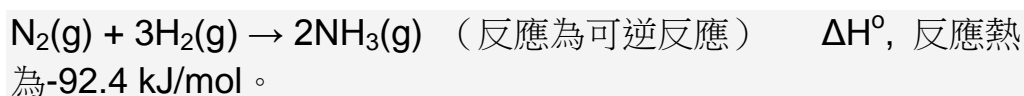


從哈伯法開始說起.....

自從幾年前開始教通識課以後，對於許多課程要怎麼教，開始有了不同的想法。怎麼說呢？一般專業課程總是強調「專業」，舉個例子好了，學過國高中化學的同學應該都知道哈伯法（Haber-Bosch Process），在高溫高壓下以鐵粉做為催化劑將氮氣與氫氣轉化為氨（ammonia）：



通常化學課的時候，老師只會提到，因為氮氣(N₂)的兩個氮原子之間是三鍵，所以要打開氮氣很不容易；因此不但要用高溫高壓，還要用鐵粉當催化劑...

然後？就沒有了。講完了。

但是，哈伯法偉大的地方就只是這樣嗎？哈伯（Fritz Haber）因為發明了這個方法，得到 1918 年的諾貝爾化學獎。難道就是因為他成功的打斷了氮-氮三鍵而已嗎？



哈伯 (Fritz Haber)，圖片來源：wiki

當然不是。哈伯法的重要性在於，從此人類打開了以人工提高作物產量的大門，農作物的產量從此大大的提高。

當然，產量提高其實也是有限度的，在植物的營養上，有個名詞叫做「關鍵濃度」(critical concentration)。當土壤中的養分低於這個濃度時，植物的生長與養分的濃度成正比；超過這個濃度以後，植物的生長跟養分的濃度就不成正比了，也就是說，用再多也沒有明顯的效果。

但是，在過去只能使用天然肥料（動物的屍體、糞尿、植物的落葉等）的時代，由於天然肥料必需要等待微生物分解（這部分在堆肥時已經大致完成），再經過土壤中的微生物將其中含氮成分分解為硝酸根 (nitrate, NO_3^-) 與銨離子 (NH_4^+) 後，才能為植物所吸收，因此效果緩慢。加上為了方便起見，農人們總是會以單作 (monoculture) 的方式來種田，這種在大片的土地上種植單一作物的方式，很容易會使土壤缺少某些特定的養分（尤其是氮與磷），所以在哈伯法還沒有出現以前，要提高土壤內的氮濃度，除了使用天然肥料之外，就只剩下使用綠肥，或是與豆科植物輪作了。

但是，這些方法，都不能使土壤中的氮的濃度超過關鍵濃度；因此，當哈伯法出現之後，農夫將化學肥料施放在田裡，立刻有了奇效—農作物的產量大大的提升。加上育種改良以及殺蟲劑、除草劑的使用，[20世紀小麥與稻米的產量提升了 8-10 倍](#)（平均產量是 4 倍）。

但是哈伯法對於科學界的貢獻，並不僅僅在於農作物產量的提升；在哈伯發明化學固氮之前，一直有一派學說認為，這些在生物體中的化合物，只有生物才能合成（也就是所謂的生機論 **Vitalism**）。雖然生機論在科學上的地位在 1828 年在維勒（**Friedrich Wöhler**）合成尿素以後，已經岌岌可危；但是直到哈伯法出現以後，生機論才不再被提起。

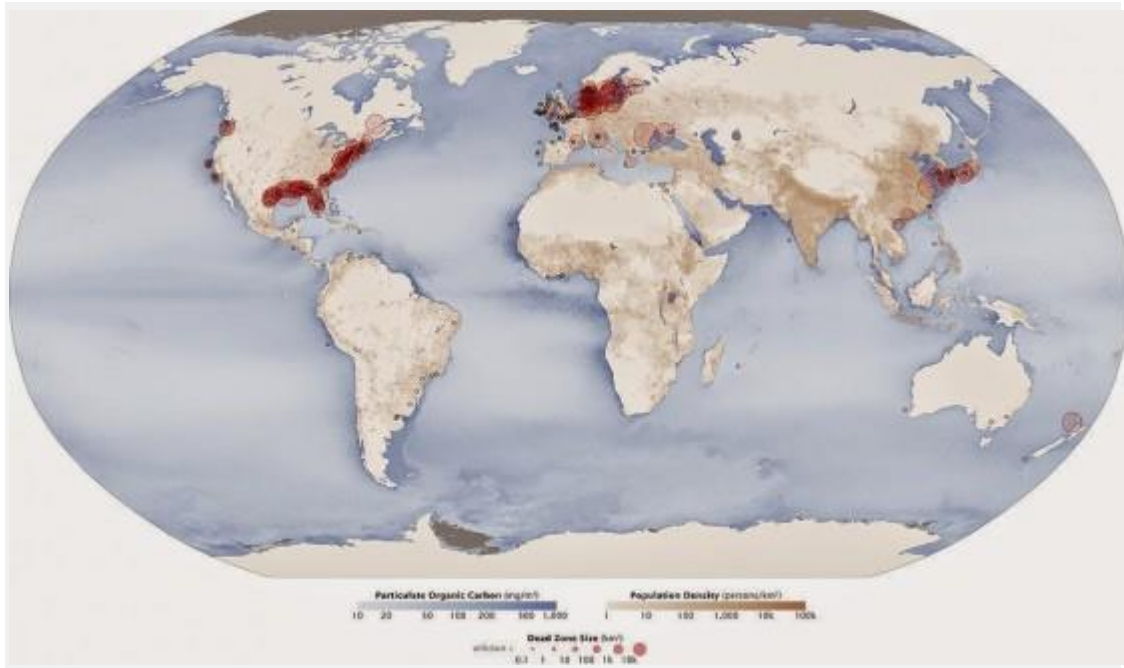
但是哈伯法對全人類最大的貢獻，還是在於：從此想要多少氮肥，就可以製作多少氮肥。雖然在十九世紀 **Sach** 等人的研究，已經使大家了解，要能夠正常的生長與繁殖，植物需要 17 種元素（稱為必需元素 **essential element**）；但是其中最關鍵的氮與磷，卻始終無法足量提供給植物。

但是，大量的施放氮肥，卻造成了另一個效應：死亡海域（**Dead zone**）。

死亡海域最早出現在 1970 年代。由於化肥的大量施用早在 1930 年代就開始了，因此也花了一些時間去釐清到底是怎麼回事。簡單來說就是，大量施放氮肥（主要是硝酸根）與磷肥（磷酸根）到土壤中，但是土壤主要是由矽酸鋁顆粒構成，也是帶負電的，所以同性相斥使得氮與磷無法久留在土壤中，很容易隨著雨水、灌溉水流到附近的湖泊與河流裡，最後流到海裡。

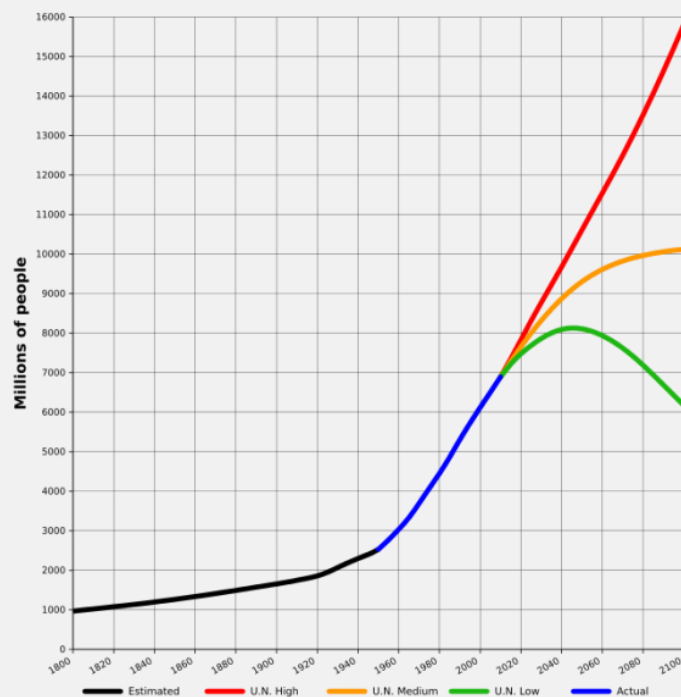
當海裡的氮與磷濃度上昇以後，造成藻類大量生長，形成藻華（**algae bloom**）；藻華隔絕了水下植物的陽光，使得水下植物開始死亡；植物的死亡與分解吞噬了水中的氧氣，接著動物開始死亡...然後就是死亡海域。

由於慣行農法的單作、密植，使得化肥成為農業的必要之惡；所以死亡海域一直都是難以解決的問題。2008 年的統計，全球的死亡海域共有 405 個點；而死亡海域的「熱區」集中在人煙稠密的北半球。



全球死亡海域熱區。圖片來源：wiki

而施放化肥加上灌溉，除了造成死亡海域之外，又會使得土壤酸化、鹽化。雖然哈伯法似乎在短時間內提高了農作物的產量，養活了許多人(這可以由 1940 年代開始，世界人口急速上昇看出來)；



世界人口增長速度。圖片來源：wiki

但是，哈伯法所造成的副作用，包括死亡海域、土壤酸化、鹽化，以及因為人口大幅增長造成土地大量被開發的生態破壞等等...究竟是功是

過呢？其實科學家發明了新技術，而這個新技術在大量被使用之後，產生了意想不到的變化，我想這也是當初哈伯始料未及的吧！