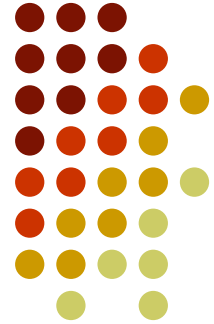


環境工程與科學概論

Lecture 3
Water and Water Pollution

National University of Tainan
February 2008

李政憲 Ph.D., P.Eng., LEED® AP.



伍、水污染



- 引言 (INTRODUCTION)
- 水資源 (WATER RESOURCES)
- 水污染物
(WATER POLLUTANTS)
- 地面水水質概況 (STATUS OF SURFACE WATER QUALITY)
- 生化需氧量 (BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND)
- 需氧廢棄物對河川的影響
(THE EFFECT OF OXYGEN-DAMANDING WASTES ON RIVERS)
- 湖泊與水庫的水質
(WATER QUALITY IN LAKES AND RESERVOIRS)

● Reading: Text Book p187~p209



引言

5.1



- 在許多方面，我們的地面水已因潔淨水法案而大為改善，但問題並未完全解決
- 非洲及亞洲大部分的都市中心均完全沒有污水處理系統，其中包括了許多人口超過百萬人的城市



水資源

5.2之1



- 水的特殊性質 (Unusual Properties of Water)
 - 由圖5-2所示，是簡單的水分子，兩個氫和氧之間的化學鍵呈 105° 角，使分子在一端略帶正電荷而另一端帶負電荷
 - 水分子的雙極性也使之可輕易地附著於其他表面上，而表面張力和附著力結合，使水能攀爬在物體的表面。這種毛細 (capillary) 運動對生命體至關重要

水資源

5.2之2



- 水的特殊性質 (Unusual Properties of Water)
 - 密度 (Density)

在 4°C 時密度最大，這意味著隨著溫度和 4°C 相差漸大，水就不斷地變成較輕且浮力較大，結果使冰可浮在水面。
 - 熔點與沸點 (Melting and Boiling Points)

水的熔點和沸點間的差距之大也不常見，因此地球的水大部分均為液體。
 - 比熱 (Specific Heat)

水和其他已知的液體相比（胺水除外），具有較高的熱容（ $4184 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ ）。

水資源

5.2之3



- 水的特殊性質 (Unusual Properties of Water)
 - 蒸發熱 (Heat of Vaporization)

水是擁有最高蒸發熱（ 2258 kJ/kg ）的液體之一。
 - 水是種溶劑 (Water as a Solvent)

水和其他常見的溶劑相比，可以溶解較多的物質。
 - 溫室效應 (Greenhouse Effect)

水蒸氣是我們大氣中最重要溫室氣體。



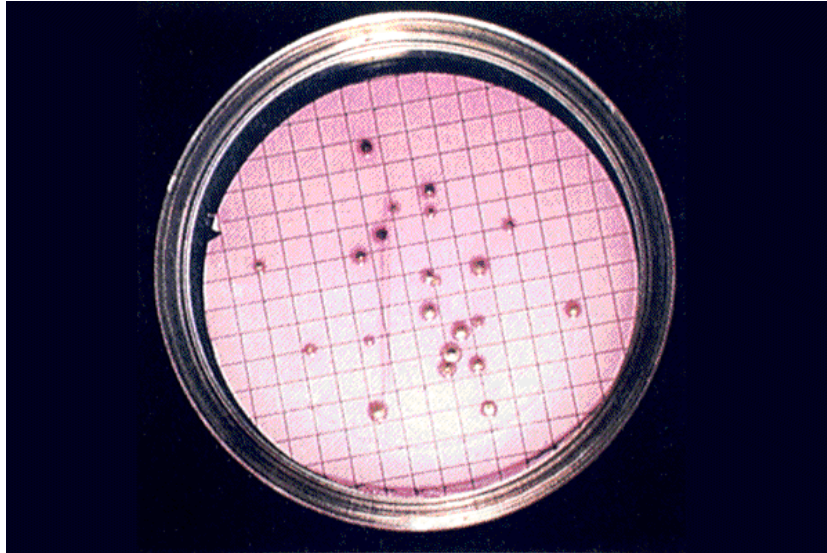
- **水文循環** (The Hydrologic Cycle)
 - 地表吸收了近一半的太陽能而轉變成潛熱，藉由**蒸發** (evaporation) 將潮濕表面的水分帶走，藉由**葉蒸** (transpiration) 將植物葉片中的水帶走。這兩種過程合在一起稱為**蒸發散** (evapotranspiration)
 - 由圖5-3說明**水文循環** (hydrologic cycle) 中蒸發散、降雨和以化合物形成逕流的簡單觀念
 - 世界上的水幾乎全存在海洋中，剩下的部分其分布情形如表5.1所示
 - 人們使用的主要水源是淡水湖和河川，它們只佔世界水存量的0.007%或93,000km³左右



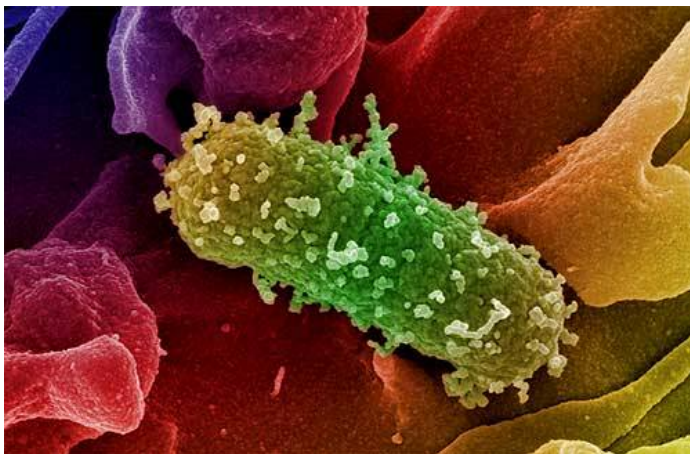
- **水的使用** (Water Usage)
 - 隨著人口成長，水的需求量也上升，而每人可用的水則會減少，如圖5-4所示
 - 在水的抽取量 (withdrawal)、水的流返量 (return) 和水的消耗量 (consumption) 這些重要詞彙間有一個簡單的方程式可表示
$$\text{抽取量} = \text{消耗量} + \text{流返量} \quad (5.1)$$
 - 如圖5-5所示，是美國淡水抽取量、消耗量及流返量的數據



Petri dish and growth broth Colony- forming units (CFU)

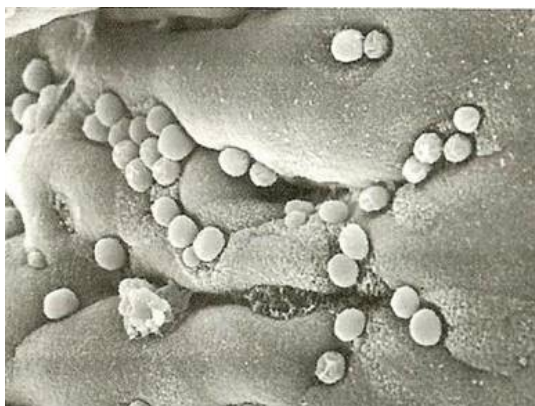


腸出血性大腸桿菌 *E. coli. O157:H7* (*Escherichia coli*)



水源的隱孢子蟲

Cryptosporidium: cryptosporidiosis



Electron microscopy of spherical cryptosporidium parasites at surface of gut epithelial



水污染物

5.3之1



● 病原體 (Pathogens)

病原體是會造成疾病的生命體，他們在宿主 (host) 體內成長繁殖。

由表5.5所示，是對於以水為媒介的疾病分類及追蹤時最常使用的分類系統。

由表5.6所示，是對一些與水有關的最盛行之全球估側疾病率、死亡率及常見這些疾病的地方的人數。



- 需氧廢棄物 (Oxygen-demanding Wastes)

判斷水源品質最重要的方法，是測量目前的溶氧 (dissolved oxygen, DO) 量。

需氧廢棄物 (oxygen-demanding) 是指在承受水體中會被氧化的物質。

需氧量常用的測定標準如下：

- 化學需氧量 (chemical oxygen demand) 或COD：是用化學方法氧化廢棄物的需氧量
- 生化需氧量 (biochemical oxygen demand) 或BOD，這是微生物以生物方法分解廢棄物的需氧量



- 養分 (Nutrients)

- 養分是指如氮、磷、碳、硫、鈣、鉀、鐵、鎂、硼和鈷等化學物質，都是生命體成長所必需的元素
- 補充養分並使之豐富的過程叫做優養化 (eutrophication)，優養化對湖泊尤其重要
- 氮的主要來源包括市鎮廢水排放、動物飼養場的逕流、化學肥料，及大氣中分解的氮（尤其是在發電廠附近）
- 氮不只會帶來優養化的問題，而且在飲用水中以特定的形式出現時，會造成公共健康的嚴重威脅

水污染物

5.3之4



● 養分 (Nutrients)

- 氮在水中最常以本身不具特別毒性的硝酸鹽 (NO_3) 形式存在
- 在嬰兒腸道中常見的細菌可以將硝酸鹽轉變成具高度毒性的亞硝酸鹽 (NO_2)。血液中的血紅素對亞硝酸鹽的親和力大於對氧的親和力，當亞硝酸鹽取代氧時就會產生變性血紅素血症 (methemoglobinemia)
- 變性血紅素血症的缺氧特徵，是在嬰兒身上產生藍色的斑點；因此通常稱之為「藍嬰」症 (blue-baby syndrome)

水污染物

5.3之5



● 鹽類 (Salts)

- 較簡單且較常用的鹽類測量法叫做總溶解固體 (total dissolved solid, TDS) 的濃度
- 淡水 (freshwater) 視為少於1500 mg/L TDS的水
- 鹽味水 (brackish waters) 的TDS值可能達到5000 mg/L
- 鹽水 (saline waters) 是指濃度超過5000 mg/L
- 海水的TDS在30,000到34,000 mg/L
- 飲用水的建議最大TDS濃度為500 mg/L



● 熱污染 (Thermal Pollution)

- 當水溫升高時，有兩個因素合在一起，會使水生生物難以由水中獲得足夠的氧
- 第一個因素是因為新陳代謝率隨溫度升高而增加，通常每升高 10°C 便增為2倍。因此，有機物的需氧量就會隨之增加
- 一方面因為水中的DO量隨溫度上升而減少，這兩個原因使水中可用的溶氧量減少
- 當溫度升高時，會造成需氧量攀升，而可用DO量下降



● 重金屬 (Heavy Metals)

- 金屬的特性：高導熱性及導電性、高反射性，以及具有金屬光澤、強度及延展性
- 重金屬 (heavy metal) 的定義，通常是指比重超過4或5的金屬。從對環境的影響來看，最重要的重金屬是汞 (Hg)、鉛 (Pb)、鎘 (Cd) 和砷 (As)



● 農藥 (Pesticides)

- 農藥可分為殺蟲劑 (insecticides)、除草劑 (herbicides)、滅鼠劑 (rodenticides) 及殺真菌劑 (fungicides)
- 合成的有機殺蟲劑可分成三大類：有機氯化物 (organochlorines) (即一般所知的氯化碳氫化合物)、有機硫 (organophosphates) 和氨基甲酸鹽 (carbamates)



● 農藥 (Pesticides)

- 像DDT (如圖所示) 這種有機氯化物農藥對食物鏈的破壞性是來自於兩種性質：殘留性、易溶解
- 氨基甲酸鹽是取自氨基甲酸， H_2NCOOH 。氨基甲酸鹽和有機硫化物一樣，在環境中不會殘留、不會藉由食物鏈而累積在生物體內
- 缺點，就是對人類具有高度的毒性



- 揮發性有機化合物
(Volatile Organic Compounds)
 - 是地下水中最常見的污染物之一
 - 如圖所示，有五種VOCs的毒性特別強，如果出現在水中就要特別注意



- 為了有助於監控潔淨水法案目標的推行，需要各州提出轄內河川、湖泊及海灣的水質評估。評估的起點是訂出各水體需要被維持的有利之正常用途 (beneficial uses)
- 造成河流與溪水水質受損害的最重要污染物如圖5-8a所示，而那些污染物的主要來源如圖5-8b所示
- 湖泊和水庫的污染物及損害來源如圖5-7所示



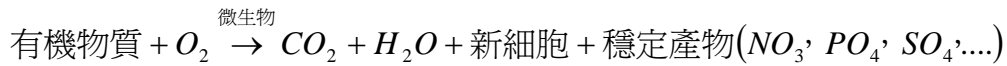
生化需氧量

5.5之1



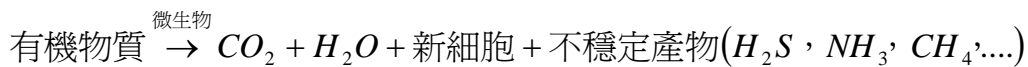
- 好氧分解的簡化表示法

好氧分解



- 厭氧分解可由下式表示

厭氧分解



- 微生物好氧性地氧化有機廢棄物所需要的氧稱為**生化需氧量** (biochemical oxygen demand, BOD)

生化需氧量

5.5之2



- 五天的BOD測定 (Five-day BOD Test)

- 生物分解的總需氧量，是測量廢水對承受水體 (receiving body of water) 影響的重要方法
- 五天需氧量 (或BO) 是微生物在五天的生物分解中之耗氧量
- 稀釋樣本的五天BOD為

$$BOD_5 = \frac{DO_i - DO_f}{P} \quad (5.3)$$

DO_i = 稀釋廢水的起始溶氧(DO)

DO_f = 稀釋廢水五天後的最終溶氧

P = 稀釋比例 = $\frac{\text{廢水體積}}{\text{廢水體積} + \text{稀釋水體積}}$

標準BOD瓶子的容量為300 ml，故P正是廢水體積除以300 ml

生化需氧量

5.5之3



- 建立呈一階反應的BOD模型

(Modeling BOD as a First-order Reaction)

- 由圖5-10以數學式來說明，令 L_t 代表時間 t 後剩餘的需氧量，並假設這是一個一階反應，則可寫成

$$\frac{dL_t}{dt} = -kL_t \quad (5.9)$$

- 當 k =BOD反應速率常數（時間 $^{-1}$ ）（ time^{-1} ），其（5.9）式之解為

$$L_t = L_0 e^{-kt} \quad (5.10)$$

L_0 是碳的最終需氧量（Ultimate carbonaceous oxygen demand）

生化需氧量

5.5之4



- 建立呈一階反應的BOD模型

(Modeling BOD as a First-order Reaction)

- 碳的最終需氧量是廢棄物在最初五天中已消耗的氧（ BOD_t ），加上在時間 t 後剩下的氧量之總和

$$L_0 = BOD_t + L_t \quad (5.11)$$

將（5.10）式和（5.11）式合在一起可得

$$BOD_t = L_0 (1 - e^{-kt}) \quad (5.12)$$

- 方程式（5.10）和（5.12），如圖5-11所示



● BOD反應速率常數k

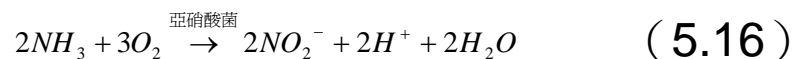
(The BOD Reaction Rate Constant k)

- BOD反應速率常數k是指示廢棄物生物分解率的因子。當k增加時，溶氧使用速率將增加，而最終需氧量不會改變
- 由表5.9所示，是在20°C時BOD反應速率常數的典型數值



● 硝化 (Nitrification)

- 硝化 (nitrification) 的過程可以下列二式來表示：



- 將有機碳氧化成二氧化碳所需的氧稱為碳的需氧量 (CBOD)，而將氨轉化為硝酸鹽所需的氧稱為氮的需氧量 (NBOD)
- 氮若以N₂的形式出現，則植物便無法使用，故必須先轉化為氨 (NH₃) 或硝酸根 (NO₃)，這個過程叫固氮作用 (nitrogen fixation)

生化需氧量

5.5之7



● 硝化 (Nitrification)

- 由圖5-12所示，是此連續過程之說明，開始時所有的氮均呈有機形式，數星期後硝化結束時，所有的氮均為硝酸鹽的形式
- 由圖5-13所示，碳與氮的生化需氧量說明
- 廢水中有機氮和氮的總濃度即所知的總凱氏氮 (total kjeldahl nitrogen, 或TKN)
- 氮的需氧量可以用TKN乘以4.57來估測

$$\text{最終NBOD} \approx 4.57 \times \text{TKN} \quad (5.18)$$

生化需氧量

5.5之8



● 需氧量的其他測試方式

(Other Measures of Oxygen Demand)

- 理論需氧量是將特定有機物質完全氧化的需氧量，計算時僅單由化學計量來考量
- 當剩餘廢棄物逐漸減少時，細菌開始仰賴自身組織做為維生所需之能量，這個過程稱為內呼吸 (endogenous respiration)
- 在COD測定中，並非依靠微生物，而是添加強力的氧化劑，來完成氧化有機物的工作

