

# 工業技術研究院

Industrial Technology  
Research Institute

## 低耗能生物處理技術介紹與應用

材化所 水科技組 水系統整合與工程化研究室

邱聖壹 資深研究員

[sy1012@itri.org.tw](mailto:sy1012@itri.org.tw)

03-5732986

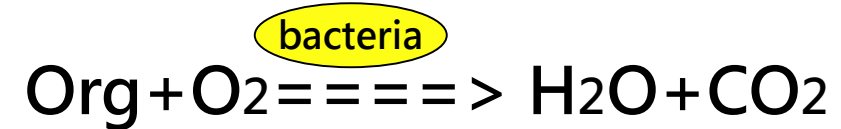


# 廢水生物處理技術

- 傳統廢水生物處理以好氧與厭氧方式處理，可針對碳、氮等污染物去除。

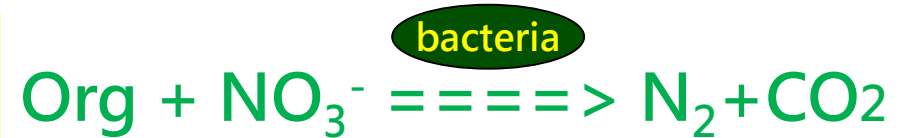
好氧生物處理

AST活性污泥法  
SBR批式活性污泥法  
MBR膜離活性污泥法



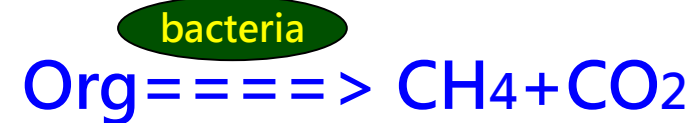
無氧生物處理

A/O 硝化脫氮程序



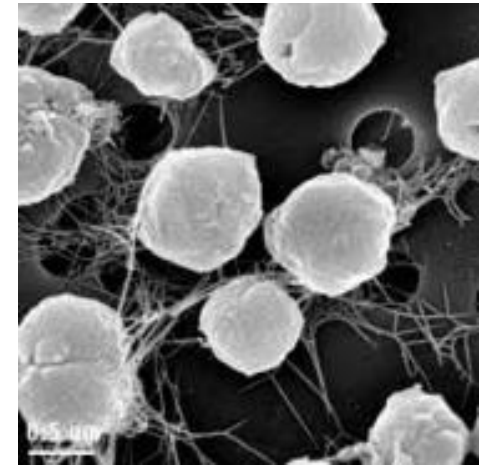
厭氣生物處理

AFB厭氧流體化床  
UASB上流式厭氧污泥床  
厭氧MBR

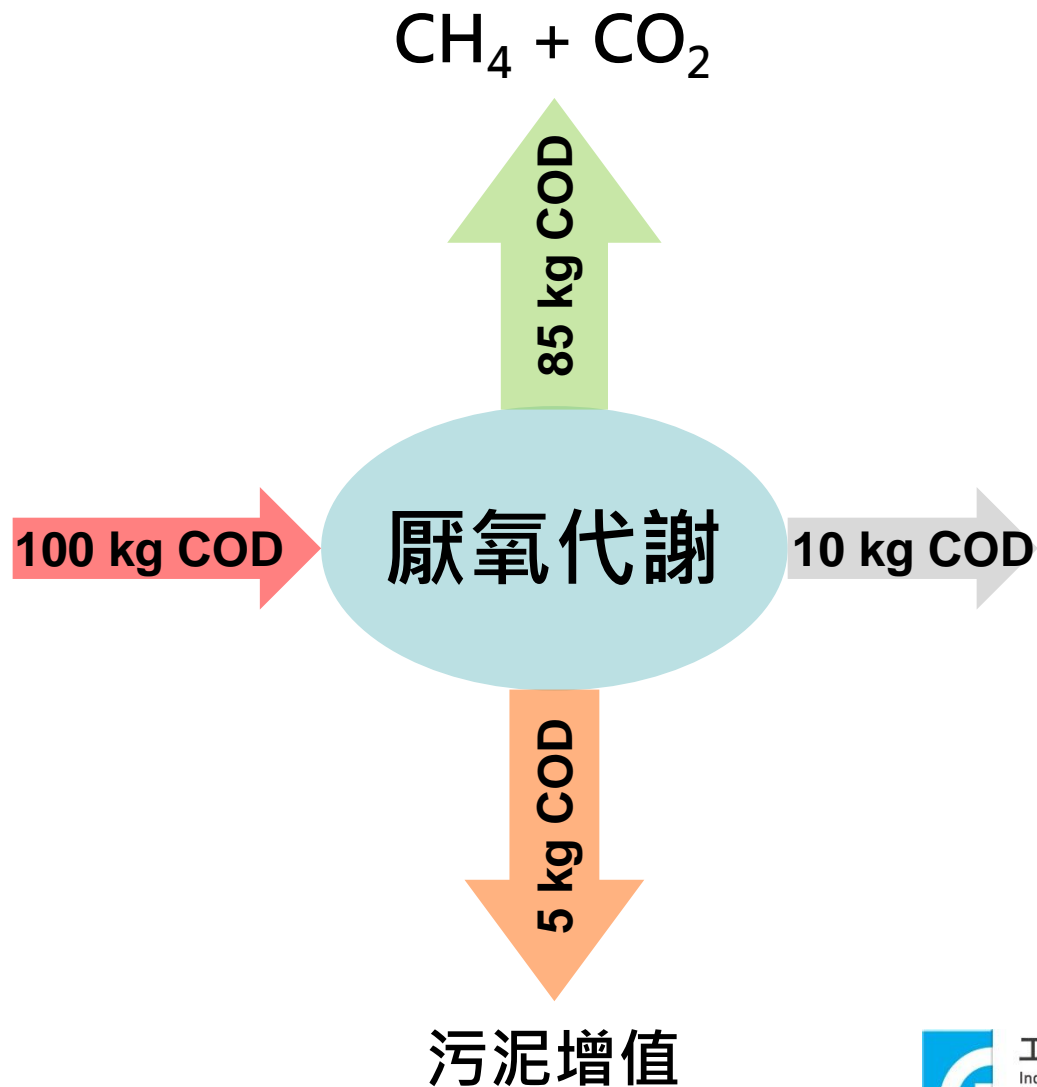
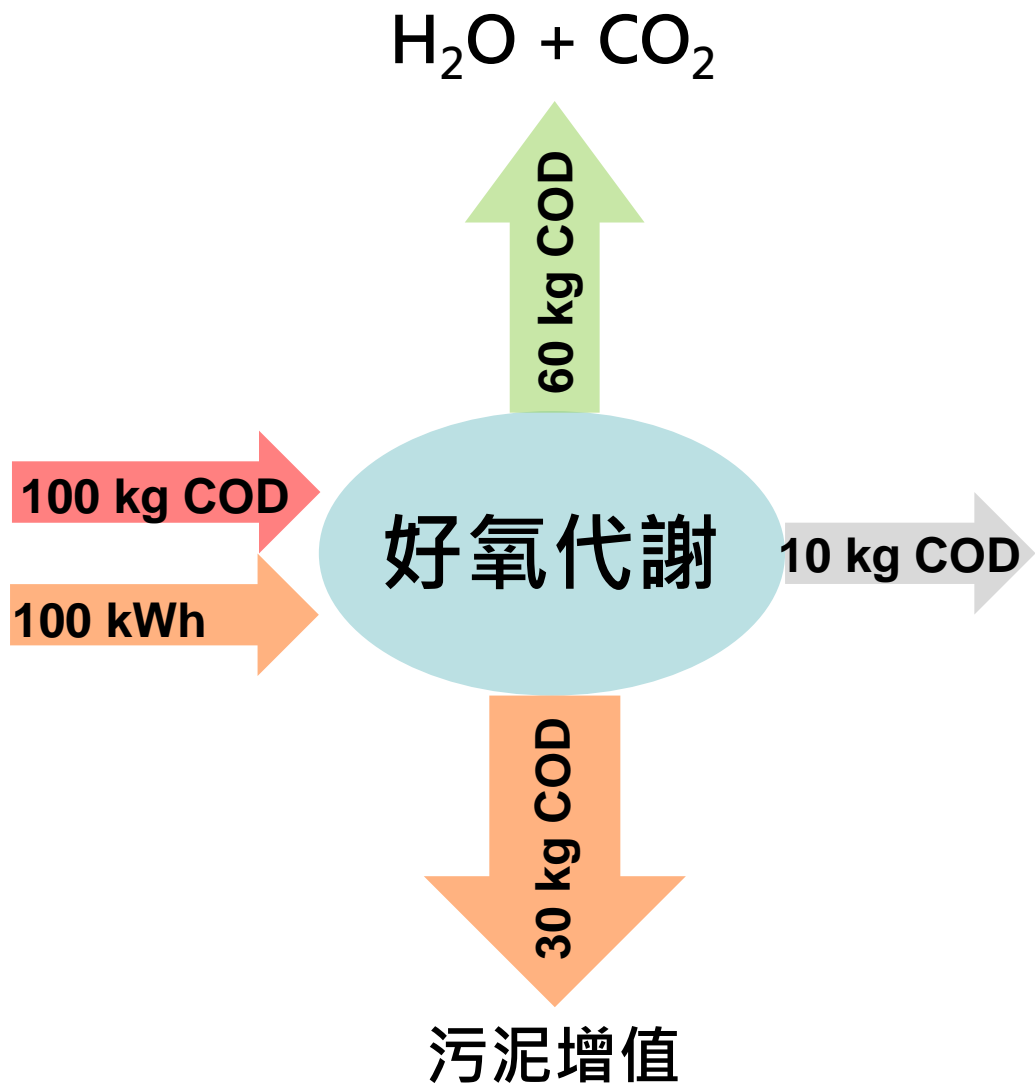


# 厭氧 ( Anaerobic ) 生物處理

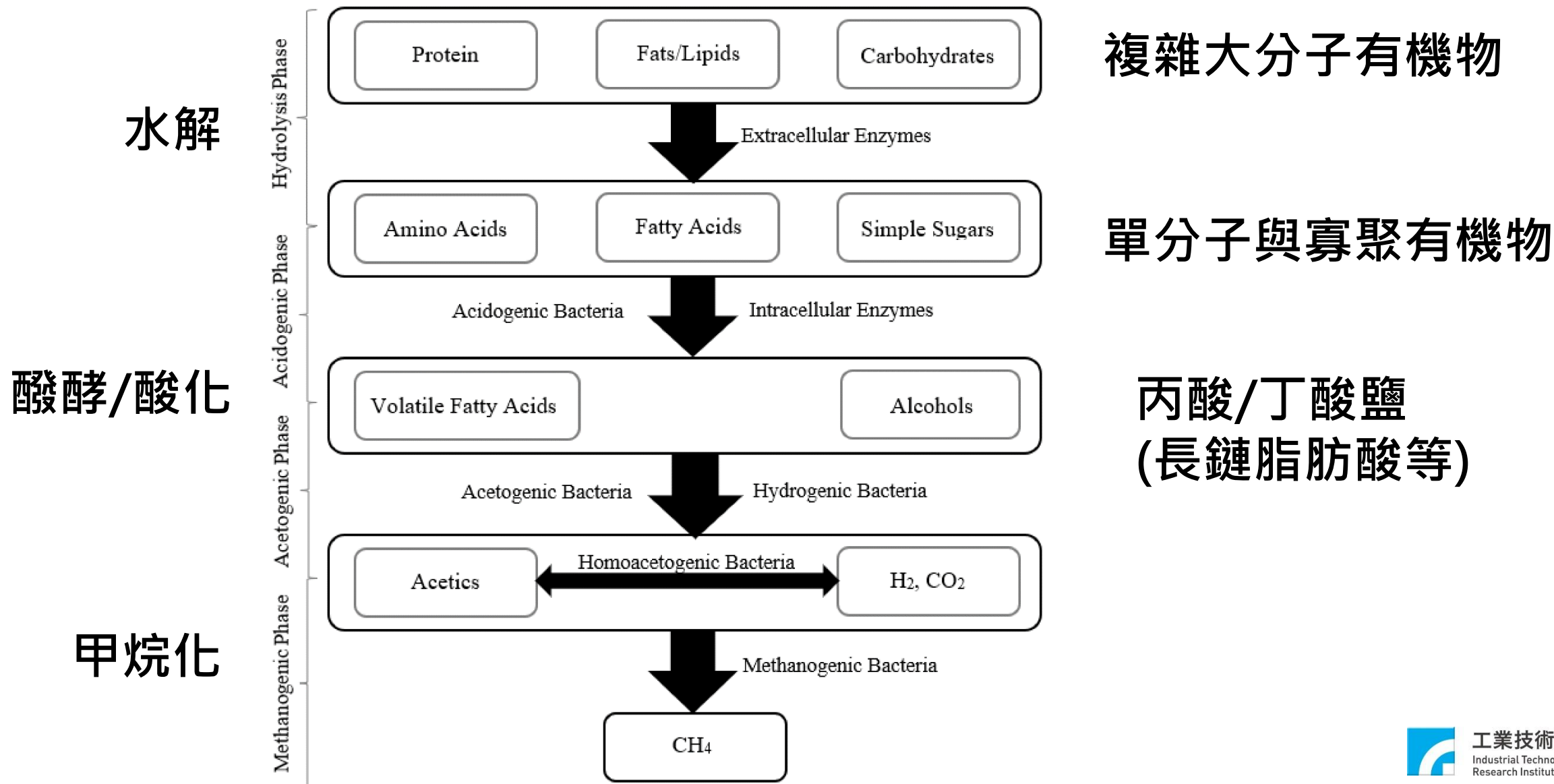
- 一族群微生物，如甲烷菌等，以**碳水化合物**作為電子接受者（一般活性污泥處理以氧氣做為電子接受者），經過微生物體內呼吸循環後，獲得微生物生長能量，並將碳水化合物還原成**甲烷**氣體。
- 以甲烷菌為例，其特性包含：
  - 屬於古細菌 ( archaea )
  - 絕對厭氧
  - 代謝過程產生甲烷
  - 桿菌： *Methanobacterium, Methanobacillus*
  - 球菌： *Methanococcus, Methanotherix, Methanosarcina*



# 厭氧與好氧程序比較



# 厭氧生物處理有機物降解機制



# 上流式厭氧污泥床技術 Upflow Anaerobic Sludge Bed

## 厭氧微生物分解

厭氧微生物在厭氧環境下分解有機物，將其轉化為甲烷、二氧化碳和其他中間產物。

## 厭氧環境

厭氧環境是厭氧微生物進行生物分解還原性反應的必要條件，確保反應順利進行。



## 上升流促進接觸

上升流設計促進進水中的有機物與污泥床中的微生物充分接觸，提高分解效率。

## 產生甲烷

分解還原性反應最終產生甲烷，可作為甲烷能源回收利用，實現能源的永續利用。

# 上流式厭氧污泥床技術 Upflow Anaerobic Sludge Bed

- 是一種廣泛應用於有機廢水處理的低碳永續發展技術。  
UASB技術通過厭氧微生物的作用，有效分解有機物，產生甲烷，實現能源回收，並大幅降低污泥產生量。



## 高體積效率

體積負荷  $> 1 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{day}$ ，處理槽所需體積較小，節省投資成本。



## 低污泥產量

污泥產率  $< 0.1 \text{ kg SS/kg COD}$ ，減少廢棄污泥處理負擔。



## 高土地利用效率

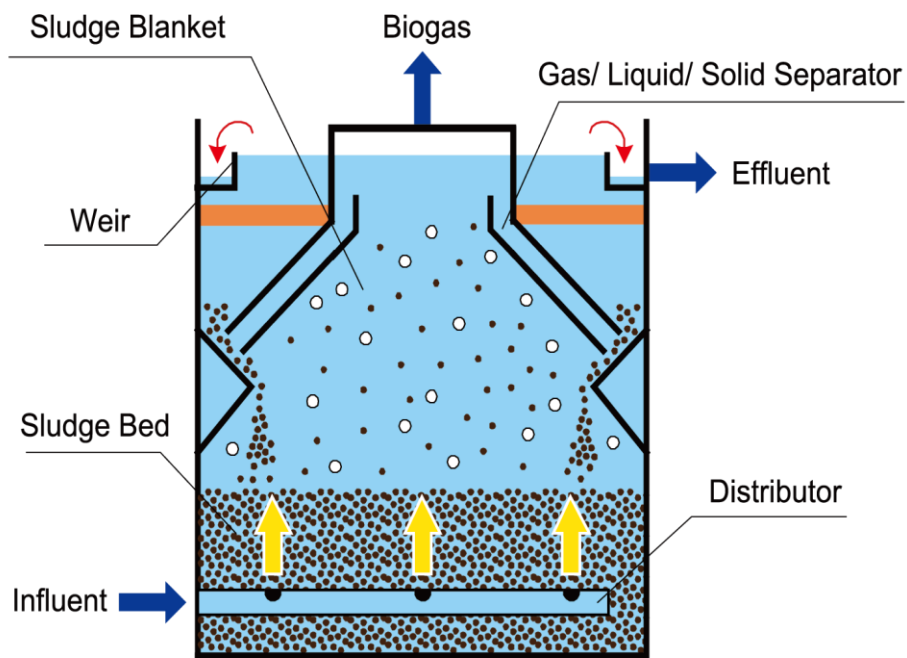
可達  $100 \text{ kg COD/m}^2 \cdot \text{day}$ ，比傳統好養活性污泥法高約20倍。



## 低能源消耗

免供氧曝氣，適用範圍廣，對水質和負荷變動的忍受力高。

# UASB低碳厭氧技術介紹



## 進流水混合

進流水中的有機物與反應器底部的污泥床充分混合，提供微生物分解的基質。

## 分解生成氣體

在厭氧微生物的作用下，有機物分解生成甲烷和二氧化碳等沼氣。

## 三相分離器分離

產生的沼氣經三相分離器分離，收集後進行利用，提高能源效益。

## 淨化水排放

處理後的水從反應器頂部排出，達到淨化水質的目的。

# 技術及經濟效益



## 節省投資成本

與傳統活性污泥法相比，可節省投資成本1億元以上。  
(某酒廠案例)



## 節省土地面積

某紙廠案例中節省土地面積達2倍以上，某酒廠節省1,500 m<sup>2</sup>。



## 降低操作成本

每年可節省污泥處理費及操作動力費1,000萬元以上。

# 操作與維護關鍵



## 保持污泥活性

定期監測和調整反應器內部的微生物群落，確保生物污泥床的活性。



## 控制進流水

維持進流水的適宜溫度與進流/回流量，通常在30-35°C之間，且使污泥達到上升流速，有利於微生物的生長和繁殖。



## pH與營養鹽

監控和調整進水的pH值，確保其在6.5~7.5之間，並提供必要的營養鹽。



## 沼氣收集

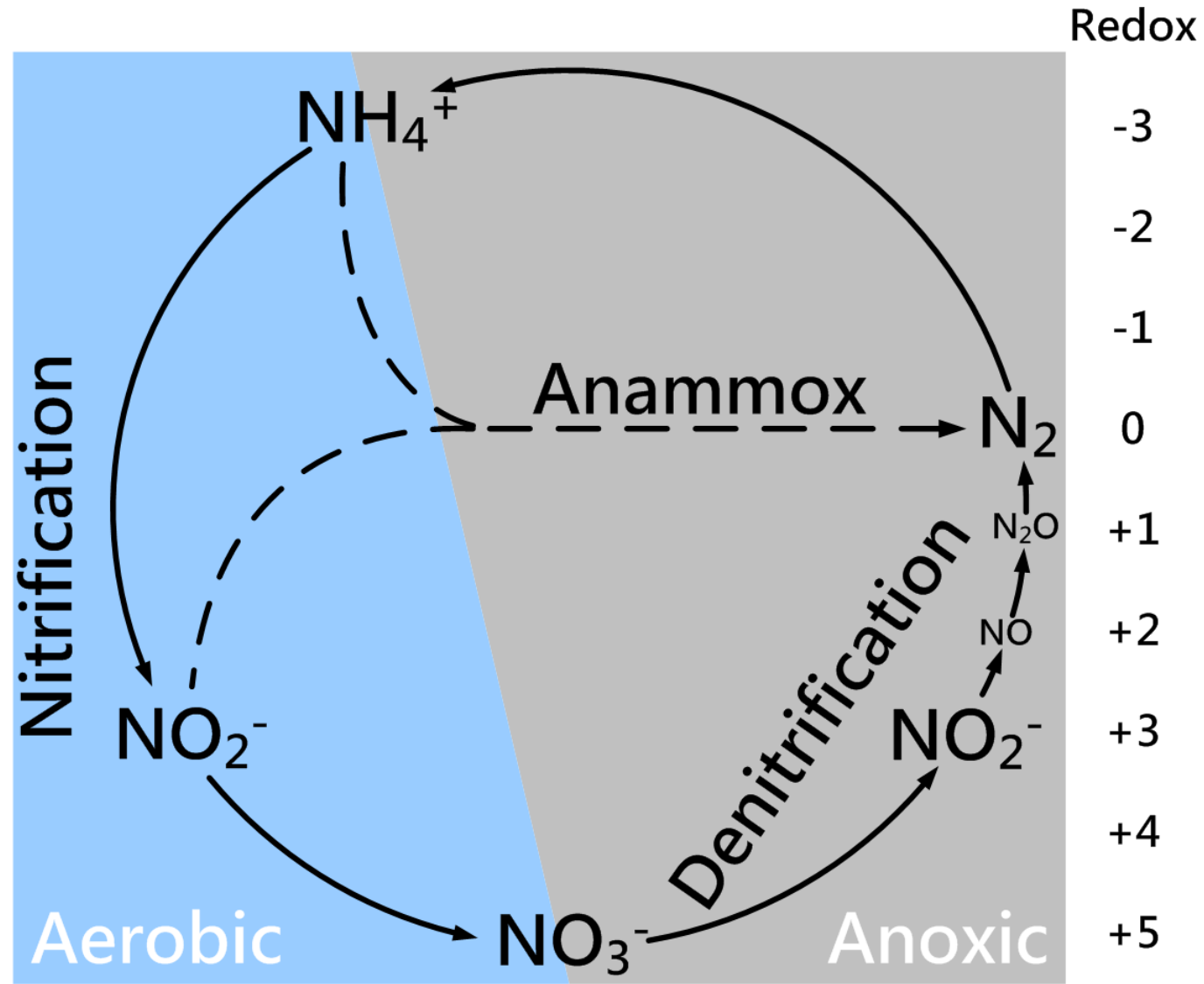
定期檢查和維護沼氣收集系統，確保管路暢通，避免洩漏。

# UASB 實廠案例介紹

# ANAMMOX技術介紹

## (含氮廢水生物處理技術)

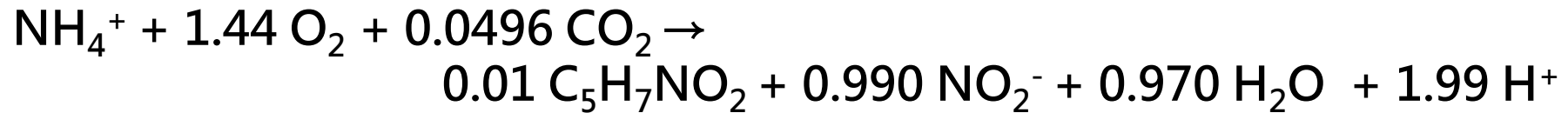
# 常用的含氮廢水生物處理技術(氮循環)



# 傳統程序-硝化反應(I)

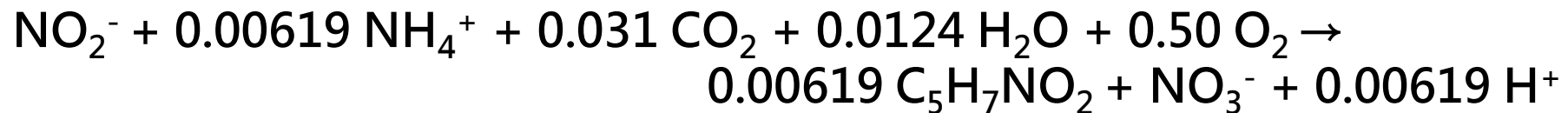
硝化作用包含了兩階段反應：好氧氨氧化反應及亞硝酸氧化反應，參與兩種反應之微生物皆屬自營菌，碳源來源為 $\text{HCO}_3^-$ ( $\text{CO}_2$ )

氨氧化反應式如下：



此反應主要由氨氧化菌(AOB, Ammonia-Oxidizing Bacteria)，常見的菌株如 *Nitrosomonas*、*Nitrospira*、*Nitrosovibrio*及 *Nitrosococcus*。

亞硝酸氧化反應式如下：

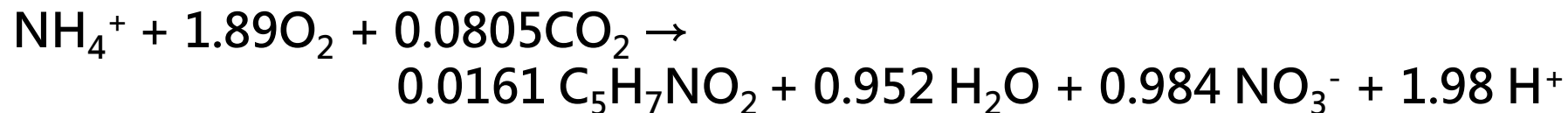


參與反應之微生物為亞硝酸氧化菌(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Nitrite-Oxidizing Bacteria)，常見的有 *Nitrobacter*、*Nitrospira*及 *Nitrococcus*。

(US EPA, 1993)

# 傳統程序-硝化反應(II)

全硝化反應式(好氧氨氧化+亞硝酸氧化)如下：



硝化反應中，僅有氨氧化反應會產生氫離子(消耗鹼度)，**每mole氨氧化會產生約2 mole氫離子**；亞硝酸氧化反應中可發現並不會產生氫離子(不消耗鹼度)，兩者在細胞合成會利用二氧化碳

**總結硝化特性：**

鹼度消耗：

氨氧化每轉化1 g氨氮需要7.1 g鹼度

亞硝酸氧化不消耗鹼度

溶氧消耗：

氨氧化轉化1 g氨氮需要3.3 g溶氧

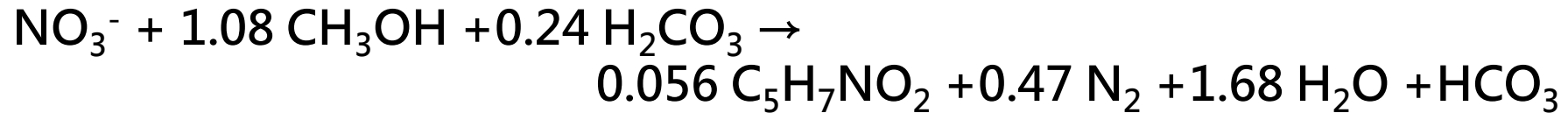
亞硝酸氧化1 g亞硝酸需要 1.1 g溶氧

*(US EPA, 1993)*

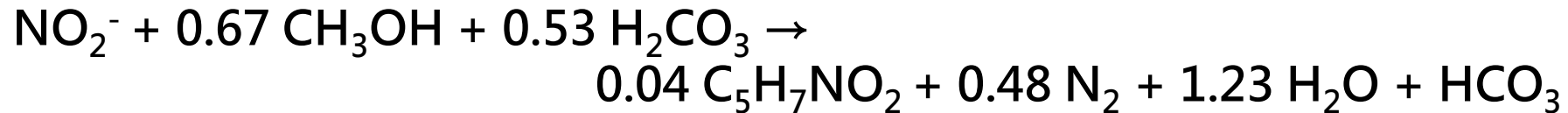
# 傳統程序-脫硝反應

可進行脫硝反應的(異營)微生物非常多種，一般在缺氧的環境下以有機物作為電子提供者與碳源，將硝酸氮或亞硝酸氮還原至氮氣

以甲醇(電子提供者，碳源)為例  
硝酸根作為電子接受者：



亞硝酸根作為電子接受者：



總結脫硝特性：

碳源消耗

還原1 g硝酸氮需要3.7g COD

\*1 g不同有機物供獻不同的COD，e.g. 1 g甲醇供獻1.5 g COD

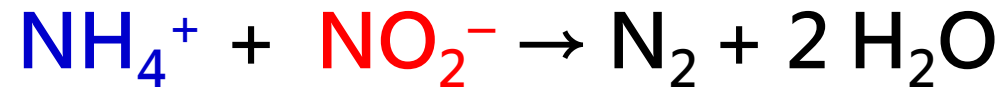
還原1 g硝酸氮產生3.57g鹼度

(US EPA, 1993)

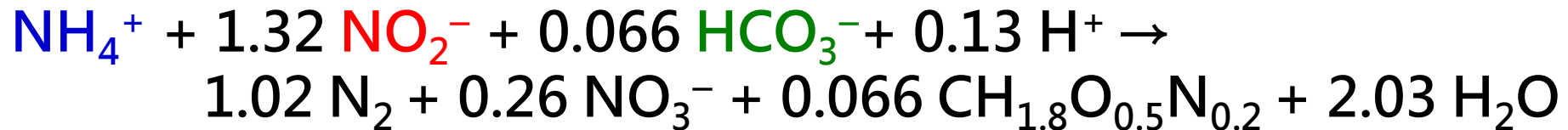
# 厭氧氨氧化ANAMMOX

厭氧氨氧化(ANaerobic AMMonium OXidation, ANAMMOX) · 是在無氧環境下以亞硝酸鹽作為電子接受者，將氨氮(電子提供者)氧化至氮氣與少量硝酸的生化反應，反應式如下：

不含細胞合成：



含細胞合成：

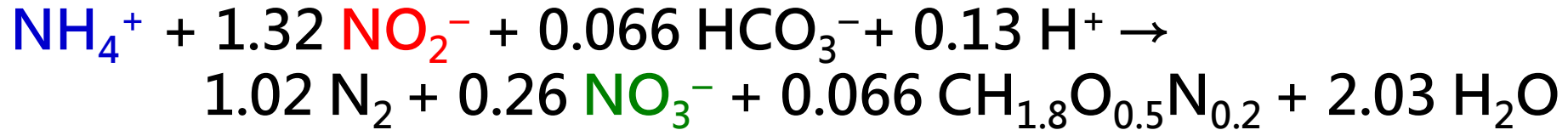


厭氧氨氧化菌在演化分類學上屬於浮黴菌 (*Planctomycetes*)，生理上屬於自營菌，經優化的污泥具有紅色與顆粒狀的外觀。



# ANAMMOX菌種生理特性

## 平衡化學計量



\* $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_2^- : \text{NO}_3^- = 1 : 1.1-1.3 : 0.1-0.25$

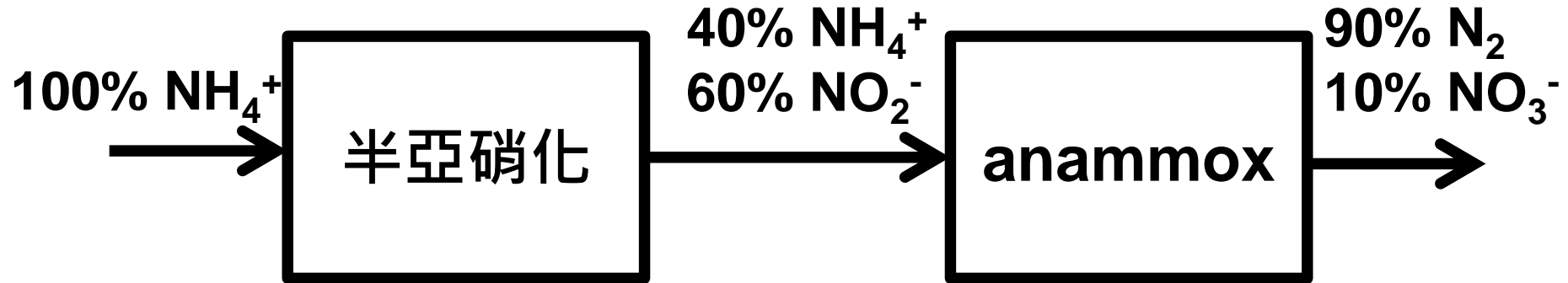
\*\*硝酸氮形成是ANAMMOX是否進行細胞合成重要指標

## 已知菌種之生理特性 (*van Hull et al., 2011; Oshiki et al., 2011*)

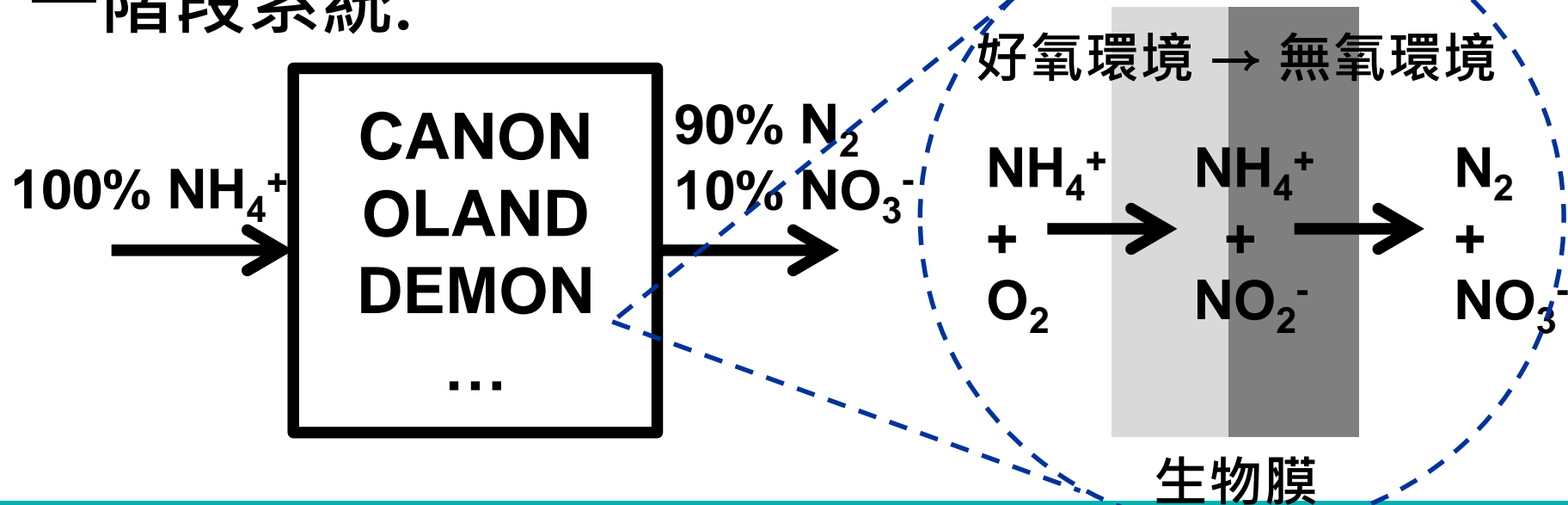
Genus	Species	$\mu$ (h <sup>-1</sup> )	Y (mol C mol <sup>-1</sup> N)	K <sub>s</sub> NH <sub>4</sub> (mmol)	K <sub>s</sub> NO <sub>2</sub> (mmol)	Tolerance			
						NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mmol)	O <sub>2</sub> (mmol)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mmol)	salinity
<i>Brocadia</i>	<i>anammoxidans</i>	<b>0.0027</b>	<b>0.07</b>	<5	<5	<b>7</b>	<1	N.D.	N.D.
	<i>sinica</i>	<b>0.0041</b>	<b>0.063</b>	28±4	86±4	<b>&lt;16</b>	<63	<20	<3%
	<i>fulgida</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anammoxoglobus</i>	<i>propionicus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Jettenia</i>	<i>asiatica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Kuenenia</i>	<i>stuttgartiensis</i>	<b>0.0026</b> <b>-0.0035</b>	N.D.	N.D.	0.2-3	<b>13-25</b>	0-200	20-21	200 mmol
<i>Scalindua</i>	<i>brodae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>wagneri</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>sorokinii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-

# ANAMMOX相關技術

兩階段系統:



一階段系統:



# 工研院Anammox實績

# 工研院Anammox實廠與模廠列表



程序：半亞硝化+Anammox (Two-stage)

產業：大社工業區聯合污水廠

主要污染物：石化工業區二級放流水

濃度範圍：200–400 mg  $\text{NH}_4^+-\text{N L}^{-1}$

規模：6 m<sup>3</sup> (模廠)

執行期間：2012.03~2014.02



程序：半亞硝化+Anammox (Two-stage)

產業：LED

主要污染物：TMAH; 氨水

濃度範圍：200–300 mg  $\text{NH}_4^+-\text{N L}^{-1}$  (1–2% wt濃排)

規模：0.3 m<sup>3</sup> (模廠)

執行期間：2012.03~2013.06



程序：半亞硝化+Anammox (Two-stage)

產業：煉焦廢水臭氧處理出水

主要污染物：氨氮

濃度範圍：300–400 mg  $\text{NH}_4^+-\text{N L}^{-1}$

規模：2–3 m<sup>3</sup> (模廠)

執行期間：2013.08~2016.09

# 工研院Anammox實廠與模廠列表



程序：One-stage Anammox

產業：桃園北區水資源中心

主要污染物：Main-stream都市污水

濃度範圍：30–50 mg  $\text{NH}_4^+-\text{N L}^{-1}$

規模：1 m<sup>3</sup> (模廠)

執行期間：2018.04~2021.09



程序：One-stage Anammox

產業：台南安平水資源中心

主要污染物：Main-stream都市污水

濃度範圍：20–30 mg  $\text{NH}_4^+-\text{N L}^{-1}$

規模：1 m<sup>3</sup> (模廠)

執行期間：2020.03~2021.09



程序：Anammox

產業：工業技術研究院試量產培養槽

主要污染物：氯化銨+亞硝酸鈉(人工基質)

濃度範圍：20 mg  $\text{NH}_4^+-\text{N L}^{-1}$

規模：10 m<sup>3</sup> (模廠)

執行期間：2020.07~迄今

# 工研院Anammox實廠與模廠列表



程序：One-stage Anammox  
產業：南投中正路水資源中心  
主要污染物：Main-stream都市污水  
濃度範圍：10–40 mg  $\text{NH}_4^+-\text{N L}^{-1}$   
規模：1 m<sup>3</sup> (模廠)  
執行期間：2022.05~2023,09



程序：One-stage Anammox  
產業：南投中正路水資源中心  
主要污染物：Main-stream都市污水  
濃度範圍：10–40 mg  $\text{NH}_4^+-\text{N L}^{-1}$   
規模：100 m<sup>3</sup> (模廠)  
執行期間：2022.05~迄今



程序：Anammox  
產業：農業試驗研究所  
主要污染物：循環養殖用水  
濃度範圍：<1 mg  $\text{NH}_4^+-\text{N L}^{-1}$   
規模：0.5 m<sup>3</sup> (模廠)  
執行期間：2020.07~迄今

# Thank you for your participation

邱聖壹 資深研究員  
[sy1012@itri.org.tw](mailto:sy1012@itri.org.tw)  
03-5732986