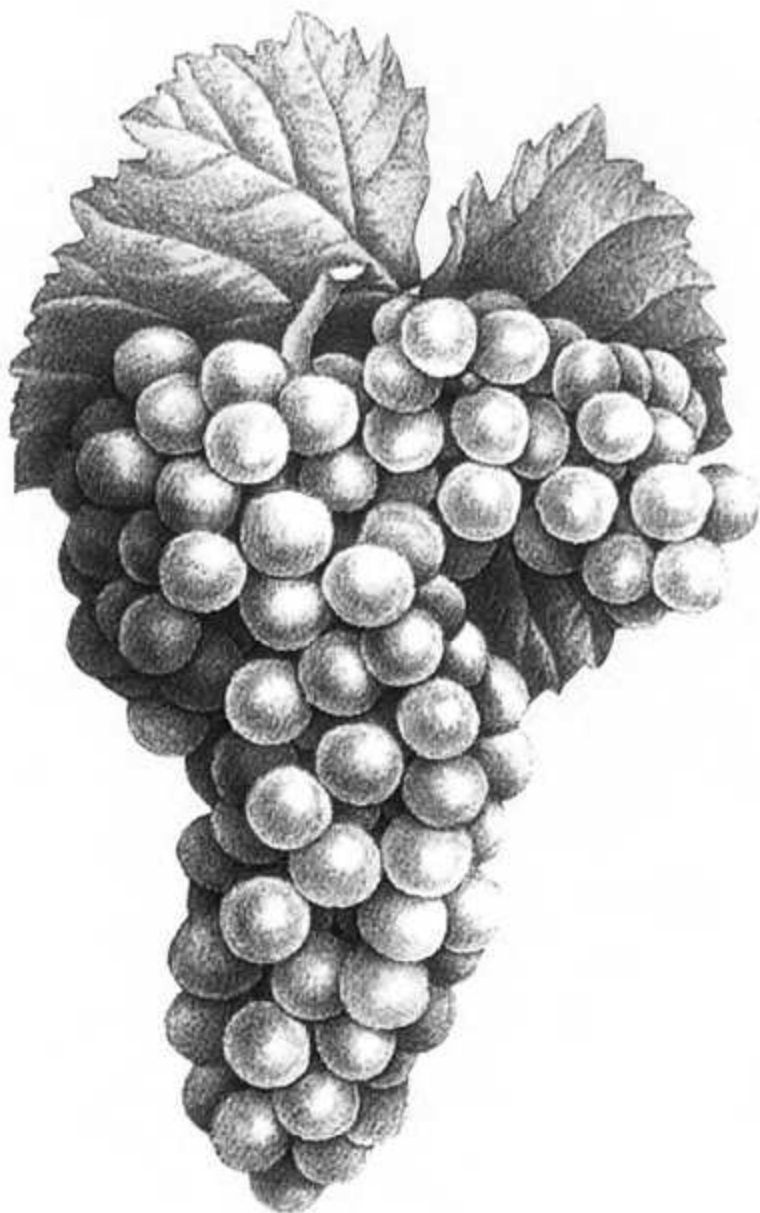
的，可以把半胱胺酸（一種胺基酸）跟它的硫衍生物切開來。他們發現蘇維儂酒的香味，可以藉由把酒的液體部分與「黏液真桿菌」磨碎的萃取液混在一起而被釋放出來，因此他們認為這個香味分子前驅物一定含有半胱胺酸。

這個研究有什麼影響呢？首先這個結果指出，葡萄有許多不同的香味潛力，在釀造的時候需要好好控制。釀酒者要知道因應不同種葡萄而選擇適合的酵母來產生香味。二十世紀中葉法國美食王子「居諾斯基」十分堅持「食物應該要有它該有的味道」。由這個觀點來看，化學可以幫助酒類滿足這項品質上的要求。

酒的餘韻

另一方面，達西耶他們還指出，這個香味分子前驅物在酒裡面的含量十分豐富，而此時香味分子大多都還跟不香的部分連接在一起。唾液裡面的酵素，經過數秒鐘的作用之後，可以把半胱胺酸跟含硫香味分子分開。這是第一個被證明的詳細作用機制，清楚的解釋了老饕常掛在嘴邊的「酒的餘韻」，甚至還可以定義出一個單位：高達利，用來計算把酒吞下去之後所持續的口感。許多好酒可以產生持續數秒（或數個高達利）的刺激，甚至在更精采的情況下，酒會帶來「孔雀開屏」般的效果，就是酒的餘韻消失之後又再度回來。就算這個在波爾多被發現的含硫香味分子，無法解釋這種「孔雀開屏」的效果，至少它是第一個被闡明酒香餘韻如何發生的例子。

我們可以怎麼應用這個研究結果呢？法律規定酒裡面不可以添加任何香料，因此幫酒商工作的釀酒學家，就利用這些研究結果，來確保自然生產的酒中各種香味分子含量都能達到最佳化。不過對於個人來說，如果你沒有太多錢但可以玩一點化學，而你覺得酒裡面某些香味不足，是可以試著自己添加香味（或前驅物）。畢竟，法律沒有禁止大家延長品酒的樂趣。



蘇維農種白葡萄可以釀出波爾多白酒佳釀。

酒的單寧

隨著單寧的變化，酒的澀感也會降低

酒是如何變陳年的？沒人知道。一直以來，美食家們都抱怨科學家對於酒中的「單寧」興趣缺缺，以至於我們對於這個會造成酒類「澀感」、在新酒裡面含量甚豐的分子了解甚少。單寧會隨著酒變陳年而改變，因而賦予陳年老酒一種紅瓦色、一口順喉的感覺，以及一股強烈的香味。我們會說這是「單寧軟化」了。藉著現代化學分析技術之助，波爾多大學的維柯騰以及巴拉，重拾過往的研究，開始分析酒裡面的化學成分變化。這是從葛羅西的論文（一九七六年）之後就再也沒有進展，但釀酒學家一直想要了解的。

單寧主要存於植物的木質部分，當我們嚼一片玫瑰花瓣，或是喝太年輕的酒時所嘗到的澀味，就是它們造成的。單寧會跟唾液中的潤滑蛋白質形成複合物，以至於讓蛋白質失去作用，因此我們會感到嘴巴乾澀。在釀葡萄酒的過程中，慢慢形成的酒精溶液會把單寧從葡萄籽、葡萄皮跟果蒂中萃取出來。

一九八九年，在葛羅西的研究〈紅酒中的色素成分〉發表十三年以後，維柯騰等人又開始研究釀酒過程中單寧的變化。他們每兩天萃取一次紅酒中的樣品，以便追蹤釀酒過程中單寧濃度的改變。這次被他們選來研究的紅酒，是來自瑟宏酒莊與木桐羅吉德酒莊的酒。

不過當用乙酸乙酯來萃取酒中的單寧時，他們卻得到很矛盾的結果。雖然許多釀酒者都知道，浸漬的過程至少要超過兩個禮拜，單寧才會積聚在酒裡面造成酒體跟黏實感。但是這些化學家卻發現，從不同種的葡萄酒（這次他們比較了黑梅洛種、卡本內蘇維儂種以及卡本內弗朗種葡萄）裡所收集到的單寧，大概在釀製十天出頭左右達到最高峰。為什麼會跟經驗不同？是否是因為，單寧之後會發生化學變化，以至於不容易被乙酸乙酯萃取出來呢？

事實上單寧是活性很高的分子，因此這個初步的實驗結果指出，他們需要從更上游開始，要先人工合成單寧的各個次單元，研究它們的化學性質，然後最終才能在酒裡面研究它們。

研究人員首先嘗試用半合成法研究「聚合單寧」，也就是用黃烷醇為原料，跟單寧做出一種帶有黃烷跟許多羥基（-OH）的分子。從花旗松的樹皮中可以萃取出一種花旗松素，而用花旗松素他們可以合成許多其他分子來研究其結構。黃烷醇是怎麼跟單寧結合在一起變成聚合單寧的呢？光是讓兩個黃烷醇分子形成黃烷醇二聚物就已經很複雜了，因為這兩個分子就有兩種不同的連結方式。

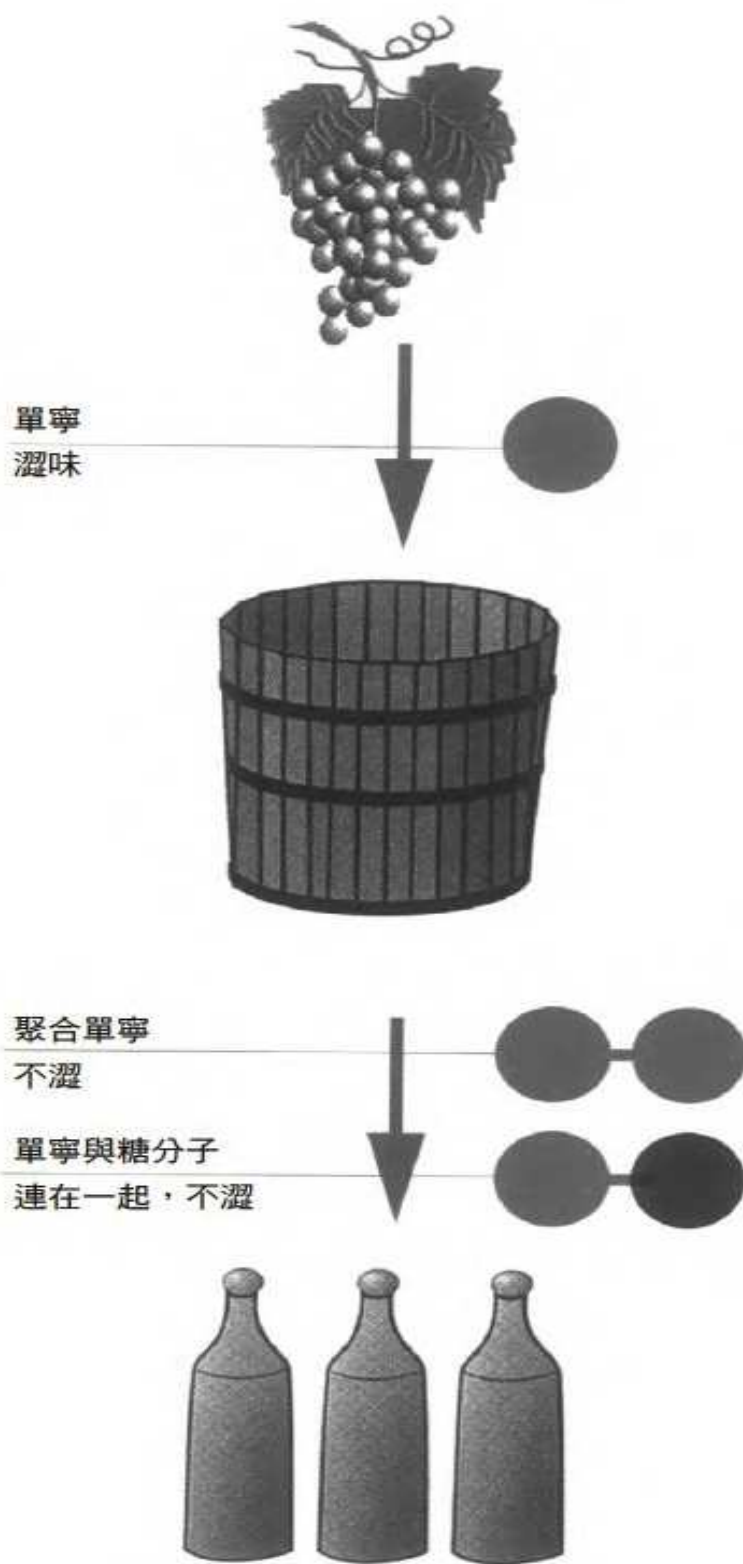
維柯騰等人利用核磁共振技術比較了許多合成的分子跟各種天然的單寧分子，不過這種技術無法區分用不同方式連結在一起的分子。但是如果用化學方法把單寧上面的羥基（-OH）置換成乙酸基（-OOCCH₃），那這個問題就解決了。這是第一種可以用來決定「聚合單寧」構造的方法。

藉由這個方法之助，維柯騰跟巴拉就更進一步去研究酒裡面的黃烷醇與糖化單寧（就是單寧上面接了糖分子）。化學家已經知道，當多酚分子（單寧是一種多酚）上面的羥基被換成糖分子時，多酚分子會比較穩定。但是他們沒有發現葡萄或是紅酒裡面的「聚合單寧」有糖化的現象。這會不會是因為這種糖化單寧分子，無法承受化學實驗步驟而被破壞了呢？

所以儘管如此，維柯騰他們還是假設，酒裡面的澀味隨著陳年而消失，是因為聚合單寧被漸漸糖化。利用過去用過的實驗方法，他們再次合成糖化單寧，並研究它的分子構造與化學特性，同時試著在酒裡面尋找類似分子。

他們發現如果把葡萄汁用乙酸乙酯萃取，會得到兩種簡單的黃烷醇：兒茶素與表兒茶素；維柯騰把這些分子與葡萄糖（在葡萄汁中含量豐富）糖化之後再研究。他們發現四種合成出來的糖化黃烷醇，都很難

溶於乙酸乙酯中。這證實了他們當初的假設：在葡萄或者在酒裡面找不到糖化單寧的原因，正是因為沒有使用適當的萃取液。現在，根據進一步對這些難以萃取分子研究的結果，顯示至少有三種糖化單寧存在葡萄或是紅酒中。因此，現在可以確定的是，「聚合」跟「糖化」兩種化學反應，是造成酒「陳年」的原因。



葡萄酒中單寧的演變。

法國黃酒

葫蘆巴內酯這個化學分子是造成黃酒獨特芳香味的主因

一九九一年時，第戎國立農業研究所的埃提耶馮與馬當開始研究法國黃酒，這是一種法國侏羅地區特有的產品。這種酒獨特的風味源自於它的製作法：釀酒師會將酒在酒桶中存放數年，酒表面則覆蓋一層厚厚的啤酒酵母菌。同類的酒在阿爾薩斯、勃根地與加雅克地區也有生產，稱為「花之酒」或是「薄紗酒」（薄紗酒指的是釀造過程中，刻意不把橡木桶裝滿，酒的上方形成一層酵母菌薄膜（像紗一樣）而有特殊風味）。在法國以外，只有西班牙的雪莉酒或是匈牙利的托凱酒是比較類似的酒。是什麼化學分子造成這種酒獨特的風味呢？

這種酒有一百多種揮發性分子，其中帶有香味的就有十幾種，因此要從其中找出主要的香味分子，是非常艱難的任務，有點像是從三百個嫌疑犯裡面找一個兇手。在七〇年代之初，有些人認為solérone（英文也是solerone，化學名為 4-乙醯-gamma-丁酸內酯）這種分子，應當是造成黃酒香味的主因。但是在一九八二年時，杜布瓦在第戎的研究指出，紅酒裡面也有這種分子，因此solérone有不在場證明，從嫌犯名單中去除。

另外一個被懷疑的分子則是葫蘆巴內酯，化學名為 4,5-二甲基-3-羥基-2(5H) 喃酮，這是一個由四個碳原子跟一個氧原子圍成五角形環狀的分子。因為不管是 solérone 還是葫蘆巴內酯在黃酒裡面的含量都很低，而且更糟的是兩者都很不穩定，所以埃提耶馮等人首先研究最適合萃取這些分子的方法，以便能夠決定誰該為黃酒香味負責。

葫蘆巴內酯出線

萃取香味分子最直接的方法就是使用「層析儀」。使用這台機器時，我們先把樣品注入一種溶劑中，然後讓它揮發，接著把這混合物再

注入一根充滿聚合物的分離管中。由於不同的分子對於聚合物有不同的附著力，在通過管子的時候速度不一就會被分開。因此在管子底部，我們可以收集到被分離開來的化學分子。化學家的首要任務，就是要改良並最佳化這種層析技術，以便能夠分離非常微量的分子。

接著他們把樣品酒類的香味分子通過層析儀，然後與純的 solérone 或是葫蘆巴內酯來比較。分析結果發現葫蘆巴內酯占雪莉酒香味分子成分不過四十到一百五十個十億分點（也就是每十億個分子裡只有四十到一百五十個葫蘆巴內酯分子）。而 solérone 則比較不具專一性，同時在雪莉酒裡面含量也比較高，這解釋了為何 solérone 最早先在雪莉酒裡面被發現。最後，利用人類鼻子嗅覺來偵測，他們發現，當 solérone 的濃度跟莎瓦涅葡萄（用來釀黃酒的葡萄）中一樣的時候，受試者完全聞不出味道，不管是溶在酒裡面或是溶在實驗室樣品溶液中。因此，他們下了判決：solérone 並非造成黃酒香味的分子，判決確定，不准上訴。

一九九二年，埃提耶馮他們把全部的焦點放在葫蘆巴內酯上。這種分子也存於甘蔗糖漿、葫蘆巴籽、醬油、清酒等許多食品中。甚至，在某些「黴菌酒」中，也就是說釀酒用的葡萄因為過熟而長黴。這種發霉又稱「貴腐」，主要是由一種「葡萄灰黴菌」所感染。這種黴菌感染會造成像是蘇玳酒（有名的甜酒），或是其他「遲收成葡萄酒」特有的味道。他們發現葫蘆巴內酯並不存於紅酒或是其他氧化的酒裡，而更重要的是，葫蘆巴內酯只要超過十五個十億分點就可以被鼻子聞到。

此外，在品酒測試時他們也發現，當「薄紗酒」中的葫蘆巴內酯濃度偏高時，酒會呈現出典型的「胡桃香」；當濃度再高時，品酒委員會喝出「咖哩味」。

酵母之死

後來，另一位研究員吉夏接手黃酒的研究。吉夏改良了定量法，因而可以更快的偵測到葫蘆巴內酯。她偵測出麥稈酒（用乾在葡萄藤上的葡萄所釀的酒）的葫蘆巴內酯濃度為六到十五個十億分點。在黃酒的釀

造過程中，葫蘆巴內酯主要酵母菌指數成長期的最後階段合成。當酒在不同的桶子裡分別放陳一年、兩年、三年、四年、五年和六年時，葫蘆巴內酯在剛開始的濃度都很低，但是在存放四年之後濃度開始增高。如果地窖溫度不要太低，效果更明顯。

如果從釀酒桶中酒表面的那一層「薄紗」往下取樣品出來分析，可以發現葫蘆巴內酯的濃度，在一半深到最深的地方，濃度都比較高，都是表面的兩倍。根據這樣的結果，葫蘆巴內酯應該是由表面那層酵母菌，隨著釀酒過程酒精濃度增加，而「間接」製造出來的。酵母菌會把胺基酸轉換成酮酸，然後隨著酵母菌死亡沉到桶底而被釋放出來。同時，其他的化學反應則把酮酸轉換成葫蘆巴內酯，因此葫蘆巴內酯的濃度，是慢慢由底部變濃之後，再擴散到表面。



這是盧梭製桶公司為了阿布瓦地區的龐特莊園所製作的展示桶。透過透明的一面，能看到酒表面那層讓黃酒有獨特香味的酵母菌薄紗，同時也形成侏羅地區的特色。

既然現在知道了葫蘆巴內酯是造成黃酒特殊香味的原因，現在科學家們開始尋找，哪一種酵母菌可以合成最多的葫蘆巴內酯，以及哪一種培養環境最適合合成這種分子。

未經沉澱的酒

我們淨化那些要出口的葡萄酒，以避免它們發生沉澱

冬天到了，地窖中的酒桶裡，酒石酸鹽也開始沉澱。通常這種沉澱，並不會傷害到葡萄酒這項法國最引以為傲產品的品質。但是這種沉澱物卻會嚴重影響葡萄酒的出口，同時那些比較挑剔的客人，或是資訊缺乏的客人，也不會接受這種有沉澱物的酒。是否有辦法減少這種讓葡萄酒貶值（甚至被退貨）的自然現象呢？在裴克胡芝國立農業研究所的艾斯庫迪耶與貝勒，就和「葡萄與葡萄酒高等研究所」的穆圖內等人合作，研究出一種利用電析法來平衡酒中離子的技術。

酒石酸是葡萄中特有的成分，但是當它跟鹽類結合在一起時，就很難溶解。因此像酒石酸氫鉀和酒石酸鈣等化合物很自然地就會沉澱在酒裡，形成我們通稱的酒石酸鹽。要如何避免新鮮酒中這種過飽和沉澱物的形成呢？

過去，釀酒者會把他們的葡萄酒先置於低溫環境中十數天，同時在酒桶中放入酒石酸鉀當作「晶種」。因為酒石酸鹽的溶解度會隨著溫度降低而降低，因此這種環境有助於沉澱及早形成。但是相反的，酒裡面的多酚（是紅酒裡面重要的分子，也是它們造成紅酒的顏色）卻傾向讓酒石酸鹽維持在過飽和狀態而不沉澱。因此，想用傳統方法除去紅酒裡面的酒石酸鹽，會非常沒有效率。此外，每種酒中酒石酸鹽的濃度也不一樣，這讓傳統方法顯得更沒保障。

獵殺酒石酸鹽

既然造成沉澱的原因，是因為酒中有過量的酒石酸離子、鉀離子跟鈣離子，那就應該想辦法專門移除它們。在這次使用的電析法裡，艾斯庫迪耶他們讓葡萄酒從兩片聚合物膜中間流過（見下頁附圖）；與此同時，在與葡萄酒流向垂直的方向建立一個電場（也就是讓一側薄膜帶負

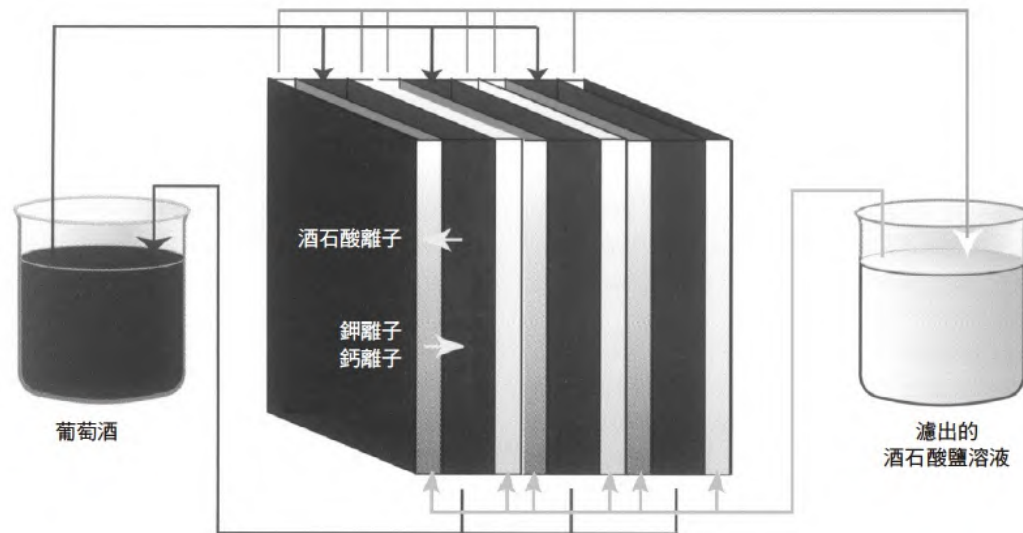
電，一側帶正電）。這樣一來，酒中的正離子就會流向帶負電的膜，負離子會流向另外一側帶正電的膜。如果我們特別選擇那種只能讓鉀離子、鈣離子跟酒石酸離子通過而其他東西無法通過的薄膜，這就等於專門過濾掉鉀、鈣跟酒石酸離子。

在實際使用的過濾步驟裡，他們讓葡萄酒通過許多由上述帶正電或帶負電薄膜交替堆疊起來的管道（見圖），酒流過去的時候會被去離子化。與此同時，他們讓另一種特殊溶液反向流過葡萄酒隔壁。葡萄酒被去離子化時，離子會通過薄膜溶到隔壁這些液體而增加其離子濃度。他們使用的離子交換膜是表面接枝處理的聚，每塊大小二十公分見方，間隔○.六公釐，每個膜之間的電場為一伏特。所有的離子交換膜構成六十個小通道，表面積總計有四平方公尺。為了要讓這個處理可以標準化，他們根據每種酒的穩定度使用不同的電析強度。因此釀酒者現在有一項工具可以處理絕大多數的酒了。

為什麼這個電析法會比傳統的沉澱法更好？因為它實際上是利用溶液的導電度，當做酒裡面酒石酸鹽含量的指標。導電度其實受到酒中鉀離子、鈣離子及酒石酸離子濃度的影響很大。根據酒的導電度，我們可以調整電場強度、酒電析的時間長短，這樣可以過濾掉「剛剛好讓酒穩定」的離子。根據初步的實驗，過濾的速度可以達到每一小時處理約一百公升葡萄酒。這個處理的速度，有很大一部分視離子交換膜的小孔被堵住的狀況而定，因此他們每天要用清潔劑洗一次交換膜，以把黏在上面的多酚、單寧等分子洗掉。

這樣的處理，會不會改變紅酒的品質？這是最重要的一個問題，也是所有老饕關心的問題，當然也被研究過了。他們在實驗的同時也詳細的比較了薄酒萊、香檳與波爾多紅酒，而根據當地的釀酒者品嚐後表示，完全喝不出用電析處理過或是沒處理的酒，有什麼差別。同時博卡爾公司正與製造離子交換膜的Eurodia公司合作，打算只要一拿到政府許可，就製造並販賣這種「去離子機」。他們剛開始時得到政府特殊許可來做幾次實驗，而在一九九六年時得到了布魯塞爾市政府的許可。

在等待機器商業化的同時，研究人員正繼續拓展這種離子交換電析法的應用範圍。他們正在研究將這種方法應用在「甜葡萄酒」與用紅酒做成的「開胃酒」上面，因為這兩種酒都很難用傳統冷沉澱法處理。

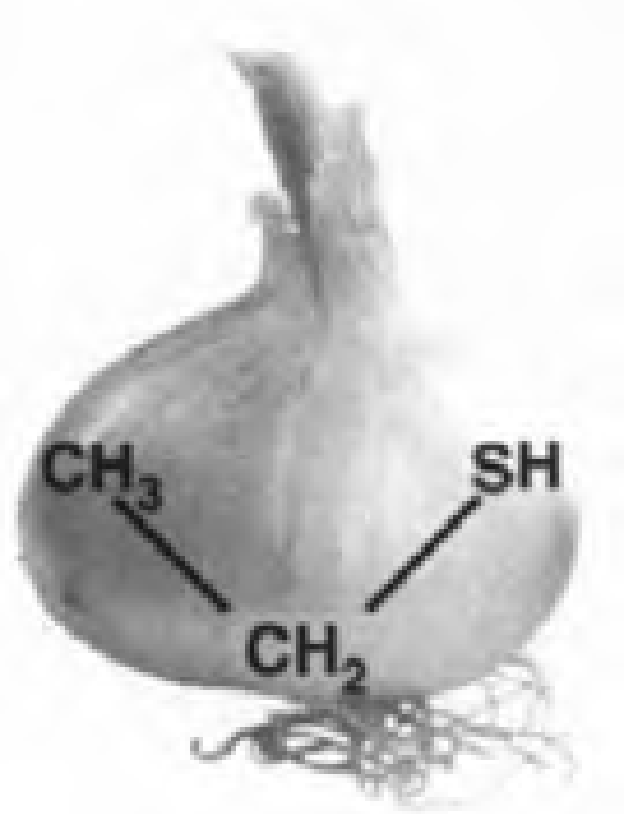


我們可以利用讓葡萄酒流過離子交換膜的方式，來讓葡萄酒性質變得穩定不會沉澱。

酒跟硫化化合物

酒中的含硫化化合物，隨著分子不同，可好可壞

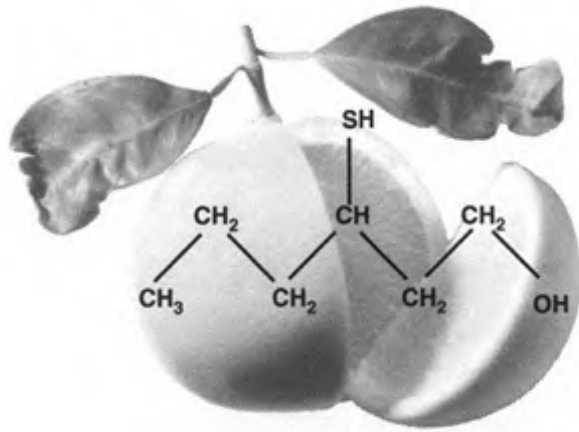
酒中的硫化化合物是否都是壞蛋？會這樣認為，主要是因為在一九六〇年代，有一些想要保護他們產品的釀酒者弄巧成拙所造成的。當時他們使用大量的二氧化硫來煙燻酒桶或是硫化葡萄，結果引起消費者頭痛。不過，最近的生化研究顯示，硫化化合物並非一無可取，在波爾多釀酒學院裡，化學家們就發現了，硫可以是最好也是最壞的。確實某些硫化化合物會造成頭痛，但另一些硫化化合物，卻為紅酒或是白酒帶來黃楊木、金雀花、百香果、葡萄柚等等的香味。



長久以來釀酒者都只看到硫化化合物變成邪惡的「海德先生」的那一面。確實，硫化氫跟二氧化硫這些東西會讓人引起噁心感，但是其他的含硫化化合物也一樣有罪嗎？鑑定出這些分子，似乎是改良發酵跟釀酒法的關鍵，並且有助於讓我們了解含硫分子如何變回善良的「傑奇醫生」。好比說，在一九九三年時，達西耶跟杜布厄迪在蘇維儂葡萄酒裡面找到一個很香的香味分子，是屬於硫醇類家族（所謂硫醇是指一個硫原子跟一個氫原子結合形成-SH，然後連在碳原子形成的骨架上）。那麼其他的含硫化化合物，是否也有助於形成波爾多紅酒的香味呢？富永敬俊、拉薇庫雅吉以及布琪露等人就致力於研究在酒中含量極微的含硫分子。

硫跟酵母菌

他們在酒中找到的許多含硫分子都是硫醇家族的，而且味道很強。比如說，醇類（就是分子上帶有羥基-OH的化合物）分子大概在每公升含有微克到毫克等級的量才可以被聞到，而硫醇家族的香味分子就算再稀釋一千倍，還是可以被聞到。因此，找出一種方法來測量這些極微量的含硫分子，以決定它們是好還是壞，當然十分重要。



研究結果顯示，許多味道不好的含硫分子，來源都是釀酒過程中反應或是酵母菌代謝出來的。在酒精發酵的過程中，酵母菌會代謝葡萄裡的含硫胺基酸以及二氧化硫（防腐劑）而產生這些分子。

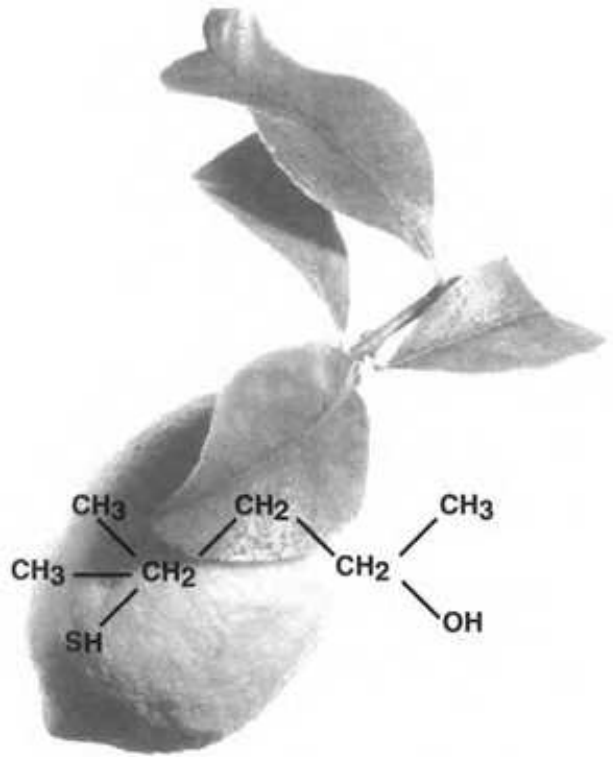
那麼，了解這些機制，能幫我們避免掉這些分子嗎？對付二氧化硫或是硫化氫，我們可以減少用量，或者利用通風將它們儘量除去，但是其他分子像是乙硫醇、甲硫醇，或是另一個類似的分子甲硫基丙醇，就很難處理。富永他們發現，這些分子的含量，跟進行酒精發酵前葡萄汁的混濁度有關。這些混濁增加葡萄汁跟酵母菌的接觸，因此是愈少愈好。

銅的壞處

至於在研究含硫分子的益處方面，科學家們也頗有斬獲。我們已經知道很多特有香味都是含硫分子造成的，存在於植物（金雀花、黃楊木）、水果（黑醋栗、葡萄柚、百香果、番石榴、木瓜……）甚至烤肉、咖啡等食物中。很有趣的是在不同的蘇維儂葡萄酒中加入銅離子之後，

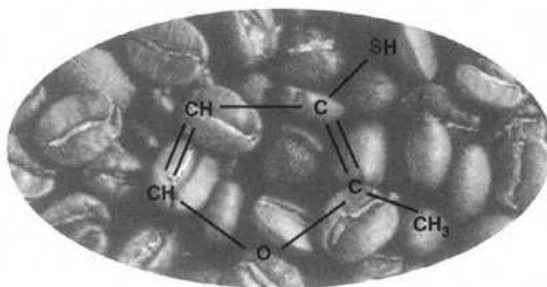
它們原本彼此細微的香味差異就消失了。因為銅離子會跟硫醇分子結合，阻斷它們的香味效應，化學家們就假設，硫醇分子應該是造成蘇維儂葡萄酒香味的原因之一。

一九九三年，第一個硫醇分子在蘇維儂酒中被找到了。它具有金雀花跟黃楊木的味道，而且十分強烈，每公升中只要有四十奈克就可以被聞到。後來，富永他們也確實在金雀花跟黃楊木裡找到了這個分子。接著在白酒裡面找到了其他分子，而這些分子也同時存於水果中。比如像3-巰基己醇酯乙酸，會讓人感覺聞到了黃楊木，又像是葡萄柚或是百香果的味道，後來也真的在百香果中找到這分子。另外一個果香分子，一樣帶有葡萄柚或是百香果的味道，也同時存於水果中。



那麼在紅酒裡呢？一樣藉由品酒來觀察。紅酒的果香、肉香，或者像是年輕的梅洛、卡本內蘇維儂酒所特有的複雜香味，一樣隨著加入銅離子而消失。而許多在前述蘇維儂酒中所找到的硫醇分子，後來也在年輕的梅洛、卡本內蘇維儂或是卡本內弗朗葡萄酒中被找到。它們帶來成熟水果的香味、黑醋栗甚至肉類或是咖啡香味。而這香味的強度，只消每公升裡還有0.1一個微克就可以被聞到了。

根據這些研究結果，釀酒師現在正在嘗試如何改良釀酒的過程，他們現在知道白酒應該帶著酒渣一起保存放陳，因為那裡是酵母菌中含硫分子最多的地方。隨著酒的存放，含有香味的硫醇分子濃度會愈來愈高。



酒杯

校準好的杯子最適合白酒與紅酒

好飲者幾乎每餐都要來上一杯。就一杯，但是該用哪一隻杯子呢？關於這個問題，老饕從未停止過爭論，什麼是最好的形狀，什麼又是最佳的大小。法國有個國家法定產區管制局，曾建議一個所謂的「國際標準組織」認可的標準酒杯，規定酒杯的高



度大約是直徑的兩倍左右。但這真的是標準酒杯嗎？像德國的品酒者就會用另一種形狀比較圓的杯子，德國諾斯塔特大學釀酒系的費雪，跟他的同事勒韋史塔尼恩達就為此研究了在不同酒杯中的葡萄酒，香味聞起來是否有影響。

國家標準單位雖試著給葡萄酒杯一個準則，但是他們卻不是先詳細研究過「葡萄酒在不同酒杯中產生不同的香味」，然後才做決定。同樣的，只是因為根據傳統，我們用比較大的酒杯裝紅酒，小酒杯裝白酒；而較成熟甘甜的酒用寬口酒杯，較乾澀的酒用窄口酒杯。

計算蒸發量

在研究酒杯形狀對酒的影響之前，費雪他們先研究不同酒在酒杯中的物理特性。我們知道當一個分子溶在溶液中，它蒸發出來的分壓，跟這個分子特性、溶劑與溫度都有關。我們也知道，當這個分子從液體中蒸發成氣體，然後擴散到周圍環境中，跟杯口大小有關。品酒的人嗅著酒杯中氣體的時候，會接收到蒸發出的氣味分子。但是他們常常一次聞好幾下，這時候氣味分子有足夠的時間蒸發出來嗎？為了回答這個問題，費雪他們就用層析儀，來分析酒杯中空氣部分，測量把酒倒入杯中

之後不同時間與在不同高度的氣味分子成分有什麼不同。最後他們研究了四十幾種分子在不同溫度下的情況。

我們知道氣味分子從酒中釋放到空氣中的速度當然跟它的化學結構有關，不過還有其他的差異。他們觀察到，酯類揮發到空氣中的速度，比較不受到溫度的影響；相反的醇類跟酚類釋放出來的速度就跟溫度比較有關。這解釋了為何當酒在冰涼的時候，酯類的濃度上升比醇類要快很多，因而可以讓品嚐者聞到水果的香味。這是否也是為何一般我們說白酒要喝比較冰涼的原因呢？酯類果香分子，占白酒氣味分子的大部分，當在冰涼的情況下，仍然可以快速達到足夠的濃郁程度。相反的，紅酒適合稍微偏室溫飲用，這樣才可以聞到足夠的酚類分子。

總結來說，他們還得到另一個結論，那就是品嚐酒時，如果想要聞到可比擬的香味，那最好等個十五秒鐘再聞第二次。而且，在杯口聞，嗅到的氣味最強烈。

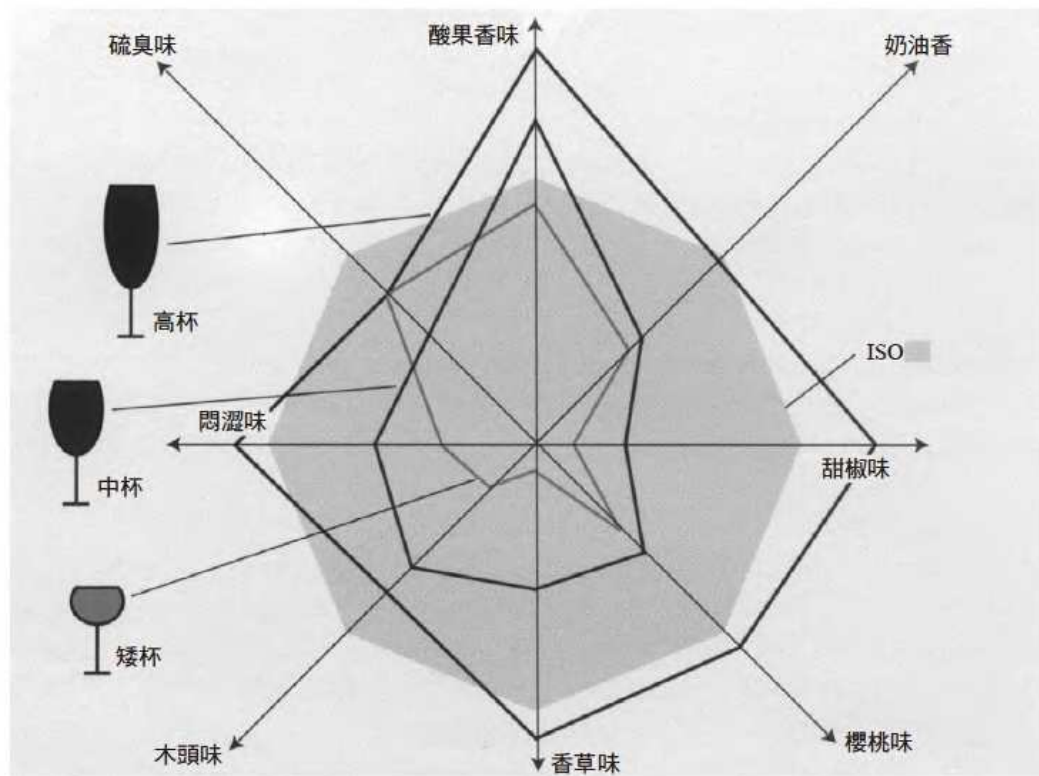
測試不同杯子

最後，費雪他們規定了品酒的規則，然後請品酒師品嚐裝在十隻不同杯子裡面相同的酒。這十隻杯子各有不同的最大直徑、高度、杯口徑等等。品酒者在品嚐後要記下每隻杯子裡十幾種酒香特性，包括奶油香、花香、酸果香等等。

這些實驗給了我們很多資訊。比如說，裝在高窄杯裡，白酒會聞起來比較沒有白酒的特色（反而會帶有包心菜味）或是帶有硫味，而裝在標準杯中比較沒這個問題。另外，酒在矮杯跟中杯中的氣味比較弱，高窄杯中的氣味比較強。而酒裝得比較多，氣味並不會因此減少。最後，一般常說寬口的杯子比較適合用來喝紅酒，實際測試的結果，其效果並不比較窄的標準杯要好，諸如此類。

最重要的是有三個發現，顛覆了釀酒者的認知。首先，每種杯子所給予的氣味強度都不同。第二，愈高的杯子，以及口徑與最大徑比值愈

大的杯子，帶來的氣味愈強烈。最後，跟一般酒杯製造者的宣傳相反的，適合用來喝白酒的杯子，也很適合用來喝紅酒。又一個陳規被推翻了。



把紅酒倒入三種直徑等同於國際標準組織的標準酒杯，但是高度各異的紅酒杯中，所產生不同的香味效果，由八種香味來評鑑。在每種香味座標上，品酒師標示出三種酒杯與標準酒杯所產生的香味差異。

酒的冷與熱

要冷卻香檳，或是讓酒回溫，要有耐心

如果你想冰一瓶香檳酒，至少該在冰箱裡放多少時間？如果小孩打開冰箱門忘了關，美食家父母該為此擔心他們保存的好酒很快就變熱了嗎？當我們從酒窖裡拿出一瓶葡萄酒到餐桌上，希望它回到室溫，要在開飯多久前拿上來？要回答這些問題，如果我們可以使用熱電偶這個精確測量溫度的工具，對於美食家來說應該是非常有用的。

讓我們先來談香檳酒。為了要知道多久才可以讓一瓶香檳酒變冰，我們在一隻香檳酒瓶中插入一根熱電偶探針，然後把這瓶酒放到冰箱門上。酒瓶所放置的位置附近，有好幾瓶已經在冰箱裡面放了兩天的香檳酒。根據測量，我們知道這個位置的溫度最後會達到攝氏十一度。剛放進去的香檳酒起始溫度為攝氏二十五度，每十分鐘測量一次，我們發現香檳冷得很慢。半個小時之後，香檳溫度還超過二十度。三個小時之後，香檳還有十五度；要六個小時之後，香檳才會變成十二度。這個實驗清楚顯示玻璃的導熱效果很差。玻璃只靠傳導來導熱，而在液體裡面，熱還可以藉對流來傳導。

亂開冰箱門

想喝一瓶冰的香檳，只要記住香檳酒的導熱效果很差這件事。那如果小孩跑來打開冰箱門又會怎樣？香檳酒會變熱嗎？這一次，我們把香檳酒放在冰箱裡攝氏八度的地方，然後外面的室溫是攝氏二十度。

如果我們把冰箱門打開七秒鐘，冰箱裡空氣的溫度會上升到攝氏十一度，幾分鐘之後又降回攝氏八度。如果冰箱門打開二十秒鐘，冰箱裡的溫度會上升到攝氏十八度，然後先開始降溫很快，接著降溫速度變緩。冰箱裡的空氣溫度上升很快，這是因為打開門後又冷又重的空氣會從下面流出來，然後冰箱裡的空氣被室內的暖空氣置換。但是這個升溫

只限於空氣部分，並不會怎麼影響香檳酒。香檳酒含瓶子整體的「熱容量」，或者又稱「熱慣性」，非常的大。因此，就算冰箱門偶爾被打開一下，香檳酒的溫度幾乎不會改變，而在門被關起來之後，空氣很快冷卻，香檳酒也再度冷卻下來。

那升溫呢

做完冰香檳的實驗之後，現在來研究一個相反的問題，就是把酒帶到室溫的問題。假設我們請朋友來家裡吃一頓很好的晚餐，然後你想從酒窖裡面拿一瓶好酒讓酒友尝尝。他們都知道紅酒應該在攝氏十八度喝，但是酒窖裡的溫度才只有攝氏十二度。你該多早把酒拿上來，才有機會在適當的溫度品酒？

當然也可以靠物理定律來計算這些時間，不過就讓我們做個簡單的實驗吧。在室溫攝氏二十四度的房間中放一瓶攝氏九度的紅酒。我們隨著時間測量紅酒的溫度，你會發現大概半個鐘頭後紅酒才變成十二度，四十五分鐘後變成十四度，一小時十五分鐘後變成十六度，一小時又四十五分鐘後變成攝氏十八度，要超過三小時紅酒才會變成二十度。

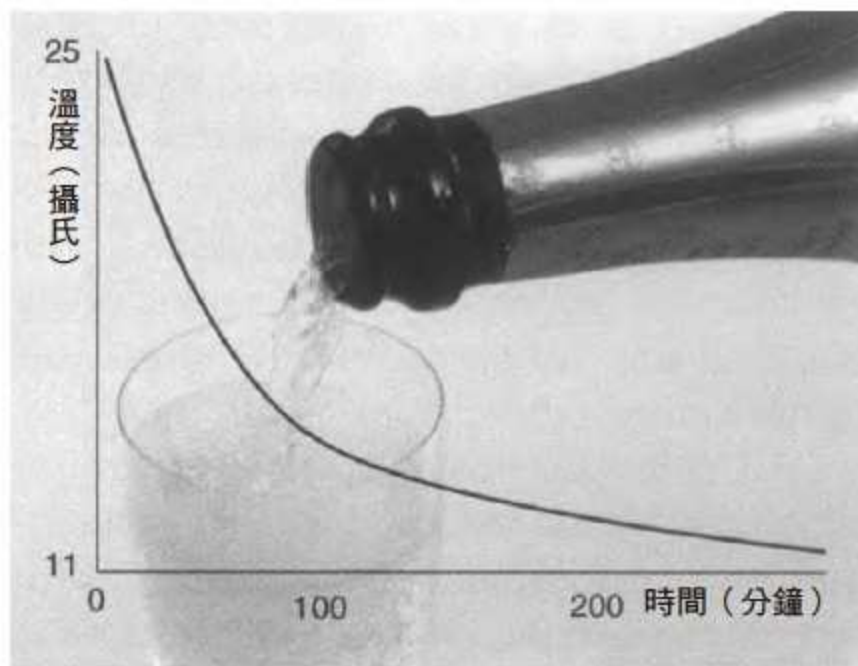
要花這麼多時間讓紅酒回溫，原因也是因為紅酒跟酒瓶的導熱效果不好，特別是當紅酒溫度跟室溫的差別並不大的時候。記住讓紅酒回溫是件耗時的工作，可不能在最後一分鐘才決定。

在瓶中或者在杯中回溫

根據前面的這些實驗，有沒有辦法推導出夏天讓紅酒回溫所需的時間？夏天的室溫大約是攝氏二十七度。這恐怕沒辦法，還是要靠做實驗，加上根據熱力學來計算。不過你可以記住幾個比例尺：當室溫是二十七度時，大概要八十分鐘才能讓一瓶十二度的紅酒達到室溫。當室溫是十九度時，要兩個半小時才能讓十二度的紅酒達到室溫。此外在測量的時候，我們還發現了另一個現象，那就是酒瓶上部的紅酒升溫快於下半部的，而這個溫差可以達到四度之多。這個現象會嚴重影響到第一口

跟最後一口紅酒的味道，因為酒香分子在溫度較高的時候跑出來比較快。

最後，假設賓客都入座了，我們把酒倒入他們的杯中。假設紅酒已經回溫到攝氏十六度，那要多少時間，在杯中的酒才會達到室溫（大約攝氏二十三度）呢？在一般紅酒杯中的酒，溫度上升很快，大約是每分鐘0.2度。這就是為什麼我們總是強調，要等賓客入座了之後才在他們的杯中倒酒。



要早點想到冰香檳酒，因為從室溫攝氏二十五度開始，要好幾個小時香檳才會變成十二度。

香檳酒的泡沫

香檳酒中的蛋白質可以讓泡沫更漂亮

一聽到香檳瓶塞那「砰」的開瓶聲時，大家都會停止說話，開始專心望著倒入自己杯中的香檳。如果香檳的泡沫是慢慢消失，如果泡沫的質地細緻不易破裂、圍繞在杯壁形成一圈冠狀，如果酒裡面仍很活躍的不斷冒著氣泡，那我們就會認為這是好的香檳。相反的，如果香檳的泡沫一下子就沒了、沒有漂亮的冠狀、形成的氣泡又大顆不均勻，就算香檳的味道也許仍然很好，我們仍然會認為這是次級貨。也因此香檳製造者都會花很多心力在研究香檳的泡沫上。

所以，著名的酪悅香檳酒廠與海尼根酒廠的專家們，就展開了一項歐洲研究計畫，來研究香檳的泡沫。到底是什麼分子影響香檳泡沫的穩定性？又是哪些物理機制造成香檳泡沫的變化？

研究剛開始的時候，他們用來測量泡沫的「儀器」是評審委員，而要「順利操作」這些委員卻十分耗時又昂貴。幸好很快地，他們找到另外兩台儀器加入，讓測量可以更簡單準確。其中一台機器叫做 **Mosalux**，可以測量泡沫的擴張與平均壽命。這個機器基本上長得像是一支大量筒，內裝酒樣品，然後氣體從量筒底部的多孔玻璃濾網被打入，以製造泡沫。另一台機器則有一支攝影機連接到電腦上，然後電腦可以根據影像來判斷杯中泡沫的變化。

這些機器其實原來是被用來研究過濾後酒的品質。釀酒者一般會過濾新釀的酒，以便讓酒澄清；同時也藉此去掉膠質，以方便將來沉澱酒石酸鹽，因為酒中膠質會妨礙酒石酸形成結晶。然而，釀酒者跟酒類專家都知道，過濾會破壞酒的品質，減少酒在口中的「圓潤感」。

那過濾對香檳酒的泡沫又有什麼影響呢？一般人都認為過濾也會傷害香檳的品質，因為它會濾掉香檳中的蛋白質，而蛋白質正是重要的「界面活性分子」。蛋白質一端是親水性，很容易溶在水裡；而另一端

是疏水性，會排斥水分，所以比較會跟泡沫中空氣的部分接觸。蛋白質既然可以穩定打發蛋白的泡沫，自然也會穩定香檳的泡沫。因為當蛋白質覆蓋在泡沫上面形成一層護甲時，可以防止泡沫變形，也防止泡沫結合成大泡沫。

啤酒業者們發現，過濾這個步驟並不會影響啤酒的泡沫，不過這是因為啤酒裡面的蛋白質比葡萄酒裡面要多很多。此外啤酒業者更發現，分子量大於五千的蛋白質，有助於形成漂亮穩定的泡沫。

一九九〇年時，漢斯大學的莫尚與同事們曾任意選了三十一種酒來研究，他們觀察出酒中蛋白質濃度與泡沫形成間的關係。但是在這個實驗裡並沒有記錄泡沫的穩定性。因此，酪悅酒廠研究室的馬維、侯畢雅與杜特推等人，現在就利用Mosalex來研究泡沫穩定性的問題。他們首先利用超過濾法，把尚未香檳化的酒濾成兩部分，一部分含有大量的大分子（主要都是蛋白質）而另一部分則缺少蛋白質。接著把這些東西跟基酒混合，就可以得到許多含有不同蛋白質量的樣品酒。

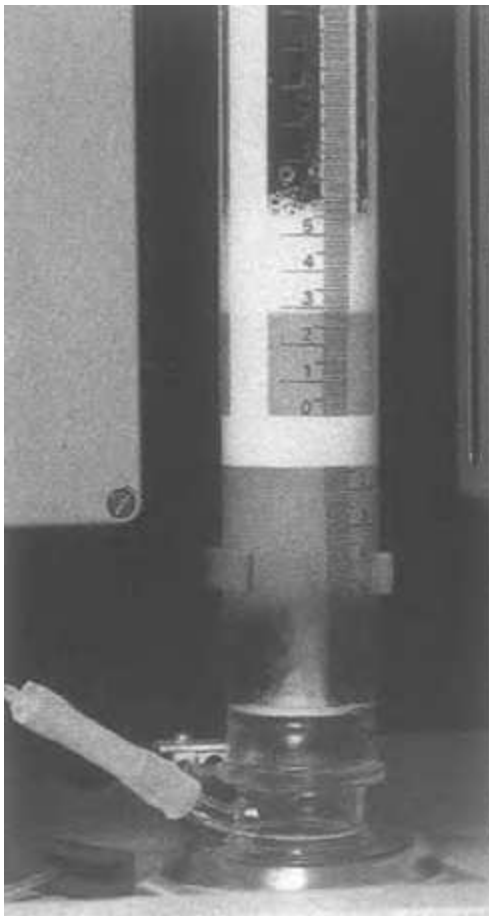
測量泡沫

當試著把二氧化碳氣體打入不同的酒裡時，他們發現所有的泡沫都有類似的變化：首先泡沫會在酒表面堆積，接著泡沫層稍微變薄一些進入穩定期。最後在停止打氣後泡沫會塌陷。酒裡面的蛋白質量，從減少百分之二十到減少百分之百，泡沫的變化都如前述。但是含有愈多分子量大於一萬以上的蛋白質，樣品酒產生的泡沫愈多。此外，泡沫剛形成的前幾秒鐘，這些大分子含量多寡並不影響酒的泡沫形成能力。但是含有愈多蛋白質的泡沫可以維持愈久，而也愈不會形成大泡沫。他們也發現過濾會嚴重影響泡沫的變化，通常每一升酒中含有大約十毫克的蛋白質，只要被濾掉一毫克，泡沫形成能力就減少一半。被濾掉兩毫克的蛋白質，泡沫維持的時間也減少一半。

根據這些初步的實驗，他們又比較了那些用不同孔徑濾紙濾掉膠質跟粒子的葡萄酒，其泡沫形成能力。當用孔徑〇.二微米的濾紙過濾酒

時，酒泡沫壽命跟擴張能力都減少一半。就算是酒齡一年的酒，用 0.2 微米的濾紙過濾後，泡沫形成能力是最差的。用孔徑 0.45 到 0.65 微米濾紙過濾的酒，則會形成比較穩定的泡沫。蛋白質大分子跟一般粒子對於泡沫的影響並不一樣。

那麼這些泡泡會怎麼變化呢？當我們在樣品酒中打入氣體的前幾秒鐘，泡泡之間的壁層會因為充滿「界面活性劑」而穩定住。之後，在液體空氣接觸面的界面活性劑超過一定的量後，泡沫開始快速合併，因為泡沫裡只有二氧化碳氣體，跟外面的大氣壓無法平衡。除了蛋白質以外，也許也有其他的大分子，像是糖類，會影響泡沫的變化。但不論如何，現在很明顯一件事情是，過濾香檳酒會干擾泡沫的形成能力，因此一定要小心謹慎。



藉Mosalux 之助來測量泡沫的穩定性。

高腳杯中的香檳酒

洗香檳酒杯時最好不要用亮潔劑，這樣香檳泡沫會比較持久

評鑑一瓶紅酒時，我們會細細注視它的色澤、它的強度、清澈度，以及酒的波光。如果眼角瞥見酒石酸沉澱或是其他東西像小丑般在酒中翻騰時，我們的上顎也會同時感到一陣不適。不過如果是香檳酒呢，又有另一些評鑑標準了。我們會特別在乎那上升的氣泡，以及伴隨來堆積在酒杯上方那細緻的泡沫。泡沫層不需要厚，幾公釐就夠了，而裡面的泡沫直徑愈小愈好。

不過，沒有泡沫是否就一定是次級香檳？這個問題對香檳製造業者來說事關重大，因為美食家們經常以泡沫不均勻來批評他們的酒。結果，那些對自己產品充滿信心的釀酒者則反過來質問玻璃業者，說不均勻的泡沫其實該歸咎於不好的玻璃杯表面凹凸不平所致。尚高賓玻璃集團研究中心的勒瑜德跟他的同事們，就因此而研究玻璃對於香檳酒泡沫的影響。他們得到一個結論，那就是泡沫不應該被拿來當成判斷香檳酒的指標；沒有泡沫並不是因為用來做杯子的玻璃品質不好，而很有可能是因為杯子並沒有被適當清洗或是適當存放所致。

香檳酒泡沫形成的理論，其實很簡單。香檳酒並不是處於一個穩定平衡的狀態，因此當酒被倒入杯中後，溶在液體中的氣體就會開始逃離。在這過程中它們會在玻璃表面不平的缺陷（很罕見）上形成氣泡，或者直接在玻璃表面上形成（這比較常見）。氣泡的大小，取決於包覆在氣泡表面上「表面能」的大小，也就是說取決於這表面是否容易跟其他物質、液體或是空氣部分接觸。一旦氣泡形成了就會開始膨脹，因為液體中的氣體壓力仍大於氣泡裡面的氣體壓力，所以氣體分子會從液體裡向氣泡內擴散。當氣泡漲大到一定程度時，浮力超過了吸附力，氣泡就會離開杯壁往上浮。

這個簡單的描述可以再講更詳細些。杯壁對於氣泡的吸附力，跟兩

者的接觸面積有關，而這面積大小又跟玻璃的「表面能」有關。表面能一般是用一滴水珠與玻璃表面的接觸角大小來測量。當玻璃的表面能大時，液體很容易就可以濕潤玻璃表面，而氣泡與玻璃表面的接觸面積就變得很小，氣泡因此會長得接近圓形，此時氣泡膨脹到直徑約十分之一公釐左右就會離開玻璃表面。這是一般在乾淨的鈉鈣玻璃表面會發生的現象。相反的，當「表面能」降低，也就是說液體很難濕潤這個固體表面，那氣泡就可以脹到很大才會脫離表面，像在某些塑膠表面，氣泡可以膨脹到直徑超過一公釐才會脫離。也是基於這個道理，一般美食家拒絕使用塑膠杯是有根據的，因為香檳的氣泡在好的玻璃杯中會比較細緻。

由氣泡來證實理論

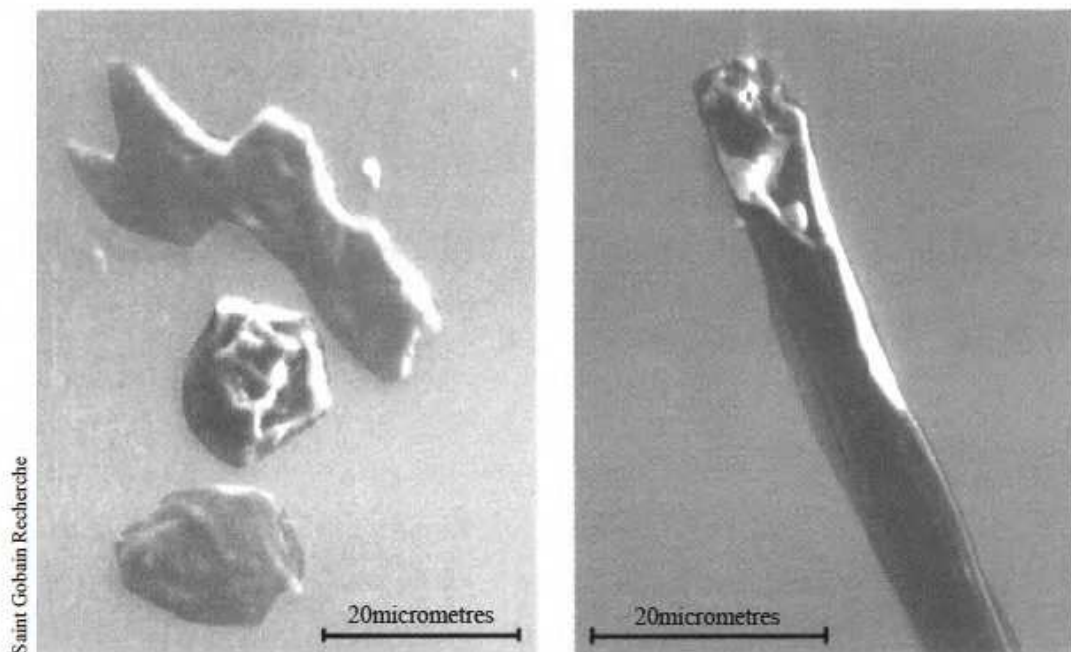
藉由不同的顯微鏡技術，勒瑜德等人開始研究氣泡形成的現象。他們發現跟一般人預測的不一樣，氣泡並不會在玻璃杯表面的刮痕上形成，事實上這些刮痕也十分罕見。相反的，氣泡會在酒石酸鹽沉澱、石灰石沉澱物上形成，或者在擦拭後毛巾留在玻璃上的少許纖維上形成。證據呢？他們用完全沒有沉澱物、在無塵室中剛做出的杯子裡，倒入香檳酒之後，一點氣泡也沒有！

而勒瑜德他們也發現，所謂的「高表面能」杯子表面很快就會被污染。一般的玻璃杯在被做出幾個小時之後，空氣中的有機物分子就會附著其上。這些分子在廚房中尤其多，只要用手指畫過流理台表面就知道。也因此，當玻璃杯或是水晶杯被存放在不當的地方好一陣子之後，就不比塑膠杯好到哪裡去了。這所謂不當的存放處，好比說長時間放在木架上。木架會釋放出很多的有機分子呢！只要聞聞看那木頭的香味就知道了。

在正常的杯子裡，當氣泡脹到一定程度就會上浮形成泡沫層。泡沫層的厚度跟氣泡的數量與直徑有關，也跟氣泡的穩定度有關。很多物質都會影響泡沫的這些特性，好比說口紅中常用的防沫劑（所以泡沫不會

附著在塗了口紅的嘴唇上），就會讓泡沫無法形成。這是為什麼許多女士在喝過第一口香檳後，酒杯中的泡沫會變得很少。這個現象非常戲劇化，你們可以試試看拿口紅去碰香檳的泡沫看看。

此外，酪悅香檳酒廠的研究人員則指出，同樣的現象也會發生在用了亮潔劑的杯子上，而洗碗機經常都會用到亮潔劑。亮潔劑會附著在玻璃表面，然後當香檳倒入杯中時，它們會溶在香檳裡。亮潔劑不會干擾香檳冒泡，但是卻會破壞泡沫的穩定性，因而讓氣泡一升到液面就破裂。洗碗精當然也會破壞泡沫，但是因為沖洗的時候已經把它們幾乎洗掉了，所以影響小很多。



兩種最容易形成香檳泡沫的地方：

左：礦物鹽結晶；

右：擦拭杯子時留下來的纖維。

小瓶與大瓶裝香檳

小瓶裝的香檳酒，老化比較快

大瓶裝香檳酒是酒中王子，行家都說它比小瓶裝香檳的品質要好很多。果真如此嗎？另外也有人說平放的香檳酒會陳年得比較好，因為軟木塞可以長期保持濕潤，因而維持其密封性，真的嗎？在香檳區酒類跨領域研究中心裡，瓦拉德、提寶索依爾以及寶科等研究人員就針對這類存放香檳的問題進行研究。他們實驗結果，讓我們對瓶塞與酒放陳年之間的關係有新的了解。



香檳酒是會冒氣泡的酒，這是它們跟其他葡萄酒最大的不同之處；其他酒裡面如果出現氣泡，多半會被認為是壞掉了。那香檳酒為什麼會冒氣泡呢？這是因為在香檳裡面的酵母菌，會一邊消耗酒裡的糖分，一邊產生二氧化碳釋放到瓶子裡。二氧化碳最後會溶到液體中，而當瓶塞被打開時，它們就會一湧而出造成香檳的氣泡。因此，瓶塞跟瓶子是製作香檳的關鍵之一，因為它們負有封住氣體的重責大任。

瓶塞大有問題

大家都以為軟木瓶塞是密封，因為它可以把酒完整地封在瓶子裡。雖然如此，但是酒被封住不表示氣體也被完全封住。如同所有的釀酒者都知道，香檳放愈久氣體會損失愈多，酒就老化了。這個漏氣的現象促使他們更詳細的研究軟木塞。一般在釀造香檳的過程中，封上我們常見

的軟木塞是最後的動作；在此之前，釀酒者會先用一種可以暫時封口的酒塞塞住瓶口（以便日後還可以加糖進去）。他們通常會選擇軟木或是塑膠材質的酒塞。在比較了這兩種材質的瓶塞之後研究人員發現，軟木塞密封效果並不均勻，這也解釋了為什麼香檳酒每一瓶之間都略有差異。

塑膠瓶塞的密封效果確實比較好，但是阻擋住空氣的流通是好是壞？品酒師評鑑之後證實，用塑膠瓶塞的酒變質速度慢很多，它們很少有那種「煮熟水果」的味道，而這種味道通常都是酒類氧化造成的。為什麼香檳會氧化？難道是因為氧氣透過軟木塞跑進瓶子裡去的嗎？如果是這樣，那麼軟木塞所塞住的截面積大小，與瓶中液體的體積的比值，是否可以解釋半瓶裝、標準瓶裝與大瓶裝的香檳酒品質之間的差異？

測試香檳的老化

雖然品酒者對不同瓶裝的香檳總有這種印象，但是印象並不如實驗準確。為了檢驗不同瓶裝香檳品質之間的差異，研究人員就把一模一樣的酒，在相同的情況下裝在不同瓶中後，用最傳統的軟木塞封瓶。然後，他們把酒在酒窖裡放陳一年，再交由品酒師來品嚐。測試結果顯示，大瓶裝的酒嘗起來確實總是比較新鮮，而小瓶裝的酒變化最多。這些變化是不是封瓶後瓶內那一點點小空間裡面的氧氣與酒作用造成的呢？並不是，因為分析結果顯示，不管是被封在瓶裡或是溶在酒裡的氧氣，最後都會被酵母菌消耗殆盡，瓶子裡面最後只會剩下氮氣跟二氧化碳。

那麼，酒的變化是否是因為外面的氣體透過軟木塞進入瓶中而造成的呢？研究人員測量之後發現，透過軟木塞進入酒瓶中氧氣的量，會隨著瓶子體積變小，比值變大。這麼來說吧，他們發現不管是哪種瓶子，氧氣的進入量幾乎都一樣，但是因為小瓶裝的香檳體積少，被氧化的酒體積相對就占了大部分。另外一個問題則是，如果二氧化碳會往外跑，為什麼氧氣會往瓶子裡跑呢？這是因為氧氣的分壓在瓶外遠高於瓶內，

在瓶外氧氣占大氣比例的五分之一，但是在瓶子裡則幾乎是零。

瓶子的擺放

最後，瓶子直放或橫放，對於香檳酒並沒有影響，但對軟木塞有影響。軟木塞的功能在直放的瓶子上比較能發揮出來。講的比較詳細一點，直立存放的香檳酒，你要用比較大的力氣才能把瓶塞拔出來，而拔出來之後瓶塞的形狀也比較接近原來的「蘑菇狀」。因為酒瓶平放的話，酒與軟木塞接觸，會漸漸滲進軟木塞裡而改變它們的物理性質。

最後，香檳區酒類跨領域研究中心的研究人員也比較了月圓對於收成前葡萄含糖量的影響。雖然傳說有影響，但是他們初步的研究顯示，月亮跟葡萄含糖毫無關係。



（左）酒瓶橫放之後的軟木塞；以及（右）直放的軟木塞。

威士忌的風土

統計分析告訴我們怎麼品嚐威士忌

蘇格蘭是威士忌的家鄉，在那裡，他們直接叫威士忌 scotch。威士忌又有好幾種分法，其中一種是單一麥芽威士忌，這是大麥在單一蒸餾廠發酵而製成，還有一種是調和式威士忌，則是混合了不同地區製造的不同品質威士忌在一起。毫無疑問



的，大多數老饕都愛喝單一麥芽威士忌，因為這樣他們可以細細品嚐威士忌最重要的五種特色：香氣、顏色、酒體、口感跟後味。

那麼單一麥芽威士忌的產地，是否可以決定它的口味？如果會，我們可能依據產地吧相似口味的威士忌歸類在一起嗎？為了研究這個問題，蒙特婁大學的拉普昂特、勒壤得等人，就分析了威士忌品酒大師傑克森所品嚐過，蘇格蘭最著名的一百零九家釀酒廠所生產的三百三十種單一麥芽威士忌，根據他的評鑑來分類。

單一麥芽威士忌的特色

他們把從單一麥芽威士忌所得到的「資訊」做統計學分析。單一麥芽威士忌通常可以根據數種特色（也就是前述的香氣、顏色、酒體、口感跟後味），做描述性的分類。比如香氣，可以再被描述成是香的、泥煤味、輕的、甜的、新鮮的、乾的、果香的、草香、鹽味的、雪莉酒味、香料味、豐富的等等；而酒體可以是順的、中等的、飽滿的、圓潤的、黏稠的、稀的、濃厚的、油的等。怎麼根據這些特色相似的威士忌分成好幾類，以便決定相似的產地是否可以造成口味相近的威士忌呢？

拉普昂特他們決定每家蒸餾廠只選一種威士忌來代表，因此最後進入分析的只有一百零九種酒。

為了可以量化這些特色，他們用分數來計算：如果一種酒帶有某種特色則給一分，沒有則是零分。然後他們把這些資料做成一張表，每一列填一種酒，每一行填一種特色。接著再把酒兩兩配對做各種排列組合，先計算兩種酒共有的特色分數，把它除以總共特色數目，這樣可以得到一個參數；那這兩種酒的相似度，就是用一減去這個參數。所得到的相似度又可以做成第二張表，從這張表可以看出一種酒對照到任何其他一百零八種酒的相似度。相似度參數愈小，代表這兩種酒愈相似。

剩下的工作，就是要把這些酒歸類。他們用樹狀圖（像族譜那樣）的方式，先把最相似的酒兩兩放在一組，該組的特色分數則是這兩種酒的特色分數平均。然後把相似的兩組再合併成一組，再把兩組的特色分數平均，以此類推，直到所有的組最後合併成一個大組。他們可以在這樹狀圖的任一處「切開」把不同家族分出來，這個切點如果愈接近大組（或族譜根部），則分出的家族愈少。

關於分類的研究

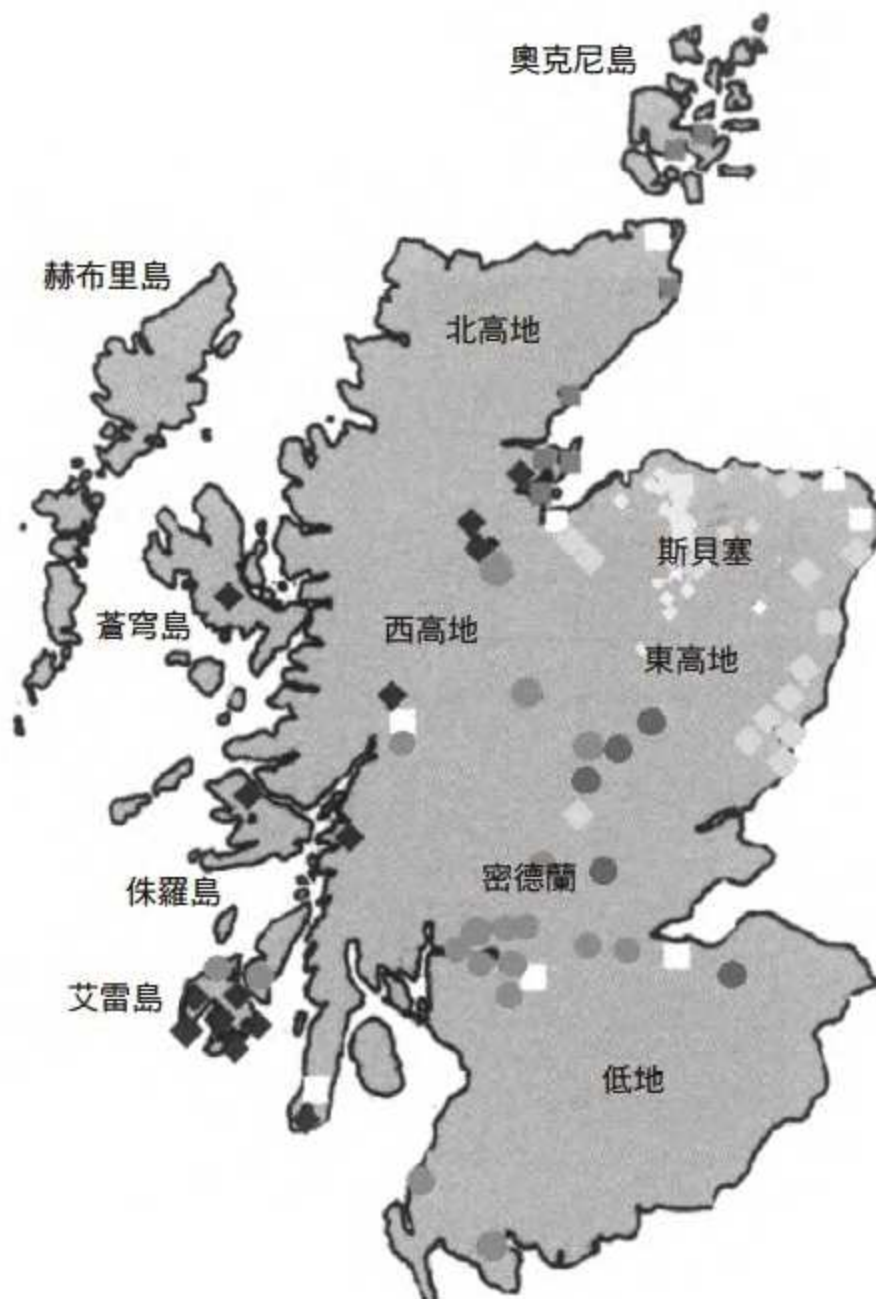
根據樹狀圖首先威士忌分成兩大家族，一族是那些酒體飽滿，或者是較乾澀跟煙燻感的；另一族則是琥珀色帶香味的液體，酒體輕盈順口，帶有果香後味。第一族含有六十九種威士忌，又可以再被分成兩族，其中一族是琥珀色液體，酒體厚實帶果香、油脂感及香料味；另一族則是金黃色液體，酒體輕盈順口，帶草香後味。這些家族都可以在繼續被細分下去，因而愈遠離原始大家族，同時每一族含的酒種也會愈來愈少。

讓我們回來看看蘇格蘭的地理。粗分的話蘇格蘭大概有三個威士忌產區：高地、低地以及艾雷島，這三區共含有十三個行政區。拉普昂特等人又把蘇格蘭酒與產地做成一張表格，把酒放在每一列，十三個行政區在每一行。在行跟列的交會處，如果這支酒是從該行政區產出的，則

打零分，如果不是則打一分。現在我們把這張表跟前面每種酒的相似度表做一個比較，則會發現如果把所有行政區分成六大部分或十三大部分，則兩者會有很高的關連性。這六或十三大部分，就是所謂的「產地」。

這些產地的畫分，證實了水源、土壤、微氣候、溫度與環境確實會影響單一麥芽威士忌的口味，而所謂傳統釀製祕法則只有很小的影響。

最後，拉普昂特等人又研究了五種特色之間的關連，而他們發現香氣、顏色、酒體、口感並非獨立的特色。威士忌的顏色跟香氣與酒體有關，而香氣又跟口感有關，但跟酒體關聯較小。相反的，所謂後味，也就是在品酒之後留在齒頰之間的印象，則跟其他四種特色都無關。因此，評鑑後味的方式，也就是那種在判斷了其他四種特色之後再把威士忌吐出來的評鑑法，頗值得再議，因為這種方法完全忽略了其他基礎參數。



類似的威士忌用類似的標記點在蘇格蘭地圖上。

卡塔卷甜酒

讓香味超越酒精味

同樣是將新鮮葡萄汁混烈酒，完全不經過發酵所做出來的開胃酒類，但朗格多克地區的傳統卡塔卷甜酒，卻從來不如沙朗特地區的「皮諾酒」，或是其他類似酒類般廣為人知。儘管如此，朗格多克地區的釀酒者仍然希望能為卡塔卷甜酒贏得「法定產區證明」。然而這意味著，他們必須更精確的定義這些酒與眾不同的特色，要更了解它們更有系統的整理製作方法。為此，他們委託裴克胡芝納磅國立農業研究所的布雷等人來研究釀製卡塔卷甜酒的葡萄與釀製方法。

這類開胃酒的製作方法，都是在葡萄汁中加入干邑，以阻斷葡萄汁的發酵。卡塔卷甜酒會加入四分之一體積的干邑，這也是卡塔卷甜酒名稱的由來（卡塔卷的發音近似法文四分之一quatre）。這些高濃度的酒精（最少也有百分之十六）會讓酒中的微生物無法順利生長，而這些微生物正是一般將葡萄汁釀製成葡萄酒的關鍵之一。

然而，新鮮的葡萄汁混酒的酒精味太濃，喝起來常讓人以為幾乎是純的干邑。因此，為了調和味道，釀酒者比較喜歡讓氧化緩慢地進行，以避免葡萄在壓榨後浸漬的過程中，產生太多多酚、單寧，或是其他分子（多酚的分子結構是一個苯環，就是六個碳原子組成六角形的環狀結構，接上一個以上的羥基-OH）。這個氧化過程，跟造成紅酒裡面單寧「軟化」的過程很類似（〈酒的單寧〉），而且這個結果，因為釀酒桶裡面一定會有殘存的少量氧氣，所以幾乎是無法避免的。

為了研究卡塔卷甜酒氧化的過程，布雷等人在實驗室的酒窖裡，利用希哈、格那希以及仙梭等三種黑葡萄釀製卡塔卷甜酒來做實驗，並且嚴格控制每個步驟。這過程為：去梗、室溫浸漬四小時、壓榨、集結酒渣、低溫五度進行兩到三天沉澱、濾清，接下來加入上好的干邑，混合後靜置一個月，再進行第二次濾清，接著把酒放入曾裝過干邑的不鏽鋼

酒桶或是橡木桶裡進行熟成。為了避免硫化，他們並沒有在酒裡面加入紅酒中常用的二氧化硫這類防腐抗氧化劑。此外他們還做了葡萄皮壓榨，以取出最多的多酚跟香味分子。最後，他們把釀出來的酒跟朗格多克當地人用布布蘭克葡萄（白葡萄）所釀的卡塔卷甜酒，以及用亞利坎提葡萄（黑葡萄）所釀的酒互相比較。

陳年的用處

在陳年的過程中，他們把不同時期的卡塔卷甜酒拿去做物理跟化學性分析，同時也送給品酒師來評鑑味道。他們發現剛開始有些分子被氧化的情況非常明顯，好比說顏色分子。早期白葡萄做出的卡塔卷甜酒是透明白酒，黑葡萄做出來的酒是紅色，但是慢慢地兩種酒顏色會變得幾乎一樣。而另一方面化學分析則顯示，在橡木桶中釀會比在不鏽鋼桶裡釀，多一點多酚、單寧這類分子。這表示，儘管這些是舊木桶，曾被用來存放干邑，但是木頭跟卡塔卷甜酒之間仍會繼續產生分子交換，木桶還是會釋放出一些多酚分子。

不過在品嚐時，品酒師其實喝不太出來這種多酚微量的差異，但是他們倒是對於新酒老酒的差別非常敏感。比如在熟成僅六個月時，希哈種葡萄釀出的卡塔卷甜酒顯出漂亮的紅色並帶有果香而還沒有氧化味；但是格那希跟仙梭種葡萄釀出的酒卻比較少顏色也比較不香，而他們也嘗不出在不同容器中熟成的酒有什麼差異。在這時期這三種酒的酒精味都還太重，非常烈。到了十五個月時，在橡木桶或是在不鏽鋼桶中釀的仙梭種葡萄，其多酚含量已經完全無差，希哈種葡萄則尚可觀察出些微差異，而格那希種葡萄則有很大的差異。而此時這三種卡塔卷甜酒都已經充分氧化了。

這些品酒測驗結果可信嗎？布雷他們比較了所有人報告的相似性後，發現品酒者可以被分成三組：第一組都是研究所的研究人員，他們都不是品酒專家，第二組是釀酒者代表，第三組則是答案跟別人都不一樣的人。在排除了第三組之後，他們又把比較年輕的卡塔卷甜酒給大家

做第二輪品嘗。這次的結果印證了上次的結果，而這次的結果更顯示在這個時期，不管是在橡木桶或是不鏽鋼桶裡釀酒都嘗不出差異。

至此他們發現，用希哈種葡萄來釀似乎可以較早得到富含果香跟好喝的酒，而格那希跟仙梭種葡萄釀的酒，則必須讓多酚跟其他可氧化分子，經過有限的氧化作用後，才能顯露出特色；但也因此這兩種葡萄後來的香味會超過希哈葡萄。不論是用哪種葡萄釀酒，似乎都需要至少一年的熟成期。至於要不要再久一點則不確定，因為這會增加成本，而對品質提升效果則未知。



經過一年的熟成之後，卡塔卷甜酒的顏色仍深受釀酒葡萄的影響，而這些顏色是因為多酚等分子氧化造成的。圖中最下方是白葡萄所釀出來的酒，再來是格那希或仙梭種葡萄所釀的酒，再來是希哈葡萄，最後是亞利坎提葡萄。

茶

茶漬的化學

很多食物裡面都含有所謂的「兩親分子」（就是界面活性劑）。這種分子一端可以溶在水裡，另一端則不溶。因為這種分子很多，所以食物飲料會有泡泡，像是被打發的蛋白、香檳、啤酒、液狀鮮奶油等。很多時候廚師就是要做出這種泡泡，因此會儘量避免「防沫劑」的存在。所以在打蛋白的時候，他們會很小心不要混入蛋黃，因為蛋黃裡面帶的脂質會跟蛋白裡面兩親分子（就是蛋白質）的不溶水端結合；這樣一來，蛋白質就無法穩定泡泡所需要的「液體空氣」界面（因為原來不溶水端應該要跟空氣接觸）。同理，喜歡喝香檳的女生要注意，很多口紅裡也含有防沫劑。不過也有相反的情況，我們不希望看到泡泡出現，像是在做杏果醬時，為了避免煮水果時跑出來的泡沫，我們會在表面塗一些溶化的奶油。

讓人焦慮的薄膜

身為愛茶的英國人，一些英國的化學家曾研究過那些黏在茶杯表面的茶垢。本來他們認為，這些茶垢是水質太硬而發不起來的泡沫所造成（肥皂在硬水裡不容易起泡，就是因為水裡面含了許多鹽類像是硫酸鈣、氯化鎂等），不過後來卻發現一個完全不同的現象，最後他們把研究成果發表在國際知名科學期刊《自然》上面。

這些出現在茶壺或茶杯上的薄膜經常是呈現不規則形，很像髒污。為了研究它們，倫敦帝國學院化學實驗室的斯匹羅與賈噶奈爾等人，就找出了一個在大容器中泡茶之後，收集容器表面茶垢的方法。

用掃描式電子顯微鏡觀察（見附圖），可以在茶垢的表面看到許多小顆粒，這些是碳酸鈣。而微量化學的分析結果顯示，除了主要的鈣以外，還有鎂、錳跟其他金屬，一部分是來自倫敦自來水，一部分則來自

茶葉，它們都可以被鹽酸除去。剩下的成分則是一些天然有機物，可以溶在強鹼中，但無法溶於其他任何測試過的溶劑裡。另外根據質譜儀的分析顯示，這些有機分子的組成是由大小差異約一千個分子量的各種有機分子組成。之後斯匹羅他們也測量了茶垢形成所需的時間：首先在攝氏八十度的熱水中浸入Typhoo紅茶包，在浸泡一陣子之後拿走，同時清理掉茶表面的任何泡沫，然後按照時間測量。他們發現茶垢會在幾小時之內慢慢形成，在第一小時之內，茶垢的量隨時間而慢慢增加，而過了四個小時之後，厚厚一層茶垢重量跟容器壁表面積成比例。

此外茶垢形成的速度也跟茶上方的大氣組成有關。茶垢在純氧氣中形成的速度，快於在正常大氣或是在氮氣。很明顯的茶垢是因為茶中某些分子「氧化」所造成，而單寧正是其中之一（茶的苦味就是單寧造成）。

用蒸餾水泡茶，或者用加了氯化鈣的蒸餾水泡茶，就不會有茶垢形成。只有水中同時有鈣離子（或鎂離子）跟碳酸根離子時，才会有茶垢形成。同時，如果我們在水中加入乙二胺四乙酸去把鈣離子「螯合」住，或者，在茶中加酸，也可以避免茶垢形成。因此，檸檬茶不會形成茶垢，因為此時茶的酸度高於天然酸度，所以檸檬酸離子會跟鈣離子結合。而同樣的，太濃的茶也不會有茶垢，因為過多的單寧會提高茶的酸度。相反的，在茶中加入牛奶，或者提高泡茶溫度則會大幅增加茶垢。

至於茶垢中的有機物部分，它們是茶中的某些成分在鈣離子跟鎂離子存在的情況下被氧化的，這現象似乎很類似製茶過程中，將綠茶轉變成紅茶的酵素氧化作用，希望日後的研究可以證實這個假設。



紅茶表面的茶垢，圖中白色的結晶是碳酸鈣。

第四部 明日的料理



抽氣與烹飪

如何在廚房中利用抽氣技術

今日的廚師使用的過濾方法，其實跟古老的中世紀比起來，幾乎沒變。他們把食物放在濾網中心過濾，同時用一個杵或是勺子用力擠壓，儘量回收流下來的液體。然而用這種方式來過濾，由於受限於濾網濾孔的大小，效果有限。我們可不可以改良一下這種千年古法？也許化學實驗室裡面的儀器可以給我們一些靈感，去做出現代廚房器材。

過濾是實驗室裡的強項技術

排名第一最迫切需要被過濾的就是高湯了。當高湯被煮成混濁時，要怎麼讓它恢復澄清？一般廚師會用的澄清法，就是在冷的高湯裡加入一些蛋白，接著慢慢加熱高湯讓蛋白質凝固，這樣會把懸浮在液體中的大顆粒困住。然後他們用布包住濾網來過濾高湯。

然而這個方法並不理想，因為它會減損高湯的味道。事實上，有些廚師甚至會再把肉跟蔬菜切成小塊，伴隨蛋白一起加到高湯裡加熱，以期能夠保留住高湯的滋味。但這一切豈不是自找麻煩？要做一鍋好的高湯，先要把材料辛苦地燉煮數小時，然後因為接下來要用「過濾」去減損其滋味，所以又要再加入額外的材料。

反觀化學家呢，因為過濾是他們天天要做的事，所以早就找出解決之道。他們有各種過濾儀器，可以因應不同需求。這點從實驗室的儀器購買目錄裡，光過濾器材就占了四十頁之多，就可以看出其常用性。最常見的一種「抽氣過濾器」，長的樣子就是一隻玻璃漏斗，中間有一片濾孔大小固定的玻璃濾網，這玻璃濾網比濾紙好的地方在於它不會被撕破。然後化學家把這個漏斗插在一隻三角瓶上，這個三角瓶側面有連一隻橡皮管接到一個噴水泵上面，噴水泵作用時可以抽氣而過濾。所謂噴水泵，其實只要接到水龍頭上面就可以作用了，是非常簡單廉價的儀

器。

位於史特拉斯堡米其林三星餐廳Buerehiesel的主廚魏斯特曼先生，就為我們測試了一下這套過濾器應用在「番茄清湯」上面的效果，魏斯特曼他們希望做出絕對清澈的番茄汁。他們原本的食譜，是把番茄直接加入水中煮，同時混入蛋白。在經過半個小時的細火燉煮之後，他們把番茄湯用一隻被布包住的金屬濾網來過濾，這樣可以得到一碗漂亮的金黃色汁液。實驗結果顯示，用抽氣過濾器，可以得到更清澈而味道又更濃郁的番茄清湯。什麼時候家電業者才願意開始投入大量生產這種家用過濾器呢？他們只需稍微增強一點實驗室抽氣過濾器的威力，把玻璃濾網換成金屬的，以適應廚房裡多變的食物就可以啦！

就在讓廚房現代化的同時，我們也天馬行空地嘗試「抽氣設備」在烹飪上面的應用。牛津大學的物理學家庫提就發明了一種新的「蛋白糖霜」。傳統的食譜是把砂糖加到打發的蛋白裡，接著把這團蛋白放到烤箱中用低溫烘烤。在這種情況下，漸漸凝固變硬的蛋白質會維持住打發蛋白裡多孔氣泡的結構，而水分也不會流失太快，因而可以讓砂糖維持在玻璃狀。庫提想用抽氣機取代烤箱，所以把打發蛋白放到抽氣罩裡。這樣一來水分迅速蒸發，而打發蛋白裡面的空氣也膨脹到不可思議的地步，最終出現的成品是一個極輕的、像「空氣水晶」般的蛋白糖霜。

從蛋白糖霜到酥芙蕾

前面的這個實驗，雖然清楚的說明抽真空確實可以應用在烹飪上，但是這次的成品稱不上成功，因為這種蛋白糖霜毫無口感可言。有沒有辦法只保留這個概念，也就是增大某些食物的膨脹程度，但是到頭來至少還有點東西可以咬？這樣應該要選擇那些「氣泡壁」比蛋白糖霜厚許多的食物。酥芙蕾跟泡芙麵糊正是這種，廚師們都希望能夠儘量膨脹的食物。

如果把抽氣技術用在這些菜上，會怎樣？如果把一碗準備好的酥芙蕾放進抽氣罩鐘裡面開始抽氣，我們會發現酥芙蕾果然慢慢開始膨脹，

這是因為被酥芙蕾包在裡面的空氣開始膨脹，但是只要一停止抽真空回到正常大氣壓，這個酥芙蕾就會開始塌陷。因此，為了維持這種狀態，必須在膨脹的時候烤酥芙蕾，比如在抽氣罩裡面也放入一塊加熱板，然後把酥芙蕾底部的小模子放上去。這樣慢慢被加熱凝固的蛋白質就可以維持酥芙蕾膨脹的表皮，同時也把內部空間填滿水蒸氣，這樣就算把酥芙蕾移回室溫，也不會塌陷。



一個上面接有玻璃濾網的抽氣過濾瓶。

好啦，這就是我們可以用抽氣機在廚房裡玩的小遊戲。別懷疑，只

要廚師願意放棄中世紀的古老技術而接受現代化以後，應該會有愈來愈多的東西被發明。

風味或是化學反應

化學家找到兩種添加香味到食物裡的辦法

「食物應該要有它該有的味道。」二十世紀上半葉的美食家居諾斯基曾如是說。今天，很多廚師們也愛引用這句格言，用來詮釋他們所謂味道的「真相」。不過，這樣恰當嗎？因為廚師的角色，不正是把食材轉變成為菜餚嗎？

如果烹飪的目的是為了製造出特定的香味，那麼應該如何讓「它」存在食物中？我們可以直接添加香料，也可以引起特定化學反應，讓香味就在菜餚中產生。

最簡單的方法，就是添加香料，這是由食品工業界所開發出來。香料來源可能是天然萃取物，或者是化學合成溶液。而在食品上用法非常簡單，就是加幾滴香料到菜餚裡就好了。但是要合成它們卻需要「鼻子的藝術家」，也就是這些嗅覺靈敏的專家要能把不同溶液混在一起，以調和出心目中理想的味道：草莓、薑味、迷迭香等。

不過廚師對合成香料總有疑慮，而另一方面天然香料比起合成香料（比如加在普羅旺斯燉蔬菜裡的百里香跟迷迭香）通常可以帶來更濃郁，而且絕對有更多變的香味。其中一個原因是，合成的香料往往不會含有所有天然植物的香味分子。

不過我們因此就要放棄添加香料嗎？這可會讓我們失去增加食物香味豐富性的可能呀！像是，為什麼不在橄欖油裡面添加正己醛來增加綠色跟香味呢？為什麼不在肉裡加入「1-辛烯-3-醇酯」來讓它發散出菇類的香味呢？不過這裡要小心一點，這香料如果用過多了會變成霉味。又或者，為什麼不用 β -紫羅蘭酮來讓甜點帶有一些紫羅蘭的香味？因為花中的紫羅蘭香實在是很難被釋放出來。

同樣的，除了香味以外，廚師也可以為菜餚加味。好比說他們會添

加味精或同類的分子來提味，讓食物帶有所謂的「鮮味」。其實洋蔥跟番茄也都帶有這種鮮味。又或者，他們也可以添加甘草味或甘草酸，來讓菜餚有特殊的味道，這些味道既非酸、甜、苦也非鹹。

用火技術進階版

廚藝技術的改良，是否就僅限於香料方面，以比較現代的面貌，也就是加入一些好的香料跟草藥呢？當然不是，廚師應該很清楚的知道，烹飪可以改變食物的味道，而火是他們忠實的好友，化學則可以幫助他們用火。

舉例來說，用不同種類的糖，可以輕易改變焦糖的味道。所以我們可以用葡萄糖、果糖，或者更籠統地說，除了蔗糖以外的糖來做焦糖。有一個很簡單的實驗，大家都可以做，也許可以證明其實焦糖存在於許多菜餚裡。這個實驗是基於一個烹飪時看似矛盾的現象：比如說當烹煮貝恩式紅蔥醬時，在長柄鍋中加入切碎的紅蔥跟白酒，加熱直到「酒精乾掉」。然而有些白酒會消失得連一點香味也沒有，這是為什麼？因為這些白酒缺少葡萄糖、甘油或是其他成分。由此我們可以給一個實用的建議：如果怕白酒被煮到消失殆盡，在香味減少以前加一些葡萄糖，這樣我們可以得到焦糖，而有助於保存醬汁的味道。

矛盾的香味減少現象

這種香味減少的現象十分讓人驚訝。為什麼白酒裡面的香味分子會跟著一起蒸發掉？同樣的問題也可能發生在高湯上面，因為高湯是把肉汁加熱濃縮而成。如果說，加熱濃縮這個步驟會讓香味分子蒸發掉，那為什麼高湯濃縮後還可以保持香味呢？

在日內瓦芬美意香料公司的布萊克跟本齊兩位先生，就利用層析儀來比較兩種高湯，一種是加熱濃縮到原來四分之三體積，以及另一種是體積減少後再用水把體積補回原來大小的高湯。他們發現煮沸這個步驟確實會讓某些香味分子變淡，但是也有其他的香味分子是因加熱引起的

反應而產生。現在應該要了解，到底高湯發生了哪些化學反應，這樣也許以後可以幫助我們做出好的濃縮高湯。

從化學到烹飪

化學有無限的可能性。在廚房的架子上其實就有許多非常純的化學藥劑，像是氯化鈉、蔗糖、三酸甘油酯（在油裡面）、酒精、醋酸等。而在圖書館裡，有許多化學專書詳細描述了這些分子的化學反應。難道今天我們不能在廚房裡面做化學合成嗎？



像是梅納反應，是一種發生在胺基酸跟糖類之間的化學反應，會造成烤肉、烤麵包、咖啡、巧克力等食物金黃外層跟好滋味。而化學家其實知道這個反應會因為環境的酸鹼度不同而有改變。也許有一天我們可以先用醋或是小蘇打水浸泡一下雞胸肉，再拿去烤，這樣可以創造出新的脆皮？而如果要把酸鹼度調回食用的程度，只需在烤完之後用小蘇打水去調整醋，或者用醋去調整小蘇打水就好。

奶油，不是真的固體

怎樣才好塗？

奶油是很奇怪的固體：當把它從冰箱拿出來時，總要等個十幾分鐘才比較軟比較好塗。有沒有辦法可以不要等？可不可以生產一種一拿出冰箱就可以塗的奶油？

這個問題大概可從一九八八年開始講起。那時候法國立法當局給了奶油法定名稱，規定奶油既然是水跟油的混合物（奶油是小水滴分散在乳脂裡），所有類似產品都可以被稱為奶油，只要這些成分是可以物理方法分離開。據此，我們應該不難想像，會有各式各樣不同品質的奶油上市，藉由把各種本來不屬於奶油的東西物理性混進去。



由Cidil工作室的威爾森與弗雷修所攝。

這些成分要怎麼跟奶油混合？又要怎麼跟奶油分離？在一九九二年時，法國乳製品公司Arilait的研究室，曾委託多間實驗室來研究奶油的乳脂部分，同時也找出讓奶油變得好塗的成分。這不是件容易的工作，因為乳脂的分子十分複雜多變：每一類的分子，隨著處理方式的不同，都有好幾種結晶方式。同時這些結晶，只有在經過長時間的靜置之後，才會達到穩定的平衡狀態。

在牛奶裡，這些乳脂是以小油滴的狀態分散在水裡面，每個小油滴直徑不過數微米，被酪蛋白所形成的「微粒」所包覆住。每個微粒其實含有很多不同的蛋白質，被磷酸鈣堅固的連結在一起。大部分的香味分子都溶在這些小油滴裡，而其他分子（像是維他命、乳糖、礦物鹽、蛋

白質等）則溶在水中。

這些實驗室首先分析乳脂成分。然而乳脂成分多變，甚至隨著季節不同也有所改變。但至少有個通則，即它們都是三酸甘油酯，也就是一個甘油分子接上三個脂肪酸分子。一杯牛奶裡有超過五百種以上不同的脂肪酸，而它們很可能可以跟甘油分子任意結合，因此所有三酸甘油酯裡脂肪酸分子的排列組合至少有好幾千種。

奶油獨特的融合

這種排列組合多樣化的結果，就是奶油極為獨特的融合現象。像水這種單一分子會有固定的熔點，就是攝氏零度。奶油呢，它的融合可以從零下負五十度直到攝氏四十度都可以進行。因為不同的乳脂會在不同的溫度熔化，大約可以根據其化學性質分成三個階段。第一階段是攝氏零下負五十度到十度，這時候是含有比較短鏈的脂肪酸分子，或是含有雙鍵的脂肪酸（不飽和脂肪酸）會先熔化而融合；第二階段是攝氏十度到二十度，這時候是含有一個雙鍵的脂肪酸（單元不飽和脂肪酸）或是含有一個短鏈脂肪酸的分子會熔化而融合。最後在攝氏二十度到四十度之間，含有三個飽和脂肪酸（全部脂肪酸都是單鍵）的分子會熔化而融合。

不過科學家所研究的比較是跟融合相反的現象，他們研究的是冷卻時分子的結晶現象。為了要能夠把不同的分子分離出來，他們用了一種「分層結晶法」，也就是把熔化的奶油慢慢冷卻，然後把在同一個溫度出現的結晶分離出來，這些結晶所含的都會是同一類分子。

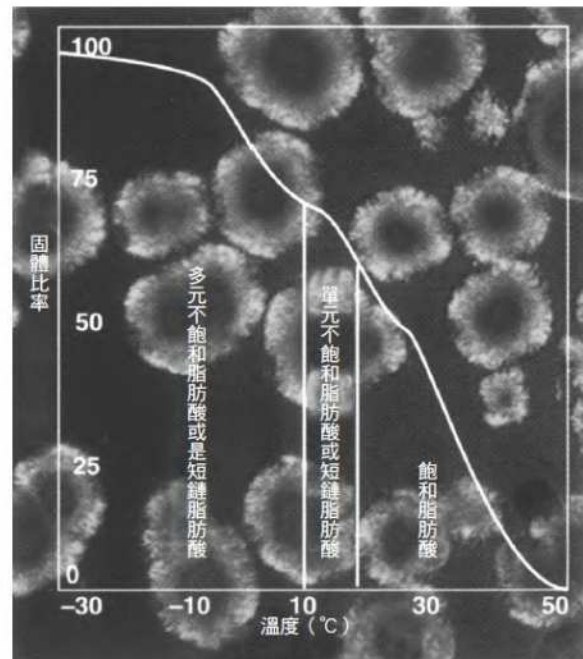
新奶油

在分離出這些結晶並分析之後，法國國家科學研究中心的奧立馮跟拉文等人就嘗試去混出一種，只要拿出冰箱就可以塗抹的奶油。他們用熔點比較高的三酸甘油酯，在室溫仍可以維持固體狀，混入適當比率在室溫呈現液體狀的低熔點三酸甘油酯。

經過混合之後，可以得到一種長得跟傳統奶油一樣的固體奶油，但是卻同時含有一定成分的分子是處於液體狀態（這些液體是跟在牛奶裡一樣以小油滴的形式存在）。這種奶油其實只有部分固體，在攝氏四度時固體比率約百分之七十，但到了攝氏三十度時只剩百分之十。增加低溫融合脂肪的比率可以讓奶油容易塗抹，而高熔點的部分則常被用在糕餅製作上面，特別是像千層酥皮派。因為法律規定許可，所以它們仍可被稱做奶油。

那為什麼這些帶有液體的固體還可以保持固體呢？這是因為固體的結晶分子在交會的時候彼此糾纏在一起。不必加熱，用刀子刮一下就會感覺奶油會變軟，這是因為結晶被拉開了。

怎樣在廚房裡利用這些研究結果呢？我建議你們可以試試看分層結晶法。像科學家一樣，先熔化一塊奶油，然後讓它慢慢冷卻，依先後把變成固體的部分分開。這樣你可以做出自己想要的奶油，得到想要的質感。也可以把這些自製的奶油用在你想準備的菜餚上。



乳脂的不同分子在結晶的時候可以分成三個階段。

肝醬的慕絲

肝醬的香味取決於其結構

食品公司流行研究如何將產品輕食化，也就是要降低脂肪含量，要增加水分含量，而這些都還不能減損食物的味道。即便是像肝醬，這種以富含固體脂肪而知名的美味食物，也難逃這種趨勢。位於南特國立農業研究所的食品分子互動研究室裡，拉赫許跟他的同事就在研究肝醬的慕絲結構。他們在肝醬中摻入一定程度的澱粉，來看看能把它輕食化到什麼程度而不影響肝醬的品質。藉由物理化學加上人類感官的分析，他們發現，用混入澱粉來製作低脂肝醬，其可被接受的程度取決於低脂肝醬在口中最終的融化度，此外讓人感覺到脂肪味跟實際上肝醬脂肪含量無關；最後一點，它的香味是由肝醬質地來決定。

製造低脂肝醬聽起來有點矛盾，因為我們會希望肝醬能夠很容易塗抹，而在傳統肝醬中，這種性質似乎正是因為它的高脂肪含量所造成的（高達百分之五十的脂肪）。在一九八五年時，一樣是在南特的古德馮吉亞與舍謬等人曾研究過，如果在肝醬中摻入「水膠體」，就可以保有這種「易塗抹性」。水膠體是一些溶在水中的大分子。而現在拉赫許他們則研究用蠶豆中取出的澱粉來完全或部分取代肝醬中的脂肪。蠶豆是法國的農產品之一，他們初步的研究有一些很好的結果。

傳統的肝醬做法是把豬肝跟蛋白、乳清、明膠、亞硝酸鈉、鹽、胡椒、洋蔥、紅蔥以及干邑加在一起搗碎。拉赫許他們做了兩系列的肝醬：第一個系列是把肝醬中不同比率的脂質換成濃度百分之十五的澱粉糊；第二個系列則是把一半的脂質換成濃度不同的澱粉糊（所以脂肪含量只剩百分之五十，剩下的由不同濃度的澱粉取代）。他們把這兩個系列的肝醬做好拿出來跟當地商店買到的肝醬做比較。

比較的項目，首先是數種物理特質，接著肝醬會被送給十位評審品嚐。評審會留在一間只有暗紅燈光的暗房，在這裡他們要判斷肝醬的融

化度（這是藉由肝醬是否容易被舌頭跟上顎壓碎來判斷）、油脂感、顆粒感（口中是否會嘗出顆粒）以及香味強度，最後評審會再給一個整體分數。

首先他們發現，肝醬在口中的融化度，在第一系列中，會隨著澱粉增加而增加，但是在第二系列中卻會減少；而顆粒感跟澱粉含量似乎無關，除非澱粉含量過高，也許會有影響。而油脂感呢，在第一個系列中似乎跟油脂實際上的含量無關，但是相反的在第二個系列中，卻會因為澱粉濃度增加而減少。香味強度也有類似的性質，也就是說在第一個系列中沒什麼變化，但是在第二個系列中卻隨澱粉濃度增加而降低。

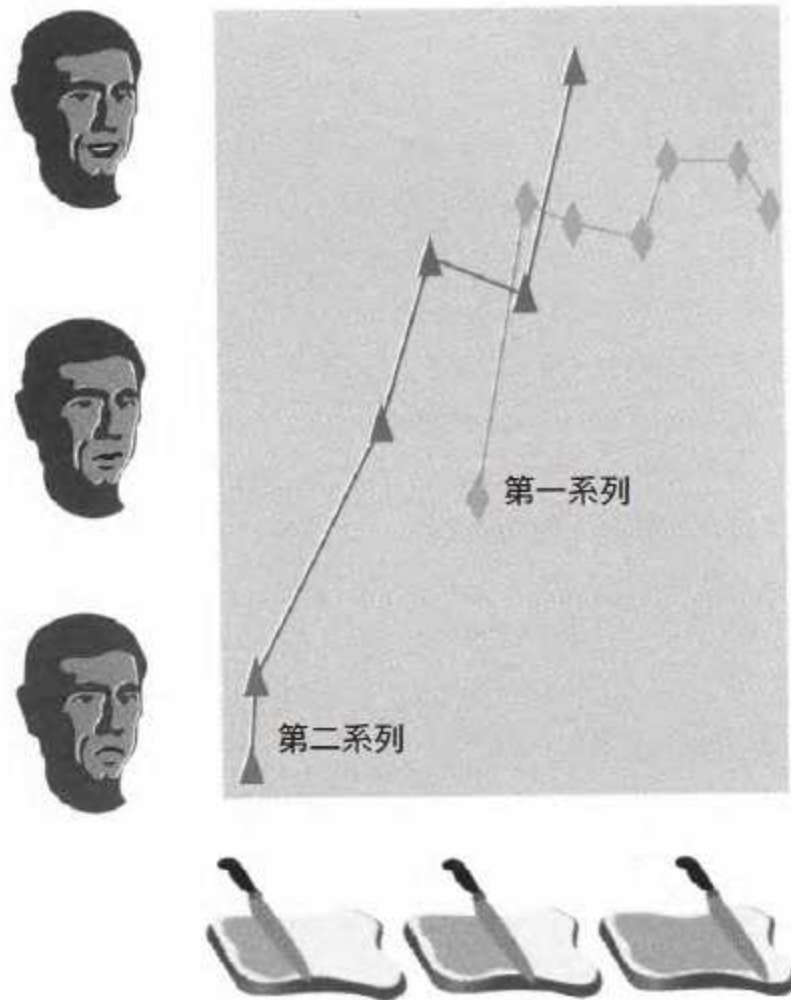
這四大項品質評鑑的結果，都顯示出很強的關連性。不過最有趣的還是融化度跟香味強度。在第二個系列中，肝醬的融化度跟香味強度都會隨著澱粉濃度增加而減少，這是不是因為增加的澱粉會吸收香味分子？或是水會吸收呢？這兩個假設似乎都不可能，因為在第一個肝醬系列中，澱粉增加水分也隨著增加，但同時融化度也隨著增加，香味卻沒有減少。

既然肝醬的成分並無法解釋融化度跟香味之間的關係，所以也許是因為當肝醬融化度增加時，它在口中化開得較均勻，因此品嚐者可以同時聞到比較強的香味。或者，當質地較不佳時，品嚐者比較難嘗到肝醬慕絲中的某些成分。

當肝醬的融化度是在可被接受範圍內時，肝醬的整體評價就跟四種品質有關。依它們的重要性排列分別是融化度、油脂感、香味強度以及顆粒感，而這四項影響感官的品質又跟肝醬的濕度與抗壓性有關。那麼，在應用上澱粉添加多少最好呢？如果用百分之十五的澱粉糊，大約可以取代三分之二的脂質而不會影響到肝醬的整體品質，再多的話肝醬就會變得太稀。

這個研究證明了三件事：第一，肝醬在口中的融化度是最重要的品質指標。第二，肝醬帶來的油脂感跟它實際油脂含量無關。第三，吃在口中的香味跟質地有很大的關係。最後這件事情也曾在一九九〇年時被

艾提耶馮等人證實。他們在第戎國立農業研究所，發現增加果膠強化草莓果醬的質地時，香味也隨著降低。



香味強度跟質地有關。

脂肪的禮讚

不管脂肪對人來講過多還是過少，在烹飪上少不了它

脂肪是過街老鼠，它要為血管阻塞負責，它要為我們的肥胖負責。因此，我們甚至希望它從鍋中消失。然而，油脂卻是廚師不可或缺的伴侶，為何？讓我們來看看。

首先在炸物中，烹飪溫度可高達攝氏兩百度，因而造就了薯條或炸麵團酥脆的外殼。水是不可能在這種高溫下還不沸騰，所以薯條表面會馬上乾掉，而內部的水分還沒有時間滲透出來，酥脆外殼就這樣形成了。那我們可不可以不用油炸，而直接把生薯條送進強力烤箱裡烤？這樣結果會不一樣。在法國南特跟英國布里斯托的化學家們指出，油脂會參與重要的梅納反應。這個反應是發生於糖跟胺基酸之間，在有油或沒油的情況下反應產物會不一樣。所以，在薯條表面那金黃色美味的外殼，一定要有油才可以形成。同理，在烤鵪鶉以前我們會塗油。

既然講到烤肉就提一下，用水性汁液淋烤肉多到滴到烤盤上，這樣是錯的。因為烤肉的原理就是把外皮上的水分蒸乾才會酥脆，所以淋上水性的汁液會讓烤肉外殼變軟，這是背道而馳的做法。這裡再一次證明，油脂很重要。比較理想的做法是用一個可以收集汁液的烤盤，這樣可以回收滴下來的油脂，同時去除掉水分。

從烤肉到乳劑

不論是用油還是奶油，油脂在製作乳劑上面也是不可或缺的。不管是做美乃滋、貝恩式紅蔥醬、荷蘭蛋黃醬、白奶油醬汁或是其他許多用奶油或液狀鮮奶油做底的醬料，都要油。這種乳劑幾乎只含油脂，油脂以小油滴的形式分布在水中。而因為小油滴很多很擠，使得彼此之間幾乎沒有空間移動，因此這種乳劑的流動性才會這麼低。

那到底可不可以在醬料中增加水的比例，降低油的比例？我們可以

用一隻電動攪拌器來取代叉子，這樣可以把小油滴打得更細小，也因此更多，但油總量不變。我們也可以耍一些小手段，比如加入增稠劑或是明膠，不過這樣做出來的醬料流動性比不上添加「懸浮液」的醬料。懸浮液者，像是糊化的澱粉，或是較濃稠的液體像是在水中加入水膠體。一個水膠體分子會把數個水分子包在中間，因而讓溶液變稠。

此外，藉由一些觀察，也許我們也可以把油脂的壞處變成好處。舉例來說，為什麼把奶油放在冰箱裡面一陣子之後它會變臭？那是因為冰箱中許多氣味分子是油溶性的，所以奶油會吸臭。香水業者深知這一點，因此他們會利用油脂的溶解性去萃取花香中最細微的香味。他們會把花兒靜置在中性油脂上面數小時，然後把花丟掉，接著把油脂溶解以便回收溶在其中的花香分子。這個過程就稱為萃香法。而冰箱中的奶油就跟萃香法中間用的油脂一樣，其他像巧克力（由奶油跟可可脂做成）跟液狀鮮奶油也都有類似的效果。

分離香味

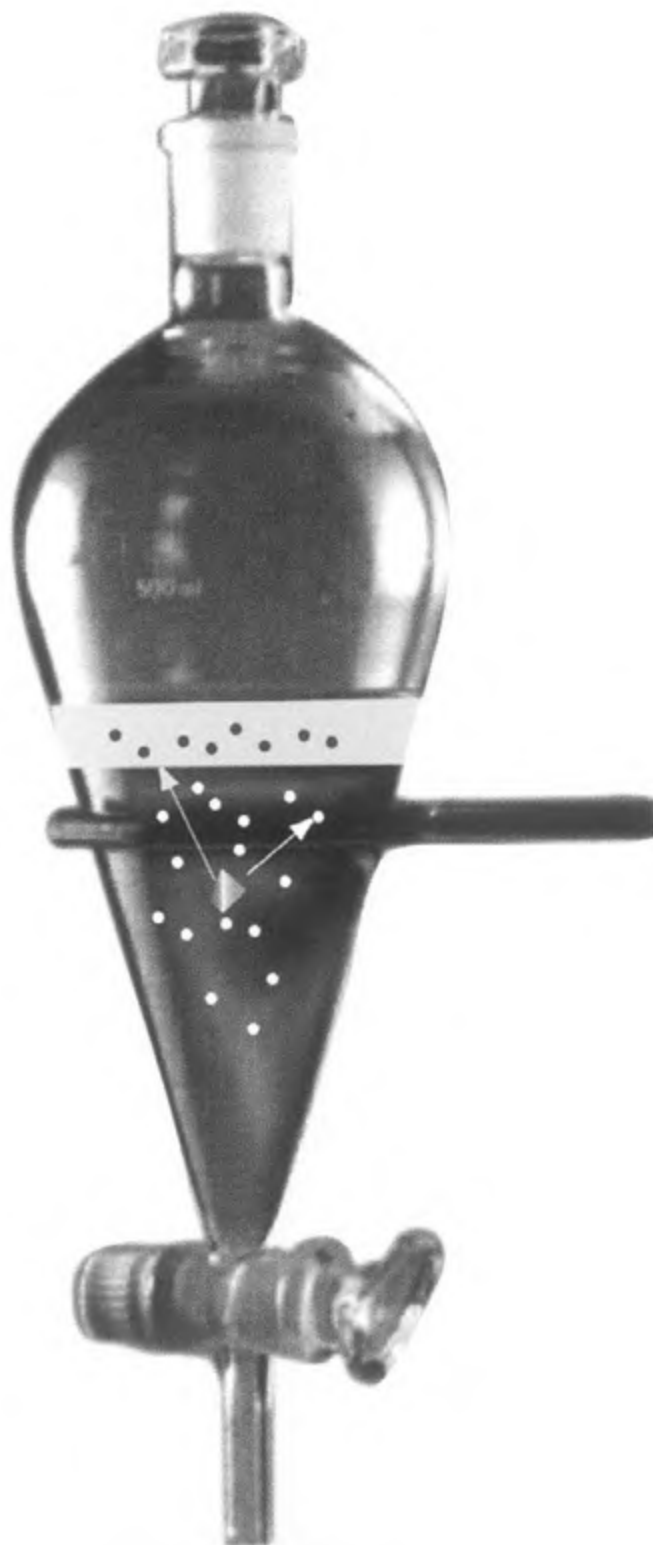
油脂的這種特性可以更系統化的被用在烹飪上。比如說我們可以把香料包在乳酪上，這樣香味會慢慢溶進乳酪裡。我們也可以仿照那著名的食譜：鼠尾草奶油，在義大利這常被用來加在麵裡面。做法是在奶油中煮鼠尾草，因為加熱會讓鼠尾草細胞破掉，這樣就會把香味分子釋放出來溶在熔化的奶油裡。

不過並不是所有的香味分子都是油溶性的，有沒有其他辦法可以利用香味分子更透徹呢？我建議你們利用分液漏斗的原理，化學家常用這工具來分離混合物。我們在分液漏斗裡面放入水跟油，然後放入有香味的食物，像是牛肝蕈塊。接著用力搖晃分液漏斗，這樣油溶性的香味分子就會跑出來溶在油中，水溶性的則會溶在水中。

如此這般，我們就把兩種味道分離開來了，因為現在不同的香味分子溶在不同的溶劑中。如果我們沒有分液漏斗，其實也可以用一個可以密封的大碗來代替，然後跟前面一樣加入水跟油然後搖晃。等到香味分

子萃取出來之後，我們慢慢的把上層的油倒入另外一個容器中，把水層留在大碗裡。

這些香味分子可以怎麼用？你可以用蛋白代替水來萃取牛肝蕈香味，接著在裡面加入帶有香味的油然後打勻。帶有蛋白裡的蛋白質這時候就跟界面活性劑一樣，而你就有了一碗有香味的美乃滋。



在一個分液漏斗裡面，香味分子會分離在兩種不互溶的液體中。

美乃滋

把油溶在水中的藝術

美乃滋是一種不凡的醬料：它開始於兩個根本不互溶的水與油，但廚師們卻可以用神聖的蛋黃將兩者融合在一起。其實，我們還可以只保持美乃滋的精髓，然後用不同東西調出數種變形美乃滋，來增加廚房裡的多樣性。

當把油加入醋與蛋黃的混合物裡時會怎麼樣？在肉眼之下這碗混合物似乎很均勻，不過用顯微鏡看卻可以發現油跟水其實一點也不親，它們是許多密密麻麻的小油滴分布在少量的水中；水分，由醋、蛋黃跟芥末醬提供（其實芥末醬也是醋調出來的）。為什麼油滴不會浮在水面而會散布在水中？這是因為蛋黃裡面有所謂的界面活性分子，其中一端是水溶性而另一端是油溶性。它們會把油滴包覆在裡面，讓油溶性的一端面向油而水溶性端面向水。

界面活性分子會把油包住讓其不互相結合，但顯微鏡看不到它們。顯微鏡也看不到鹽跟醋這兩種一樣重要的分子。正是因為它們，所以小油滴彼此排斥，不會靠太近而結合，因此有穩定美乃滋的效果。

一顆蛋黃可以做出多少美乃滋？要知道該多加多少油，首先要考慮到兩個限制：第一個是有沒有足夠的水讓油滴分散？第二個是界面活性分子夠不夠？根據很簡單的計算可以發現，如果有足夠的水讓油滴分散，僅僅一顆蛋黃的界面活性分子就足以做出數公升的美乃滋。

既然如此，那為什麼有時候我們用一顆蛋黃來做不過一碗量的美乃滋，卻還是會失敗？這往往是因為水量不足。如果水量不足，讓小油滴彼此因為太擁擠而完全無法移動，美乃滋就會變成一坨硬塊。這時，要搶救美乃滋，我們要先加足夠的水之後再加油。記住，準備家庭號的美乃滋，一顆蛋黃就夠包住所有的醬料。

沒有蛋黃的美乃滋

我們還可以玩稍微有挑戰性的東西：做沒有蛋黃的美乃滋。其實只要了解美乃滋不過就是一種乳劑，也就是說結構上是小油滴均勻分布在水中，我們就可以改變其成分。我們可以先從改變界面活性分子開始著手，這類分子，在食物中隨處可見。比如蛋白為何可以被打發起來？因為蛋白本身也是含界面活性分子的溶液，而這些分子會把空氣包在裡面。

所以，可以在蛋白裡面加入幾滴醋、一點鹽、一點胡椒，接著一邊打一邊加油，剛開始慢慢加，之後可以加快一點。剛開始蛋白會被打成慕絲，接著當油融入後慕絲會塌陷，醬料就變成跟美乃滋一模一樣。當倒入足夠的油之後，這就是一碗沒有蛋黃的美乃滋了。非常離經叛道，不是嗎？

沒有蛋的美乃滋

如果再細究下去，仔細想想，其實做美乃滋沒有說一定要用雞蛋裡面的界面活性分子。為何不試試明膠呢？這種東西也有界面活性，廚師都很清楚，也會用它來準備許多熱的醬料。

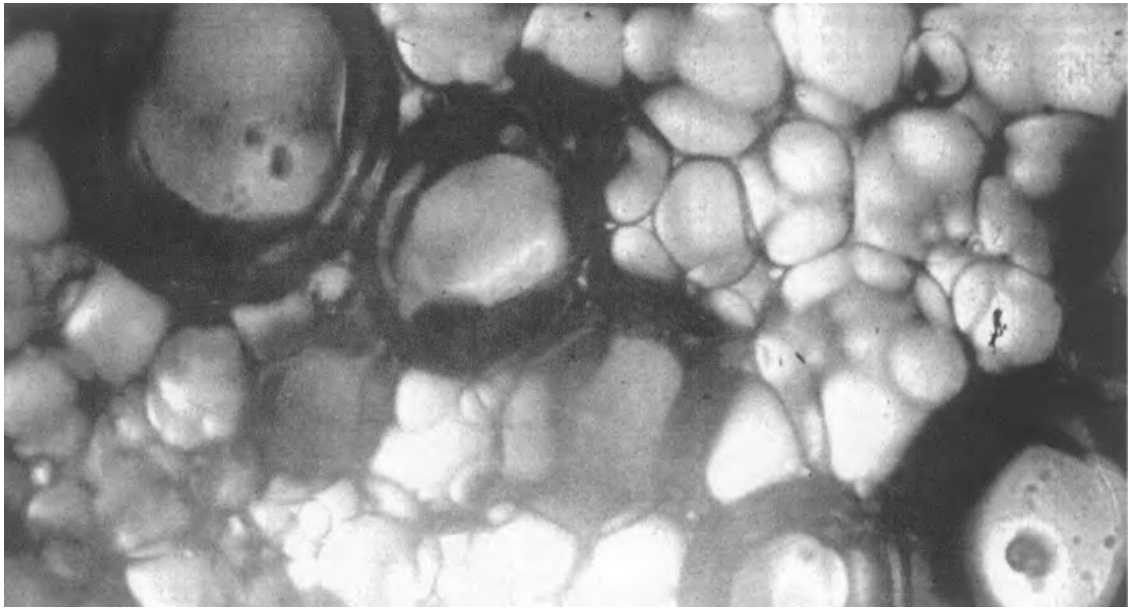
我們可以溶幾片明膠，加入幾滴醋、一點鹽（如果真的不夠鹹）、一點胡椒，然後一邊倒入油一邊打。又一次，當油完全融入其中之後就可以變成一碗美乃滋，而在顯微鏡下可以清楚的看到乳劑結構。

不過，這東西可不可以叫做美乃滋呢？要正名，先要知道美乃滋到底是什麼。如果只是常溫中油滴溶在水裡面的乳劑，那上述三種醬料都是美乃滋。而如果生蛋黃的味道是重要的關鍵，那只有傳統乳劑才是美乃滋。

然而很有趣的是，就算是傳統美乃滋食譜的變異也非常大。十九世紀拿破崙的廚師卡漢姆，就曾經做過不含芥末的美乃滋，他只用木匙加

入愛克斯橄欖油，而當時其他廚師必定會用芥末。無論如何，兩者味道都極為自然。

也許慢慢地終有一日，大家會承認沒有蛋黃的美乃滋是美乃滋，而至少這讓廚師不再綁手綁腳。如果我們用薄荷凍去做，就可以做出薄荷美乃滋，可以搭配英式烤小羊腿。又或者，我們可以在明膠溶液（用粉或是片來做）中加入不同香料去做，就可以做出各種不同口味的美乃滋：用龍蝦口味明膠、帶鼠尾草香明膠、百里香甚至是柳橙汁。



沒有蛋黃的美乃滋。我們可以在蛋白中加入醋、鹽跟胡椒來打成乳劑，也就是小油滴分散在水中的結構。圖中可以看到美乃滋中夾雜了一些氣泡（大顆粒及黑色邊緣的圓形）。

蒜香蛋黃醬

用任何一種蔬菜、肉或是魚都可以做成的美味醬料

我們先來講正宗的蒜香醬，是普羅旺斯地區會做的那種。先把大蒜搗碎再加入橄欖油，不必加蛋黃，它就會變成一碗乳劑，就是那種小油滴分散在水中的結構。



為什麼這醬汁的結構會比較穩定，而如果只有水跟油卻無法混合？因為大蒜裡有所謂的界面活性分子，可以把油滴包住，進而促進油水混合。蒜香醬算得上是美乃滋的親戚，只不過後者是用蛋黃中的蛋白質跟卵磷脂作為界面活性劑。

現在先忘記傳統醬汁，讓我們發明一些變化。紅蔥跟大蒜都是同一屬的植物（都是蔥屬），那紅蔥有沒有類似的界面活性分子，讓我們可以做成「紅蔥醬」呢？或者洋蔥？可以做成洋蔥醬嗎？實驗的結果很明顯，只要把紅蔥或洋蔥跟油拌在一起搗碎，就可以做成新的醬汁。如果不太成功，只需要加入一點水，可以讓乳劑比較容易成功。同理，在某些蒜香醬的食譜裡，作者會推薦放一些泡過牛奶的麵包。至於這兩種新發明的乳劑醬汁可以怎麼利用，就留給廚師們去發揮他們的想像力了。

那麼其他百合科的植物會不會也都有類似的界面活性分子呢（過去蔥屬於百合科蔥屬植物，不過現今已獨立為蔥科蔥屬）？這尚未知，不過至少廚師們知道芥菜子處理得當，也可以做成醬料。所以他們會把芥子跟醋乳化，調成芥末。因為芥子裡面也有界面活性分子，可以穩定乳劑。那其他植物呢？

善哉細胞膜

所有細胞，不管是動物還是植物，都有一層細胞膜圍住。細胞膜的組成分子是磷脂質，它有一個脂質尾巴不溶於水，以及一個溶於水的頭部。在活細胞中，這些分子會聚集形成一個「雙層膜」的構造，因為細胞內外都是水分，所以不溶於水（油溶性）的脂質尾巴會彼此聚集埋在膜中心，而把親水性的頭部面向外面跟水接觸。細胞帶有大量的磷脂質，它們又是很好的界面活性分子，那可以用來做成乳劑嗎？

我們可以試著把筍瓜搗碎，然後慢慢把油滴進去，這樣不久之後可以做出一碗醬汁，姑且稱為筍瓜醬。接著，從植物界跨越到動物界，因為動物細胞一樣有細胞膜。試試看把一小塊牛肉邊搗碎邊滴入油，這樣也可以做出「牛肉醬汁」。由此，我們可以下結論：不論任何動物或植物，只要能把它們內含的磷脂質釋放出來（比如說用搗碎的方法），然後把油拌進去（如果原來的料本身含的油太少），就可以做出乳劑醬汁。

別忘了，磷脂質並非動物或植物所有的唯一一種界面活性分子。有些蛋白質也有很好的乳化能力。最明顯的證據就是，把蛋白跟油混在一起攪拌，也可以形成很穩定的乳劑；不過缺點是它幾乎沒有味道，因為蛋白跟油都沒味道。相反的也許可用滋味比較豐富的肉、魚肉跟其他蔬菜來做出變化多端的醬汁。

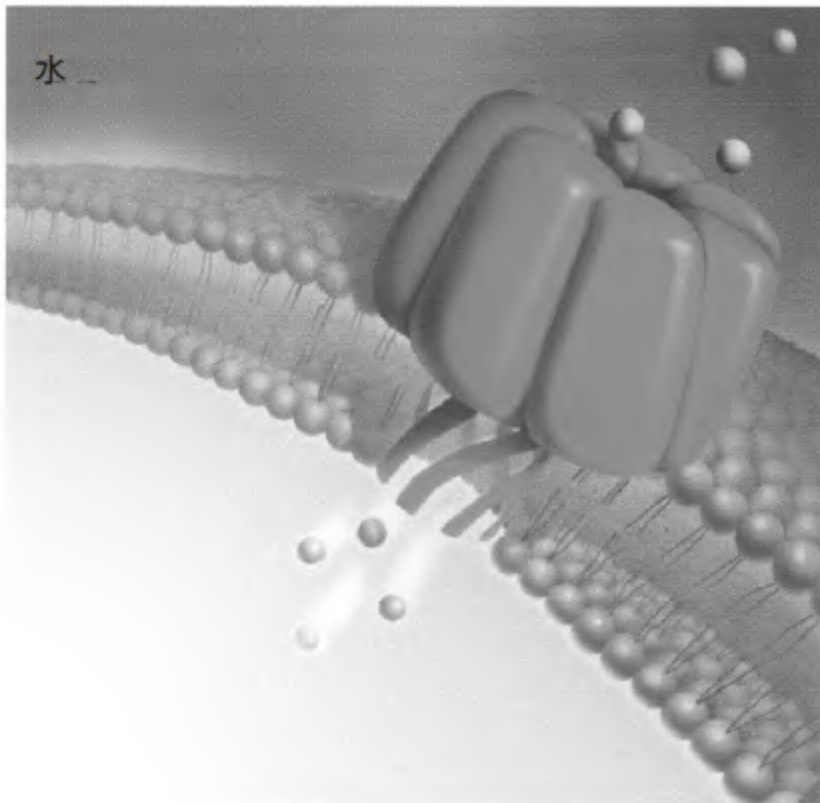
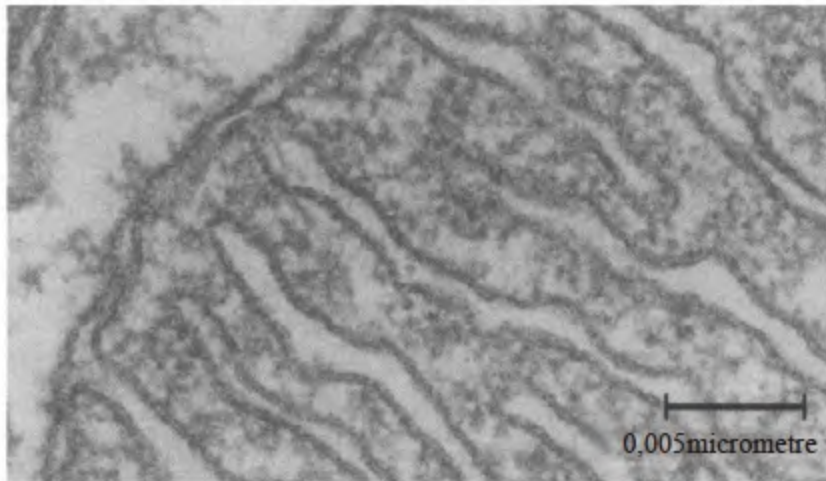
新慕絲

現在，我們從醬汁換到另一個類似的系統：慕絲，結構上這是空氣均勻分布在液體或是固體裡面。在後面我們會談到新的巧克力慕絲：純巧克力慕絲，是由攪拌巧克力乳劑所做出來的。我們應該試著讓這製作方法普及化。

這裡要談的，是利用乳酪這種富含脂肪跟界面活性分子的食物來做慕絲。乳酪中的酪蛋白是一種界面活性分子，原本在牛奶中可幫助油滴

均勻分布在牛奶裡。要做乳酪慕絲，首先要做出乳酪的乳劑。我們先把乳酪（比如說用夏維諾羊乳酪）跟水放在一隻鍋子中加熱，慢慢攪拌一陣子之後會變成一鍋濃稠的汁液，放在顯微鏡下面觀察會看到許多小油滴散布在水中的結構。如果要讓味道強烈一點，可以把醋煮沸濃縮之後用醋代替水。因為這樣的結構非常類似貝恩式紅蔥醬，所以我們把醬汁命名為「貝恩式乳酪醬」。

接下來要把它做成慕絲，可以用跟製作液狀鮮奶油（是一種乳脂分散在水中）類似的方法，先讓乳酪冷卻再打發它。我們把鍋子放到冰箱裡十幾分鐘，然後再拿出來像打蛋白一樣用力打，不久之後就會做出一鍋「夏維諾羊乳酪鮮奶油」。我們也用洛克福藍紋乳酪試過，結果很成功的做出了「洛克福乳酪鮮奶油」。



動物跟植物細胞都有細胞膜，它是由界面活性分子所組成的。

上圖是一個負責細胞呼吸的胞器：粒線體的電子顯微鏡照片。胞器也是由雙層膜組成。

下圖所示為蛋白質嵌在細胞膜上，不溶水的部分會被埋在兩層膜中間。

大小的尺度

分散的系統可以讓我們由很少的原料做出大東西

做蛋奶凍的廚師，不管是為了節省成本或是為了健康的原因，會想試著去節省雞蛋的用量，或是相反的多加一點水。那它們可以改變到什麼程度？

為了回答這個問題，讓我們先看看兩個非常類似的食物：一顆蛋黃可以做多少美乃滋？那一份蛋白又可以做多少蛋白糖霜？

大部分食譜都會告訴你，一顆蛋黃只可以做一大碗美乃滋，不過事實上科學家知道一顆蛋黃足以做好幾公升的美乃滋。這怎麼可能？其實這是因為美乃滋的成分是許多小油滴分散在水中，而每個小油滴都被一種「界面活性分子」所包覆住，這種分子一端溶於水，另一端則溶於油。一顆蛋黃裡面所含的界面活性分子攤開來排列成一層，可以覆蓋住一整座足球場大的表面積呢，而當它們包覆住小油滴時，這些小油滴直徑只有數微米，或者說千分之幾公釐，因此足夠做出數升的美乃滋。

既然有這麼多分子，那為何有時候加多了一些油，美乃滋卻做壞掉？這是因為這樣的美乃滋裡面水不夠！所以小油滴根本無法散開。要證明很簡單，不過卻很浪費油。你可以在做的時候試著只用一滴蛋黃（帶有界面活性分子）溶在一湯匙的水中（或是醋中，如果你想尝尝味道），然後去做一大盆美乃滋。

一立方公尺的慕絲

現在來看看打發的蛋白。這種東西的結構很像美乃滋，只不過在這裡，空氣（非常難溶於水）取代了小油滴（完全不溶於水）；而蛋白中的界面活性分子是蛋白質，只占蛋白的百分之十。蛋白和空氣打出來的東西不叫乳劑，而叫做慕絲。現在問題來了，一份蛋白可以打出多少慕絲？

科學上的計算一樣是很簡單，我們會先去算算看一份蛋白裡有多少蛋白質分子，接著再去計算它們能覆蓋住多大的表面積，然後再看看這樣可以包覆住多少小氣泡。把小氣泡的數目乘以體積，就可以知道一份蛋白所能做出的最大體積是多少。根據我們預設的氣泡體積以及分子覆蓋的方式，得到的答案是好幾升，或者說好幾立方公尺。

那為什麼平常打出來的慕絲不過幾十立方公分？既然缺少的不可能是空氣，那就一定是水不夠的問題了。我們可以用實驗來證明：在蛋白裡面加一些水，然後持續的打發它，最終可以做出好幾升打發的蛋白。不過比起傳統的蛋白慕絲，這個大慕絲比較不穩定。慕絲的穩定性，取決於水層的黏性以及氣泡的體積，前者會因為加水而稀釋，而後者則決定氣泡間的毛細管現象。

極限蛋奶凍

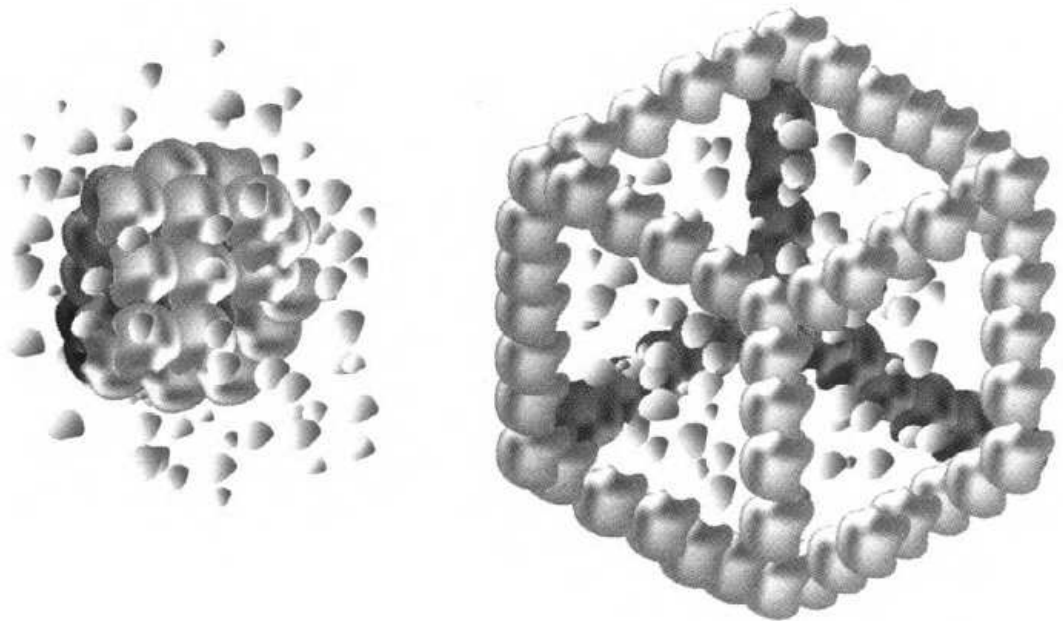
乳劑跟慕絲都是「物質分散」的系統。那其他類似的「物質分散」系統會不會產生相同的現象？關於這個問題可以做個法式鹹派來看看。鹹派做法是先把麵皮鋪在模子上，然後把火腿跟蛋奶混合物倒進去再拿去烤。不過可能是因為蛋比牛奶貴，所以廚師有時候會加太多牛奶，以至於烤出來的時候派還是液體狀。問題就在這裡，如果只用一顆雞蛋，我們最多可以加多少水（應該是說牛奶，這裡用水來代表液體）才能做出恰好的蛋奶凍？

好，假設會凝結變性的蛋白質都是球狀，那麼當它們變性時會有幾種可能的變化：第一種是，所有的蛋白質都凝聚在一起成為緊密的結構，而中心一點水分子也進不去；第二種是蛋白質一個接一個排列起來，形成一個正立方體的十二個邊，而中間含最大體積的水分；或者是第三種可能則是排列起來形成網狀，為了簡單起見，假設這是無數正方體構成的格子網絡。在第一個例子裡，這些聚在一起的蛋白質中心連一滴水也容不下，在第二個例子裡由數學可以算出，這個大立方體中間的空間將可以包入無數立方公尺的水，而這實在是太不可能了。所以最後

根據原子力顯微鏡觀察煎蛋之後的結果，我們接受折衷的假設，就是第三種假設。科學計算的結果顯示，一顆雞蛋最多可以跟一公升的水混合在一起，做出蛋奶凍（科學家稱之為膠體）。

為了印證這數學計算，我們先把蛋跟水體積一比一混合在一起拿去烤，確定可以做出蛋奶凍。接著再增加一倍的水體積拿去烤、兩倍的水體積拿去烤……如此重複，最後我們發現，用一顆蛋最多可以加入0.7公升的水，做出仍是膠狀的蛋奶凍。這個結果跟計算出來的尺度非常接近。

還有其他的主意嗎？事實上類似系統的食物非常之多，我們現在嘗試了液體分散在液體中、氣體分散在液體中，以及固體分散在液體中，不過還有更多種組合值得一試。



在烹飪時，兩種蛋白質（較大的圓球）極端的排列方式，可以把水分子（較小的圓球）包含在裡面。

皮蛋

用酸跟鹼來做實驗

為了保存雞蛋，以前我們會把它們放在沙裡、木屑裡甚至是蠟裡面。不過東方某些民族卻巧妙地利用了「老化」這反應而不是對抗它，而做出一些菜，像是皮蛋，又稱為「百年蛋」、「千年蛋」，這名字也象徵著古老與長壽。如果從化學的觀點來看，這些食譜的可信度有多少？且讓我們做一些實驗來看看酸跟鹼對蛋會產生什麼不可思議的影響。

中國人保存蛋的起源已不可考。剛開始的時候似乎是把蛋浸在產地的樹汁中，接著有人發現把蛋放在灰燼與泥土的混合物裡，保存在陰暗通風處，也可以得到類似的效果，不過時間縮短不少，只要十到十二個禮拜就可以。

為什麼有人會想到這些方法，還有別種做法嗎？其實，中國人製作皮蛋的方法，隨著地區不同而各異。有些地區會直接把鴨蛋放入石膏與許多材料的混合物中，這些材料包括了石灰、硝酸鉀、碳酸氫鈉、泥漿、香料草藥、茶葉、稻草等物。我們讓鴨蛋在裡面靜置至少三個月，這樣味道會慢慢進去。

令人驚訝的是，這其中有許多成分是法國人也會使用的，即使是近代文明如現代法國人，也會用石灰跟灰燼來烹飪，這些東西都含氫氧化鉀。因此，保存蛋的方法可以分成兩種，一種是只把蛋存放起來，另一種是讓蛋與鹼性物質接觸。這些鹼性物質到底會對雞蛋造成什麼影響？如果是酸又會怎樣？畢竟，也是有法國食譜建議把蛋泡在醋裡。

泡在醋裡的蛋

我們可以把蛋連著蛋殼一起放入一個裝滿醋的透明容器裡做實驗看看。當雞蛋被放到白酒醋裡時，會有氣泡冒出來。這是因為醋裡面的醋

酸與蛋殼上的碳酸鈣反應產生的嗎？我們可以把一根點亮的蠟燭也放入容器中（當然是在液面之上），最後蠟燭會熄滅。這證明了酸會產生二氧化碳，而二氧化碳比空氣重，慢慢積聚在容器裡，把空氣擠出去。我們也可以用比較專業的辦法來證明，就是把氣體收集起來導入一杯石灰水裡，這樣水會變得混濁。

好，繼續泡雞蛋的實驗。約莫過了半天的時間之後，一個紅色的薄層會脫離蛋殼。這是為什麼法國雞蛋蛋殼是淡紅褐的原因：碳酸鈣是白色，跟這層紅色混在蛋殼上面，看起來就是淡紅色。

繼續觀察一到兩天，讓氣泡慢慢釋放，最後發現蛋似乎變得比較大了。這是錯覺嗎？非也，接下來的實驗可以證明膨脹是真的，蛋的體積有時甚至可以脹脹到原本的兩倍（見附圖）。此時雞蛋的蛋殼已經完全溶掉了，但是雞蛋卻沒有散開在醋裡。這是因為醋酸讓蛋白變性凝結。多用幾顆雞蛋浸泡長短不同的時間來實驗看看，你會發現剛開始變性只發生在最外層蛋白，接著慢慢擴散到裡面，最後甚至到達蛋黃內部。不過其實這現象並不稀奇，平常把雞蛋打在碗裡，倒入醋後也常會看到類似的反應。蛋白外層會凝結主要是因為醋酸中的氫離子，會阻止蛋白質酸性基的解離，同時引起鹼性基解離，結果鹼性基都變成帶正電（如果是鹼性溶液則會引起完全不同的反應）。正電的排斥力讓蛋白質彼此互斥，因此破壞蛋白質原本的結構，胺基酸長鏈就鬆開了，這樣蛋白質裡的硫原子彼此隨機用雙硫鍵結合在一起形成網絡，把水分子困在其中，這整個反應就是蛋白質變性凝結。

滲透壓引起膨脹

蛋殼消失跟蛋白凝結的部分都還好解釋，那雞蛋到底為什麼會膨脹？是否是由滲透壓不同所引起的呢？一般分子都傾向由高濃度往低濃度擴散，水分子也不例外。在醋裡面，如果說水的濃度是百分之九十五（也就是醋的濃度是百分之五），那在蛋白裡面，水的濃度只有百分之九十。除此之外，醋酸也會往蛋白裡面擴散（你可以把雞蛋泡在醋裡面

數周，再測量一下蛋白的酸鹼值就可得證）造成蛋白質變性，剩下的蛋白質因為分子體積太大，無法穿透外層已經凝結的蛋白質跑到水裡，所以為了要達到平衡水分子必須跑到蛋白裡面去。

要證明這個假設，我們也可以把雞蛋泡在濃度超過百分之十的酸性溶液中。這時候你會發現蛋殼一樣會溶解，但是雞蛋最後的體積會比上一個實驗要小，這是因為滲透壓變小了。

在比較濃的鹽酸溶液裡面，雞蛋最後會變成什麼樣子？其實結果會跟泡在醋裡面的雞蛋一樣，只不過這次凝結的雞蛋體積會小一些，然後蛋白質變性比較均勻。

漂浮的蛋黃

我請你們也做做這些實驗，如果你夠耐心觀察，還會看到更多令人驚訝的事情。比如說，當蛋殼溶解了，而蛋白還是半透明時，可以看到蛋黃浮在蛋白中間。

那泡在鹼性溶液中的雞蛋又會怎麼樣？泡在苛性鈉（氫氧化鈉）中的雞蛋會先開始凝結，接著化學反應會產生令人做嘔的含硫氣體，然後雞蛋又會變回澄清狀。因為苛性鈉會先造成蛋白質沉澱，然後把它們溶解。如果是放在灰燼或是石灰之類，比較偏鹼性的物質中，我們可以慢慢等……大約等一百年吧。



左：新鮮雞蛋；右：在醋中浸泡數日的雞蛋。

燻鮭魚

電場跟糖可以加速燻鮭魚的速度

燻鮭魚是法國特產中的奢華美食。法國食品業者向國外買進鮭魚，加工之後再把這佳餚賣到全世界。法國海洋研究所的一個團隊曾與國際農業研究中心，改良了現有的燻鮭魚製程，不但可以加速處理時間，也不會減損品質。這個改良的製程有兩個原則，一個是利用滲透壓原理，一個是利用電場來煙燻。

煙燻跟乾燥、鹽漬等處理方法一樣，原本都是保存食物的手段之一。這三種處理方法都是為了讓食物脫水，以便殺死存在食物中的微生物，同時也避免新的病原菌滋生。不過，傳統製程的缺點是，它們常常會讓食物過鹹或煙燻味過重。

當冰箱等冷藏系統被發明之後，煙燻法就被改良然後保存下來，因為它可以讓食物（比如說魚肉）產生我們喜歡的美味。現在的燻魚比起以前，要來得較不鹹也少煙燻味，不過它們必須存放在攝氏零度到四度之間。

目前燻鮭魚的辦法，要先將魚肉脫水，方法不外是將鮭魚浸在鹽水中、在魚肉表面灑鹽，或者直接將鹽水打入魚肉中。第一種方法，必須浸泡四個小時，卻只能脫出百分之二的水分。除此之外，處理過程中要非常小心衛生問題，也因此整套設備會變得十分昂貴。事實上，最有效的脫水法還是乾燥法，也就是將食物置於攝氏二十二度、濕度百分之六十五的環境中三到四小時。不過這有同樣的衛生問題，因為這樣的溫度下最適合病原菌滋生，所以控管一樣要非常小心。

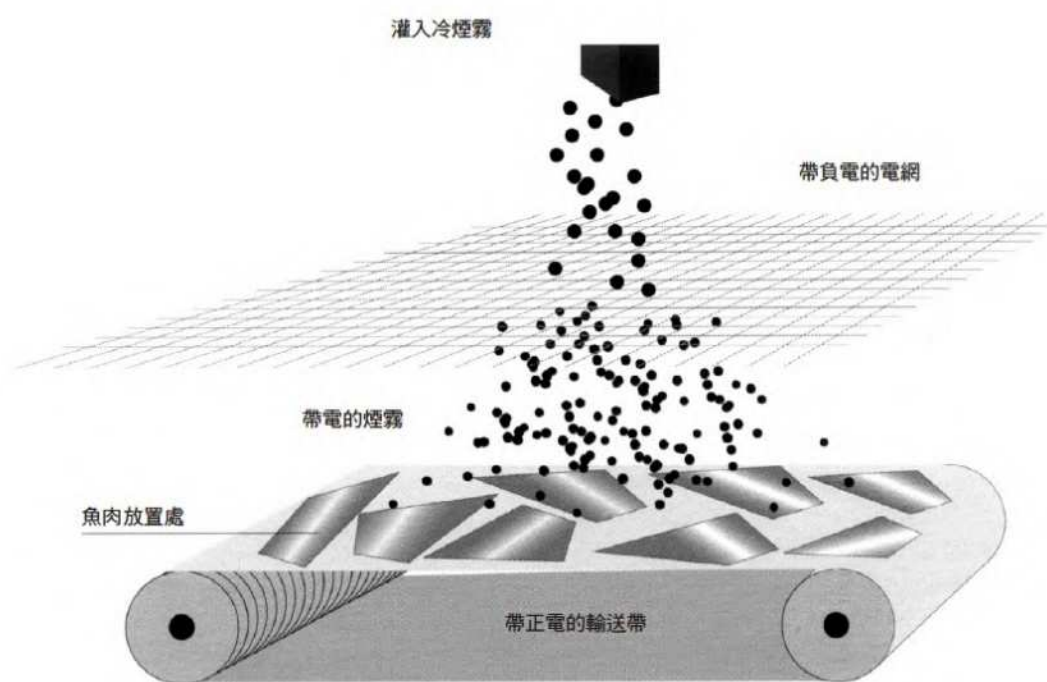
而由柯立忍、諾卡荷、娃科與瓦雷等人所研究並獲得專利的新製程，則可以把鹽漬與乾燥製程合一，都在攝氏二度下進行。根據他們的製程，需要把魚肉放入濃鹽水與濃糖水中，大約是百分之十到三十的濃糖水與百分之七十到九十的濃鹽水。在這種溶液裡，少許的鹽會透過滲

透壓進入魚肉中，而水分則被脫出。事實上，鹽跟糖這兩種不同分子會均勻分布在溶液中各處而共同作用：除了前述鹽會進入肉中並脫水以外，糖分子因為體積太大，無法進入細胞中，但是一樣會造成脫水。總計起來，魚肉必須被浸泡在每升三百五十克的鹽溶液與每升一千九百克的糖溶液中，然後會被脫出大約百分之十的水分。除此之外，糖還會跟魚肉表面的胺基酸發生「梅納反應」，產生香味。其實在傳統食譜中也會建議，用糖去揉搓魚肉表面直到魚肉呈現棕褐色。而柯立忍他們的製程則簡單多了，因為化學反應是在溶液中發生。

無火煙燻

鹽漬脫水過後，經過短暫的沖洗與瀝乾，魚肉就進入煙燻程序。魚肉會被放在一條金屬輸送帶上，送入煙燻室裡，而在輸送帶的上方有一層電網，這個電網帶有數萬伏特的電以產生電場。柯立忍他們把木屑用熱解法加熱產生煙霧（這是一種高溫乾熱法），再把煙冷卻到攝氏四十度左右後，這時一些多環碳氫化合物（含有致癌物）會被凝結下來，所以之後不會跟肉品接觸。接著煙由煙燻室上方注入，它們會先通過電網而被游離變成帶電離子，之後因為電網與金屬輸送帶之間電位差的關係，煙霧會奔向輸送帶，也同時黏在魚肉上。這整個煙燻過程需時約十五分鐘，比傳統煙燻法的三小時半要省時許多，也因此不會讓魚肉過度乾燥。

這種電解煙燻可以輕易被應用在食品工業上，它一次可以處理約四百公斤左右的鮭魚肉。此外，新的鹽漬脫水法與室溫電離煙燻法也可以應用於其他肉類。不過最關鍵的問題還是，這樣子製造出來的煙燻鮭魚品質如何？剛開始時，它們處理過的魚肉顏色比傳統方法要深，不過在改良之後先把煙霧過濾一次再煙燻，出來的魚肉就沒有差異了。而味道呢，跟傳統方法處理過的魚肉也幾乎一樣。



電解煙燻法。

食譜與規則

發明新食譜

今日的烹飪法跟中世紀相比差異實在不大。在這個太空船都登陸火星的時代，我們卻仍自滿於「重複」那些老舊的食譜。我們應該自問，對於烹飪，理性思考是不是可以帶來一些創新？



有許多烹飪手法是比較「單純」的，也就是說它們只應用了一種物理現象。舉例來說，許多最古老的烹飪法都屬於這類，像是把熱用「傳導」的方式送入食物中，所不同的只是傳導的媒介而已。

第一種單純烹飪法就是那些把食物直接與「熱固體」接觸的方法。比如說用燒炭加熱石板、用火加熱鑄鐵鍋之類，或者在鹽結晶上面加熱（鹽焗），或把食物放在模子裡，再用火加熱或者在烤箱中加熱（煮液狀鮮奶油或是派之類的方法）。

除此之外，熱也可以藉由加熱液體傳導進入食物裡，比如說在滾水裡面加熱食物，可以用來做「高湯」；如果是在水中（或在醬汁中）用文火慢燉，就可以得到許多燉物，像是燉肉、白汁燉肉、雜燴魚、菜肉燉鍋等等菜餚都屬於此類。

加熱也可以透過空氣傳導到食物上。如果是超過攝氏一百度的乾熱空氣，就像是用烤箱烤；如果是乾熱空氣，但低於攝氏一百度，這就像是脫水與煙燻法。如果是用濕熱空氣，這就是烘焙、蒸，或是紙包烤、酥皮包烤等烹飪法。

傳統法式烹飪，也有不經接觸，利用紅外線把熱傳導到食物上的方

法，比如說古法烤肉（真正的烤肉法，是把烤肉放在火爐前面而非上面）。我們也可以用射線，或說簡單一點，用高能的可見光束來照射食物，也可以達到類似的效果。

別忘了科學家沒多久前才發明了用微波烹飪食物，用這種方法，熱能是直接送到食物裡面。最後，世界上也有些地方會用酸來烹飪，比如像大溪地檸檬酸煮魚。

雙重烹飪

傳統烹飪法有時候會同時或者連續使用兩種以上的「單純烹飪法」。比如說，燒烤其實是同時用射線與熱流作為媒介，而傳統文火燉法會把肉先烤到表面金黃褐變，之後再放入燉鍋裡面用文火燉。

那麼是不是還有更多種烹飪法可以組合呢？我們可以向大化學家門得列夫學習，他為了了解化學元素的規則，曾經製作過一張化學元素表。在表中他把化學元素照原子量大小排列，同時把化學活性類似的元素排在同一列中。而在烹飪上呢，我們也可以做一張表，這張表的行與列上，都放入順序相同的單純烹飪法。如附圖中的表，在這張表中，行代表第一種烹飪法，列代表之後的第二種烹飪法。列與行交會的數字，代表先用「行」上所顯示的烹飪法，之後再用「列」所顯示的烹飪法做出的組合。

在表中的某些數字，代表了我們已經在用的烹飪法，比如說第二十號烹飪法，先用酸處理之後再用文火煨，這是我們平常烹飪山豬肉的方法。而六十三號，先用滾水煮，再用油炸，則是某些炸薯條的食譜推薦。

未來的發明

不過還有許多號碼代表了未知的烹飪法，我們是不是可以根據它們來發明新的烹飪技術呢？根據表中規則所建議的某些例子，看起來似乎

沒有意義，好比說一號烹飪法，為什麼我們需要把食物在兩種加熱板上先後加熱呢？不過也不是所有對角線所列出來的新烹飪法都沒有意義，好比說第六十七號代表兩次油炸，就跟將炸物用兩種不同溫度油炸的方法一致。其他的則有很多待發明的烹飪法。比如說第二十七號，需要將食物先炸過，再用水煮。在這個例子裡面，油炸會讓食物表面形成乾燥堅硬的外層，同時也產生特殊的香味；但是其後的水煮卻會破壞這一層美味的外殼。不過呢，這卻也有可能可以讓香味分子散布出來，因而讓食物的味道跟傳統烹煮不同。

上面所舉的都只是例子而已。其他還有許多種可能性等待發掘，我們期待有廚師能從中獲得靈感，進而開展烹飪的新路。

第一次烹飪											
第一次烹飪	蒸回鍋	文火慢燉	沸水煮	中溫空氣	高溫空氣	濕空氣	油炸	紅外線	微波	酸處理	
	熱固體	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	文火慢燉	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	沸水煮	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	中溫空氣	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	高溫空氣	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	濕空氣	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	油炸	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	紅外線	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	微波	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	酸處理	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

雙重烹飪的組合有很多種。每一個號碼代表了一種可能性。比如說第二十五號代表了先用熱空氣加熱，再用水煮。

純牛肉

在肉中添加一些成分以重組牛肉

為什麼今天法國人吃牛肉吃得比十年前要少？一部分原因是牛肉的品質跟其高價位不完全成比例。我們可以快煎的部分，像普通牛排，通常都很貴，因為它只含了百分之二十到三十左右的肌肉而已。其他需要煮很久的部分，該怎麼辦呢？

食品製造業者找到了一個解決的辦法，就是把肉組合起來，像是牛絞肉，還有在法國已經上市一段時間的牛肉薄片（又叫櫻桃牛肉）。不管是絞肉、切小塊或是用較新的切薄片技術（把肉冷凍再切成極薄的薄片），都可以破壞肉中的膠原蛋白，而膠原蛋白正是造成屠體前半部大部分肌肉較硬的原因。不過，在破壞了構造之後，還要把牛肉重新組合起來。像一般肉鋪通常會把絞肉擠壓在一起，其他組合起來的肉片在烹飪的時候卻沒有太多的黏著點。

廚師都知道蛋白在煮熟之後會凝結，可以把分散的粒子沾在裡面。這是炸魚粉、水果烤蛋跟法式鹹派等食物的原理。而食品工業界則由這裡獲得靈感，找出如何把肉片黏在一起的方法。他們可以使用黏性比較高的幾種食物添加劑，像是海帶的萃取物「褐藻酸鈉」，或者是由乳製品或是其他植物的萃取物。不過添加這些東西的缺點是，廠商再也無法宣稱他們的產品是「純牛肉」。

因此，許多科學家開始研究如何利用天然牛肉裡萃取出的添加劑，特別是食品工廠處理完，在切碎之後還殘留在骨頭上的部分。在克萊蒙費朗帖依克斯的國立農業研究所裡，居里歐里與伍瓦利等人，就研究出了如何利用肌凝蛋白作為有效的接著劑至少在實驗室裡面很有效。

肌凝蛋白在橫紋肌（骨骼肌）中含量非常豐富（約占百分之二十的量），而食品業者今日已經知道如何萃取它們。整體而言，動物肌肉的蛋白質大約可分為三大類：肌原纖維蛋白、肌漿質蛋白與結締組織蛋

白。肌凝蛋白是肌原纖維蛋白中的主要成分，它們平常會結合在一起成為一條粗肌絲。當肌肉中有鈣離子與三磷酸腺苷（細胞的能量）存在的時候，這條肌絲會跟另外一條由肌動蛋白所組成的肌絲（比較細，稱為細肌絲）連結在一起，兩條肌絲的滑動才能讓肌肉收縮。

肌凝纖維凝膠

各種蛋白質會隨著其胺基酸序列的不同而有不同的特性，因此不是每種蛋白質都有凝膠性質，而肌凝蛋白的凝膠特性顯然是其中最重要的一種。居里歐里他們研究了肌凝蛋白的熱凝膠特性，這個性質對於製造熟火腿、肉醬跟香腸來說也很重要。為了能知道哪一種情況才能做出最堅固的肌凝蛋白凝膠，他們改良了萃取肌凝蛋白的方法，同時比較了不同肉類的肌凝蛋白特性。他們比較的是白肌（反應快，可以確保迅速而有爆發力的運動）與紅肌（反應較慢，在有氧的情況下運動），在屠體宰殺後不同時間內有否差異。剛開始的時候他們用兔子的紅肌與白肌，因為在兔子體內這兩種肌肉非常明顯，不會混淆在一起。

為了萃取肌凝蛋白，他們把肌肉磨碎，然後放入不同濃度的鹽水中。不同肌凝蛋白的熱凝膠特性則由一種「流變計」來測量，這種機器可以決定溶液或膠體的黏度與彈性。

熱凝膠

測量的結果顯示，非常稀的肌凝蛋白溶液就可以形成熱凝膠（濃度約百分之〇．一到〇．五即可），而隨著肌凝蛋白濃度增加，膠體的硬度也隨著增加。

純的肌凝蛋白從攝氏四十度開始形成凝膠，而隨著溫度升高硬度也變大，直到攝氏八十度。同時，愈純的肌凝蛋白凝膠硬度也愈大。此外，跟其他的膠體類似的是，肌凝蛋白凝膠硬度也跟溶液的鹽分與酸鹼度有關。白肌的肌凝蛋白可以形成比較硬的膠體，最恰當的情況是在pH5.8左右的含鹽溶液，因為這種溶液讓肌凝纖維大分子容易解離。

其後的研究證明了肉牛肌凝蛋白可用於組合肉品上。而屠體宰殺後立即取出的肌凝蛋白，可以做出最堅固的膠體；在屠體變硬之後才取出的則比較不好，因為屠體變硬代表肌凝蛋白與肌動蛋白間形成了不可逆的鍵結。焦磷酸鈉（跟三磷酸腺苷同一家族的分子）可以解離肌凝蛋白與肌動蛋白所形成的複合子，因此有助於形成最硬的凝膠。將肌凝蛋白應用在組合肉片上，可以增加肉片的黏著程度，也避免肉品流失汁液（會被凝膠困住）。



由肌凝蛋白黏起來的組合肉。

智慧型乳酪

選擇好的菌種可以強化乳酪的味道

古達或切達乳酪只需要幾個月的時間熟成，就會散發出漂亮的香味，但是也有很多乳酪即使經過長時間的熟成，香味還是無法達到原本的期望。關於如何引出乳酪的香味，數百年以來一直都是美食界最激烈的討論之一。當我們在牛奶加入細菌讓牛奶凝結變成乳酪時，它會隨著熟成的過程而慢慢變酸，這是因為牛奶裡面的乳糖被轉換成為乳酸，這種酸化過程可以抑制其他病原菌的滋生。此外當初加入的好菌會讓乳酪釋放出香味，所以對乳酪的味道來說十分重要。位於朱昂薩斯國立農業研究所的伊芳等人就在研究，是哪些牛奶中的細菌可以讓乳酪產生香味？

他們已經知道細菌如何在緩慢的熟成過程中，引出香味。在這段期間，脂肪跟糖分會慢慢地發生變化，而蛋白質則會被分解成胺基酸，接著這些胺基酸又會被轉換成香味分子。比如說亮胺酸跟纈胺酸會產生「帶乳酪香味」的分子，而苯丙胺酸、酪胺酸以及色胺酸則會產生花香或是「酚類」味道（這些都是品嚐者在做測試時所寫下的注解）。

那麼，不夠香的乳酪，是不是因為蛋白質分解過慢，而造成香味不夠濃郁呢？非也，因為就算是直接把胺基酸加入乳酪裡面，也並不會讓乳酪的味道增加太多，又或者用基因轉殖過的細菌（以增加細菌分解蛋白質的能力），它們確實可以釋放出比較多的胺基酸，但是乳酪的味道並沒有改變多少。因此，在一九九〇年初，科學家已經下結論，認為讓乳酪產生香味的瓶頸，應是在於如何將胺基酸轉換成香味分子。

添加刺激物

在荷蘭有兩位科學家，恩格爾與魏瑟發現到，如果把甲硫胺酸跟牛奶裡的細菌混在一起（不含牛奶），會產生古達乳酪的香味，同時他們

也找到兩種酵素，有可能是造成這個現象的原因。而伊芳的團隊也觀察到，牛奶裡的細菌確實可以降解某些胺基酸，然後合成香味分子，像是某些醛類跟羧酸類。這種化學反應的第一步稱為「轉胺反應」，主要是一個胺基酸分子與一個稱為「酮基戊二酸鹽」的分子發生化學反應，然後產生一個酮酸分子跟一個麩胺酸鹽分子（俗稱味精）。味精這種東西在許多工廠生產的食品中或是亞洲菜裡，都被用作味道增強劑，因為它會引起一種稱為「鮮味」的味道。當轉胺反應發生時，胺基酸上的胺基（ NH_2 ）會轉移到酮酸上面，之後再發生化學變化而產生香味分子。



在一九九七年時，伊芳的團隊找到了一種乳酸球菌（*Lactococcus lactis*）裡面負責催化轉胺反應的酵素：轉胺酶。這種酵素會催化亮胺酸跟甲硫胺酸。然而，他們卻也發現實際上在乳酪熟成的時候，即使有這個酵素，乳酪的香味卻並沒有太大的變化。為什麼呢？這是因為參與反應的分子在細菌裡面擴散太慢？還是細菌還需要其他的分子來刺激，才會開始攝取胺基酸來反應？

伊芳他們先研究第二種假設。他們在溫牛奶（經過巴斯德滅菌法處理）中加入牛乳細菌與凝乳酶。凝乳酶會讓牛奶發生凝結然後變成乳酪。接著，把凝固的牛奶放入模子裡面擠壓，再把這壓好的乳酪浸入富含酮基戊二酸鹽的鹽水裡。之後他們開始觀察乳酪熟成的過程，與此同時一位評審委員則會評估各階段乳酪的香味。

對照組的乳酪並沒有額外加入酮基戊二酸鹽到鹽水裡。這一組的乳酪只有很少的胺基酸被分解，而香味也十分薄弱。相反的，添加了酮基戊二酸鹽的乳酪裡，胺基酸被反應而消耗掉的比例比較高。看起來，酮

基戊二酸鹽本身發生變化的同時也會引起強烈香味分子的合成，比如說亮胺酸會變成異戊酸鹽；苯丙胺酸會變成安息香醛。因此酮基戊二酸鹽確實會增強乳酪的香味（他們也用切達乳酪做過實驗，得到類似的結果）。

尋找有能力的細菌

在研究添加酮基戊二酸鹽效果的同時，伊芳等人也發現了轉胺反應的產物「味素」，會被另外一種細菌的酵素催化，而又變回酮基戊二酸鹽，這酵素叫做麩胺酸脫氫酶。既然味素在牛奶裡面含量很多，即使在乳酪熟成以前也十分豐富，伊芳他們就試著在牛奶細菌裡面轉殖入脫氫酶的基因，希望它們可以把這些味素轉換成為酮基戊二酸鹽。

在成功改造細菌之後，他們就比較了轉殖細菌（不添加酮基戊二酸鹽）、與正常細菌但添加額外的酮基戊二酸鹽，對乳酪味道的影響。結果他們發現轉殖細菌產生的香味，完全不輸給正常細菌與酮基戊二酸鹽。更棒的是，這些轉殖細菌還會製造出更多其他的香味分子像是羧酸。

這些實驗證明人工強化這些細菌，可以讓乳酪的香味更濃郁。但是，一般消費者對於基因改造產品的接受度差異甚大。因此，科學家們現在正積極尋找是不是有天然的細菌本來就帶有麩胺酸脫氫酶。不過這樣一來，轉殖細菌就只是一個做研究的工具而已，但這本來也是它們重要的功能之一，不是嗎？

純巧克力慕絲

巧克力慕絲形成的過程

鮮奶油這個詞，總讓人想起常搭配在一起的新鮮草莓、冰淇淋、輕飄飄的點心等等，因為鮮奶油本身是一種輕輕的慕絲。它的做法是把液狀鮮奶油放在一個冷卻過的碗裡用攪拌器打。當攪拌器以繞圈的方式打擊著液狀鮮奶油的液面時，鐵架會漸漸把空氣打入其中形成氣泡，而氣泡壁會因有酪蛋白跟脂肪結晶而穩定。只有溫度夠低脂質才會結晶，這是為什麼做鮮奶油時溫度低一點比較好，容器也最好先冰過。低溫也可以避免一些慘劇發生，像是鮮奶油變成奶油（不管有沒有攪拌）。根據經驗，當攪拌時慕絲在攪拌器的鐵架間形成絲狀物時，就該停止攪拌了。

鮮奶油這種東西常讓老饕們流口水，那可不可以根據同樣的原理，再用其他含脂質的食物（牛奶以外）來做類似的東西呢？既然巧克力含很多可可脂，是否有辦法拿來做成「純巧克力慕絲」呢？

巧克力乳劑

根據相似性，如果想要做出純巧克力慕絲，恐怕要先用巧克力做出類似「液狀鮮奶油」的食物，才容易成功。科學家都知道液狀鮮奶油是一種乳劑，也就是一種油滴（牛奶中的乳脂）分布在水中（牛奶中的水）的系統。當然牛奶中還溶有糖類（乳糖）、礦物鹽等等成分，不過它們除了對味道有幫助以外，對做出鮮奶油來說倒是無足輕重。

在這種「油溶於水」的系統中，油滴不會融合在一起，這是因為它們被酪蛋白跟磷酸鈣所形成的「微粒」穩定地包住。磷酸鈣會把酪蛋白這種「界面活性分子」連結起來，而這些分子一端是親油性，會溶在油滴中；另一端親水則面向外面溶在水裡。

如果要做純巧克力慕絲，我們也要先把巧克力做成乳劑才行，也就

是要調和水、界面活性分子跟可可脂在一起。在做的時候，就在長柄鍋中到入一些水，如果是為了美味的目的，可以加入「有香味的水」，像是柳橙汁、黑醋栗榨汁等。接著加入界面活性分子：我們可以用蛋白、蛋黃或是明膠。很多廚師都會用明膠來烹飪含有奶油或是液狀鮮奶油的醬汁，這些醬汁也是一種乳劑。如此，我們加熱泡了水的明膠，讓它熔化，然後一邊攪拌一邊加入巧克力，這樣最後會做出一鍋均勻的醬汁，這就是我們期待的巧克力乳劑。

從乳劑到慕絲

有了這個乳劑，我們就可以開始做慕絲了。我們把長柄鍋移到一盆冰塊上，並同時用攪拌器（手動或電動的）來攪拌，以便讓巧克力結晶最終可以圍繞著氣泡。整個步驟跟做鮮奶油幾乎一模一樣，我們一邊攪拌一邊讓乳劑冷卻，剛開始時會有大氣泡混入，接著慢慢地巧克力會愈變愈厚，然後等到達結晶的溫度時，整鍋醬汁體積會瞬間變大，而顏色也會由深褐色變淺。

巧克力顏色變淺就是氣泡被打到慕絲裡面的證據，也可以用顯微鏡檢視出來。而氣泡被打進去之後，慕絲的質地也會改變，開始在攪拌器的架子間形成絲狀，跟做鮮奶油時一模一樣。最後，成品會是一鍋純巧克力慕絲，而不同於傳統巧克力慕絲，品質會被液狀鮮奶油或是打發的蛋白破壞，現在我們做出來的是一盆純巧克力的慕絲。



右：純巧克力慕絲體積比貝恩式巧克力醬（左：也就是文中稱的巧克力乳劑）要大，顏色也要淺。

巧克力的大小事

怎樣用巧克力去做各種點心

巧克力在聖誕節、除夕……等等各種節慶裡，都有舉足輕重的地位。不過，我們該要怎麼用巧克力？愛好者都知道巧克力裡面帶有可可脂，而如果可能，他們很希望能用可可脂來取代奶油去做千層酥皮派。但不幸的是，他們也知道巧克力很硬，幾乎不可能拿來做酥派。不過其實只要掌握住巧克力變化的幾個關鍵點，還是可以解決這個問題，讓巧克力應用於各種點心中。

要做千層酥派，點心師傅會先做「外層麵團」，也就是用麵粉跟少許水（有時用點奶油）做成一個麵團，然後把它開攤平，在上面放一塊奶油，當然要花點工夫讓奶油軟化一點。接著師傅會像包裹一樣把麵皮從四邊往中心摺起來，把奶油完完全全包在中心。下一步就是「旋轉摺疊」，這要重複至少六次：廚師會把包了奶油的麵皮平、摺疊三褶、旋轉九十度再平、再摺疊，這樣等到後來送進烤箱裡面的麵皮就包含好幾層奶油跟麵皮。

那要怎麼將巧克力加進去呢？巧克力又硬又易碎，所以儘管成分都是可可脂，也無法當成奶油來用。可可脂是巧克力裡面主要的油脂（在這裡就暫且不提立法當局對引進其他脂肪成分引起的爭議），其中百分之八十是三種三酸甘油酯，這種分子是由丙三醇（俗稱甘油）為基座，上面連接了三個脂肪酸分子，分別是棕櫚酸、硬脂酸跟油酸。

控制熔點

這樣的分子組成解釋了可可脂的物理特性。如果可可脂只有一種分子，那它就會跟冰一樣有固定的熔點（正常大氣壓下是攝氏零度）。然而可可脂是由許多不同的分子所組成，因此它的熔點可以從攝氏零下七度（某些三酸甘油酯的熔點）開始直到攝氏三十四度。所幸可可脂是一

種非常特別的脂質，它有百分之七十五的脂肪熔點介於攝氏二十到三十四度；而有約百分之五十的脂肪熔點介於三十到三十四度間。換句話說，可可脂雖然不是純物質，不過也沒有那麼不純。

然而這樣的特性，對於吃巧克力來說十分方便，對烹飪巧克力則極為不便，因為大部分的料理準備過程都在室溫，約攝氏二十度下進行。這也是準備巧克力千層酥皮麵團時最大的問題所在。要解決這個問題，讓我們比較一下可可脂跟一般奶油的不同。我們發現一般奶油成分更不均勻，因此，很可能讓巧克力脂肪複雜一點的話，可以增加其「延展性」。這主意也不新，廚師們通常都會把巧克力跟奶油熔在一起，以便得到比較軟的巧克力。根據同樣的原則，我們可以加熱中性油脂，然後把巧克力丟下去，等到巧克力完全熔化之後，它的組成與熔點也不一樣了。

這樣改變巧克力之後就可以做出我們想要的巧克力千層酥皮派了。另外一個撇步則是用可可粉混入麵粉中，或是加入奶油裡。不管怎麼樣，根據這個原則，我們可以用巧克力來做任何一種點心。

用巧克力做各種點心

從千層酥皮派出發，我們不只可以做出巧克力色的點心，也可以用它來做鬆脆類的點心或是鬆軟的點心，只要把點心中的奶油換成剛剛那種改良過的巧克力即可。同樣的，我們可以做巧克力中空軟麵包、巧克力奶油雞蛋軟麵包、巧克力泡芙麵糊、無麵粉巧克力杏仁蛋糕等各種點心。你甚至可以把巧克力加到原來從沒想過的地方，像是巧克力杏仁醬：在熔化的巧克力裡加入杏仁粉和一種酒精，然後加入卡士達醬（由蛋黃、糖、牛奶跟麵粉煮出來的）混勻。

還有一些點心並不是用奶油作為脂肪成分，而是用液狀鮮奶油，那我們也要改變一下食譜，因為巧克力要取代的是液狀鮮奶油。在這種時候光是玩弄巧克力的熔點並沒有用，因為液狀鮮奶油本身是一種乳劑，也就是由小油滴分散在水中（牛奶的水分）。這些小油滴可以穩定分散

好一陣子（但不會一直如此），是因為它們被所謂的「界面活性分子」包圍，這種分子有一個親水端（會跟水分接觸）以及一個親油端（跟油滴接觸）。

如果要讓巧克力取代液狀鮮奶油，我們要先做出巧克力乳劑來。這並不難，只要在一隻長柄鍋中加水性溶液（水、咖啡、茶或是干邑……都可以），接著加熱並加入巧克力讓它熔化，就可以做成一鍋巧克力乳劑了。這種「貝恩式巧克力醬」就可以代替液狀鮮奶油。

最後，如果要做巧克力巴伐利亞蛋奶凍，又需要其他新的手續了。根據傳統食譜，我們要先做出英國蛋黃醬，就是把蛋黃跟糖打在一起，接著加入牛奶然後拿去煮。加熱之後在裡面放入泡過的明膠讓它熔化，最後加入打發的液狀鮮奶油。

那巧克力要取代誰呢？巧克力不能代替蛋黃，因為蛋黃的蛋白質變性才會帶來英國蛋黃醬的口感：煮熟的蛋黃會聚集並浮在牛奶中。巧克力也無法取代明膠。那麼液狀鮮奶油呢？食譜說要把液狀鮮奶油打發成鮮奶油，我們也可以去攪拌巧克力乳劑，然後可以做出純巧克力慕絲（見前一章），那這巧克力慕絲就可以拿去代替鮮奶油了。現在讓我們做巧克力點心吧！



玩弄質感

膠化的乳劑會變成巧克力蛋糕

「乳劑」這種東西可以帶給烹飪源源不絕的創意。不過在本篇裡，我們要以乳劑為出發點，去做一種更複雜、但是人人都可以在廚房中做出的食物。



前幾章裡面我們已經提過好幾種不同的乳劑。其中最重要的一種當然就是美乃滋了，它是所有食譜都會提到、用來當作「軟質食物」的模範。美乃滋主要是一種小油滴均勻散布在水中的結構，而小油滴是被蛋黃裡的蛋白質所包覆並穩定住。現在讓我們來看看，從這個題材出發，可以做出哪些變化。

第一種就是不含蛋黃的美乃滋。它的做法其實跟傳統美乃滋一樣，不過我們現在用蛋白代替蛋黃。事實上，蛋白裡面有百分之九十的水分跟百分之十的蛋白質，而這些蛋白質，跟蛋黃中的蛋白質一樣都是「界面活性分子」。

整個步驟就跟做傳統美乃滋一樣。把蛋白放在一個碗裡攪拌（打發），然後把油一滴一滴的滴進去。剛開始的時候，被打發的蛋白會跟慕絲一樣。漸漸地浮在蛋白上的油滴會隨著攪拌而慢慢愈變愈小，然後取代慕絲裡面的小氣泡。在打發蛋白的過程中，原本捲曲纏繞在一起的蛋白質會伸展開，因此原本在中心的親油端就會跟油滴接觸，而親水端則跟水接觸，這樣把油滴包覆住，就可以穩定住它們，跟以前把慕絲中的氣泡包住一樣。

第二種可以玩的變化是沒有雞蛋的美乃滋。我們把半片明膠放在一小碗水裡加熱（也可以用海鮮高湯）讓它溶化，接著一邊攪拌一邊滴入

油（就像打美乃滋那樣）。剛開始的時候它會變成白色的乳劑，這是因為明膠中的蛋白質介入了油水之間，把小油滴包住。然後等美乃滋冷卻到室溫之後就會開始膠化，這是因為明膠分子冷卻時傾向彼此連結在一起，形成一張網絡，把乳劑液體部分困在中間。

乳劑的膠化

透過顯微鏡，我們可以看到乳劑膠化的過程。膠化剛開始的時候，可以看到有些小油滴會融合成大油滴，因為原本包住油滴的蛋白質開始連結，而離開油水界面。當整個膠體形成之後，如果我們因為好奇又開始攪拌明膠美乃滋，就會破壞膠體結構，讓油從蛋白質網中跑出來。反之，如果是傳統美乃滋，重新攪拌只會讓它更穩定。

現在想想看有哪些新的玩法。這個明膠美乃滋的原理是這樣的：一開始我們先做出一碗乳劑，接著用「物理性膠體」把乳劑困在中間。所謂物理性是說，如果重新加熱，這膠體就會溶化，如果冷卻又會重新變回膠體。根據這個原則，如果改用一些新的材料，是否可以做出其他變化？回去看看剛才的蛋白美乃滋，我們可以用它做出「化學性的膠體」，講簡單一點就是把它加熱。這樣做出的膠體就是不可逆的（所以稱為化學性），不同於明膠做的物理性膠體。

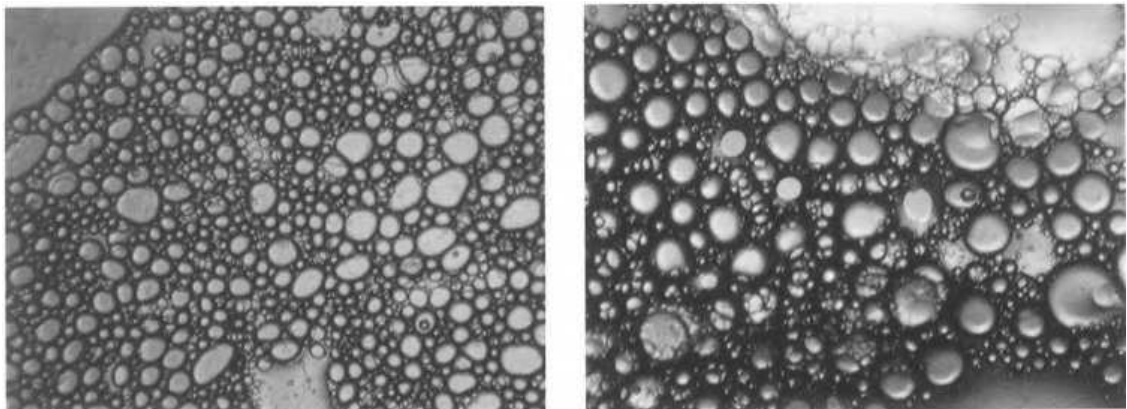
加熱美乃滋

為了方便起見，我們直接把蛋白美乃滋用微波爐加熱（不必用烤箱）大約一分鐘，以便讓包住油滴的蛋白質彼此連結。加熱之後美乃滋變成一團凝結塊，而此時油滴還是分布在其中。再回去看看剛剛的明膠美乃滋，現在我們想知道油滴在這些膠體裡面穩固嗎？如果擠壓看看，會發現油會滲出來。

現在回到廚房裡，我們的問題是：剛剛玩了這麼多材料，那怎麼把它們用在烹飪上？這些膠體看起來像是浸了油的海綿一樣，也許可以用來吸醬汁？而我比較推薦另外一種：試著把膠體中的油滴置換成巧克力

（巧克力含有大量的可可脂）。這樣做：把巧克力在長柄鍋中加熱熔化，然後倒入一些水性液體（不管是蘭姆酒、咖啡、柳橙汁……都可以）。接著，讓這巧克力乳劑的溫度保持在蛋白變性的溫度內（也就是不要超過攝氏六十二度），把它一邊攪拌一邊倒入蛋白中。等到這碗巧克力乳劑形成之後，放入微波爐裡面加熱。猜猜會怎樣？蛋白質會變形凝結，然後把巧克力乳劑困住。

我推薦的這個實驗，會做出一種新的巧克力蛋糕，而它的味道會比純巧克力要強很多。這當然是因為在這種蛋糕裡，巧克力是分散成無數小顆粒。而它的質地也是獨一無二的，我們可以調整巧克力與水的比例來改變它的質地。我建議把它命名為「均質巧克力蛋糕」。之後該研究的是，在剛剛的三種結構裡，膠體會怎樣改變乳劑？



這兩張照片顯示的是同一個明膠美乃滋，在不同時間的變化。膠體化的過程中會讓小油滴融合成為大油滴。在左圖中，油滴的直徑是十數公釐。

聖誕大餐食譜

幾種讓年夜飯現代化的撇步

佳節將近，又該準備大餐了。然而今天千禧年都過了，我們還只滿於中世紀的烤火雞嗎？當然不囉，總該發明一些新菜吧！不過要怎麼做？如果廚師能從物理跟化學裡面找靈感，那發明新菜應該不是難事。

首先，讓我們試試看新的烹飪方法。這靈感是來自法國的名畫修復師佩黑高，他一邊在法國貝雪瑞爾工作，同時也對化學有興趣。他在使用雞蛋修復畫布時，注意到乙醇會讓蛋白發生變化，因此寫信給我，由此誕生了一個新的烹飪法。我建議你們做以下的實驗：把一份蛋白放在碗裡，然後倒入九十度的酒精。在一瞬之間蛋白就凝結了！



這是怎麼回事？因為蛋白的成分是百分之九十的水，百分之十的蛋白質。蛋白質的構造是由胺基酸接成的長鏈纏繞起來。食物中有二十種胺基酸，它們基本結構一樣，但是側鏈都不同，因此有些是親水性（會溶在水中），有些是疏水性。平常在水裡，蛋白質會摺疊起來，帶有親水性胺基酸的部分會把疏水性胺基酸包在中間，以減少它們跟水接觸的機會，這樣蛋白質才會穩定。

當我們把九十度的酒精倒入蛋白裡，會改變整個溶液環境，而蛋白質就會伸展開來，帶有硫醇基（ SH ）的胺基酸遇見彼此就會形成雙硫鍵（兩個硫原子之間的鍵結， S-S ），把鄰近的蛋白質接在一起。這樣

會形成蛋白膠體，跟蛋白煮熟一樣。當然這樣的化學反應可不能直接用在烹飪上，因為蛋白本身沒有味道，而九十度的酒精更是無味。不過如果改用黃李白蘭地如何？

科學烤肉

前菜過後，要上主菜了。我們可以把科學知識應用在烤肉上面。一般烹飪到了攝氏四十度，蛋白質就會變性（展開），而肉就會變得不透明；到了五十度時膠原蛋白（支撐肌肉的結締組織成分）纖維會開始收縮；到了五十五度，肌凝蛋白（肌肉裡主要的蛋白質）會開始變性凝結，而膠原蛋白則開始溶解。到了攝氏六十六度，肌漿質蛋白、膠原蛋白都開始凝結；七十九度，肌動蛋白（另一種主要的肌肉蛋白質）開始變性凝結。

這些知識可以怎麼應用？與其用烤箱來烤整隻火雞，我們可以把白肉分出來在不同溫度下面烹飪，比如說一部分在五十到五十五度之間烹調，另一些在五十五度到六十度之間，以此類推。這樣，你的賓客可以享用到同一種雞肉的不同質感，因為肉之間不同的部分會彼此影響。

乳酪慕絲

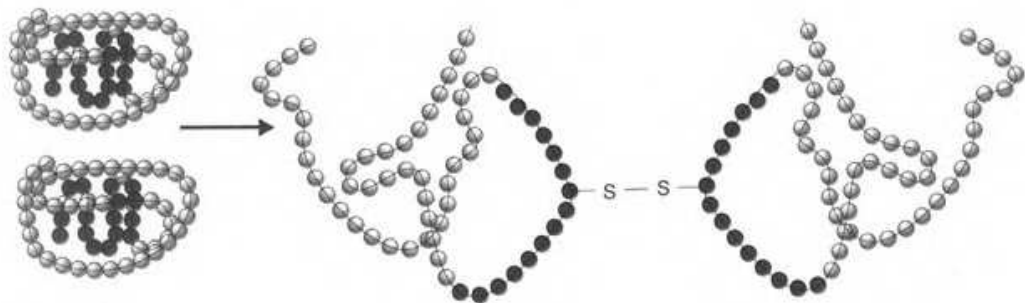
現在輪到乳酪了。之前我們曾做過純巧克力慕絲，那是用巧克力做成的慕絲，而不只是巧克力味慕絲。用乳酪也可以這樣做。我們可以在一隻長柄鍋中倒入一杯水或是醋，接著放入一片明膠、一大塊乳酪（比如說洛克福藍紋乳酪），然後慢慢加熱，一邊攪拌。如此，熔化的乳酪會變成小油滴混在水裡面，被明膠釋放出來的蛋白質（扮演界面活性分子的角色）所覆蓋。這種東西可以稱為「貝恩式乳酪醬」，基本上跟所有的乳劑（比如說美乃滋、貝恩式紅蔥醬、乳酪火鍋、液狀鮮奶油等）都是親戚。在做鮮奶油時我們會把液狀鮮奶油一邊冷卻一邊攪拌，同樣的，如果我們把這「貝恩式乳酪醬」的鍋子放在冰上，然後一邊攪拌，就會變成一鍋「乳酪鮮奶油」。

某些廚藝大師已經在利用這些發明了。位在隆摩蘭廷朗特奈的四星級金獅旅館裡，名廚克雷蒙就發明了「夏維諾羊乳酪鮮奶油」，搭配著焦糖紅蔥品嚐。這裡又有新發明。克雷蒙並沒有用一般的焦糖，也就是砂糖（或蔗糖）混一點水後加熱製成。這一次他利用化學知識，做出「果糖焦糖」。這種新焦糖有獨特的味道，是糖化葡萄的味道。

拯救鮮奶油

讓我們用真正的鮮奶油做結尾吧，因為我們常用它來搭配餐後點心。做鮮奶油其實很簡單，只需要把新鮮的液狀鮮奶油打發即可。它的原理是在攪拌的過程中空氣會進入乳劑中形成小氣泡，而乳劑中的油脂則在氣泡壁間形成結晶，並穩定住慕絲。現在我們常用電動攪拌器來取代手動攪拌，但是這樣卻會增加讓鮮奶油變成真奶油的失敗率（這是因為攪拌不當讓油滴彼此結合，而空氣跑掉）。

即使失敗，所有做鮮奶油的材料都還在碗裡，只要重新整理一下還有救。我們可以把失敗的鮮奶油放回鍋中加熱攪拌，再加入一湯匙的水，讓奶油重新變回液狀鮮奶油乳劑。當它恢復之後，我們把長柄鍋再放到一盆冰塊上重新攪拌，應該就可以打出鮮奶油了。祝你們佳節愉快！



兩個蛋白質分子延展開來會彼此連結，因為如果兩條長鏈上都帶有硫原子，就會形成雙硫鍵，這就是蛋白加酒精會凝結的原因。

藏在酒中的味道

把酵素加到葡萄之中會釋放出一些香味

葡萄有點像是頑劣的學生，它們常常可以表現得比原本更好。葡萄主要的香味分子都是烯醇類化合物，像是沉香醇、香葉草醇、橙花醇、香茅醇、 α -品醇、沉香醇的氧化物、烯類聚醇等，這些分子引起嗅覺的臨界值極低，是非常典型而重要的葡萄酒香味分子。但除了它們之外，葡萄還藏了許多烯類糖苷，也就是烯醇接在糖上面，而且含量十分豐富。這些分子是烯醇類分子的前驅物，不過它們本身對香味並無貢獻。

那有沒有辦法，用酵素或者是用酸處理這些前驅分子，把糖跟烯醇分開，來強化酒的香味呢？用酵素處理讓分子水解聽起來似乎比用化學物質處理要好，因為這樣產生的香味分子比較「自然」。在蒙特佩利爾國立農業研究所，香味與天然受質實驗室的拜雍諾夫與他同事們，就找到了一種存在葡萄裡面的酵素，可以用來切開烯醇與它的前驅物。

他們從亞歷山大慕絲卡葡萄中萃取出糖苷分子，然後加入三十四種食品工業上常用的酵素（像是果膠酶、纖維素酶、半纖維素酶等），看看是不是可以找出其中某幾種，有能力把烯醇從前驅物中釋放出來。結果他們發現有五種酵素有用，分別可以產生沉香醇或是香葉草醇。所有有用的酵素都帶有 β -葡萄喃糖苷酶、 α -鼠李吡喃糖苷酶以及 α -阿拉伯糖苷酶的功能。接著，他們又發現這些酵素在水解烯類糖苷的時候，反應可以分成兩個步驟（反應步驟見附圖）。

他們在試管裡面研究前驅物被水解的反應步驟，同時在試管裡面加入 β -葡萄喃糖苷酶、 α -鼠李吡喃糖苷酶以及 α -阿拉伯糖苷酶，結果發現這些酵素不僅會釋放出烯醇類香味分子，還會產生其他分子如降異戊二烯、氣態酚類以及苯醇類分子。所有這些分子都只要極稀的濃度就有香味。

葡萄的酵素

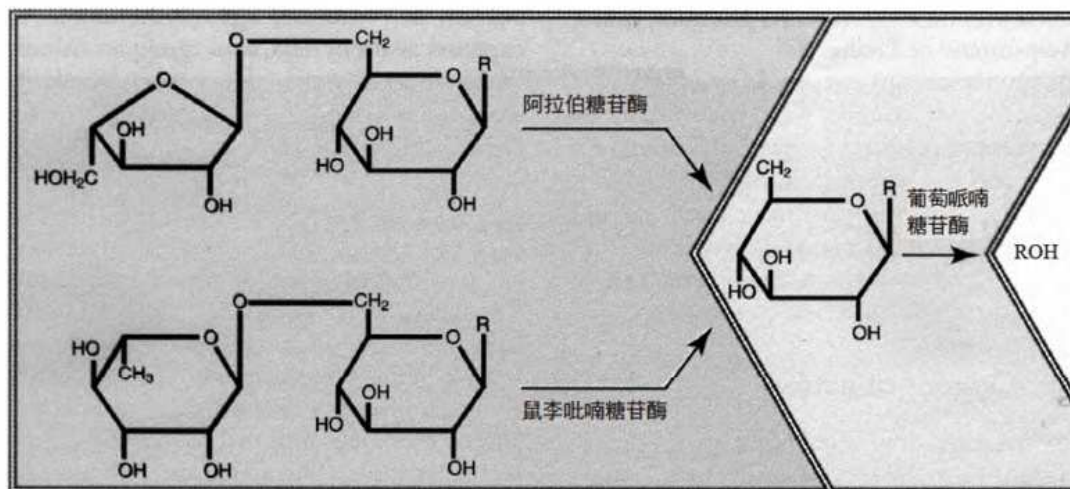
這個反應的第二階段是由葡萄喃糖苷酶所催化，而此步驟正是控制烯醇從葡萄中或是紅酒裡面釋放出來的瓶頸反應，因為平常酵素不容易跟連接在三級醇（像是沉香醇、品醇等）這種分子上面的單糖苷分子作用（跟糖苷連在一起的非糖苷分子又稱為配糖基）。不過呢，釀酒用的酵母菌裡含有一種beta-糖苷酶，對於葡萄裡面重要的沉香醇-beta-糖苷，具有一些活性。

而另一方面，他們研究的葡萄裡面 beta-糖苷酶的活性很強，但是只有很弱的鼠李吡喃糖苷酶活性，而完全沒有阿拉伯糖苷酶的活性。如此一來，反應的第一個步驟就會受限，整體而言，要把烯類糖苷水解的反應（也就是第二個步驟）也就跟著受限。

此外，葡萄裡面的糖苷酶並不穩定，而且在酒跟葡萄汁這種偏酸的液體裡，其活性更是相當低，在這種情況下，它並不是催化水解反應的理想酵素。那其他植物或是微生物中的酵素，水解烯類糖苷的效果會不會比葡萄的酵素要好呢？他們發現植物中的酵素只會水解跟一級醇（像是香葉草醇、橙花醇跟香茅醇）結合在一起的糖苷。因此，跟三級醇（沉香醇、alpha-品醇）結合在一起的糖苷就很難僅用一種酵素去處理。

目前，科學家正在研究另一種由荷蘭 GIST-BROCADES 公司所生產的酵素，這種酵素是由衛生機關認可的細菌中萃取出來。他們希望能找出理想的酵素，能適應果汁或是紅酒裡面的溫度、糖分濃度以及酸鹼度。

在嘗過用酵素處理過的紅酒或是葡萄汁後，品酒專家確實有感覺到香味比較強。但是要怎麼使用酵素，仍需其他研究。特別是，最近又發現了新的糖苷，像是apiosylglycoside，以及它的反應路徑，對於製作酵素來說，這些資訊應該有很大的幫助。



兩條水解葡萄糖中葡萄糖苷的反應路徑。在反應發生後，漸漸地烯醇（ROH）就會被從前驅物中分離出來了。

電嗅覺

等待這種新的傳遞系統

還記得一百多年前音樂的快速發展嗎？那時候誰只要能聽到電話，就可以如同親臨現場般欣賞偉大的演出。不過在那個時候，影像的傳播聽起來似乎仍只是烏托邦般的夢想。但是誰又想得到還不到二十年的時間，倪卜可在德國就發明了傳送影像的裝置。現在，勝利將屬於波里希姆妮亞、特普絲可爾、艾拉、梅爾波米妮、泰麗兒等希臘繆思眾神的追隨者。

在感官的王國裡，還剩下哪些地方我們尚未征服呢？觸覺是現在進行式，多虧了壓電晶體手套的發明，可以記錄並產生壓力，刺激觸覺。但是嗅覺跟味覺呢？電嗅覺跟電味覺的技術發展始終非常遲緩，讓美食家頗失望。

嗅覺刺激

嗅覺跟味覺之所以會產生，是因為氣味跟味道的分子，與鼻子或嘴巴裡面細胞表面的受器相結合。要能遠距離傳遞這些訊號，大概有兩種方式。一種是我們先研究這些感官刺激所產生的腦部電生理訊號，這樣就可以用一隻電極刺激個體的腦部，把相同的電生理訊號直接從遠處傳到腦中。這正是在里昂大學的歐雷與慕莉等人的研究，他們刺激大鼠的嗅球，然後記錄在腦中所產生的訊號。

第二種方法，則是把不同的氣味或是味道分子混合在一起，像調色盤一樣，把它們跟特定的刺激做比較。在記錄完這些刺激產生的訊號後，我們就可以調整混合的分子來產生想要的香味或是味道。

有一些被稱做「人工鼻子」的人造氣味接收器，也許可以用來記錄這些刺激，不過還有很長一段技術困難要克服。這些東西原本是因應食品工業界的需求而誕生的，有一些工廠已經用它們來監測食品生產過程

中所產生的氣味，作為品質控制。這些人工鼻子有好幾種形式。

人工鼻子

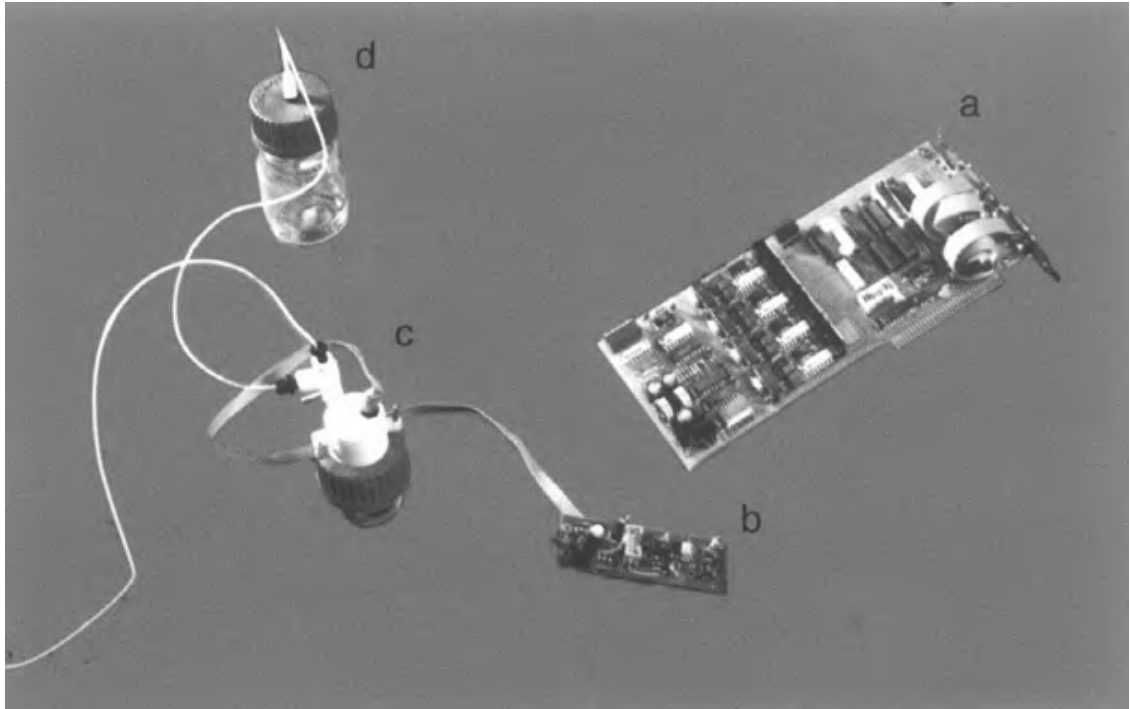
在帖依克斯的國立農業研究所，貝達傑與他同事就利用質譜儀來分析混在各種氣味中的分子，並且找到最好的分析方式。整個分析的過程，首先要把樣品在一個杯中加熱氣化。接著產生出來的煙霧會被分開並且離子化，這些帶電的煙霧會被射入質譜儀中。質譜儀會產生電場跟磁場，而讓射入的帶電氣味分子偏離原來的噴射路徑。根據綜合氣味中每種分子帶電量不同、質量大小不同，它們會產生不同的偏移，並被記錄下來。貝達傑他們根據不同氣味分子的偏移組合，可以辨認出不同的樣品。這個研究結果十分驚人，因為根據這些紀錄，他們甚至可以區分來自不同海岸的生蠔，哪位美食家有如此的本領呢？

還有另一種技術，則是利用把半導體塗在接收器上。半導體的電阻會隨著接收到氣味分子而降低，而這現象是可逆的。但要如何應用這個發現？第戎國立農業研究所的米耶等人，就用陶瓷做成氣味接收器。他們把陶瓷加熱然後在表面塗上半導體像是錫氧化物，同時滲有鋅、鐵、鎳或是銅氧化物。根據不同組合，這些半導體對氣味分子的反應也不一樣，因此當混合的氣味分子通過由許多半導體組成的接收器陣列時，也會產生不同的訊號組合，可以被電腦分析。

不過要實際應用這種半導體陣列是有技術困難的。首先就是接收器所測到的訊號會隨著時間慢慢改變。米耶他們因此發明了一種快速傳導系統，可以用來校正接受器陣列。此外，他們也發現，在不同溫度下所記錄到的訊號也有很大的差異。不過這種特性，在校正的時候反而變成一種優點。因為在不同溫度下所做的測量，可以了解同一種接受器的特質，在增加接收器數量時很有幫助。

最後，因為要記錄與分析這些訊號組合，會產生非常龐大的數位訊號，因此接受器的數量必須被限制在二十個以內。米耶等人因而分批記錄不同的訊號，以便增加同一個時間內可以記錄的資料。

現在他們實驗用的接收器可以測到百分之八十的氣味分子，而由六個接收器所組成的陣列，在四種不同的溫度下，可以在十幾秒內分析出一種混合氣味。人類的鼻子很快的將不再是獨一無二的了。

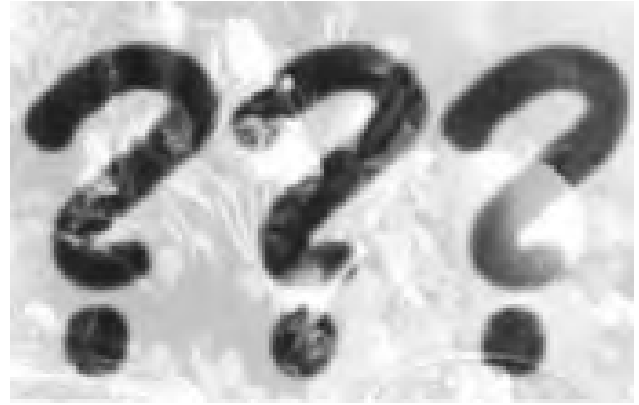


分析氣味的機器。這裡有a：紀錄資料的晶片；b：帶有接收器的晶片；c：測量室；d：樣品室。

問題

簡單的實驗能不能辨別烹飪傳說的真假？

在前面的章節裡，我們介紹了很多關於傳統烹飪技巧的研究。有許多技巧需要複雜的實驗來印證，不過也有不少只需要很簡單的器材就可以做實驗：像是一隻準確的秤；一隻熱電偶，以使用來測量準確的溫度；一隻有刻度的試管；酸鹼試紙等。我在這裡，從古今食譜裡蒐集了許多的謎題。我建議你們在分析原因跟研究結果以前，別太快下結論。此外，試著在烹飪時的條件下做實驗，有些諺語一旦環境改變，就沒有意義了。



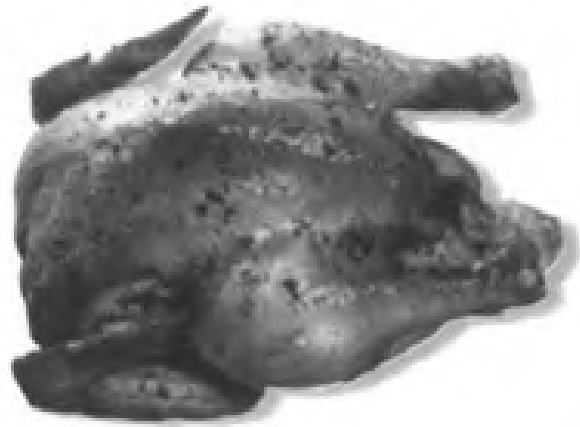
如果想要把實驗的結果寄給我，非常歡迎。

一、變成紅褐色的梨子。在一八三八年出版的食譜《巴黎廚師》中，亞伯曾這麼寫道：既然梨子很難保持全白，不如讓它整個變成紅褐色。做法很簡單，在煮梨子糖漿時，加入一小塊錫箔。這一小塊錫可以被用無數次，而且也無損健康。用鍍錫的鍋子來煮也有相同的效果。不過錫鍋的問題是如果曾煮過別的東西，那在煮梨子前要先用滾水煮一下木灰，把殘留在錫鍋表面的東西洗掉。



這個實驗應該不難做。如果你手邊沒有錫箔，那可以用焊錫或是在錫鍋裡面煮梨子。亞伯並沒有提到該用多少糖、水以及梨子的分量，不過這很重要嗎？我讓你們做實驗看看。

二、在《聖安潔夫人的好料理》這本書中，作者提到用家禽來做骨汁燉物（這種菜要先烤禽肉，再放入用禽骨熬成的醬汁中燉）的時候，要等禽肉降溫之後才能切。她說：「如果一從烤箱拿出來就切，所有肉裡面的汁都會流失殆盡。」果真如此嗎？又是為何？要解釋這個現象，首先要知道肉在被烤的時候，外面失



水會比中心多很多；這是為何廚師建議讓烤肉在爐口「休息」一下。甚至還有廚師建議把烤雞放在盤中置於高處，雞的屁股朝上頭朝下，「以便讓汁液可以往較乾的地方流動」。

三、在《簡單好料理》裡，大廚侯布雄提到：要讓炒洋蔥變成褐色，不要加鹽。為什麼會有這種現象？要研究這個現象，首先別忘了洋蔥是由植物細胞所組成，而細胞裡面含水。當鹽結晶與細胞接觸時，會讓細胞裡面的水分因滲透壓而流出來。不過在研究之前，我建議你們先看看鹽對於洋蔥的影響，把洋蔥放在鹽上面，先別煮，你看到什麼？

四、又是聖安潔夫人，她曾說過：「加在蛋捲裡面牛奶一定要是冷的，如果煮滾就很難跟雞蛋混合。」

要解釋這個現象，好好檢視一下牛奶，想想看，牛奶是溶劑，裡面溶有許多鹽類、糖類、乳糖、水溶性蛋白質；此外還有小油滴分散其中，被酪蛋白這種蛋白質包成「微粒」。而蛋捲是由雞蛋做成的，而雞蛋可以看成蛋白質溶液。

五、有人說：把沙拉葉子浸在微甜水中一下子，可以讓它變得清

脆。

真的嗎？另一種說法則是把沙拉葉浸在冰水中可以讓它變得清脆。哪一種方法比較好？要解釋這些現象，先想想看，沙拉是由植物細胞所組成，而細胞裡還有大量的水分跟一些鹽分，因此滲透壓是可能的原因。

另一個問題，是日本人說沙拉葉子跟鹽接觸後會枯萎。現在如果你們把乾燥的沙拉葉子覆蓋上一層鹽，你發現了什麼？

六、這個實驗適合全家或朋友一起做。有人說在一碗太鹹的湯裡放入削皮煮熟的馬鈴薯，就會變得比較不鹹。這有效嗎？

要做這個實驗，只要找幾個受試者，然後做「三重測試」。我們給每個受試者準備一組三碗湯的樣品，其中兩碗一模一樣。隨機在其中兩碗（或一碗）裡面，放入一碗過鹹的湯，而另一碗（或兩碗）裡面放入曾浸過馬鈴薯的湯。最好給每個人多幾組測試樣品，然後記錄一致性，看看這個人可不可信。

我還有好多問題可以提，有哪個食物或是哪道菜你有興趣的？隨時可以問我跟它有關的諺語。



我的地址是： Hervé This（艾維提斯）

Collège de France（法蘭西學院）

11 place Marcelin Berthelot

75005（郵遞區號）

Paris, France（巴黎，法國）

電子郵件： hthis@paris.inra.fr

我們可以比較一下彼此的實驗結果。

名詞解釋

為什麼會需要解釋諸如「奶油」、「蛋白」、「醋」、「牛奶」、「焦糖」、「巧克力」等等之類的詞彙？這是個好問題，讓我用一則趣事來回答這個問題。原籍匈牙利的大物理學家西拉德每天都寫日記。有一次他的朋友，另一位物理學家貝特問他：「你為什麼寫日記呢？」

「因為我希望上帝知道發生了什麼事。」西拉德回答。

「這樣呀，不過難道你不相信，祂早已經知道每天發生的事了嗎？」貝特問。

「當然，不過我要祂知道我的版本。」西拉德回答。

這樣，你們就應該了解，我希望你們知道我所謂的跟烹飪有關的「食物」、「分子」或是「反應」是指什麼。最後，與其給一個嚴格但可能有錯的定義，不如在其中加入我的看法跟詮釋。

pH：測量液體酸度或是鹼度的度量衡，範圍是從零到十四。pH 零到七被定義為酸，數值七到十四則是鹼性。

乙醇（酒精）：是非常重要的分子，因為它占紅酒成分超過百分之十，同時也是造成紅酒好喝的重要原因。而蒸餾法更是人類的重要發明之一，多虧了它我們可以做出高酒精含量的干邑。有些動物會用語言溝通，有些動物會有笑的表情，但沒有一種會蒸餾酒類。

三酸甘油酯：甘油跟三個脂肪酸形成的分子。這個分子長得像只有三齒的梳子一般，是構成日常飲食油脂的主要成分。這個梳子的三隻齒（就是脂肪酸長鏈的部分）長得都不一樣。脂肪酸的長短各有不一，其中有些脂肪酸在碳跟碳之間還有雙鍵連結。這種帶有雙鍵的脂肪酸稱為不飽和脂肪酸，這些雙鍵決定了脂肪的融合跟食用價值。

化學：是科學的中心之一，因為是它讓我們能夠活著。化學讓我們

活著的第二層意義，在於一方面我們的身體能夠運作全靠一系列化學反應；而另一方面，烹飪出我們日常所食也是一種化學反應。化學對某些人來講還有第三層意義：化學家靠化學過活。有些人認為化學是探究物質轉換的科學，然而這有過度解釋之嫌。生物學裡也有物質轉換（吃東西），量子力學裡也有物質轉換（正反粒子互相撞擊消失）；前者食物會被分解，而後者則是粒子轉變成為能量。但是這些都不是化學領域。因此化學創造了自己的主軸，而化學關心的是粒子的組成跟重新排列。

淨化：一種烹飪手法。在高湯裡面加入蛋白然後加熱（也有酒的淨化步驟，不過我們這裡只談烹飪），凝結的蛋白會困住高湯裡面的雜質，然後可以用過濾法去除，就可以得到一鍋（相對）清澈的高湯了。

牛奶：主要成分是水，不過它也含有許多油脂以小滴的形式分散在其中。這些小滴太小了以至於肉眼看不出來。此外還有蛋白質包在小滴周圍，一樣是顯微鏡等級的大小。

史特烈卡降解：胺基酸跟含羰基（ $C=O$ ）的化合物所形成的反應。這個反應在烹飪上經常出現，因為梅納反應的產物往往帶有很多羰基。

奶油：本質上，它是由百分之十五的水混在三酸甘油酯（也就是脂肪）裡。這是一種「乳化劑」，因為水是由酪蛋白包住，以非常小滴的形式均勻散布在脂肪裡。

巧克力：本質上，這是由脂肪（每一百克香脆的巧克力含三十克脂肪）以及糖（每一百克含六十克糖）組成。不過這種無情的描述忽略了巧克力能帶給感官歡愉，還有它在物理上的獨特之處。比如，它含的脂肪是如此特別，因此只溶你口（攝氏三十七度）不溶你手（攝氏三十四度）。現在有許多含礦物油的巧克力，但似乎很少有巧克力師傅或食品公司明確標示他們使用的是純可可油或是其他替代脂肪。不過這似乎只有我在意。

汁液：在法文裡面「肉汁」的「汁」有特別的字。但是肉汁就是肉

的汁液嘛，誰能告訴我它們有什麼不同？

白蛋白：這是一個古老的名稱，常見於以前的食譜裡面，泛指今日稱為「蛋白質」的東西。今天我們還會使用這個字，不過專門用來稱呼「卵白蛋白」，也就是蛋白裡面的蛋白質。

多酚氧化酶：一種會氧化多酚的酵素。它們會把多酚氧化成醌，而這會形成褐色的色素。多酚氧化酶是造成切開的蘋果跟空氣接觸後，褐變的主要原因。

多醣類：簡單的說就是比較複雜的糖類。

肉：基本上這是「一袋伸長的肌肉細胞」。在這個袋子裡，含有水跟蛋白質，就像蛋清裡面一樣。圍繞著肌肉細胞的是一層由膠原蛋白構成的結締組織，支撐著肌肉細胞跟整個構造，因此肌肉會伸長而不會縮成球狀。膠原蛋白會在烹煮時溶解。在烹飪上需要這麼詳細描述肉的特性嗎？

肉香質：這是一個十八世紀末的錯誤假設。以前認為酒精可以從高湯裡面萃取出的一種「特定物質」，也是肉的主要成分，就是「肉香質」，而肉的味道都歸功於這個物質。為什麼這個理論是錯的？因為酒精萃取出來的其實是一堆分子，也因為這所謂「特定物質」會隨著肉的不同而有所不同。

肌紅蛋白：肌肉裡面的一種蛋白質。肌紅蛋白的中心有一個鐵原子，這樣的構造跟葉綠素十分類似，不過後者中間是一個鎂原子。

肌動蛋白：這個蛋白對烹飪的影響很大，因為它遍布於各類肉品或是魚肉中。在長條形的肌細胞裡面有很多這種蛋白構成的肌絲。另外一個主要的蛋白質是肌凝蛋白。這兩個蛋白質合作負責讓肌肉收縮。

肌纖維：就是形成肌肉的肌肉細胞，是一種可以伸長的細胞（有時候可以伸長到二十公分）！

自氧化反應：是造成脂肪酸敗的主要化學反應。這個反應進行很快，因為它會自我催化。

舌乳頭：先喝一杯牛奶，然後在鏡子前面把舌頭吐出來，你會看到舌頭上有許多小圓突起。這就是所謂的「舌乳頭」或「味覺乳頭」，不過我比較喜歡叫它「嘗覺」。舌乳頭的表面覆蓋一層細胞，其中有許多帶有「味覺受器」。當食物中的味道分子跟這些受器結合時，這個細胞就被活化並釋放出電流，傳到大腦裡告知腦細胞它們偵測到味道了。但這樣的訊號作用多半在通知大腦「準備停止進食」。

舌頭味覺：在我們的語文中應該更精確定義舌頭味覺，是光指舌乳頭細胞所偵測到的味道，要比傳統「味覺」更精確。當味覺生理學愈進步，就愈應該如此精確。同樣的，我們放棄了錯誤的「燃素說」、「熱容量理論」，難道我們不應該更精確的定義「味覺」嗎？

抗壞血酸：也就是維生素 C。在檸檬汁裡面含量非常豐富，每一百克檸檬汁裡就有三十七毫克，而它也有很強的抗氧化性。

沉澱：法國詼諧作家阿雷曾說過：水是一種危險的液體，因為只要一滴就可以讓最純的苦艾酒變混濁。這個混濁其實是苦艾酒的主要成分「大茴香腦」沉澱所造成的。沉澱這種現象已經被化學家們研究了好幾世紀，而烹飪上面應該利用這些知識。

沖泡：泡茶就是一種「沖泡」，在滾水中浸泡數分鐘然後拿出，請見「熬煮」一條。

乳化劑：一種液體均勻的散布在另一種液體中，兩者並不互溶。美乃滋就是一種油分布在水裡面的乳化劑，而奶油是一種水分布在油裡面的乳化劑。

乳酸：是乳酸桿菌代謝牛奶裡面的乳糖所產生的。有些食物的酸味是乳酸所造成的，比如說酸包心菜。

芳香成分：是一些可以漂浮起來的分子，因而可以飄到鼻子裡面與

嗅覺細胞表面上的蛋白質受器結合。不過光會漂浮沒有用，所謂芳香分子在跟受器結合了之後必須要能刺激這個細胞，讓它把訊息傳到大腦，讓大腦感覺到這個香味（或氣味）。

乳糖：牛奶裡面的糖。有時候因為它的存在，有人形容牛奶香「甜」。不過仔細品嚐一下牛奶，你會發現牛奶其實是鹹的。

受器：這是一些在細胞表面的蛋白質，會跟環境中特定的分子做非常微弱的連結，進而刺激細胞，產生反應。好比嗅覺受器跟氣味分子連結，味道分子跟味覺受器連結等。

味道：長久以來我們都認為只有四種味道（酸甜苦鹹），但是最新的神經學研究顯示了某些分子，像穀胺酸鈉（味精），也有獨立的味道，而不同的苦味則有不同的味覺細胞可以分辨。

味道成分：某些食物分子會溶在水裡，因而可以跟舌頭上乳頭細胞表面的味覺受器（在味蕾上）結合，刺激這些細胞，把訊息傳到大腦進而感覺到味道。不過這個稱呼有點混淆，因為所謂味道，是綜合了吃東西時的所有感官，這包含了：嗅覺、味覺、食物的質感、食物的溫度等等感覺。所以在這裡適當的說法應該局限在：味道分子被舌乳頭表面的「味覺細胞」的「味覺受器」接收。

味覺：現在我們必須了解，所謂品嚐時的感覺，是我們在「嘗」東西時產生的一種綜合感覺，它包含了嗅覺，甚至還有視覺、舌頭味覺、對食物質地的觸覺等等各種感覺。就這個觀點來說，舌乳頭不應該被稱為「味覺構造」或「味覺細胞」，因為它們只負責整個「味覺」的一小部分。

明膠（吉利丁）：由肉品中萃取出來的蛋白質，經常是片狀或是粉狀。當在熱水中時這些分子會溶解，然後當液體冷卻時分子會形成三股螺旋的結構，構成網絡，在物理學上稱為膠體，在烹飪上稱為果凍。

果膠：化學家會告訴你這是一長串「D 型半乳糖醛酸」。定義聽起

來很複雜，不過先知道這是一種糖類就好。果膠的特性來自於在它的長鏈上有許多化學分子團，像是羥基、甲基、羧基、甲基酯基。在烹飪上羧基最重要，因為這種化學結構在鹼性溶液裡會因為電性互斥，讓果膠的結構無法維持。這是為什麼做果醬的時候液體酸度要足夠，因為果醬的膠狀要靠果膠來維持，而液體夠酸的話羧基才會變成中性而不會互斥，膠狀結構才可以維持。

果膠酶：一些可以把果膠分解的酵素。比如，把果膠加到蘋果上，在室溫放置讓它們作用一段時間，你就可以毫不費力的得到一杯蘋果汁。

果糖：一種存在於水果中的糖分子（也存在我們廚房架子上）。它有獨特的味道。

果醬：果醬是一種膠體，由水果中的果膠彼此連結，把水、糖以及從水果來的各種好味道分子困在其中。

油：烹飪上，這是一種幾乎完全由三酸甘油酯所組成的液體。

油耗（酸敗）：把脂肪暴露在空氣中所發生的一種化學反應。

物理：除了是量子力學或是太空科學以外，它也是烹飪裡面重要的一項科學，尤其是和柔軟材料跟壓縮材料性質相關的研究。像乳化劑、慕絲、膠體等都有許多物理跟化學家合作在研究。

直鏈澱粉：一種葡萄糖聚合物。直鏈澱粉是由許多完全一樣的葡萄糖分子接成一條長鏈。

芳香味：當食物被放在口中時所釋放出的氣體分子經由後鼻窩升到鼻腔中，而被嗅覺受器偵測到的感官就是「芳香味」。

阿斯巴甜：一種由兩個胺基酸所合成的甘味劑。它是由 L 式天冬門胺酸跟 L 式苯丙胺酸的甲基酯所組成的。

後鼻嗅覺：當食物在嘴巴裡面時會被稍微加溫，然後釋放出氣味分

子。這些氣味分子會經由口腔後面的管道上升，進入後鼻窩，然後被嗅覺受器偵測到，這稱為後鼻嗅覺。

界面活性劑：肥皂帶有的分子，它們會附著在油漬的表面，把油漬包起來，將它們帶離布料表面。同樣的，不溶於水的物質被界面活性劑包住就可以均勻的分布在水裡。用清水沖洗後，這些油漬就會被帶走，衣服就乾淨了。在烹飪上也是用這類界面活性劑，經油脂包住跟水混合，形成乳化劑。

紅外線：一種由熱物體所散發出來的「不可見光」。如果用三稜鏡把太陽光的光譜分出來，可以在紅色光旁邊用溫度計偵測到紅外線。

苦：這是一個很不精確的形容詞，用來指涉一種味覺。為什麼我說很不精確？因為關於味覺，首先每個人嘗到的味道都不一樣，再者，我們其實並不真能分辨食物的單一味道。當食物被吃進嘴裡時，它會釋放出氣體分子，經由後鼻窩上升至鼻腔中，產生刺激；同時嘴裡面的機械受器與溫度受器感覺食物的質地與溫度。這些知覺綜合起來，形成一種我們稱為「味覺」的感覺。因此，沒有人可以真正分離味覺。關於苦味最近一項突破性的研究，是二〇〇一年由一些電生理學家所發現的。他們發現舌頭上可以偵測出「奎寧」味道的舌乳頭細胞，跟偵測出「苯甲地那鉍」的細胞並不一樣。因此，苦味不是一種味覺，而是很多種！

英國蛋黃醬：這是一個非常複雜的物理化學系統。諾貝爾物理獎得主德堅內與其學派在物理方面的研究，對於了解英國蛋黃醬的分子構造有很大的幫助。此外還有現代化學家萊恩等人，在蛋白質分子聚合形成巨分子方面的研究，也有很多助益。

食鹽：化學成分是氯化鈉。它的味道是鹹的，但是在沒有精製以前，它可能夾帶其他的鹽類而帶有點苦味。

香草醛：香草裡面還有很多這個驚人的分子。放在木桶中陳年的酒也含有這種分子，因為乙醇跟酒桶的木質素反應而形成。這也是造成香草跟陳年老酒味道的重要分子之一。

胜肽：是由一小段胺基酸所構成的長鏈。更長的就是蛋白質了。

庫提：尼可拉．庫提（一九〇八～一九九八），物理學家，他一生的成就都在牛津大學完成，特別是對「核絕熱去磁」的研究。我跟他一起命名了「分子美食學」這門「科學」，結合了物理、化學跟生物學到烹飪裡面。

核磁共振：是一種不必破壞物體就可以知道它分子結構的技術。簡單來講是藉由偵測某些原子跟無線電波共振的技術。在這裡面不需要用到放射性元素，在醫院裡常使用「磁共振造影」。

氣味：感官的一種，特別是當我們把鼻子放在一鍋菜上面更可以偵測到。熱騰騰的食物會釋放出味道分子，飄進鼻子裡，跟嗅覺受器結合。因此有人發明了鍋蓋，可以保持菜的溫度，同時也保存了味道。

氧化：一個非常重要，但是跟烹飪的關係卻很少被人研究的化學反應。最近有些人認為，煎肉時肉表面的褐變現象，來自於「梅納反應」這個化學反應。或許，比較正確的說法是，梅納反應跟許多其他反應，比如史特烈卡降解反應，造成了肉表面的褐變。

浸漬：見「熬煮」一條。

神經元：大腦是由許多神經元構成，它們會接收「神經傳導物質」傳來的刺激。當一個神經接收到足夠的刺激時，它就會「放電」，一個電流脈衝就沿著神經的「軸索」傳遞下去，到了軸索末端的「突觸」位置，會引起突觸釋放「神經傳導物質」，這些分子會去刺激下一個神經細胞，如此把訊號傳遞下去。

脂質：生化辭典恐怕很難定義這個東西，因為這個名稱其實包含了許多不同的分子。在食品中許多的脂肪分子都是三酸甘油酯或是磷脂質。

馬鈴薯：馬鈴薯細胞其實跟所有植物細胞都一樣。比較特別的是它的細胞裡面充滿了澱粉粒，因而會在烹飪的時候糊化。

胺基酸：這是構成蛋白質的原件。跟烹飪有關的大約有二十幾種。

梅納：法國化學家，一八七八年二月四日生於法國蓬達穆松，一九三六年五月十二日卒於巴黎。他在南錫同時完成醫學與化學學業。他的醫學論文題目是：〈尿

中酚及其顏色來源〉，而理學論文則是讓他揚名國際的〈甘油及糖在 α 胺基酸上的作用〉。在自願參加第一次世界大戰之後，梅納開始在阿爾及利亞大學擔任生化與毒理學教授。他把畢生都貢獻在那裡，直到猝死在巴黎。以他為名的那個「梅納反應」，是一篇一九一二年發表在法蘭西科學院期刊上的三頁論文。

梅納反應：一開始很簡單，就是一種糖跟胺基酸所發生的反應。不過接下來就很複雜了，要詳述可以寫成好幾大冊。簡單來說，糖跟胺基酸會先經過安瑪多立重排或是海恩重排（依據糖的不同）而產生新的產物，接著許多反應會導致褐色的物質出現，這就是造成高溫加熱後肉表面變褐色的原因。

烹飪：這是一個令人驚嘆的現象，因為它是如此多元。煮一顆雞蛋，跟做大溪地酸煮魚，或者把魚肉放在數十萬個大氣壓底下加壓，所產生的結果，是完全不一樣的。就算是只看跟「加熱」有關的烹飪好了，關於「煮好」的詮釋也是差異極大。比如法式烤牛肉當被認為烤好的時候，中心可還是生的，甚至比「放在夏天的太陽下曬」溫度還要低呢。所以我一直很疑惑，到底該怎麼定義一道菜「已經煮好」了？

甜味：由砂糖或其他糖類所帶來的味道。隨著糖不同，甜味也略有不同。

細胞：本質上，這是一小袋水，而它的外膜是由雙層的磷脂質所構成。此外，細胞中含有一大堆很有趣的分子，有蛋白質、醣分、脂質等等。此外別忘了還有去氧核糖核酸，又叫 DNA，是讓「這袋水」存活的關鍵。

細胞膜：活的細胞都是由一層細胞膜所包住。這層膜其實是雙層磷脂質所構成，在細胞膜上散布著各種分子，特別是醣類跟蛋白質。

細胞壁：植物細胞壁的構造相當驚人，它們有好幾層。在烹飪上要知道的是，這個結構是由「果膠」這種植物的複雜糖類所組成，而果膠是讓果醬凝結的原因。

脫水：我們會用鹽或糖將蔬菜或是肉類表面的水分脫出，以便可以將它們長期保存，不會腐壞。

蛋：首先被觀察到的構造是蛋殼（占了雞蛋百分之十的重量），再來是蛋白（占了百分之五十七），最後是蛋黃（占百分之三十三的重量）。

蛋白：它不是白色的！而是一種「淺黃色」的透明液體，而濃稠度並不均勻。如果仔細看的話，會發現裡面有一些細白絲線，還有一些小氣泡。當加熱到攝氏六十二度時，蛋白會開始變成白色不透明。蛋白是由百分之九十的水跟百分之十的蛋白質組成，而這些蛋白質的組成很多樣，有卵白蛋白（占百分之五十八）、卵轉鐵蛋白（占百分之十三）、類卵黏蛋白（占百分之十一）、溶菌酶（百分之三點五）、卵球蛋白（百分之八）等等。蛋白會在攝氏六十二度凝結的原因是因為，卵轉鐵蛋白會在這個溫度變性，形成一張細緻白色、近乎半透明的網絡，而不容易保持水分。

蛋白酶：可以分解蛋白質的酵素。比如說，新鮮的鳳梨含有鳳梨酶、木瓜帶有木瓜酶、無花果有無花果酶。這些酵素會讓果凍無法形成（因為會分解明膠裡面的蛋白質）。

蛋黃：它具有讓人難以想像的結構，在成分上它帶有一半的水，百分之十五的蛋白質，還有很多脂肪。蛋黃也有強烈的氣味，並且會在攝氏六十八度時變性。

單寧：可以從許多植物（甚至像木頭）中萃取出來的化合物。它們

會跟蛋白質或是金屬結合。如果把一片明膠（吉利丁，含蛋白質）泡進濃茶（含單寧）裡，會讓茶變得混濁，因為單寧跟蛋白質結合。

滋味 / 味道：我很不喜歡這個詞，因為它什麼都沒有解釋。我試著解釋一下：滋味是綜合了嗅覺跟味覺的一種感官。然而，在一般的感官知覺裡，沒有人可以將這兩種感覺與其他的感覺，比如食物的質地、辣味、溫度等等區分開來。因此簡而言之，味道是無法真正被察覺的。如同古老的哲學家問的一個問題：「無人森林裡面倒下的一棵樹所發出的聲響是什麼？」我也要問：這個沒有人能夠察覺的味道到底是什麼？

焦糖：這種美味的黃褐色食物，傳統上是由砂糖或蔗糖的「熱降解反應」而製成。不同的製作方法可以做出不同的焦糖，看是在酸性還是鹼性液體裡面製作。此外葡萄糖或是果糖做出來的焦糖，風味也都不一樣。

焦糖化：在法式烹飪上面，稱「將肉煎至金黃色」或是「糖加熱降解成為焦糖」都是「焦糖化」，但是兩者卻是截然不同的反應。應該是幫它們正名的時候了，如果廚藝學想要更上層樓。狗跟貓畢竟是不同的動物，只有蹩腳的生物學家才會將牠們搞混。

煮滾沸：這跟蒸發是不同兩件事。把一碗水長時間放在室溫下，最終水會消失，這叫做蒸發。如果把一鍋水放在大火上煮，在煮滾沸的同時也會伴隨著蒸發。問一個應該不會有人不知道的問題：水在幾度會沸滾？

增強劑：我們稱這些東西為「味道增強劑」，不過根據生理學家的分析，這個命名有點言之過早。

結塊：當我們把過多的麵粉一下子倒入熱水中，就會產生這令人不快的結構。這是因為一大坨麵粉外圍遇熱水糊化，因而阻止了水分繼續進入乾燥的中心。

萃取：在烹飪上會萃取各種食物的香味或是味道分子。不過呢，有

時候我們把菜的味道歸功於成功的萃取，卻是一種誤解。比如我們常說，高湯的味道來自於被萃取出分子彼此產生化學反應。但是其實這不是造成高湯味道的原因。

酥芙蕾：一個膨脹起來的慕絲，並不是因為裡面的空氣遇熱膨脹，而是因為裡面的水蒸氣膨脹上升。

鈣：這種自然元素並不是以中性的形式存在食物中，而是以失去兩個電子的離子的形式存在。這種化學上稱為「二價」的離子，讓鈣在烹飪上影響很大。它可以跟兩個果膠分子結合，讓蔬菜變得堅硬，同時也使果醬保有硬度。因此，這個離子既不好也不壞，就看廚師站在哪一個角度，想要利用它或除去它。只要記得一點，我們可以用檸檬酸鹽輕易地除去它。

集中：這是一種現象，也是一種測量結果。所謂現象，是指在「一定空間」或「一定時間」之內把全體集合在一起。比如說，當有球賽時，觀眾會往球場「集中」。當然，分子也可以如此描述。比如說，茴香腦集中在小茴香裡，測量這種「集中」的結果就是所謂「濃度」。在烹飪上有時也會使用「集中」，比如說用來描述烤肉。不過這是很奇怪的講法，因為在烤肉時，肉汁其實會滲出，而不是往內集中；而香味或滋味分子在表面，藉由化學反應合成，也不會往烤肉中心移動。而烤肉中心溫度也低於周圍，那何來集中呢？

傳導：在烹飪上，主要是講熱的傳導。或者該說，食物表面分子因為熱引起震動，然後會傳遞給旁邊的分子，引起震動，然後再往中心傳下去。這是為什麼食物在烹飪的時候溫度會漸漸上升。

嗅覺：因為嗅覺，所以我們可以偵測到食物上方的空氣中所漂浮的氣味分子。同時嗅覺也影響了食物的「味道」。

微波：微波一開始是一種被用在雷達技術上面的電磁波。有一天工程師發現飛過天線前面的鴿子竟然被煮熟了，於是才把它應用到烹飪上面。微波是少數幾個現代才有而中世紀不存在的烹飪工具。

碘：可以溶在酒精中的元素，對於偵測澱粉的存在非常有用。

葉綠素：這化合物是造成綠色蔬菜「綠色」的原因。葉綠素的中心有一個鎂原子，在酸性環境中被加熱的時候鎂原子會被一個氫離子置換而變色。這是造成蔬菜在烹飪時，由綠色變成褐色的原因。

葡萄糖：非常簡單的一種糖類，普遍存在許多地方，特別是我們的血液裡，被輸送到細胞裡，細胞把它們當作能源來使用。

酪蛋白：牛奶中的蛋白質，它們由磷酸鈣聚集在一起，形成堅固的小粒，又稱「微胞」。

對流：這是一種現象，可以加速液體中熱的分布，因為液體中熱與冷的地方分子密度不同。熱的高湯冷得很快，因為表面的液體與空氣接觸而冷卻，結果密度變大，就會往下沉，同時底下熱液體就往上升，接著又被冷卻，又往下沉，如此循環。相反的，一鍋濃湯就只會在表面冷卻，因為濃湯的濃稠度阻礙了對流。這樣可以做一個很有趣的美食食譜，利用一些帶有香味的液體（酒、熱巧克力之類的）：先把冷的液體倒入杯中，接著小心的加上較熱的相同液體。因為密度的關係這樣的分層在飲用時會繼續保持。

滲透：一個重要的物理化學現象。早期的科學家利用豬的膀胱來示範滲透現象。他們把豬膀胱裡面放入糖水，然後再把膀胱放到一盆水裡，這時候可以觀察到膀胱漸漸膨脹起來。原因是糖分子沒有辦法穿出膀胱壁，而水分子則可以進去。因為分子傾向於平均分布，因此外面的水會進入膀胱裡面去稀釋糖濃度，以「平衡」內外的濃度。

碳水化合物：這是糖類的古老名稱。因為過去被發現的分子組成，都可以被歸納出一個簡單的通式： $C_n(H_2O)_n$ ，看起來每一個碳原子可以配到一個水分子。但是實際上糖的結構完全不是水分子連在碳原子上。簡單來說，這個分子帶有許多羥基，這決定它們連結在一起的能力。為了正名，我們還是叫它們糖就好了。

碳酸氫鈉：又稱小蘇打或焙粉。這是在烹飪上使用非常廣泛的一種鹼，因為它可以軟化豆類，或者加速某些蔬菜的烹飪速度。

酵母菌：在烹飪上這是一種非常有用的單細胞生物，因為可以用它來做麵包、啤酒、紅酒，以及其他許多不同食物。

酵素（酶）：是一種可以催化其他分子發生反應的蛋白質。它並不會消耗或者吃掉分子。

酸：這是一種知覺。如果食物在口中給我們類似醋或是檸檬汁的味道，我們就稱它是酸的。一般酸的單位是 pH，這可以由酸鹼試紙或是酸度計（一根探針連到一台儀器上）測得，而這兩種東西都應該在現代化廚房裡占一席之地。當然囉，因為扁豆在偏鹼性的水裡可以煮得比較好，所以我們可以加入小蘇打粉來調整溶液酸鹼度，當豆子煮好之後，再用一些醋把酸鹼度調回來，以去掉小蘇打粉的肥皂味。

慕絲：是一種小氣泡均勻散布在液體或固體裡面的食物。把蛋白打發就會形成一種慕絲。酥芙蕾也可以算是一種慕絲，不過它的液體是懸浮在中間。

熬煮：一個非常古老的化學與烹飪描述。雖然現代烹飪一樣也會區分浸漬（將物體浸在冷水中）、熬煮（將物體放在滾水中）以及沖泡（將物體浸在滾水中然後取出，像泡茶）。不過這樣的區分並不適用於油，因為油在沸騰以前分子就已經開始分解了。

熱：一種能量的形式，可以用溫度來表示。嚴格的來講，「熱向烤肉的中心前進」並不是正確的說法。應該說：「在烹飪的過程中，烤肉每一部分溫度會漸漸增加。」或者說：「在烤肉時，分子的碰撞增加，而平均起來周邊分子碰撞程度比較大。」

糊化：把澱粉粒放在熱水中，澱粉粒會吸水膨脹然後釋放出部分直鏈澱粉，這個過程稱為糊化。

膠原蛋白：在動物的肉裡，被稱為肌纖維的肌肉細胞，會被膠原蛋

白圍繞起來成為肌束。膠原蛋白的蛋白質長鏈，是以「三股螺旋」的構造纏繞在一起，然後再連結起來，有點類似紙張纖維的連結方式。烹飪的時候，熱使得膠原蛋白的蛋白質分解，形成溶液。之後，高湯在冷卻時會形成膠體，那是因為膠原蛋白的蛋白質又開始互相連接起來了。

膠體：一種由分子形成網絡把液體困在其中的構造。煮熟的蛋白所形成的膠體是一種化學性膠體，因為是蛋白質永遠變性後所形成的網絡。而果醬則是一種物理性膠體，因為它可以被復原。

蔗糖：就是一般的食用糖，主要是由葡萄糖跟果糖組成。它是最原形的甜味分子。

當然還有許多其他的分子也有甜味。

蔬菜：植物的細胞構造跟動物細胞最大的不同，就是在於外面有一層堅硬的細胞壁，要在烹煮的過程中才會軟化下來。

褐變：肉在高熱下會變成褐色，蘋果切開放在空氣中也會變成褐色。造成這些褐變的原因很多，有氧化反應、有由多酚氧化酶所造成的酵素反應、有梅納反應、或者熱降解反應等等的原因。

醋酸：是一種在醋裡面的酸。但是醋裡面不只有醋酸，醋的味道還來自蘋果酸、甲酸、酒石酸等等。基本上酒變成醋是一種氧化過程，是由一種醋酸菌，把酒裡面的乙醇轉換成為醋酸。

凝乳酶：是從小牛的皺胃裡萃取出的物質，可以讓牛奶轉變成為乳酪。牛奶中的「微粒」，經由凝乳酶造成的化學反應，不再均勻散布在牛奶裡，而會形成一張網絡困住脂肪。

凝結（變性）：一種變形的過程。烹飪上最典型的例子就是淡黃色透明的液體蛋白，煮熟後變成白色不透明的固體。我們怎麼可以忍受一邊享用蛋白卻不知道這種神奇的過程？

凝膠現象：膠體形成的現象。這簡直就是一個奇蹟，液體竟然變成

固體了！

澱粉：當我們把麵粉跟水混合揉搓時，會變成麵團。如果把這個麵團放在水下揉搓的話，會漸漸流出一些白色粉末帶有小小的顆粒，這就是澱粉。我們也可以在馬鈴薯細胞裡，或是其他澱粉類食物裡找到澱粉。

澱粉類食物：含有澱粉的食物。這很容易用兒時學到的科學實驗來偵測，就是把一滴含碘的液體滴上去，會看到褐色的碘液變成藍色的。

糖：糖的種類非常多，有些是小分子，諸如葡萄糖、果糖、乳糖等等；有些是大分子，諸如纖維素、果膠等。

膨脹：烹飪上常說肉在煮的時候會膨脹，因而被煮熟，但是其實肉在水中煮熟後並不會膨脹，反而會收縮。而正是因為肉的收縮讓它把汁液擠壓出來到周圍的湯裡。

靜置沉澱：這是一個化學家早就熟練的技術，而廚師們應該可以再改進，但是卻為傳統所不容。誰願意冒著被認為是「離經叛道」的危險呢？

澀味：是說一種分子跟口水蛋白質結合，因而造成口水失去潤滑作用，然後造成嘴巴乾澀、收斂的感覺。許多多酚類分子都會造成澀味，因為它們有很多羥基可以跟蛋白質結合。

磷脂質：這是維持生命必需的一種脂質，它跟甘油酯兩種化合物是構成細胞雙層膜的基本構造。這類分子都有兩部分，一部分是脂質，另一部分是一個磷原子周圍接上許多氧原子。在還有磷原子的一端常常帶電，而脂質的一端則是中性（只有碳跟氫原子），這樣的結構造成了磷脂質獨特的化學特性。

擴散：對於烹飪來說，分子的擴散跟光線的擴散是兩件非常重要的事情。正是因為光線擴散，所以我們才會看到白色的牛奶。而正是因為水分子的擴散，我們才可以用鹽將蔬菜或是肉類脫水。

醬：跟菜搭配的汁液，同時具有非常複雜的物理化學特性。傳統上它們的質地比搭配的蔬菜跟肉類要「柔軟」，但是濃稠度又比水高很多。調配適當的醬料是烹飪上的一大挑戰。

懸浮：一種獨特的物理化學系統，是由固體粒子分布在液體裡面所造成的。比如說，中國書法的墨汁就是一種懸浮液。英國蛋黃醬也是，它是一種雞蛋的蛋白質，懸浮在牛奶提供的水裡面。

鹹味：由鹽（還有一些其他分子）所帶來的味道。

鹼：當聽到我說：「這是酸的相反。」總會讓一些純粹主義者跳腳。但是這卻是最容易了解的一種說法。賣弄學問並不會解釋得更好。除了那些學過化學的人以外，誰聽得懂我說：「酸會釋放出氫離子，而鹼會與氫離子結合？」

中法名詞對照表

【人物類】

三到六畫

大沢文夫 Fumio Oosawa

孔提希尼 Christian Conticini

巴克 Linda Buck

巴邦斯基 Henri Babinski

巴拉 Laurence Balas

戈朗 Daniel Gallant

戈根 Jacque Guéguen

文塔那斯 Jésus Ventanas

王爾德 Oscar Wilde

卡伊塞多 Alejandro Caicedo

卡斯特連 Chantal Castelain

卡漢姆 Antonin Carême

古菲 Jule Gouffé

古德馮吉亞 René Goutefongea

尼可拉 Jacques Nicolas

尼可萊伊地 Stylianos Nicolaïdis

布希亞薩瓦杭 Jean-Anthelme Brillat-Savarin

布希歐 Sophie Bourriot

布里翁 G. Lopez Brion

布琪露 Patricia Bouchilloux

布萊克 Tony Blake

布雷 Jean-Claude Boulet

瓦拉德 Michel Valade

瓦侯科 Françoise Varoquaux

瓦侯科 Patrick Vqroauqux

瓦雷 Jean-Luc Vallet

瓦爾 Jean-Michael Wal

甘儂 Kimberley Gannon

白朗 Raymond Blanc

伊凡 Patrick Even

伊芳 Mireille Yvon

伍瓦利 Ahmed Ouali

吉夏 Elisabeth Guichard

安東 Marc Anton

托雄 Eric Trochon

托瑪 Anne Tomas

朱里斯 David Julius

米耶 Patrick Mielle

米歐契 Laurence Mioche

池田菊苗 Kikunae Ikeda

艾克塞 Richard Axel

艾拉 Erato

艾提耶馮 Patrick Etiévant

艾斯可菲 Auguste Escoffier

艾斯庫迪耶 Jean-Louis Escudier

七到十畫

佛柯諾 Benoit Fauconneau

佛荷安 Annick Faurion

克雷蒙 Didier Clément

克魯茲 Ernesto Cruz

希波克拉底 Hippocrate

李比希 Justus von Liebig

杜布厄迪 Denis Dubourdieu

杜布瓦 Pierre Dubois

杜布利耶 Jean-Louis Doublier

杜特推 Bruno Duteurtre

杜雅 Roger Douillard

沙勒 Christian Salles

貝卡利 Jacopo Beccari

貝勒 Jean-Louis Baelle

貝達傑 Jean-Louis Berdagué

貝爾休 Joseph Berchoux

亞伯 Bernard Albert

依桑姝 Sylvie Issanchou

佩里哥 Etienne Péligré

佩恩 John Payne

佩黑高 François Pérégo

妮可勞絲 Sophie Nicklaus

居里歐里 Joseph Culioli

居諾斯基 Curnonsky, 本名Maurice Edmond Sailland

岡德梅 Gilles Gandemer

岡德碧芙 Delphine Gandeboeuf

帖席耶 Justin Teissié

帕多 Marie-Paule Pardo

帕克 Denis Paquet
帕東 Patrick Pardon
帕蒙提耶 Antoine Augustin Parmentier
帕諾伊提斯 Frédéric Panoïotis
拉瓦節 Antoine Laurent de Lavoisier
拉艾 Marc Lahaye
拉封登 La Fontaine
拉迪克 Claude Marcel Hladik
拉普昂特 François-Joseph Lapointe
拉普朗胥師傅 maître La Planche
拉赫許 Michel Laroche
拉薇庫雅吉 Valérie Lavigne-Cruege
林佛斯 Rob Linforth
波吉歐 Vincent Boggio
波里希姆妮亞 Polymnie
波尚 Gary Beauchamp
法莫 Linda Farmer
舍謬 Jean-Paul Semur
芳姐聶 Isabelle Fontanet

門得列夫 Dimitri Mendeleïev
阿可賽羅 Monique Axelos
阿貝卡西斯 Joël Abecassis
阿德涅 Hervé Adenier
侯布雄 Joël Robuchon
侯畢雅 Bertrand Robillard
哈蕾 Marie-Christine Ralet
娃科 Anne-Lucie Wack
拜雍諾夫 M. Bayonove
柯立忍 Antoine Collignan
查莉 Marielle Charles
柏奇 Denis Burkitt
洛普 Stephen Roper
科立耶 Roland Caulliez
胡先生 M. Roux
胡斯婁派耶 D. Rousselot-Paillet
胡賽阿可琳姆 Slvie Rousset-Akrim
倪卜可 Paul Nipkow
哥倫比耶 Auguste Colombié
埃提耶馮 Patrick Etiévant

夏夫洪 Henri Chaveron

姬 Gérard Guy

庫托東 Jean-Louis Courthaudon

庫希烏斯 Charles de l'Ecluse (拉丁名Carolus Clusius)

庫提 Nicholas Kurti

庫隆 Jean-Baptiste Coulon

恩格爾 Erwan Engel

格林 Barry Green

泰納爾 Jacques Thenard

泰勒 Andrew Taylor

泰爾馮 Taillevent

泰麗兒 Thalia

海德先生 M. Hyde

特普絲可爾 Terpsichore

馬托尼耶 Mathonière

馬格斯基 Robert Margolskee

馬堤歐 Ginette Mathiot

馬當 Bruno Martin

馬維 Jol Malvy

十一到十五畫

勒克 Guy Lecq

勒韋史塔尼恩達 Britta Loewe-Stanienda

勒梅絲特 Martine Le Meste

勒畢安 Denis Le Bihan

勒彭 Eric Lebon

勒費佛 Florence Lefèvre

勒瑜德 Patrick Lehuédé

勒壤得 Pierre Legendre

梅納 Louis-Camille Maillard

梅農先生 M. Menon

梅爾波米妮 Melpomène

莫尚 A. Maujean

莫拉 René Morlat

莫特拉姆 Donald Mottram

荷娜 Catherine Renard

傑利斯 M. Gélis

傑奇醫生 Dr Jekyll

凱勒 Gérard Keller

喬德哈里 Nirupa Chaudhari

堤赫 Guillaume Tirel

富永敬俊 Takatoshi Tominaga

提寶 Jean-Francois Thibault

提寶一索依爾 Isabelle Tribaut-Sohier

斯匹羅 Michael Spiro

朝倉昌 Sho Asakura

費米傑 Marc Fermigier

費耶 Peirre Feillet

費雪 Ulrich Fischer

媞莉 Katherine Tilley

塔隆 Régine Talon

奧立馮 Michel Ollivon

奧茲 John Oates

愛德華 E. Edward

瑟岡 Gérard Seguin

瑟芙 Barbara Cerf

聖安潔夫人 Madame Saint Ange

葛羅西 Yves Glorie

賈娜法荷 Marie-Claude Janex-Favre

賈噶奈爾 Deogratius Jaganyl

路瓦塞爾 Christophe Loisel

達西耶 Philippe Darriet

達吾先生 M. Daoud

達薇杜 Sylvie Davidou

碧頓 Isabelle Beeton

維柯騰 Joseph Vercauteren

蒙泰兒 Marie-Christine Montel

蓋涅 Catherine Garnier

裴宏 Jean-Yves Péron

德安斯菲爾德 Eric Dransfield

德高先生 M. Decaux

德堅內 Pierre-Gilles de Gennes

德斐 Jacque Defaye

慕莉 Anne-Marie Mouly

樂森聶梅妮耶 Anne Leseigneur-Meynier

歐方 Pierre Offant

歐克朗 Marcelle Auclan

歐里托 Rolande Ollitrault

歐唐 Jean-Claude Autran

歐雷 André Holley

熱拉爾 M. Gerhardt

十六畫到二十畫

噶西亞費南德茲 José Manuel Garcia Fernandez

盧卡斯 Peter Lucas

穆圖內 M. Moutounet

穆德 M. Mulder

諾卡荷 Camille Knockaert

霍金 Stephen Hawking

薇亞胡芝 Claire Viarouge

薇亞瓏 Christine Viallon

謝夫何 Michel Eugne Chevreul

謝佛 Alex Schaeffer

薩吉 S. Saguy

魏斯特曼 Antoine Westermann

魏斯菲 Eduardo Weisfreid

魏瑟 S. Visser

龐茲 Jon Prinz

羅利安 Denis Lorient

寶科 Flix Bocquet

【科學類】

零到五畫

1-辛烯-3-醇 1-octène-3-ol

2,3-丁二酮 2, 3-butanedione

3-甲基-1-丁醇 3-méthyl 1-butanol

3-巯基己醇酯乙酸 3-mercaptohexyl-acétate

3-羥基-2-丁酮 3-hydroxy 2-butanone

5-羥甲-2-糠醛 5-hydroxyméthyl-2-furadéhyde

alpha-阿拉伯糖苷酶 alpha-arabinofuranosidase

alpha-品醇 alpha-terpinéol

alpha-鼠李吡喃糖苷酶 alpha-rhamnopyranosidase

beta-紫羅蘭酮 bêta-ionone

beta-葡萄糖喃糖苷酶

bêta-glucopyranosidase

D 式蘇胺酸 D-thréonine

E 型免疫球蛋白，E 型抗體 Immunoglobuline E

pH 酸鹼值 pH

乙二胺四乙酸 acide éthylènediamine tétracétique, EDTA

乙硫醇 éthanethiol

乙酸乙酯 acétate d'éthyle

乙醇 éthanol

乙醇胺 éthanolamine

乙醛 acétaldéhyde

乙醯苯 acétophénone

丁基羥基甲氧苯 butylhydroxyanisole, BHA

丁酸乙酯 éthylbutyrate

二丁基羥基甲苯 butylhydroxytoluène, BHT

二氧化硫 dioxyde de soufre

二氧化碳 dioxyde de carbone

二酐 dianhydride

八醋酸蔗糖酯 octaacétate de saccharose

十二烷 dodécane

十公分 décimètre

十億分點 ppm, partie par milliard

三叉神經 nerf trigéminal

三酸甘油酯 triglycéride

三價鐵 fer ferrique

三磷酸腺苷 adénosine triphosphate, ATP

上迷迭香醇 épirosmanol

凡德瓦力 forces de Van der Waals

小球菌 *Pediococcus*

山藥類植物 *Dioscorea dumetorum*

己酸乙酯 éthyl hexanoate

己醛 hexénal

不成對電子 électron non apparié

中國塊菌 *Tuber sinense*

內生性鴉片 endogne opiode

內酯類 lactone

分子美食學 gastronomie moléculaire

分液漏斗 ampoule à décanter

分壓 pression partielle

天冬胺酸鈉 aspartate de sodium

天胡荽屬水生植物 *Hydrocotyle ranunculoides*

升糖素 glucagon

巴（壓力單位，一巴等於零點九八七個大氣壓） bar

巴斯德滅菌法 pasteurisation

木質素 lignine

毛茛屬植物 Ranunculus

水楊羥胺酸 acide salicylhydroxamique

水解 hydrolyse

水膠體 hydrocolloïde

半生期 demi-vie

半合成法 hémisynthèse

半胱胺酸 Cystéine

半纖維素 hémicellulose

半纖維素酶 hémicellulase

去氧核糖核酸 DNA

史特烈卡降解反應 dégradation de Strecker

戊醇 pentanol

正丁醇 butanol

正己醇 hexanol

正己醛 hexanal

甘味劑 édulcorant

甘油 glycérol

甘草 réglisse

甘草酸 acide glycirrhizique

生育醇，維生素E tocophérol

生物鹼 alcaloïde

甲基酮 méthyl cétone

甲基醛 méthyl aldéhyde

甲硫胺酸 méthionine

甲硫基丙醇 méthionol

甲硫醇 méthanethiol

甲醇 méthanol

甲醛 formaldéhyde

白堊 craie

白蛋白 albumine

皮下注射試驗 test cutané

石灰 chaux

石灰石 calcaire

石膏 emplâtre

石蓴聚糖 xylorhamnoglycuronanes sulfaté

立金花，驢蹄草 Caltha palustris

六到十畫

交叉反應 réactivité croisée

交聯聚維酮 polyvinylpolypyrrolidone

光或熱輻射 rayonner

共軛焦顯微鏡 microscope confocal

共結晶 co-cristallisation

印度塊菌 Tuber indicum

吉貝素 gibbérelline

回凝作用 rétrogradation

多元不飽和醛 aldéhyde polyinsaturé

多汁性 jutosité

多酚 polyphénol

多酚氧化酶 polyphénoloxydase

多環碳氫化合物 hydrocarbure polycyclique

安息香 benjoin

安息香醛 benzaldéhyde

安瑪多立產物 composé d'Amadori

有機酸 acide organique

百合類植物 liliacée

竹芋科植物 Hypselodelphis violacea

肉毒桿菌 Clostridium botulinum

肉香質 Osmazôme

肌紅蛋白 myoglobine

肌原纖維 myofibrilles

肌原纖維蛋白 protéin myofibrillaire

肌動蛋白 actin

肌漿質蛋白 protéines sarcoplasmiques

肌凝蛋白 myosine

肌纖維 fibre musculaire

自由基 radical libre

自氧化反應 autoxydation

舌乳頭細胞 cellule de papille

舌神經分枝 brqnche linguale

色胺酸 tryptophane

血清 sérum

佛手柑 bergamote

佛荷安 Annick Faurion

低密度脂蛋白，LDLs lipoprotéin de faible densité

卵磷脂 lécithine

含硫的化合物，硫 sulphquinone

含單寧的 tannique

尿素 urée

抗原決定位 épitope

抗氧化劑 composé antioxygène

抗壞血酸，就是維他命 C acide ascorbique

抗體 anticorp

李斯特菌症 listériose

沉香醇 linalol

沒食子酸丙酯 gallate de propyle

皂素 saponine

肝醣 glycogène

那杜草 Nardus stricta

乳化 émulsionner

乳化劑 émulsion

乳球蛋白 lactoglobuline

乳酸 acide lactique

乳酸乙酯 lactate d'éthyle

乳酸桿菌 Lactobacillus

乳膠 latex

亞麻油酸 acide linolique

亞麻油酸甲基酯 linoléate de méthyle

亞鐵 fer ferreux

兒茶素 catéchine

兩親分子 amphiphile

具流變性質 rhéologique

味蕾 bourgeon du goût

味覺導蛋白 gustducine

奈米 nanometre

果膠酶 pectinase

果膠 pectine

泥漿 boue

油酸 acide oléique

物種複合體 complexe d'espèce

直鏈澱粉 amylose

空乏作用 déplétion

空乏區 zone de délétion

空間阻力 répulsion stérique

芳化，香花作用 aromatisation

花旗松 pin Douglas

花旗松素 taxifoliol

表兒茶素 épicatechine

表面能 énergie de la surface

表面張力 force de tension superficielle

表面接枝處理 greffé

金屬濾網或濾勺的俗稱 chinois

阿斯巴甜 aspartame

阻力 force de traintée

非定域化作用 délocalisation

非晶態 amorphe

芮氏震度計 échelle de Richter

亮胺酸 leucine

保加利亞乳酸桿菌 Lactobacillus bulgaricus

咬肌 muscle masséter

咽喉 pharynx

後鼻窩 fosse rétronasale

扁桃斑鳩菊 Vernonia amygdalina

活性碳 charbon actif

玻璃態轉移 transition vitreuse

界面活性分子 molécule tensioactive

界面張力 tension interfaciale

紅狐草，或稱紫羊茅，禾本科植物 Festuca rubra

紅藻 dulce

致癌物 carcrogne

苛性鈉，就是氫氧化鈉 soda caustique

英諾克李斯特菌 Listeria innocua

苯，含苯的 benzène, benzénique

苯乙醇 2-phényléthanol

苯丙胺酸 phénylalanine

苯甲地那鉍 benzoate de dénatonium

苯硫 phénylthiocarbamide

苯醇類 al-COOL benzylique

重力分離法 méthode gravimétrique

重亞硫酸鈉 métabisulfite de sodium

降異戊二烯 norisoprénoïde

降解 dégradation

香茅醇 citronellol

香草醛 vanilline

香葉草醇 géraniol

胜 peptide

原子力顯微鏡 microscope à force atomique

島葉 lobe de l'insula

核磁共振技術 Résonance magnétique nucléaire

核磁共振攝影技術 Imagerie par résonance magnétique nucléaire,
IRM

核苷酸 nucléotide

氣喘 asthme

氧化 oxydation

氧氣 oxygène

海青菜或海蒿苳，一種石蓴科綠藻 laitue de mer，學名Ulva
lactuca

浮力 pousée d'Archimède

狹鼻小目猴，舊世界猴 signe catarrhinien

病毒性神經病變 névropathie virale

神經傳導分子 neuromédiateur

索馬甜，又名奇異果甜蛋白 Thaumatine

脂肪 graisse

脂肪加氧酶 lipoxygénase

脂肪組織 tissus adipeux

脂肪酸 acide gras

脂質 lipide

脂質體 liposome

胰島素 insuline

訊息核糖核酸 ARN messagers, ARNm

迷迭香酸 acide rosmarinique

迷迭香醇 rosmanol

迷迭香雙醛 rosmadial

酒石酸 acide tartrique

酒石酸氫鉀 bitartrate de potassium

酒石酸鈣 tartrate de calcium

酒石酸鹽 tartre

配糖基 aglycone

針穿硬度計 penetrameter

高密度脂蛋白, HDLs lipoprotéin de haute densité

胺基酸 acide aminés

十一到十五畫

偏光顯微鏡 microscope polarisant

偏頭痛 migraine

啤酒酵母菌 saccharomyces cerevisiae

基丁質 chitine

基因免疫法 immunisation génique

基礎代謝率 métabolisme de repos

掃描式雷射共軛焦顯微鏡 microscopie confocale à balayage laser

梅納反應，又稱胺羰反應 réaction de Maillard

梅納汀，類黑精 melanoïdine

毫克 milligramme

氫氧化鉀 potasse

氫鍵 liaison hydrogène

異戊酸鹽 isovalérate

異迷迭香醇 isorosmanol

異硫氰酸烯丙酯 allyl isothiocyanate

異構物 isomère

異雙酪胺酸 isodityrosine

疏水性，指不喜歡水 hydrophobe

硫化氫 hydrogène sulfuré

硫酸奎寧 sulfate de quinine

硫酸鈣 sulfate de calcium

硫醇類 thiol

第二信使 second messenger

第三丁氫 2-tertiobutylhydroquinone, TBHQ

細胞分裂素 cytokinine

細胞質 cytoplasme

細胞壁 paroi cellulaire

組織蛋白酶，細胞自溶酶 cathepsine

終端速度 vitesse limite

蛋白分解酶 enzyme protéolytique

蛋白質 protéine

蛋白質結構區塊 domaine

蛋白酶體 protéosome

頂葉蓋 parietal operculum opercule pariétal

鳥糞核苷單磷酸 Guanosine monophosphate

麥芽醇 maltol

麥膠蛋白gamma 45 gliadine gamma 45

烷類 alcane

酚 phénol

酚酸 acide-phénol

喜馬拉雅塊菌 Tuber himalayense

單元不飽和醛 aldéhyde monoinsaturé

單核細胞增多性李斯特菌 *Listeria monocytogenes*

單寧 *tanin*

單寧軟化 *tanin fondu*

單寧酸 *acide tannique*

單體 *monomère*

惰性氣體 *gaz inerte*

斑螫黃質 *canthaxanthine*

斯柯維爾辣度指標 *échelle du Dr Wilbur Scoville*

普通翦股穎 *Agrostis vulgaris*

晶種 *germ de cristallisation*

棕櫚油 *huile de palme*

棕櫚酸 *acide palmitique*

植酸 *acide phytique*

氯化鈉，食鹽 *chlorure de sodium*

氯化鉀 *chlorure de potassium*

氯化鋰 *chlorure de lithium*

氯化鎂 *chlorure de magnésium*

焦味 *empyreumatique*

焦糖炔 *caraméline*

焦糖烯 *caramélène*

焦糖烷 caramélane

焦磷酸鈉 Sodium Pyrophosphate

硝酸鉀 salpêtre

硬脂酸 acide stéarique

紫羅蘭酮 ionone

絮凝作用 flocculation

絮凝劑 flocculant

萃香法 enfleurage

超音波影像 échographie

超過濾法 ultrafiltration

鈣 calcium

鈣蛋白酶 calpaïne

鈉鈣玻璃 verre sodo-calcique

黃烷醇 flavanol

黑白疣猴 Colobus guereza

黑色素 mélanine

黑孢塊菌 Truffe noire (Tuber melanosporum)

黑疣猴 Colobus satanas

嗎啡 morphine 烯醇 terpénol 烯類 terpène 烯醇類 al-COOL
terpénique 烯類糖苷 glycoside terpénique

嗜土症 géophagie

嗜酸菌 bactérie acidifiante

嗜熱鏈球菌 Streptococcus thermophilus

塊菌屬 genre Tuber

微米 micromètre

微克 microgramme

微胞 micelle

微射流均質乳化機 microfluidiseur

搖變性 thixotrope

楊氏模數 module d'Young

溶劑 solvant

溴酸鉀 bromate de potassium

節肢動物 arthropode

節肢彈性蛋白 résiline

葫蘆巴內酯 sotolon

葉綠體 chloroplast

葡萄球菌 Staphylococcus

葡萄糖 glucose

葡萄糖酸內酯 gloco-deltalectone

葡聚糖 glucane

解離酶 lyase

達西定律 Loi de Darcy

過氧化酶 peroxydase

過敏性休克 choc anaphylactique

酪胺酸 Tyrosine

酪蛋白 caséine

電析法 électrodialyse

飽足感 satiété

鼓索神經 nerf de la corde du tympan

鼠尾草酸 acide carnosique

鼠尾草醇 carnosol

羥基，俗稱氫氧基，-OH groupe hydroxyle

羧基，-COOH groupe carboxylate

羧酸 acide carboxylique

蒎烯 pinène

酮基戊二酸鹽 cétooglutarate

酮酸 cétoacide

酮類 cétone

酯 ester

酯化 estérification

酯類 ester

嫩度 tendreté

對流 convection

滲透 osmose

碳水化合物 glucide

碳酸氫鈉，又名小蘇打或焙粉 bicarbonate de sodium

碳酸鈣 carbonate de calcium

碳酸鈉，又名蘇打 carbonate de soude

聚 polysulfone

聚丙烯 polypropylène, PP

聚合酶 polymerase

聚合反應 polymérisation

聚合單寧 tanin condensé

聚海藻糖 fucane

聚氯乙烯 polyvinyl chloride, PVC

聚葡萄糖 polydextrose

腐植酸 acide humique

蒸氣飽和分壓 la pression de vapeur saturante

辣椒素, capsaicin Capsacine

酵素 enzyme

酵素受質 substrate

酸性基 groupe acide

鼻孔 narine

噴水泵 trompe à eau

層析儀 chromatographie

彈力蛋白 élastine

漿質 plasma

熱生成 thermogenèse

熱容量 capacité du calorique

熱解法 pyrolyse

熱電偶 thermocouple

熱電極 thermode

熱凝膠 thermogélification

穀氨酸促代謝型受器 récepteur métabotrope

糊化 gélification

膠原蛋白 collagène

蝦紅素 astaxanthine

衛星DNA DNA satellite

褐煤 lignite

褐藻酸鹽 alginate

質地 texture des aliments

質譜儀 spectrométrie de mass

醇類 al-COOL

醋酸 acide acétique

醋酸鈉 acétate de sodium

鋅氧化物 oxyde de zinc

麩胺酸脫氫酶 glutamate déshydrogénase

羰基, $C = O$ group carbonylé

十六到二十七畫

凝乳酶 présure

凝結 coagulation

橙花醇 nérol

澱粉, 澱粉粒 amidon

糖化 glycosylation

糖尿病的 diabétique

糖精, 英文: saccharin Saccharine

糖苷鍵 liéson osidique

糖苷酶 glucosidase

糖酶 glycosidase

膨潤土 bentonite

親水性 hydrophile

錳 manganèse

錫氧化物 oxyde d'étain

靜電的 électrostatique

鴨茅，又稱果園草 Dactylis glomerata

蕁麻疹 urticaire

濕度 hygrométrie

壓電晶體 cristaux piézoélectrique

應樂果甜蛋白，甜蛋白的一種，又名莫內林 monelline

環己醯亞胺 cycloheximide

環狀腺核苷單磷酸 AMP cyclique

環糊精 cyclodextrine

磷脂質 phospholipide

磷脂醯乙醇胺 phosphatidylthanolamine

磷脂醯膽鹼（又稱卵磷脂） phosphatidylcholine

磷酸 acide phosphorique

磷酸化 phosphorylation

磷酸化位置 site de phosphorylation

磷酸酐 anhydrate phosphorique

磷酸糖 sucre phosphate

磷酸鹽 phosphate

膽固醇 cholestérol

薯蓣皂苷 dioscine

螺旋結構 hélice

醣蛋白 glycoceptide

鎂 magnésium

闊鼻小目猴，新世界猴 signe platyrrhinien

黏度 viscosité

黏液真桿菌 Eubacterium limosum

黏彈性的 viscoélastique

黏彈性測量儀 viscoélasticimètre

醛類 aldéhyde

檸檬烯 limonène

檸檬酸 acide citrique

檸檬酸鈣（某些鈣片成分） calcium de citrate

濾網部分 maille

轉胺酶 aminotransferase

轉胺反應 transamination

轉導蛋白 transducine

雙硫鍵 pont disulfure

額葉蓋 opercule frontal quinone

懶猴，蜂猴 loris (Nycticebus coucang)

類胡蘿蔔素 caroténoïde

類風濕性關節炎 polyarthrite rhumatoïde

類黃酮 flavonoïde

蘋果酸 acide malique

麵筋，麩質，穀蛋白 gluten

纈胺酸 valine

纖維素酶 cellulase

變性 dénaturer

鹼性基 groupe basique

鹽酸 acide chlorhydrique

顳肌 muscle temporal

顳葉蓋 opercule temporal

【飲食相關類】

二到五畫

丁香 clou de girofle

入口即化 fondante

千年蛋，皮蛋 oeuf vieux de 1000 ans

千層派皮 pâte feuilletée

千層酥皮派 pâte feuilletée

口感 bouche

大瓶裝香檳 magnum de Champagne

大麥 orge

大溪地酸煮魚 acide des poissons à la Tahitienne

小火雞肉 dindonneau

小泡芙 petits choux

小黃瓜 cornichon

小燈籠茄 amour en cage, 學名Physalis alkekengi

山豬肉 sanglier

干邑 l'eau-de-vie

內臟類食物 abat

不鏽鋼桶 cuve inox

中空軟麵包 pâte à savarin

切小塊 cutterage

切開 couper

切達乳酪 cheëar

切薄片 feuilletage

巴伐利亞蛋奶凍 bavaroise

巴西栗，又名巴西堅果 noix du Brésil

巴林糖度 degré Balling

支鏈澱粉 amylopectine

文火慢燉 braisage

水果烤蛋 clafoutis

牛奶白醬 béchamel

牛肉蔬菜鍋 pot au feu

牛肉薄片（俗稱櫻桃牛肉） cerise de boeuf

牛肋排 côte de boeuf

牛至（俗稱奧勒岡） origan

牛肝蕈 cèpe

牛排 beefsteak

牛腎油 graisse de rognons

仙梭種葡萄 cinsaut

加料牛奶 lait fortifié

加熱 chauffer

加熱均化 conchage

包心菜 chou

半硬質乳酪 fromage semi-dure

卡士達醬 crème patissière

卡本內弗朗種葡萄 cabernet franc

卡本內蘇維儂種葡萄 Cabernet Sauvignon

卡門貝爾乳酪 Camembert

卡塔卷甜酒 cartagène

去梗 égrapage

可可脂 beurre de cacao

可麗餅 crêpe

古亞膠 gomme guar

古法烤肉 rotissage à l'ancienne

古達乳酪 gouda

四季豆 haricot vert

外表 aspect

外層酥皮 détrempe

奶油雞蛋軟麵包 brioche

奶油麵糊 panade/ roux

巧克力奶油醬 ganaches

巧克力杏仁醬 crème amande au chocolat

巧克力慕絲 mouse au chocolat

布布蘭克種葡萄 bourboulenc

布列塔尼酥餅 galette bretonne

布裏糖度 degré Brix

布魯塞爾迷你捲心菜 chou de Bruxelles

打發蛋白 blanc en neige

玉米粉 la farine de maïs

甘蔗糖漿 molasse de canne à sucre

生豬肉香腸 chipolata

白奶油醬汁 beurre blanc

白汁燉肉 blanquette

白吐司 Pain de mie

白花椰菜 chou-fleur

皮諾酒 Pineau

六到十畫

伊比利豬 porc ibérique

光滑度 lisse

再次發酵 apprêt

冰淇淋 crème glacée

印度芹 céleri des Indes

向日葵 tournesol

圭亞那紅辣椒 piment de Cayenne

多醣類 polyoside

托凱酒 tokay

有顆粒的 granuleuse

百里香 thym

羊乳酪 fromage de chèvre

老麵團 levain

肉精 extraits de viande

肉餡兒 farce

肉醬 pâté

血絲 veiné

西洋芹 céleri

西班牙火腿 Jambon cru d'Espagne

西班牙肉湯醬汁 sauce espagnole

伯堡乳酪 fromage Beaufort

低溫真空烹調法 cuisson sous vide à basse température

冷藏鏈 chaîne de froid

含脂肪的 grasse

夾心 forrage/ garniture

希哈種葡萄 syrah

快煎 rissolage

快煎快炸 saisir

李子 prune

杏，又稱杏李或杏桃 abricot，學名Prunus armeniaca

杏仁蛋糕 pâte à biscuit à l'amande

沙巴庸蛋黃醬 sabayon

沙拉醬 vinaigrette

沉澱 débourbage

沖泡 infuser

豆蔻 muscade

豆類 haricot

貝恩式紅蔥醬 béarnaise

防風草 panais，學名為Pastinaca sativa

乳化劑 émulsifiant

乳清 petit lait

乳清蛋白 protéin du petit lait

乳酪熟成 affinage/ affiner

乳酪鍋 caquelon/ fondue au fromqge

乳酪鮮奶油 fromage Chantilly

亞利坎提種葡萄 alicante

亞歷山大慕絲卡葡萄 muscat d’Alexandrie

刺槐豆膠 gomme de caroube

味精，又稱味素 glutamate de sodium

奇異果 kiwi

定溫熔化 tempérage

帕米吉安諾雷吉安諾乳酪，就是帕馬森乳酪 fromage Parmigiano-Reggiano

帕馬森乳酪 parmesan

抹刀 spatule

易脆度 friabilité

易碎的 émietée

昆布糖 laminaran

明膠 gélatin

果醬 confiture

松露 la truffe

泥煤味 tourbeux

河鱒 truite fario

沾黏性 adhésivité

波美糖度 degré Baumé

法式烤牛肉 rôti de boeuf

法式魚漿條 quenelle

法式熟肉醬 rillette

法式鹹派 quiche

法定產區證明 Appellations d'origine contrôlée

油耗味 arôme rance

油脂感 la sensation de gras

泡芙麵糊 pâte à choux

炙燒 cautérisation

直鏈澱粉 amylose

空心馬鈴薯球 pomme de terre soufflée

肥肝 foie gras

花之酒 vin de fleur

花生 arachide

芥末 moutarde

初次發酵 pointage

金黃色的 dorée

長條瑪德蓮蛋糕 madeleine longue

阿拉伯膠 gomme arabique

阿勒崗鑲雉雞 L'Alcantara

阿基米德螺旋擠壓泵 vis d'Archimède

阿彭策爾乳酪 fromage Appenzeller

阿爾薩斯麵疙瘩 spätzle alsacien

青蘋果 pomme Granny Smith

削皮刀 économe

南美燈籠茄 coqueret du Prou, 學名Physalis peruviana

後味 finale

扁石髮，也是石蓴科綠藻 cheveux de mer, 學名Ulva compressa

扁豆 lentille

洋香菜 persil

洋蔥 oignon

洛克福藍紋乳酪 fromage Roquefort

炸馬鈴薯圓片 Rondelle de pomme de terre frite

珍禽方餡餅 L'Oreille de la Belle Aurore

紅蔥 échalote, 學名Allium oschaninii

紅醋栗, redcurrant groseille

紅藻膠 carraghénane

紅蘋果 Pomme Red delicious

美乃滋 mayonnaise

胡瓜魚 éperlan

胡椒 poivre

胡蘿蔔 carotte

苦苣 endive

茄子 aubergine

英式烤小羊腿 gigot anglais

英式蛋黃醬 crème anglaise

虹鱒 truite arc-en-ciel, 學名Oncorhynchus mykiss

風乾或乾燥 séchage

食用膠, 一般是 E412 到 E414 épaississant

香瓜茄 pépino, 學名為Solanum muricatum

香味強度 intensité de l'arôme

香料味 épicé

香氣 nez

香草 vanille

香蕉 banane

夏季松露 Truffe d'été (Tuber aestivum)

夏維諾羊乳酪 crottins de Chavignol

夏維諾羊乳酪鮮奶油 crottins de Chavignol Chantilly

家禽肝味 odeur de foie de volaille

家樂氏 Kellog

栗子粉 la farine de châtaigne

格呂耶爾乳酪 fromage Gruyère

格那希種葡萄 grenache

浸泡，醃 macérer

海花菜 crambé maritime，學名為Crambe maritima

海帶 algue

海帶芽，裙帶菜 wakamé，學名Undaria pinnatifida

海綿蛋糕 boudoir

海鮮高湯 fond de crustacés

海鮮高湯 fumet de crustacés

烘焙 étuvage

烤小點心用的模子 ramequin

烤牛肉 le rôti de boeuf

烤羊腿排 gigot

烤豬肉 rôti de porc

純巧克力慕絲 chocolat chantilly

紙包烤 cuisson en papillote

草石蠶 crosne, 學名Stachys affinis

草香的 herbeux

茴香麵包 pain à l'anis

茶杯 tasse

茶壺 théière

起司牛奶白醬 béchamel au fromage

迷迭香 romarin

酒的圓潤感 rondeur

酒渣 lie

酒塞 bouchon stoppeur

酒體 corps

配菜 garniture

馬卡宏杏仁圓餅 macaron

馬宏乳酪 fromage Mahon

馬鈴薯 pomme de terre

馬鈴薯泥 purée

馬鈴薯粉 fécule de pomme de terre

高湯 bouillon

高溫擠壓烹飪技術 technique de cuisso-extrusion

高達利 caudalie

十一到十五畫

乾脆麵包片 biscotte

乾燥 séchage

做麵包 panification

側腹牛排 bavette

堅硬度（乳酪） fermeté

基因改造食品 organisme génétiquement modifié, OGM

培根 lardon/ lard

婆羅門蔘 salsifis

康提乳酪 fromage Comté

梵堤納乳酪 fromage Fontina

梅洛 Merlot

梨子 poire

液狀鮮奶油 crème

液種法 sur poolish

清酒 saké

瓶蓋 capsure couronne

甜菜 betterave

甜葡萄酒 vin doux

將葡萄酒混酒精做出的酒類 mistelle

第四代即食沙拉技術 salade de quatrième génération

細沙感 sablé

莎瓦涅葡萄 savagnin

荷蘭蛋黃醬 hollandaise

蛋奶凍 flan

蛋白糖霜 meringue

雪莉酒 Xérès, sherrys 魚 turbot

魚高湯 fond de poisson

麥稈酒 vin de paille

麥穀蛋白 gluténine

麥膠蛋白 gliadine

單一麥芽威士忌 single malt

掌狀昆布 Laminaria digitata

揉麵 triturer

揉麵團 pétrissage

普羅旺斯燉蔬菜 ratatouille

棍子麵包 baguette

植物塊根，塊莖 tubercule

焦糖紅蔥 échalote caramélisée

無花果 figue

猶太低溫煮蛋 oeufs hamines

琺瑯燉鍋 cocotte

番石榴 goyave

番茄清湯 consommé de tomates

硬麥子 blé dur

硬質乳酪 fromage dure

筍瓜 courgette

絞肉 hachage

絞肉機 hachoir à viande

結實度 compact

菠菜 épinard

菜肉燉鍋 salpicon

貯放野味 faisander

貴腐 pourriture noble

酥皮包烤 cuisson en croûte

酥芙蕾 soufflé

開胃點心 Hors d'oeuvre

集結酒渣 collage

黃李白蘭地 eau de vie de mirabelle

黃豆 soja

黃原膠，漢生膠 xanthan

黑梅洛種葡萄 Merlot noir

黑醋栗榨汁 purée de cassis

搗碎 broyer

煎魚排或炸魚塊 poisson pané

煙燻 fumage

義式麵疙瘩 gnocchi

聖奈克特乳酪 fromage Saint-Nectaire

腸衣 boyau

葫蘆巴籽 graine de fenugrec

萵苣 laitue

葡萄灰黴菌 Botrytis cinerea

蜂蜜 miel

酪梨 avocat

預先發酵 préfermentation

鼠尾草 sauge

管狀香菜芹 cerfeuil tubéreux, 學名Chaerophyllum bulbosum

綠檸檬 citron vert

聚半乳甘露糖 galactomannane

蒜香蛋黃醬 aïoli

蒸餾酒 l'esprit-de-vin

辣椒 piment

酵母菌 levure

酸豆香草醬 ravigote

銅盆 bassine

鳳梨 ananas

增稠劑 composé épaississant

彈牙 al dente

彈性（乳酪） élasticité

慕絲 mousse

歐芹，俗稱巴西利，又名荷蘭芹 Persil

熟成 maturation

熬煮 décoction

穀類 céréale

膠化劑 composé gélifiant

蔗糖 saccharose

褐藻酸鹽 alginate

褐變 brunissement

調和式威士忌 blended

豌豆 petit pois

豬肋排 côte de porc

醇溶穀蛋白 prolamine

墨西哥guajillos辣椒 piment guajillos

墨西哥habanero辣椒 piment habanero

十六到二十畫

橡木桶 fût de chêne

橡樹果實 gland

澱粉漿 empois

濃縮高湯 fond

燉肉 fricassée

燉物 pochage

燉鍋 braisière

燒炭 braise

燒烤 grillade

糖漿 sirop

葦褶 lamelle

融化度 le fondant

褲子鈕釦 bouton de culotte

霍布洛雄乳酪 fromage Reblochon

餐後酒 digestif

鴨骨汁燉鴨 salmis de canard

龍蝦 langoustine

優格 yaourt

優格製作機 yaourtières

壓榨 pressurage

壓麵 laminier

擠壓機 extrudeur

薄紗酒 vin de voile

薄酒萊 beaujolais

薄荷凍 Gelée de menthe

薑 gingembre

薯條 frites

顆粒感 la texture granuleuse

鮮奶油 crème Chantilly

鮭魚 saumon

黏牙程度 collante

檸檬 citron

濾清 tirage au clair

濾鍋 passoire

覆盆子 framboise

醬油 sauce de soja

雜燴魚 matelote

雞胸肉 suprême de volaille

鯉魚 carpe

羅勒 basilic

蟹棒 surimis

鯰魚 silure

蘑菇 champignon

蘑菇 champignon de Paris

蘇玳酒 Sauterne

蘇維儂種白葡萄 cépage sauvignon blanc

鹹乳酪泡芙 gougère

麵包板 plaque à pâtisserie

麵筋 gluten

麵團 pâton

鰈魚 sole

二十到二十四畫

蘭姆酒 rhum

攪拌器 fouet

纖維感 fibreux

變形度 déformabilité

鱒魚 truite

蠶豆 fève/ féverole

釀酒酵母 *Saccharomyces cerevisiae*

鹽水 saumure

鹽漬 salage

【其他】

上了錫釉的陶器 vase de faïence

土魯斯 Toulouse

大西洋羅亞爾省 Loire Atlantique

不鏽鋼 acier inoxydable

中央山地區 Massif central

中氣候 mésoclimat

巴黎自然史博物館 Laboratoire d'écologie générale du Muséum

巴黎高等物理與工業化學學院 l'Ecole supérieure de physique et de chimie industrielle de la ville de Paris

巴黎第六大學 Université Paris VI

《巴黎廚師》 le cuisinier parisien

文澤海姆 Wintzenheim

日內瓦芬美意香料公司 Société Firmenich

木桐羅吉德酒莊 Château Baron Philippe de Mouton Rothschild

加州大學舊金山分校UCSF Université de San Francisco

北阿爾卑斯區 Alpes du Nord

北高地 Highlands Nord

卡布旭利公司 Société Capsulis

卡利布代大漩渦 Charybde

卡馬雷 Camaret

卡薩雷斯 Caceres

卡薩雷斯獸醫學院 Ecole vétérinaire de Caceres

史特拉斯堡 Strasbourg

《外場經理的科學》 Science du Maître d'Hôtel Cuisinier

布戈伊 Bourgueil

布里斯托 Bristol

布魯塞爾 Bruxelles

打鼓人出版社 édition du timbourinaire

休眠 dormance

安傑 Angers

朱昂薩斯 Jouy-en-Josas

艾莎美公司 Société Elsamer

艾雷島 l'île d'Islay

西西里 Sicile

西高地 Highlands ouest

低地 Lowlands

克萊蒙費朗 Clermont-Ferrand

希儂 Chinon

杜耳 Dole

沙朗特地區 Charente

貝雪瑞爾 Bécherel

貝雷斯納河 Bérésina

里昂大學 Université de Lyon

帖依克斯 Theix

佩伊高 Périgord

侏羅區 Jura

《味覺生理學》 Physiologie du got

尚高賓玻璃集團 groupe Saint-Gobain

弩利黎市 Nouzilly

東京帝國大學 Université impériale de Tokyo

東高地 Highlands est

波爾多大學 Université de Bordeaux

波爾多釀酒學院 faculté d'oenologie de Bordeaux

法國侏羅省 Jura (département)

法國海洋研究所 Institut français de recherches sur la mer,
IFREMER

法國高等廚藝學院 école supérieure de cuisine française

法國國家科學研究中心 Centre national de la recherche scientifique

法國薩瓦省 Savoie

法蘭西學院 Collège de France

芬美意香料公司 firmenich

金雀花 genêt

金獅旅館 Grand Htel du Lion d'Or

阿布瓦 Arbois

阿莫哈梅爾 Société Amora-Maille

阿爾薩斯區跨領域酒類中心 Centre interprofessionnel des vins d'Alsace

阿緹蓋 Artiguère

青貯飼料 ensilage

勃根地 Bourgogne

南特 Nante

南錫 Nancy

《城市與鄉村裡的廚師》 La cuisinière de la campagne et de la ville

帝國學院 Collège Impérial

洛林 Lorrain

科爾馬 colmar

耶路撒冷大學 Université de Jérusalem

耶魯大學 Université Yale

風土，風土，產地 terroir

風向圖 rose des vents

食品工業與包裝環境研究發展協會 Association pour le développement de la recherche dans les industries agro-alimentaires et d'emballage-conditionnement, ADRIAC

香味與天然受質實驗室 Laboratoire des arôme et substances naturelles

香檳區酒類跨領域委員會 Comité interprofessionnel du vin de Champagne

《香檳區釀酒者》期刊 Vigneron champenois

俾格米人 Pygmées

倫敦牙科研究所 Institut odontologique de Londres

原子能委員會 Commissariat de l'énergie atomique

埃佩爾奈 Epernay

埃斯特拉馬杜雷 Estramadure

席格海姆 Sigolsheim

《料理》 La cuisine

朗格多克 Languedoc

格孚茲塔明那種葡萄 cépage Gewurztraminer

格勒諾勃 Grenoble

海尼根酒廠 Société Heineken

留種，生產種子 production de semence

神經生理實驗室 Laboratoire de neurobiologie sensorielle

索木爾香琵伊 Saumur-Champigny

馬約拉那會議中心 Centre Ettore Majorana

馬錫 Massy

高地 Highlands

乾草 foin

國立工藝博物館 Conservatoire National des Arts et Métiers

國立高等食品與營養應用生物學校，現屬於國立高等農業、食品工業與環境科學研究所的一部分 Ecole nationale supérieure de biologie appliquée à la nutrition et à l'alimentation, ENSBANA

國立高等農業、食品工業與環境科學研究所 institut national supérieur des sciences agronomiques de l'alimentation et de l'environnement (Agrosup), ENSBANA

國立高等農業與食品工業學院 École Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires, ENSIA

國立園藝與景觀研究所，前身是ENITHP Institut National d'Horticulture et de Paysage (INHP)

國立農業研究所 INRA

國家法定產區管制局 Institut national des appellations d'origine

國際農業研究合作中心 Centre de-COOpération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, CIRAD

國際標準組織 international standard organisation, ISO

密德蘭 Midlands

康皮恩大學 Université de Compiègne

康提區格呂耶爾乳酪跨領域委員會 comité interprofessionnel du

Gruyère de Comté

《烹飪手冊》 Manuel Culinaire

第戎農業與食品工業學校（現屬於國立高等農業、食品工業與環境科學研究所的一部分） Ecole agro-alimentaire de Dijon

船桅 mât

船索 cordage

船殼 coque

莫乃爾化學感覺中心 Centre Monell d'étude des sens chimique

陶土製的瓶子 vase en terre

博卡爾公司 société Boccard

堪薩斯大學 Université du Kansas

斯貝塞 Speyside

發芽 germination

發展研究所 ORSTOM, 現為Institut de recherche pour le développement

隆摩蘭廷朗特奈 Romorantin-Lanthenay

黃楊木 buis

園鶯 becfigue

塞內加 Seneca

塗了琺琅的器皿 bassine émaillée

奧克尼島 Orkney

奧塞醫學中心 Centre hospitalier d'Orsay

奧爾良 Orléans

意為靴匠不管靴子以上的東西 Sutor ne supra crepidam

愛克斯 Aix

瑟宏酒莊 Château de Céron

瑞士弗里堡，弗里堡的 fribourg, fribourgeoise

瑞士瓦萊省，瓦萊省的 Valais, Valaisanne

聖吉爾達海角 la pointe Saint-Gildas

《聖安潔夫人的好料理》 La bonne cuisine de Madame Saint Ange

聖傑曼翁雷 Saint Germain-en-Laye

葛發雷托兒所 crèche Gaffarell

葡萄與葡萄酒高等研究所 Institut supérieur de la vigne et du vin

達能企業 Groupe Danone

酩悅香檳酒廠 Société Moët et Chandon

雷恩 Rennes

漢斯大學 Université de Reims

蒙法維 Montfavet

蒙特佩利爾 Montpellier

蒙特婁大學 Université de Montréal

蒼穹島 Skye

蜜蠟 miel-cire

裴克胡芝 Pech Rouge

赫布里島 Hebrides

銅瓶 vase de cuivre

層積作用 stratification

播種植物 porte-graine

《模範廚師》 La cuisinière modèle

歐洲食品與農業製造研究 Food Link Agro Industrial Research,
FLAIR

樹狀圖 dendrogramme

盧梭製桶公司 Tonnellerie Rousseau

諾丁漢大學 Université de Nottingham

諾斯塔特大學 Université de Neustadt

賽米食品研究站 Station expérimentale SEMMI

賽拉女妖 Scylla

邁阿密大學 Université de Miami

鍍錫 étamer

《簡單好料理》 le meilleur et le plus simple

薩克雷 Saclay

藍帶廚藝學校 école du Cordon bleu

龐特莊園 domaine de la Pinte

繫杆 espar

羅亞爾河谷 Val de Loire

羅蘭多溝，又稱中央溝 scissure de Rolando

蘇格蘭 Ecosse

釀酒學研究所 Institut d'oenol