本文由科學生科普閱讀課程授權提供，原文刊載於泛科學
教材由學習吧LearnMode團隊製作

# 認識電解質

## 豆漿加醋為什麼會結塊？化學解密鹹豆漿之謎

適用國中自然【八下】電解質和酸鹼鹽

平凡的一天早晨，來點熟悉的鹹豆漿最對味，但，問題來了：到底為什麼豆漿加了醋後，就會產生塊狀物，變成好吃（喝）的鹹豆漿呢？在與泛糰們互動的過程中，我們發現資料中出現了不同的說法，因此，便有位泛糰認真地開始研究這個問題，並將他的理解與我們分享。

## 豆漿豆漿，你為何會變得不一樣？

關於「鹹豆漿加醋為什麼會產生塊狀物？」這個問題，在搜尋眾多的網路資料後，會發現主要有兩派說法：

1. **因為加入了電解質，讓豆漿中膠體粒子的正負電荷相等，呈電中性，進而產生凝聚。**
2. **因為加入酸性物質，讓豆漿中的蛋白質變性，進而產生凝聚。**

以上兩種說法，看似都說得通，但難免讓人想知道：何者才是正確的原因呢？

在深入討論前，我們首先要了解什麼是「膠體」。

膠體 (Colloid) 是一種由兩種不同物質混合而成的均勻混合物。形成膠體時，並不會像鹽溶於水一樣，發生溶解作用。常見的膠體有：霧、果凍、牛奶，當然還有今天的主角──豆漿。

而說到鹹豆漿凝聚的過程，我們要先談談膠體的其中一個特性：**帶電**。

膠體之所以可以均勻混合，除了微小粒子間不斷碰撞的布朗運動之外，另一個原因就是帶電。膠體粒子外有所謂電雙層 (electrical double-layer)

的結構，藉由電性相斥，讓其中的膠體粒子不會互相結合凝聚。而豆漿中的膠體粒子主要是蛋白質，帶負電荷。

## 豆皮豆腐鹹豆漿，凝聚方法不一樣

那麼，豆漿裡的蛋白質到底要怎樣才會凝聚呢？主要有三個方法：**加熱**、**加鹽類**、**改變 pH值**。剛好，這三個方法可以依序對應到我們常吃到的三種豆類食品：豆皮、豆腐、鹹豆漿。

加熱時，蛋白質之間會產生雙硫鍵，互相連結，而在冷卻的過程中，氫鍵

則扮演了強化結構的角色。

如果大家想自己在家做豆皮，只要加熱豆漿，等表面形成薄膜之後小心撈出晾乾即可。不過，有一點要注意的是：製作豆皮要用小火，不能讓豆漿沸騰，否則就無法在表面形成完整的薄膜。

加鹽類與酸可以直接讓蛋白質凝聚，而在製作豆腐及鹹豆漿之前，通常也會先透過加熱讓蛋白質變性，這個步驟可以讓蛋白質的疏水基暴露出來，使其更容易凝聚。

加熱後的豆漿，若加入鹽滷（主要成分為氯化鎂）或石膏（主要成分為硫酸鈣）等鹽類，再經過一段時間的排水、成型，就完成豆腐了。

若加入的是醋及其他佐料，經過攪拌即成鹹豆漿。

## 加鹽 vs. 加酸，凝聚機制有什麼不一樣？

在上一段我們將「加鹽類」和「加酸」分成了兩個類別，但它們到底有什麼差別呢？接下來，就要仔細說明一下兩者間的不同。

## 加鹽類：

豆漿加入鹽類後，鹽類中帶正電的鈣、鎂離子會中和蛋白質膠體粒子表面所帶的負電，讓膠體粒子呈電中性。此時，膠體粒子失去了電荷的排斥作用，互相碰撞後便會凝聚在一起。

當單一離子帶有的電荷越多，要達到凝聚所需加入的量就會越少。此外，相同價數的離子也會有不同的效果，例如：鈣的凝聚效果便比鎂來得好。豆漿中的蛋白質膠體粒子帶負電荷，主要由鹽類中的正離子來中和，而鹽

類中的負離子種類，也會影響凝聚所需的量，如氯鹽的凝聚效果便比硫酸鹽好。

## 90 年的大學聯考題曾有一題：「加食鹽會不會讓豆漿凝聚？」

當時大考中心給的答案是「會」，不過，由於鈉離子跟鈣相比，需要非常多的量才能達到凝聚的效果──在 $As_2S_3$ 膠體（此膠體粒子帶負電）中加入氯化鈉（NaCl，食鹽）及氯化鈣（$CaCl_2$）測定凝聚產生需要的最小濃度，結果分別為 51 及 0.65 mmol/L，由此可見，鹹豆漿裡面的鈉不是主要讓蛋白質凝聚的主要因素（不然會鹹死）。

## 加酸：

在了解加入酸會發生什麼事之前，需要了解一個詞：等電點。

等電點指的是**一個兩性離子達到電中性時的 pH值**。兩性離子（兩性分子的離子態）的特點是**同時具有正負電荷**，大部分的胺基酸便是兩性分子的一種。

豆漿裡面的兩種主要蛋白 Glycinin、beta-Conglycinin，等電點約在 5 左右（變性的蛋白質其等電點會稍微改變，但變化不大）。一旦加入酸，便會讓此二蛋白質膠體粒子趨近於等電點；越接近等電點，膠體粒子的淨電

荷數越少，意味著膠體粒子間的斥力越小，便越容易凝聚。

綜合所述，可以得知：加鹽類跟改變 pH值，其實都是在改變膠體粒子的淨電荷數，原理上並沒有太多的區別。

以上講了那麼多，鹹豆漿之謎的解答到底是什麼呢？或許，我們可以整理出一個比較精確的敘述——

**經過加熱的變性蛋白質膠體粒子，加醋之後，降低了表面的淨電荷數量，讓膠體粒子在接觸時容易互相凝聚；而因蛋白質變性所露出的疏水基，讓凝聚作用能進行得更加順利。**

# 參考資料：


1. 施建輝（2014）。膠體溶液的帶電性與凝聚。台灣化學教育
2. Ringgenberg, E.（2011）. The Physico-Chemical Characterization of Soymilk Particles and Gelation Properties of Acid-Induced Soymilk Gels, as a Function of Soymilk Protein Concentration（Doctoral dissertation）.
3. Li Tay, S., Yao Tan, H., & Perera, C.（2006）. The coagulating effects of cations and anions on soy protein. *International journal of food properties*, 9（2）, 317-323.
4. Ui, N.（1973）. Conformational studies on proteins by isoelectric focusing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 209（1）, 198-209.