



財團法人
環境與發展基金會
Environment and Development Foundation




經濟部工業局
INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS

用水效能提升輔導說明會

主辦單位：經濟部工業局
執行單位：財團法人環境與發展基金會
協辦單位：經濟部工業局安平工業區服務中心
台灣區電機電子工業同業公會
台南市安平工業區廠商協進會

中華民國103年5月20日



光電廢水生物處理回收再利用 案例介紹

成功大學環境工程學系

黃良銘教授

103.05.20

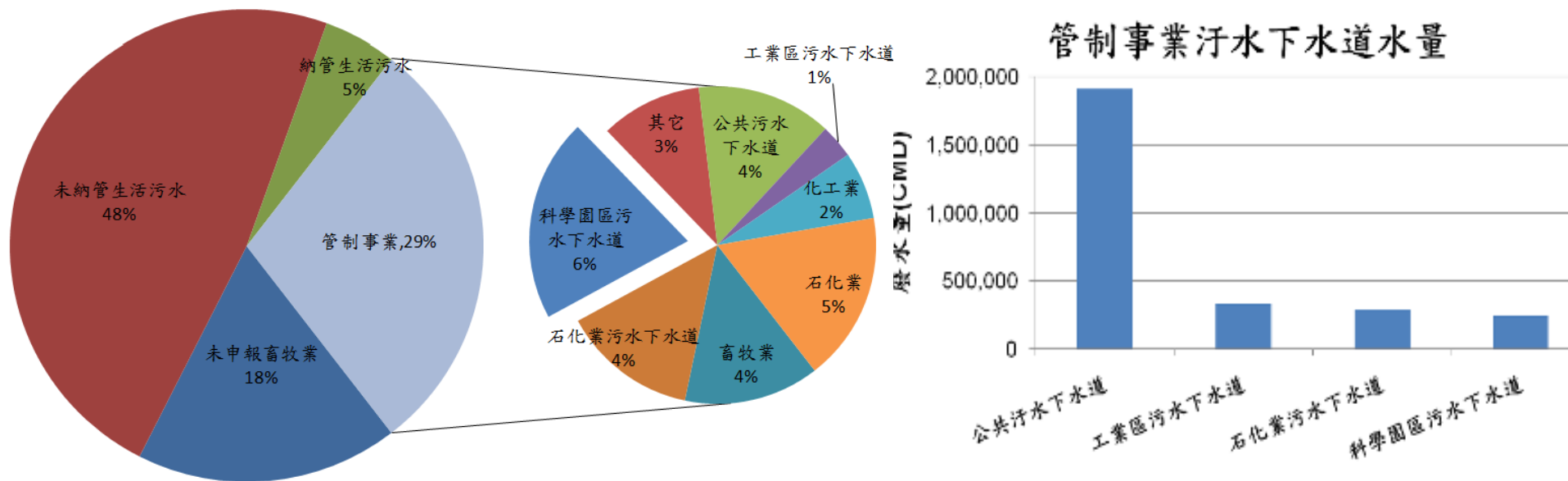
簡報內容

- I、前言
- II、光電廢水案例介紹
- III、展望



國內產業類別氮系污染貢獻量調查

國內諸多事業具氮系污染潛勢，依現有調查數據綜合評估，顯示水污染管制事業與污水下水道系統氮系排放總量約為71,644 kg/day(總排放量乘以平均濃度)，最大貢獻來源有**科學工業園區專用下水道系統**，**石油化學與化工相關產業**和**畜牧業**；部分相關產、公(協)會和目的事業主管機關已著手進行含氮水質調查評估，仍需就整體具氮系污染排出潛勢之業別進行水質調查及評估，以通盤規劃及管理。



資料來源：99年 環保署 「產業廢水污染調查及管制措施研議計畫(第二年)」



「晶圓製造及半導體製造業放流水標準」草案

規定			說明
附表			
項目	限值	備註	明定本標準第四條水質項目及限值。
水溫	三八	適用放流水排放至非海洋之地面水體者(適用於五月至九月)。	
	三五	適用放流水排放至非海洋之地面水體者(適用於十月至翌年四月)。	
	四二	適用放流水直接排放於海洋者，且距排放口處之表面水溫差不得超過四度。	
氫離子濃度指數	六·〇—九·〇		
氟鹽	一五·〇		
硝酸鹽氮	五〇		
氨氮	一〇·〇	適用排放廢(污)水於水源水質水量保護區內者。	
	二〇	適用排放廢(污)水於 水源水質水量保護區外之新設事業 。	
	七五	一、適用排放廢(污)水於 水源水質水量保護區外之既設事業 ，自中華民國一百零一年七月一日起施行。 二、涉及工程等改善措施者，於 中華民國一百零一年三月三十一日前提出放流水污染物削減管理計畫 ，經直轄市、縣(市)主管機關核定並依計畫內容執行者，其氨氮之管制，自中華民國一百零二年七月一日起實施。	
	三〇	適用排放廢(污)水於 水源水質水量保護區外之既設事業 ，自 中華民國一百零四年七月一日起施行 。	
正磷酸鹽(以三價磷酸根計算)	四·〇	適用排放廢(污)水於水源水質水量保護區內者。	



光電產業放流水管制法源依據

1. 南科液晶電視及產業支援工業區環境影響評估承諾總氮排放標準 $TN < 20 \text{ mgN/L}$

2. 友達和華映兩TFT-LCD 製造大廠，因原核定承受水體霄裡溪下游為灌溉用水，故均提出放流水總氮(硝酸鹽氮+亞硝酸鹽氮+有機氮+氨氮)小於 10 mg/L 之承諾

3. 竹科銅鑼基地因其承受水體-西湖溪為灌排兩用之乙級水體，提出放流水總氮小於 6 mg/L 環評承諾(中 科 四 期)

		SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	其他	
竹科	新竹園區	98年7月前	20	20	80	-	-
		98年7月後	10	10	80	-	-
	銅鑼基地		5	10	40	6	-
	竹南基地		20	20	80	-	-
宜蘭城南基地		20	20	80	營運兩年後提出TN限値之執行檢討報告	-	
中科	台中基地(暨雲林基地)		20	20	80	-	-
	虎尾基地		20	20	80	-	-
	后里基地		10	10	-	-	檢測生物急毒性
	二林基地(中科四期)		15	15	60	50; 氨氮 10	總磷 10、生物急毒性、重金屬(包含鉍、錒和鐳)、總毒性有機物和製程化學品管理
南科	台南基地		20	20	80	-	-
	樹谷園區		10	10	80	核定後三年內總氮之放流水水質標準為 20 mg/L	核定後一年內完成磷去除 BACT 研究，並依研究成果於二年內完成改善
友達	龍潭科技園區		10	10	80	-	應提出含磷物質最佳可行性控制技術
	龍潭渴望園區		20	10	80	10	應提出含磷物質最佳可行性控制技術
華映	龍潭廠		10	10	80	10	-
現行放流水標準			30	30	100	-	-



台南科學園區放流水氨氮兩階段列管

為因應環保署於2011年10月12日發布訂定光電材料及元件製造業放流水標準、科學工業園區污水下水道系統放流水標準，臺南市政府環境保護局表示，除原有管制項目外，主要係將**氨氮分二階段列入管制**，生物急毒性移入水污染防治措施及檢測申報管理辦法，予以規範。

其中光電業及科學園區之氨氮管制，依既(新)設業者，規範不同限值及緩衝期因應。其中新設業者之限值為20 mg/L，自發布日施行。既設業者**第一階段之限值為75 mg/L，自102年7月1日施行**，提出削減計畫並經主管機關核定者得**延後至104年1月1日施行**；第二階段因須配合改善廢(污)水處理設施，給予較長緩衝期，惟最遲至**106年1月1日應符合30 mg/L**。



高科技產業放流水氮系污染物特性

水質項目	半導體製造業		TFT-LCD製造業		LED製造業
	自排廠商 放流水	園區廠商 納管水	自排廠商 放流水	園區廠商 納管水	園區廠商 納管水
亞硝酸鹽氮	0.2	ND	ND	ND-6.1	ND
硝酸鹽氮	7.4	7.4-34.3	1.6-17.5	ND-1.2	4.8-26.9
氨氮	17	53.7-88.5	1.3-32.2	6.1-12.5	150-848
凱氏氮	35.4	33-163	0.5-35	9.3-52.8	300-986
總氮	43	87-197	3.6-53.2	9.3-60.1	327-991

資料來源：放流水氨氮管制推動，中興工程顧問社(97.9.22)



產業用水面臨的問題

- 台灣降雨時空不均且水資源分配有其困難處(民生、農業與工業)，因而成為水資源不足與缺水高風險地區。
- 各類產業，特別是高科技產業，對缺水容忍度極低，缺水時損失風險大。
- 減緩傳統水資源供應受激烈氣候變遷失調影響，增加多元穩定新興水源、減少自來水供水需求壓力。
- 為因應產業所面臨用水危機，因此產業廢水的淨化、回收及再利用成為多元化水源的選項之一。



科學園區水回收率標準

1. 新竹科學園區：

依各廠建廠時程不同訂定下列標準：

83年以前興建之廠房：

製程回收率 > 50%。

全廠回收率 > 30%。

全廠排放率 < 80。

83年~88年興建之廠房：

製程回收率 > 70%。

全廠回收率 > 50%。

全廠排放率 < 80%。

88年以後興建之廠房：

製程回收率 > 85%。

全廠回收率 > 60%。

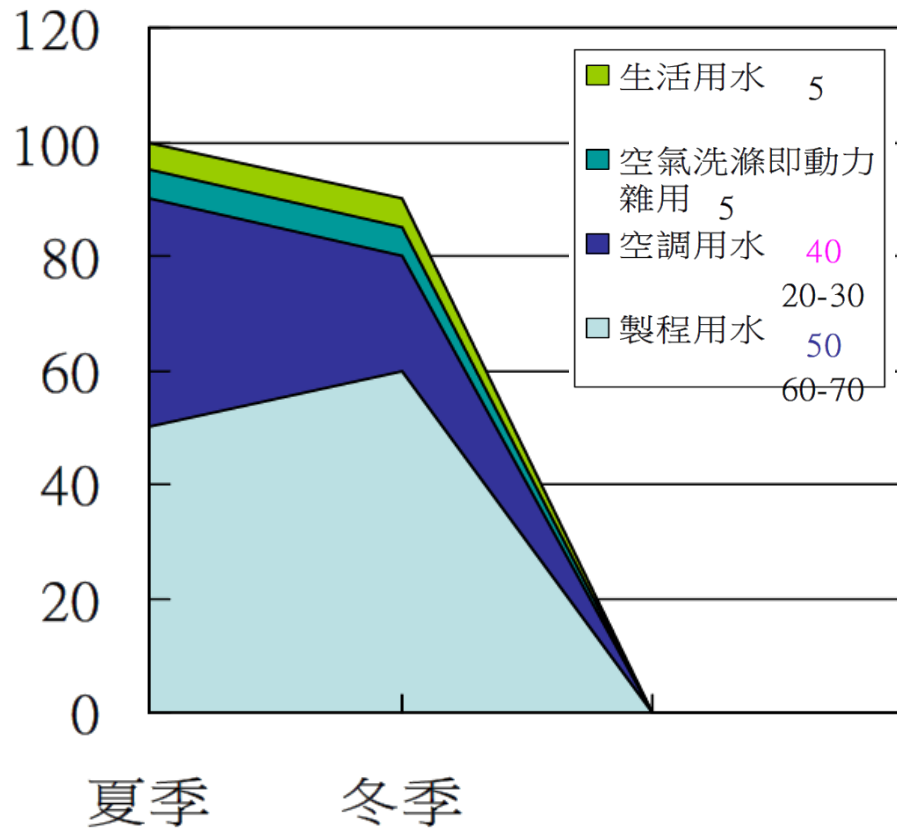
全廠排放率 < 70%。

2. 中部及南部科學工業園區：

製程回收率：> 85%。

全廠回收率：> 75%(77%)。

全廠排放率：< 70%。

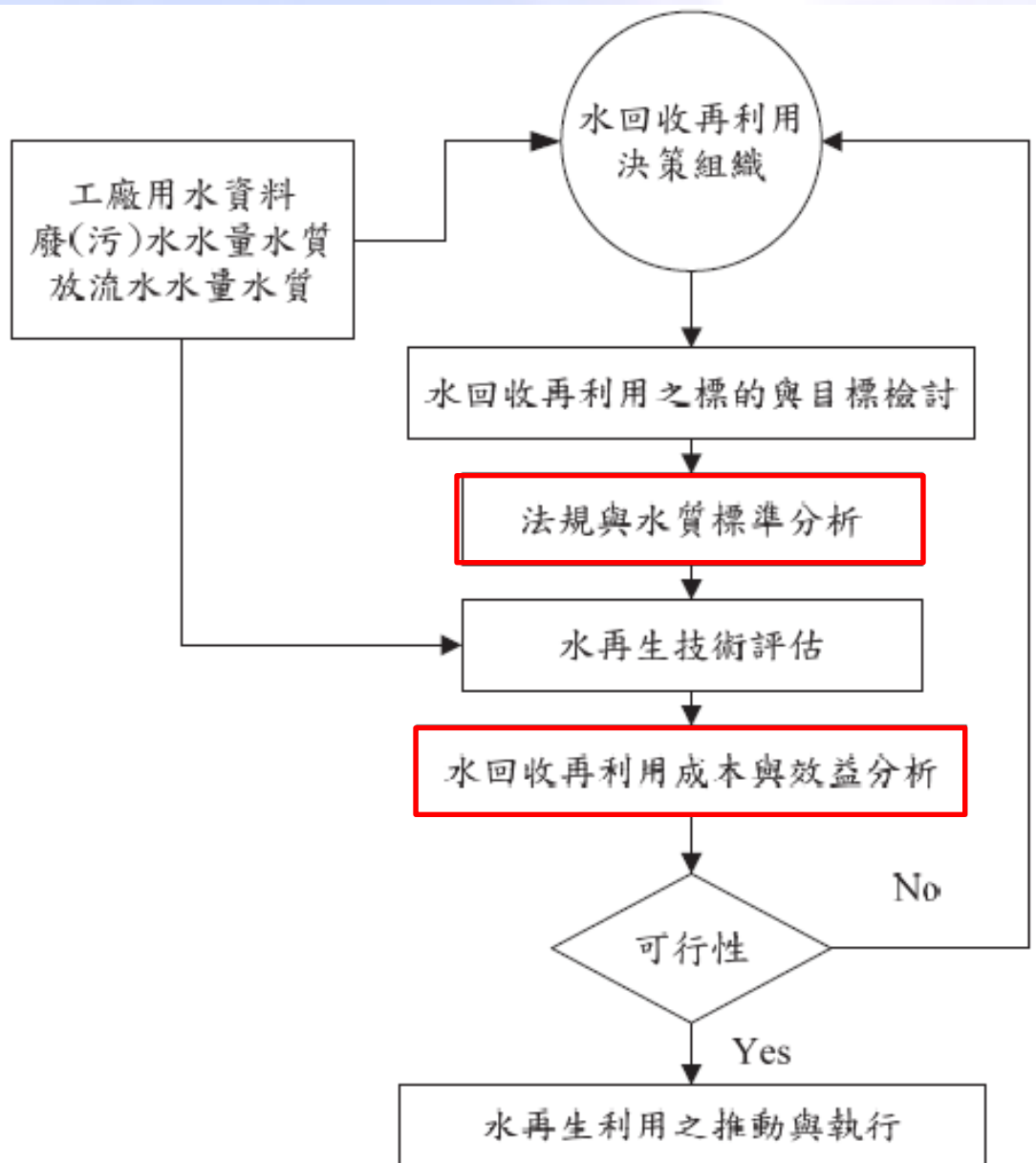


資料來源：「高科技產業用水特性及節水技術之研究」，林文雄等，工業技術研究院能源與環境研究所

PS：辦理環評廠商，依環評審定承諾標準。



廢污水回收再利用技術評估系統架構



資料來源：「廢污水回收再利用技術評估」，莊順興，財團法人中技社



各類回收再利用之關鍵水質項目與濃度

關鍵水質項目	工業利用 (冷卻)	農業利用 (灌溉)	環境利用 (補注地下水)	生活次級利用
Solids (mg/L)	Turbi.<2-20 NTU SS<5-300			Turbi.<2-5 NTU
Cond (μS/cm) / TDS (mg/L)	TDS<500-1000 Cond<300-1600	Cond.<750	TDS<800	
Organic	BOD<10-30		BOD<1 THM<0.15	BOD<10
Nutrients (mg/ L)	NH ₃ -N<10 TP<0.2-1	TN<3	NH ₃ -N<0.1 NO ₃ -N<10 NO ₂ -N< ND	
Ions (mg/L)	Cl ⁻ <100-500 SO ₄ ²⁻ <50-600 SiO ₂ <3-150 TH<50-700	Cl ⁻ <175 SO ₄ ²⁻ <200 SAR<6 (meq/L) ^{1/2}	F ⁻ <0.8 Cl ⁻ <250 SO ₄ ²⁻ <250	Free Chlorine>0.1 Combined Chlorine >0.4
Metal (mg/L)	Fe, Mn, Na	Cu, Cd, Pb, Mn, Ni, Cr	Fe, Mn, Cd, Pb, Cr, Ni	
Bacteria (CFU/100 ml)	TC<3-350			E.C.<200

資料來源：「廢污水回收再利用技術評估」，莊順興，財團法人中技社



水回收處理技術篩選原則

- 將溶解性污染物轉換成非溶解性固體物，以利污染物去除。
- 將微細固體物變成粗大固體物，以利固液分離。
- 儘量避免化學藥品添加，以免增加回收水電導度或其他污染物。



膜技術在半導體及TFT-LCD廢水回收的應用

Type	Proposed Unit Operation Process								
	Coag Neut	Bio + MF	GAC	AOP	IEX	MF/UF	RO	Distl	Bipolar
Organic Waste									
DMSO		○	○	○		○	○		
Tetramethyl Ammonium Hydroxide (TMAH)		○		○	○		○		
CH ₃ COOH		○		○	○				
MeOH, IPA		○		○				○	
Surfactants, Nonion & Anion			○	○					
Solvents		○	○	○					
Inorganic									
HF, HNO ₃ , NH ₄ F, H ₂ SO ₄ , HCl, H ₃ PO ₄ , NaOH, NH ₄ OH	○				○		○		○
Others									
Chemical Mechanical Polishing (CMP) Waste	○					○	○		
End of Pipe wastewater	○	○		○		○	○		
RO Concentrate					○		○	○	

AOP: Advanced oxidation process

Bio: Biological, Membrane Bioreactor, and Bio-contact Filter Treatment

資料來源：「膜技術在廢水回收的應用」張文榮（2009）

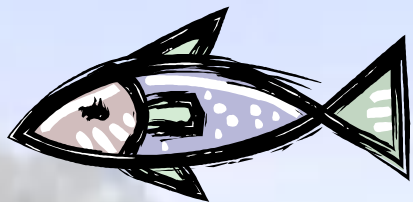


產業廢水回收再利用面臨的挑戰

◆製程廢水水質變異性大	➤突發性水質異常 (無機與有機物污染物)
◆處理設備積垢問題	➤積垢造成效率下降 ➤需要周期性清潔保養
◆薄膜設備阻塞問題	➤滋生細菌問題 ➤增加抑菌劑費用
◆再生水技術經濟效益	➤如何有效降低水回收操作費用 (水費、電費、加藥費等)



魚與熊掌不可兼得？



法規標準

回收水量



簡報內容

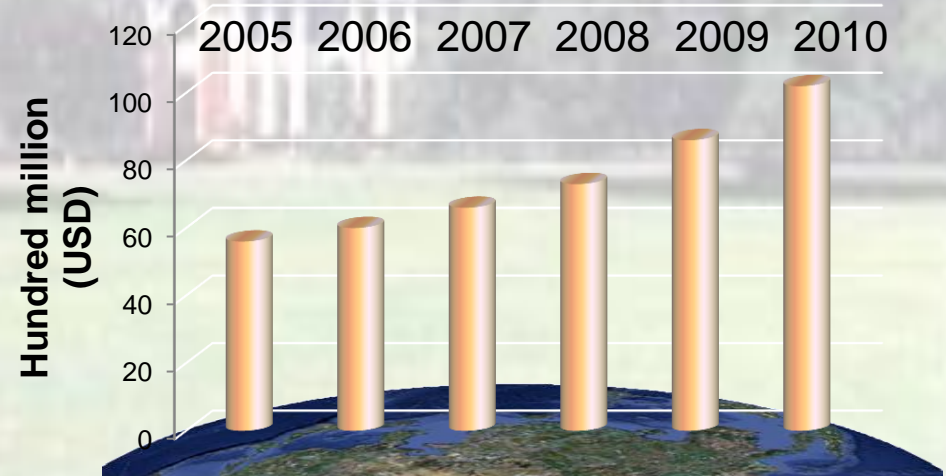
- I、前言
- II、光電廢水案例介紹
- III、展望



Thin Film Transistor Liquid Crystal Display industry in Taiwan



- TFT-LCD is a popular product in the 21th Century
- Taiwan provides almost one third of the world's total demand
- Significant amounts of TFT-LCD wastewaters are produced containing **high-strength organic compounds**

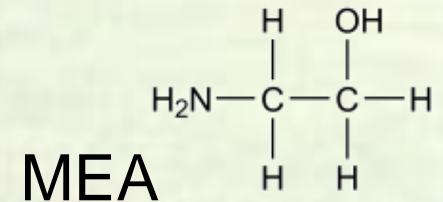
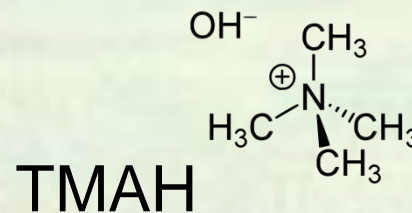
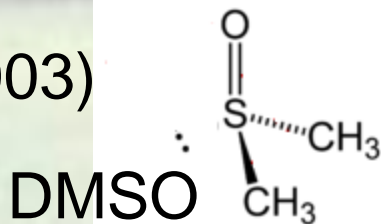


Characteristics of TFT-LCD organic wastewater

	Stripper	Developer	washing solution
Main component	DMSO MEA	TMAH	IPA
pH	9-11	10-13	10-11
COD (mg/L)	800-1,200	400-600	600-1,700
TKN (mg/L)	90-200	100-120	60-90
NH ₃ -N (mg/L)	0-10	2-10	0.1-10

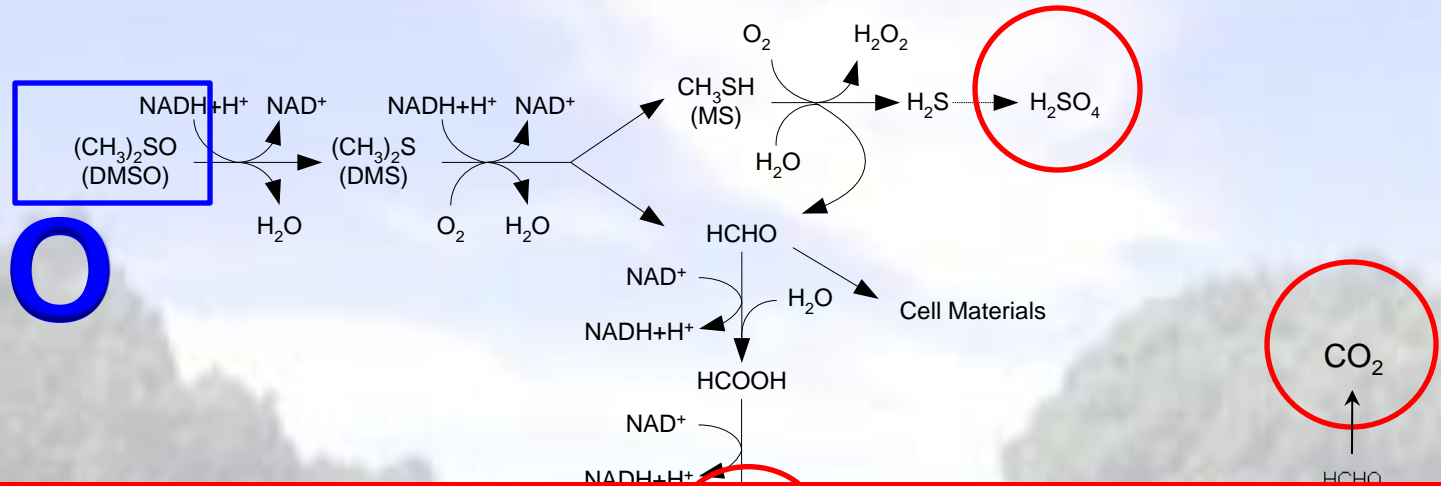
- C/N ratio < 20 (100:5)
- Nitrification inhibition?

(Chen, 2003)

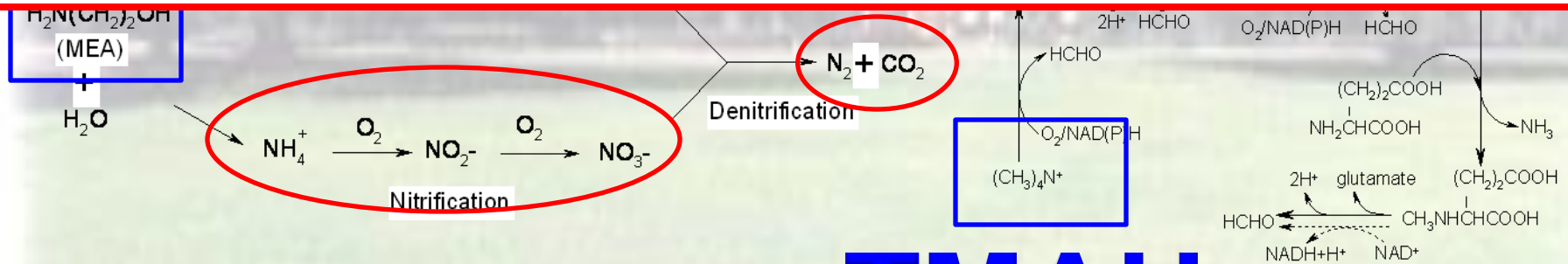


Biodegradation of DMSO, MEA, TMAH

DMSO



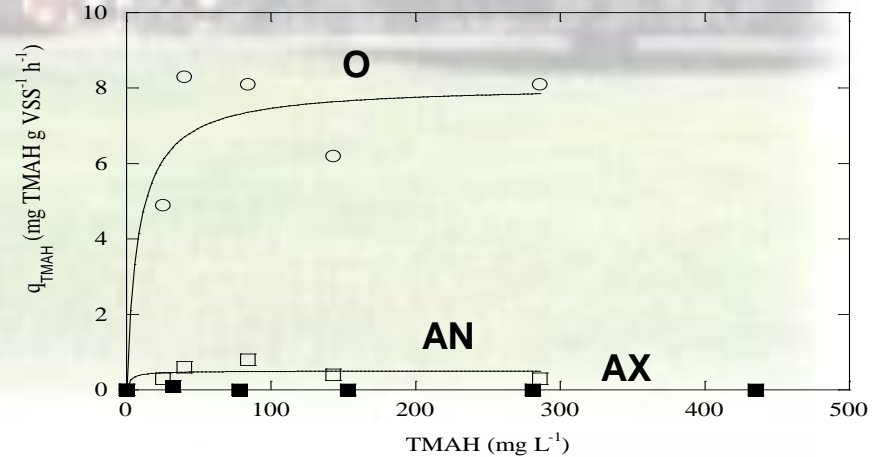
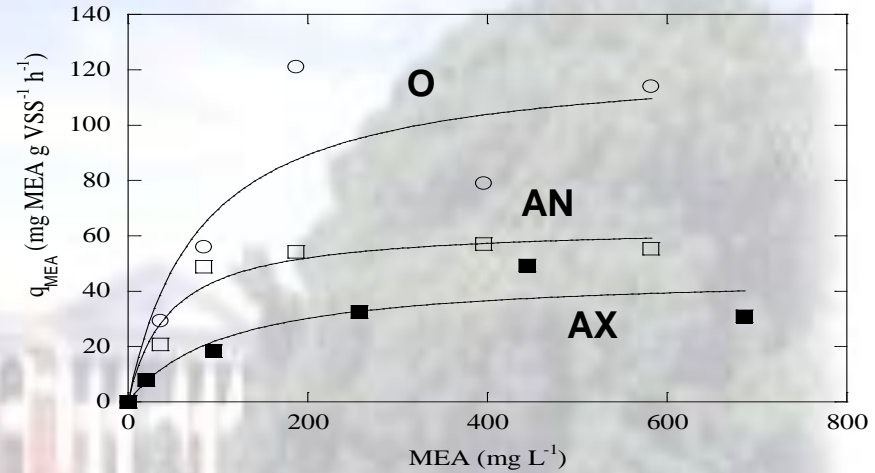
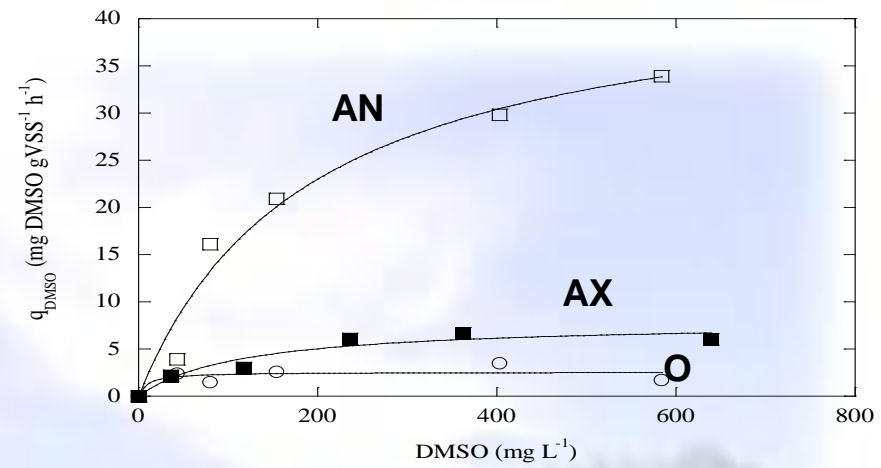
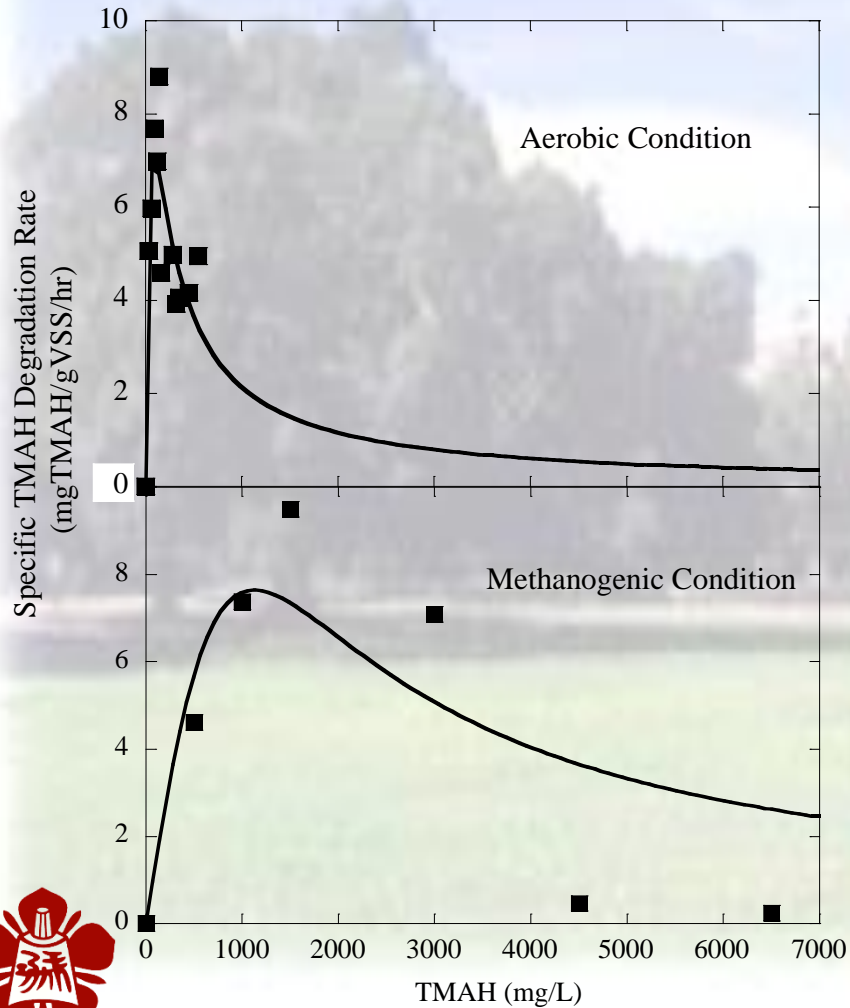
Nitrogen removal should be taken into consideration



TMAH

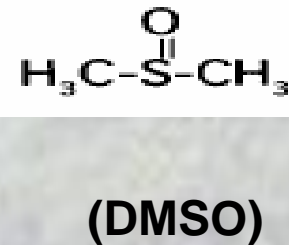
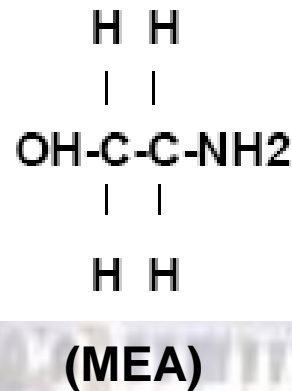
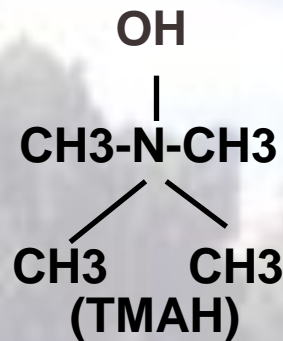


Biodegradation of TMAH, MEA, and DMSO



Summary

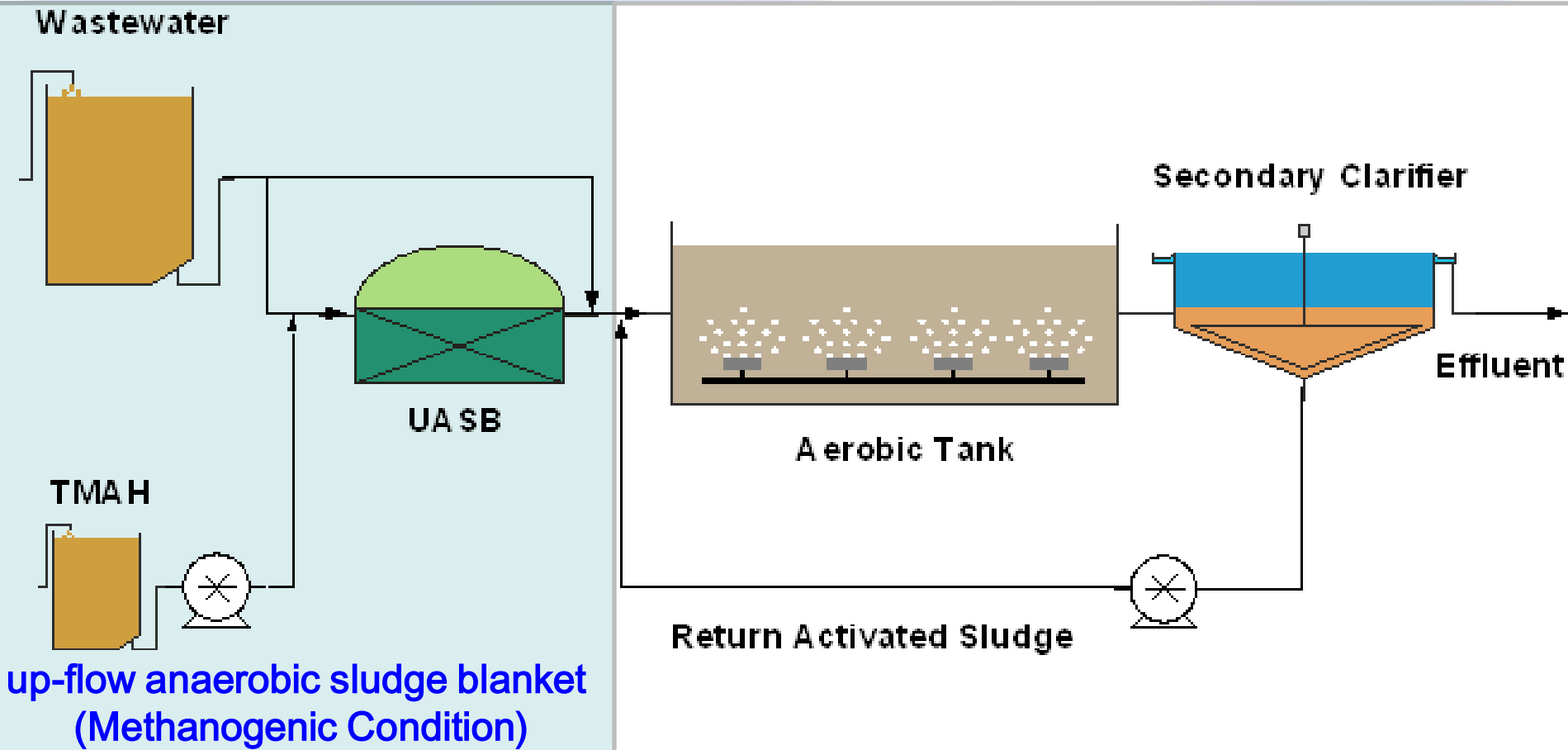
Stable Biological Treatment Processes for TFT-LCD Wastewaters



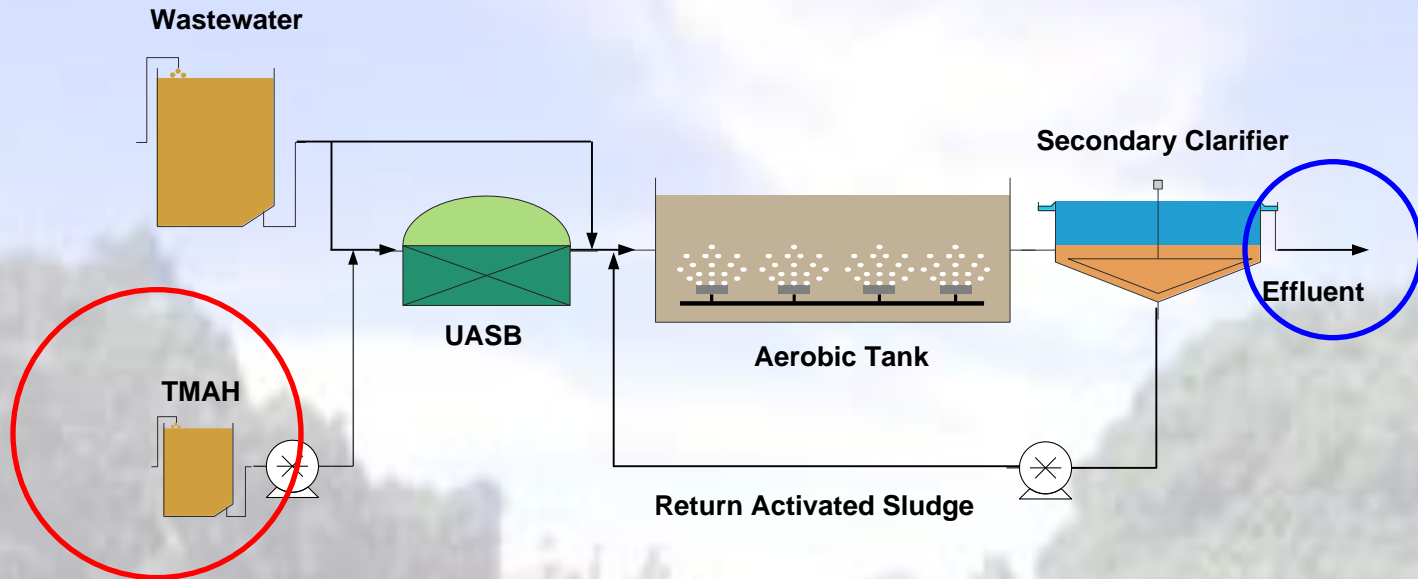
Condition	Treatment Performance		
Aerobic	+	+++++	++
Anoxic	-	+++	-
Anaerobic	-	++++	+++
Methanogenesis	+++++	+++	+++



Case I : Full scale WWTP for TMAH wastewater

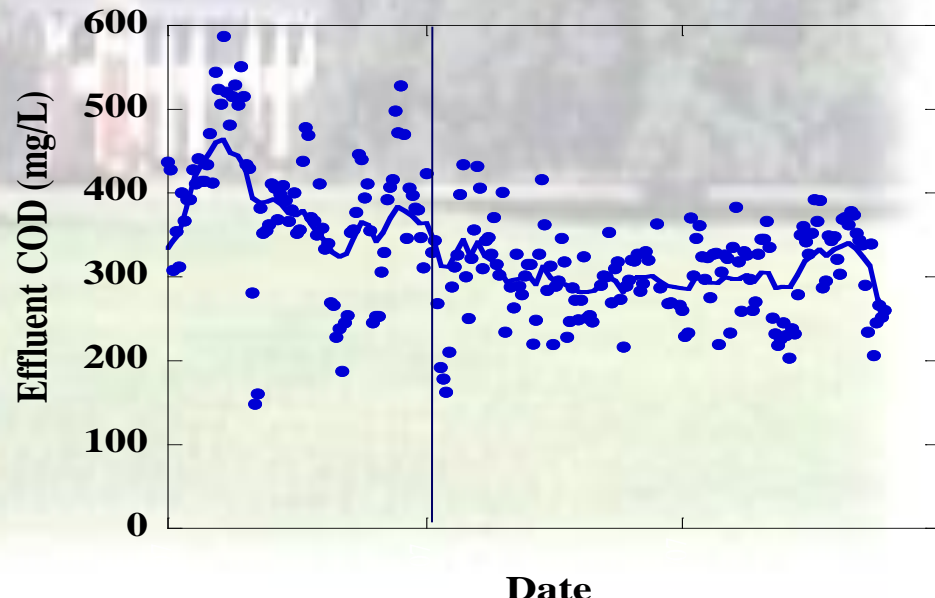
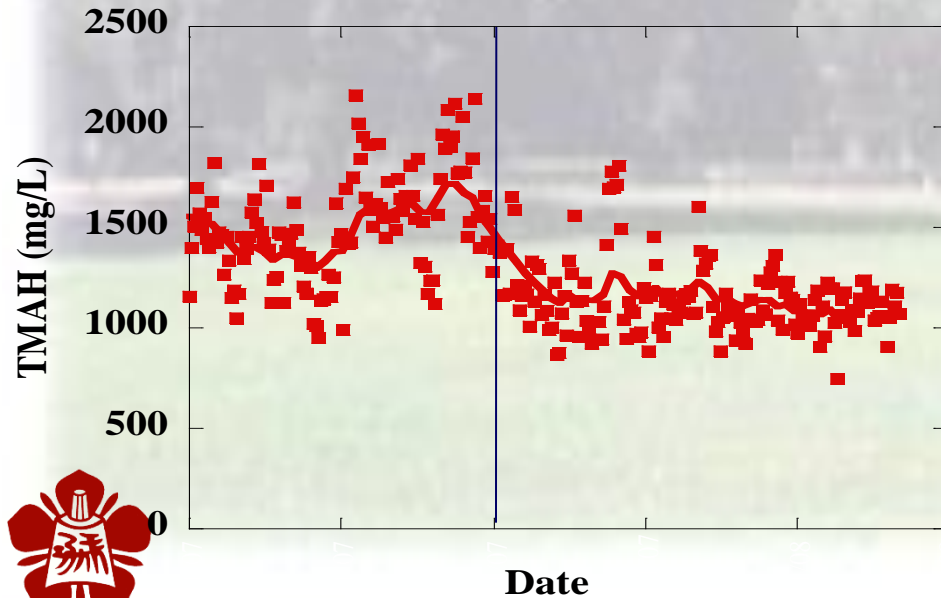


Case Study I Impact of Fluctuated Influent TMAH on Unstable Effluent COD

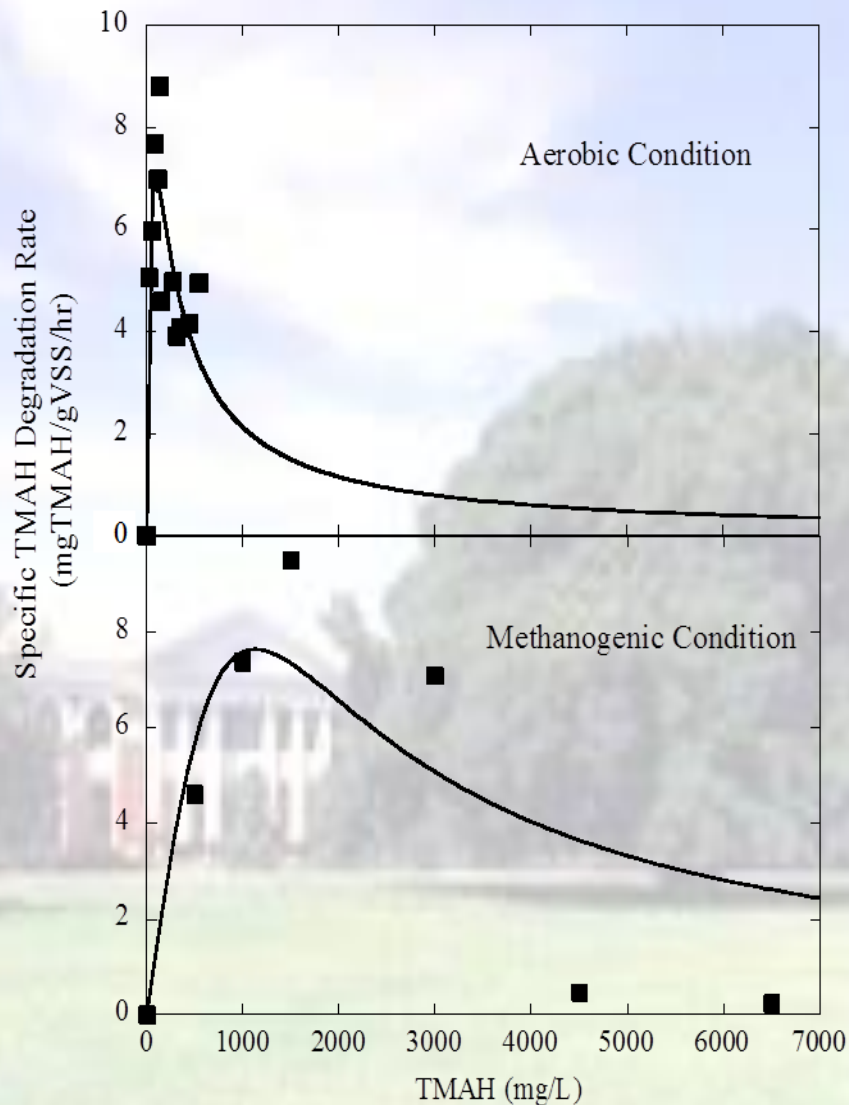
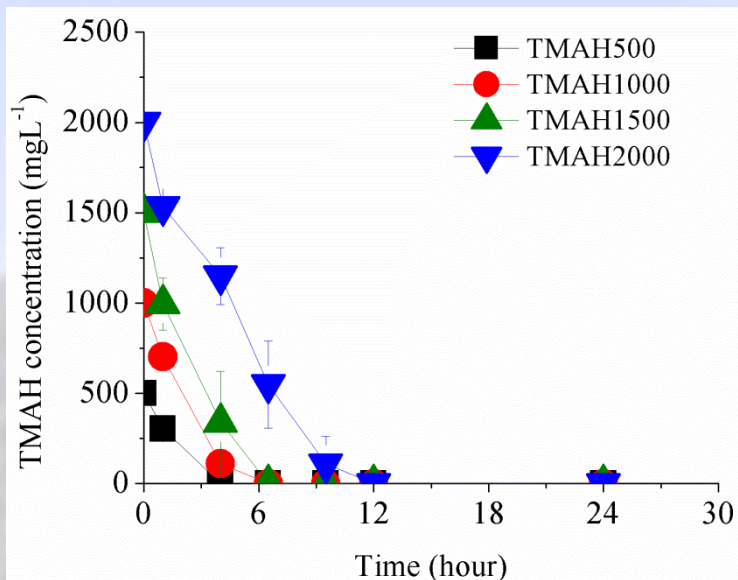


Influent TMAH

Effluent COD



高濃度TMAH 對UASB與好氧污泥效能的影響



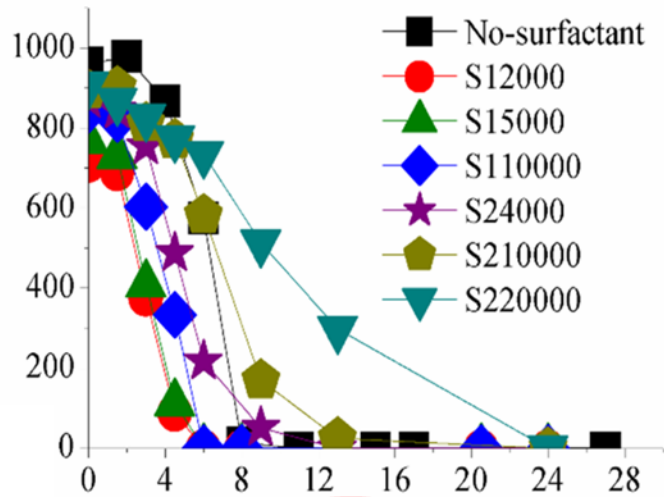
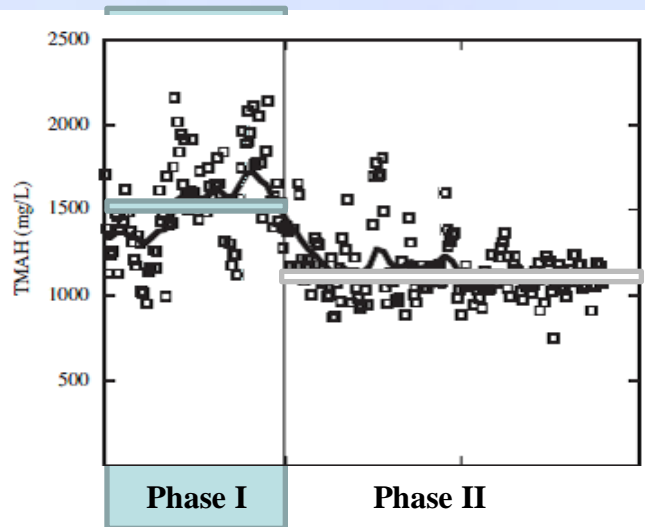
高濃度TMAH 造成

1. 需要更長UASB及好氧
污泥處理時間

2. 抑制性



廢水中其他抑制物質對UASB污泥降解 TMAH效能的影響

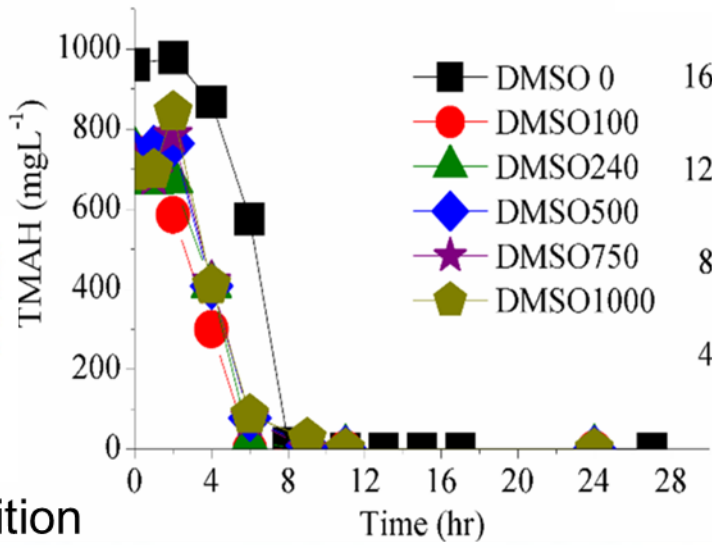


Surfactant ?!

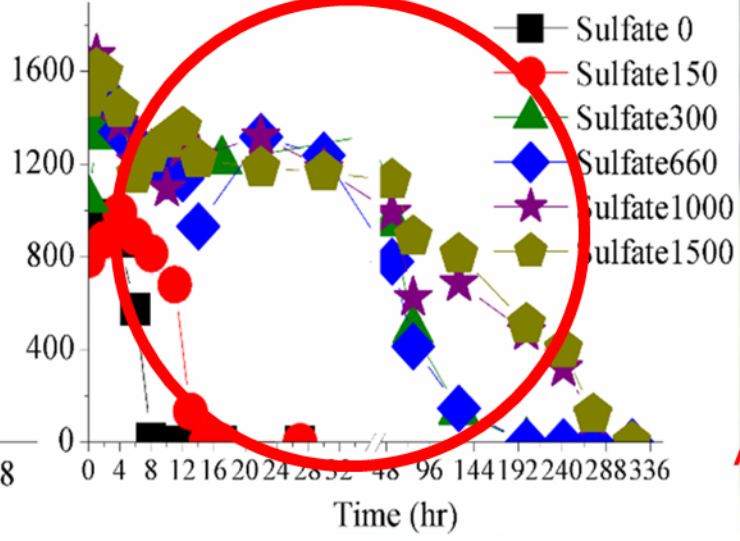


A: No inhibition

DMSO ?!



A: No inhibition



Sulfate ?!

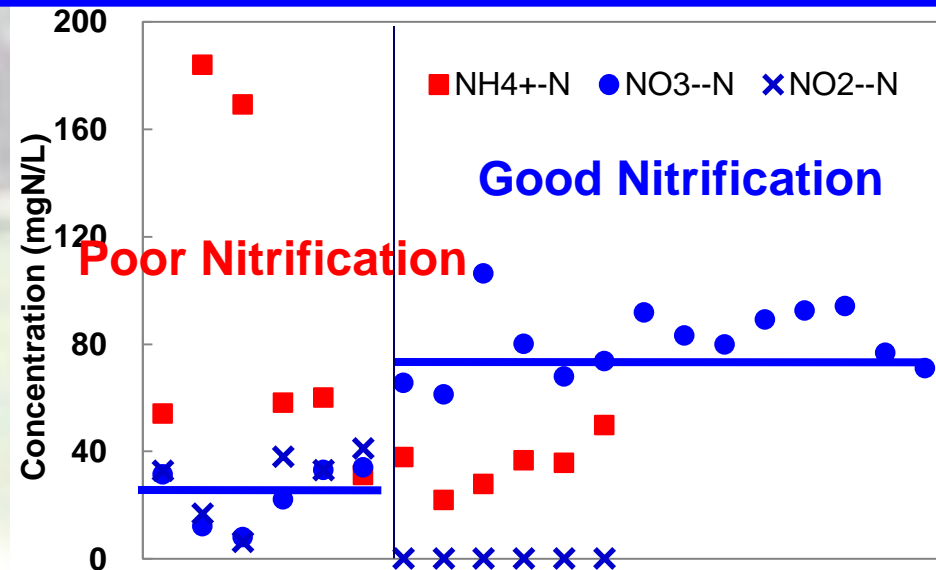
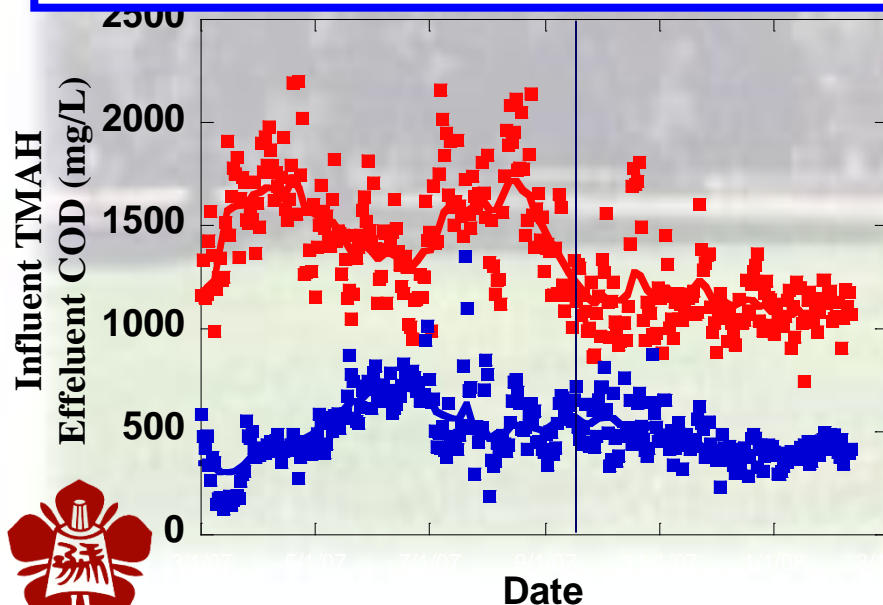


A: OOPS !!

Impact of **Fluctuate Influent TMAH** on Unstable Nitrification Performance

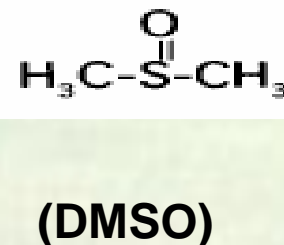
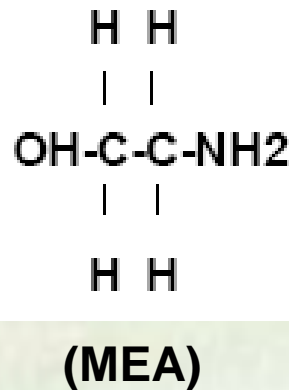
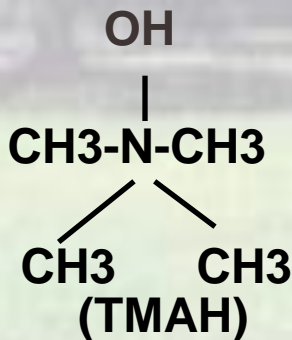


1. TMAH presents significantly impact on nitrification and should be avoided in activated sludge systems

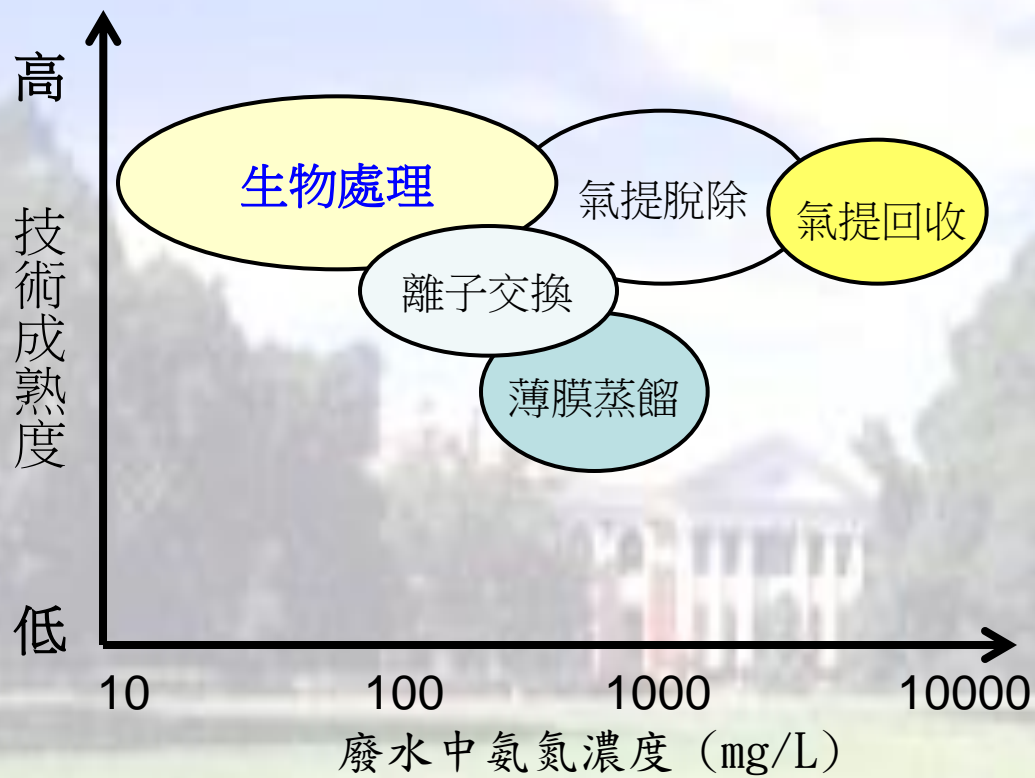


Stable Biological Treatment Processes for TFT-LCD Wastewaters

1. Wastewater Characteristics: **C, N, and S**
2. Organic Nitrogen Decomposition:
TMAH, MEA → **ammonium**



氨氮廢水處理技術



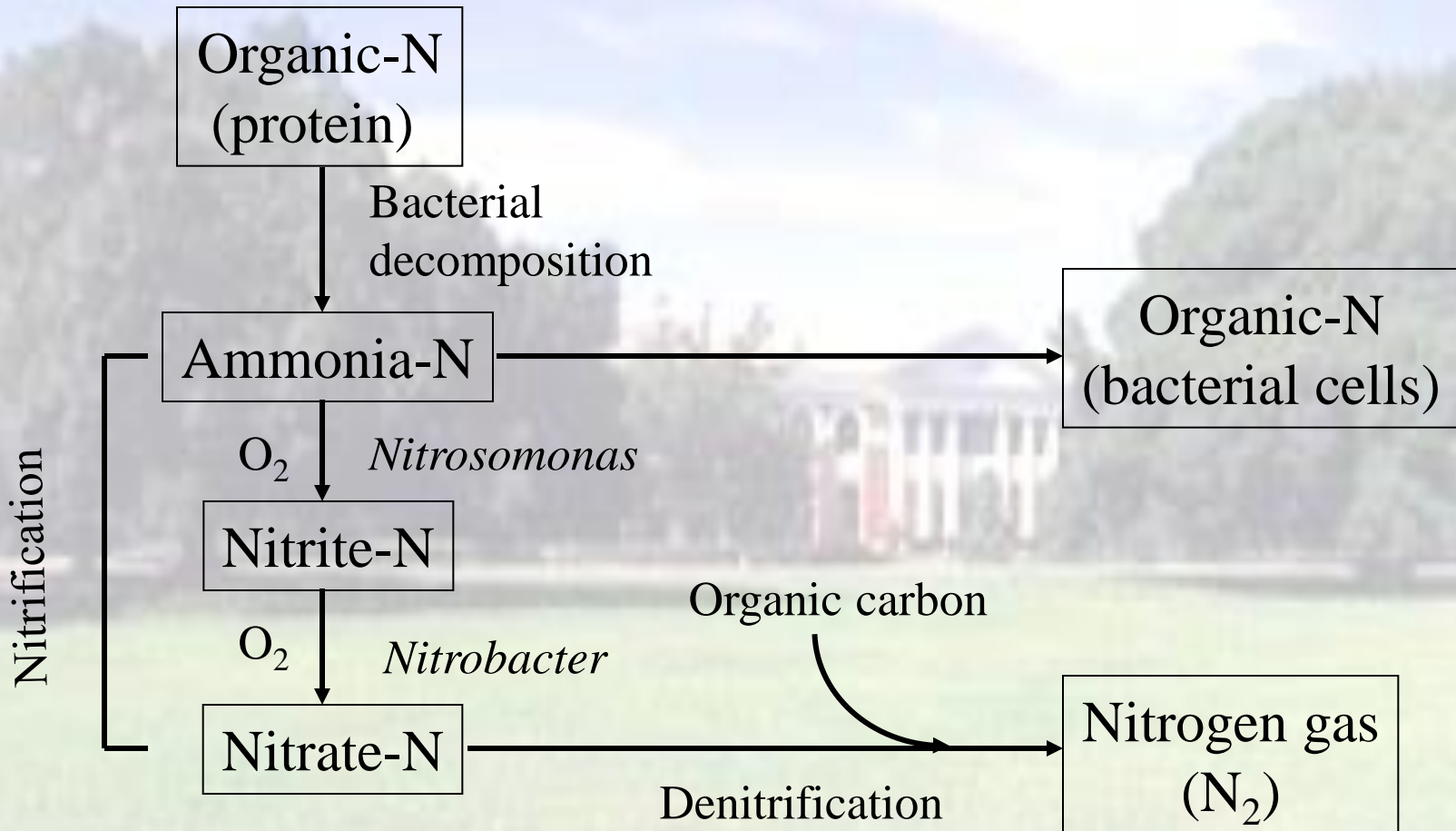
氨氮廢水處理技術

處理技術	原理	優點	缺點
生物法	各種型態的氮均可由細菌作用，進行硝化和脫硝反應	<ol style="list-style-type: none"> 1. 所有氮化合物均可去除 2. 去除率高且穩定(工業廢水?) 3. 無二次污染 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 操作運轉較為複雜 2. 溫度降低會影響效能 3. 易受毒性物質影響
氣提法	提高pH值，將水中銨離子形成氨氣，再利用空氣加以吹除	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建設費與管理費用便宜(?) 2. 操作程序簡單 3. 可去除高濃度含氨態氮之廢水 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 會有氨氣溢出造成二次公害 2. 可能會有水垢產生 3. 低溫下效能降低
折點加氯	次氯酸與氨態氮於加氯量達折點後，會發生作用形成氯氣	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建設費便宜 2. 具安定性 3. 水溫影響較小 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 管理費用高 2. 可能產生有害之氯胺
離子交換	利用選擇性陽離子吸附劑去除銨離子	<ol style="list-style-type: none"> 1. 去除率高 2. 水溫影響較小 3. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 再生時產生高濃度廢液 2. 管理費用高 3. 處理水量有限
薄膜處理	利用各種不同規格薄膜之模組進行污染物攔阻	<ol style="list-style-type: none"> 1. 去除率高 2. 可同時去除有機物 3. 促進水回收 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 膜組價格偏高 2. 操作維護較困難 3. 薄膜容易阻塞反洗頻率高



化學自營硝化菌與異營脫硝菌之除氮反應

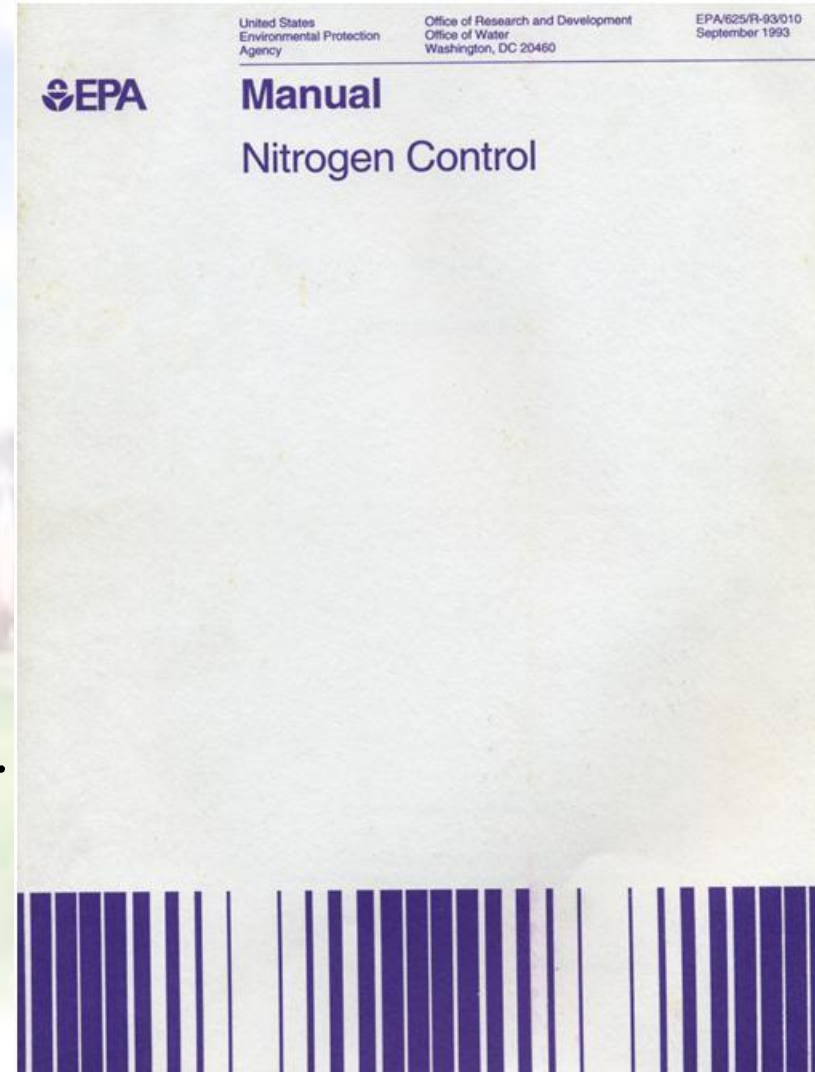
Reduction of Nitrogenous Compounds by
Chemoautotrophs and Chemoheterotrophs



Nitrogen Control Manual (USEPA, 1993)

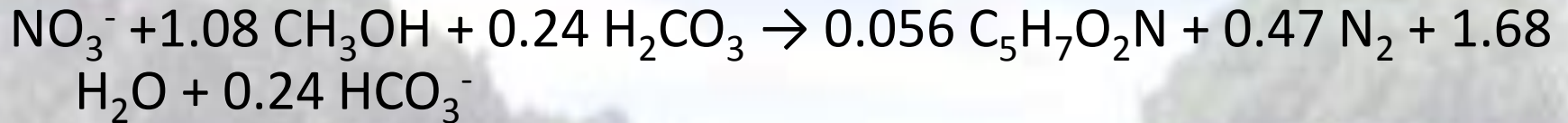
- pH (6.5-8)
- Temp
- Oxygen (>2 mg/L)
- Alkalinity
- Inhibitors

$$q = q^{\max} \left(\frac{S}{K_s + S} \right) \cdot \left(\frac{O}{K_o + O} \right) \cdot \left(\frac{N}{K_N + N} \right) \dots$$



Denitrification

Denitrification is the dissimilatory reduction of NO_3^- or NO_2^- to N_2 gas. In another words, NO_3^- or NO_2^- is the e^- acceptor used in the energy generation



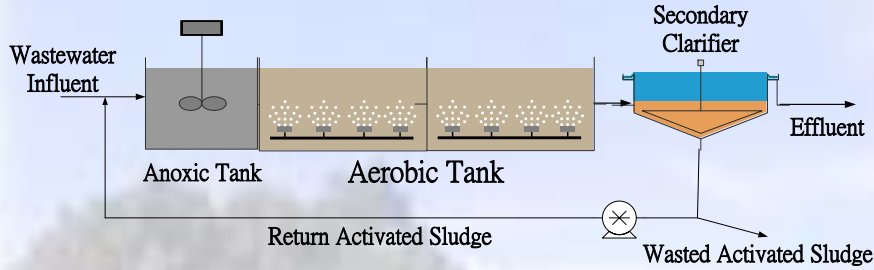
The organic compounds that could be used for the denitrification of wastewaters include:

- Organics present in municipal and industrial wastewaters
- **Methanol**
- Ethanol
- Acetate
- Waste organic materials

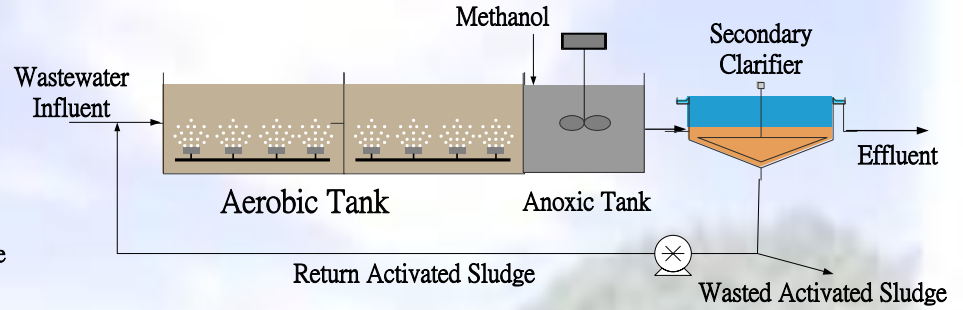


BNR Processes

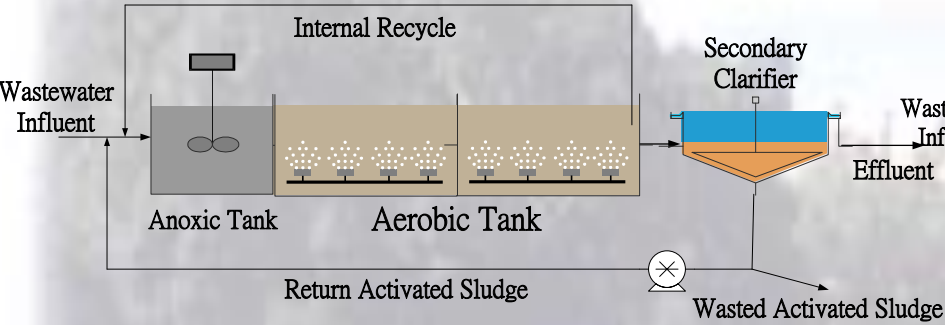
Ludzack-Ettingert A/O 除氮程序



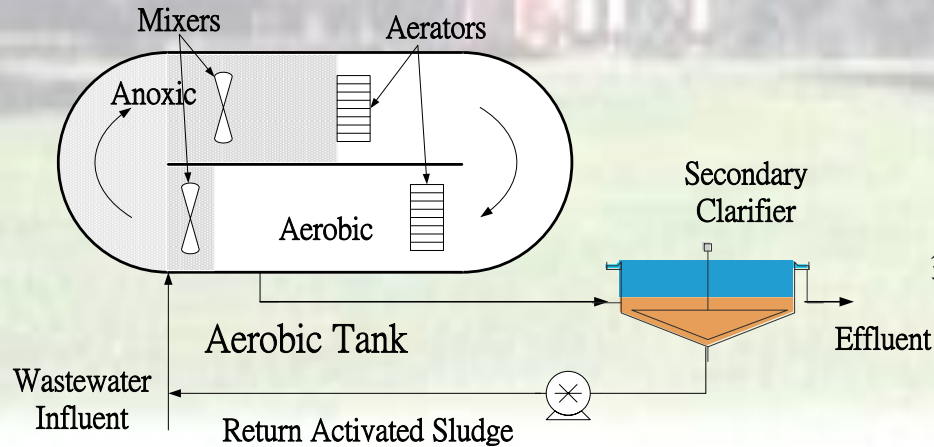
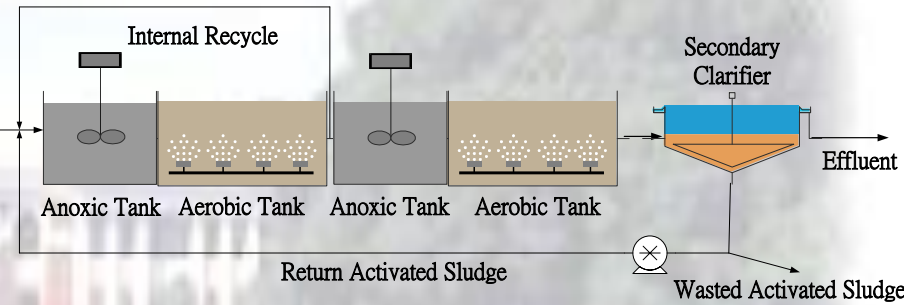
後段無氧區外加碳源之O/A 除氮程序



改良式Ludzack-Ettingert (MLE) A/O 除氮程序



Bardenpho A/O/A/O 除氮程序



氧化渠除氮程序

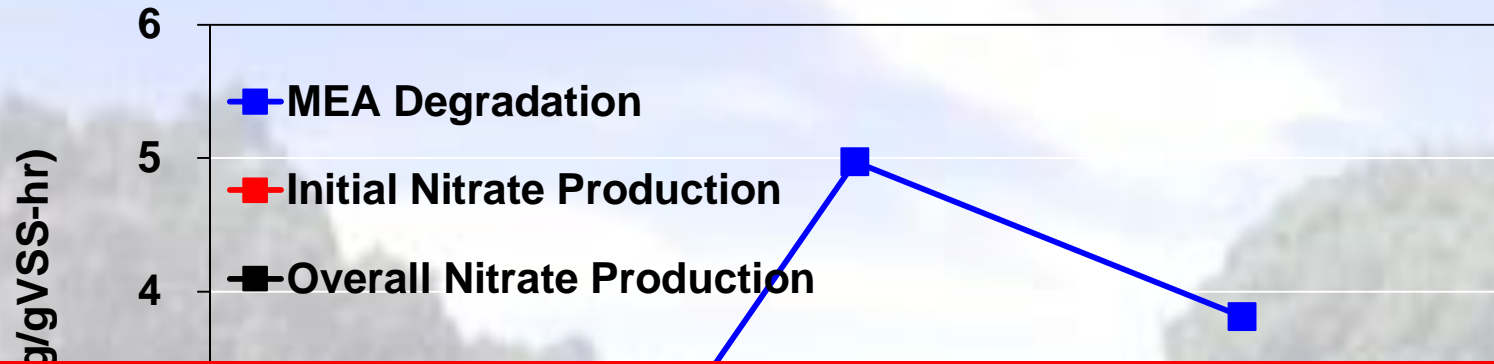


Two potential challenges in biological nitrogen removal from TFT-LCD wastewaters to constantly meet effluent TN permit

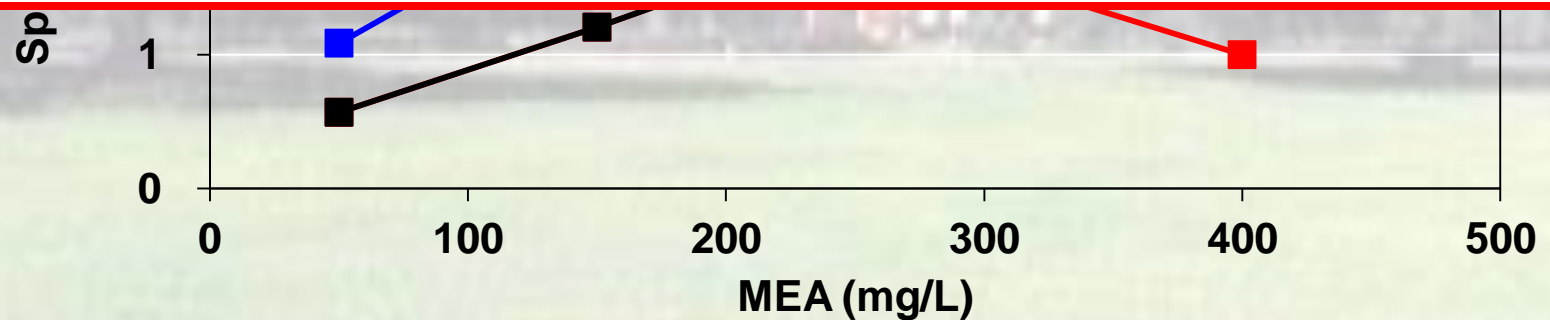
1. **Nitrification by AOB/NOB** → **Slow growing** yet sensitive to many **unknown chemicals** present in TFT-LCD wastewaters
2. **COD requirement for denitrification**: assuming 6.6 mg-COD/mg-NO₃-N (Metcalf & Eddy), **so 200 mg-N/L of TN require 1300 mg/L of COD**



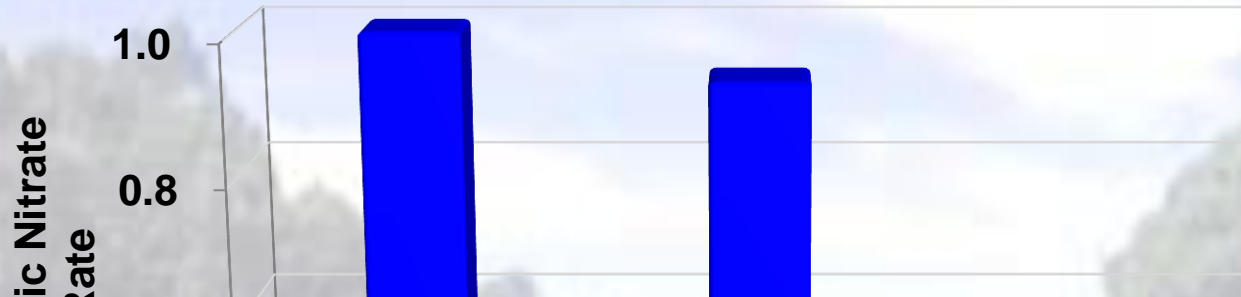
Effects of MEA on nitrification activity (Lab aerobic MBR sludge)



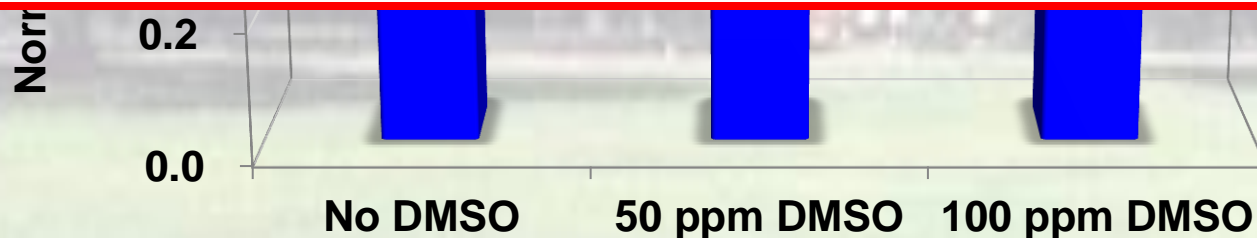
Addition of 400 ppm MEA
may not seriously inhibit nitrification



Effects of Stripper (MEA/DMSO) on nitrification activity



Addition of 100 ppm DMSO may slow down nitrification



Effects of TMAH on nitrification activity

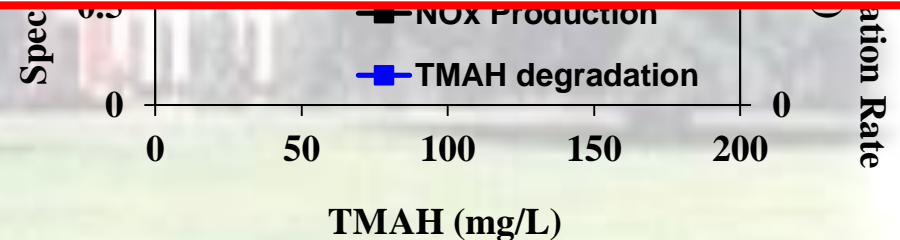
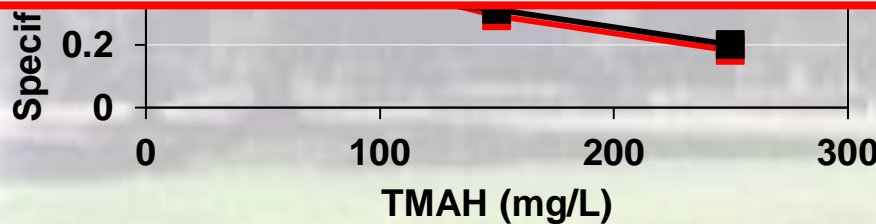
Lab aerobic MBR sludge



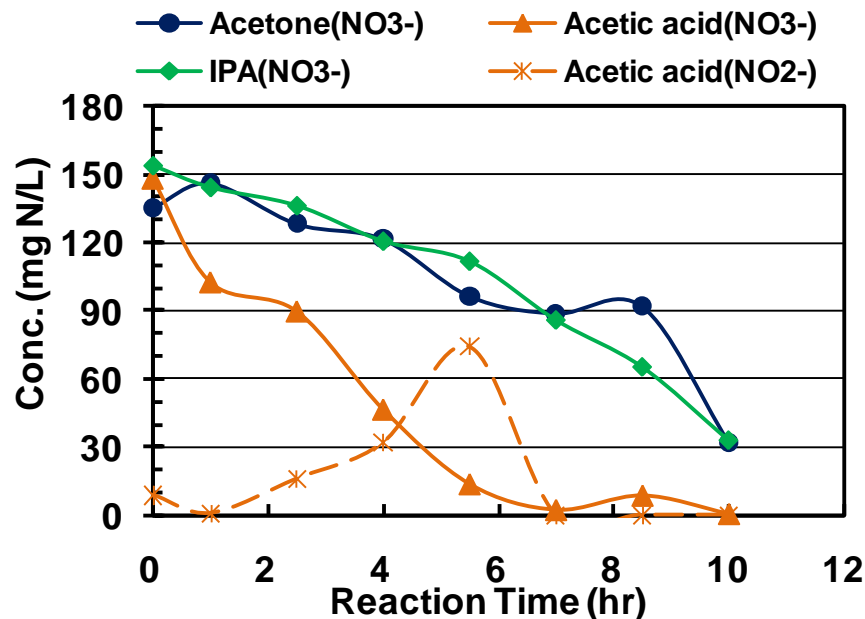
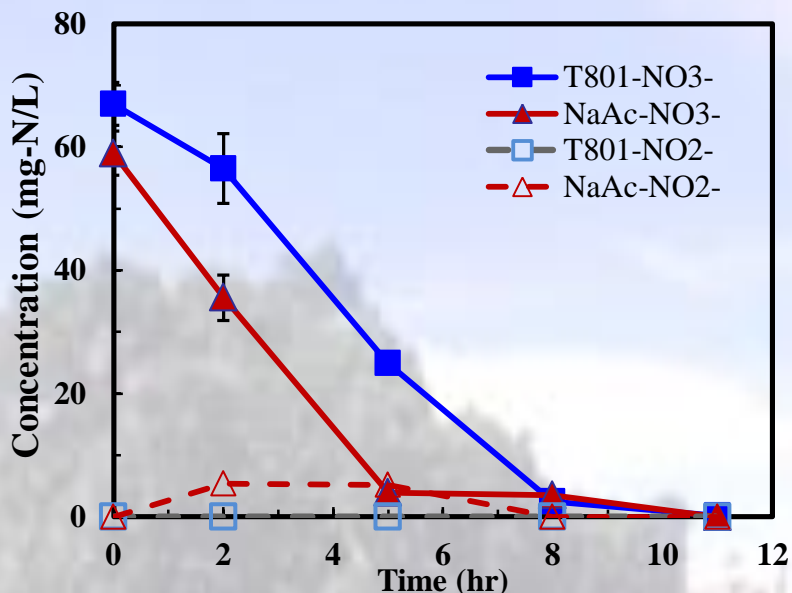
Full-Scale activated sludge



Addition of TMAH > 100 mg/L may potentially slow down nitrification



Carbon Sources for Denitrification



Carbon	mgCOD/mgNO ₃ ⁻ -N	Carbon	mgCOD/mgNO ₃ ⁻ -N
Acetate	5	Stripper	6.5
Acetone	10	W2 FR	5
IPA	8.3	WPI	5

	線性回歸	0-5 hrs	脫硝速率
Carbon source	mg COD/mg NO ₃ ⁻ -N	mg COD/mg NO ₃ ⁻ -N	mg NO ₃ ⁻ -N /gVSS*hr
1X Stripper+ITO+其他廢水	10.36	9.94	3.66
1X Stripper	11.55	11.6	2.74

Case II :

MBR for MEA/DMSO wastewater treatment and reclamation

Challenges:

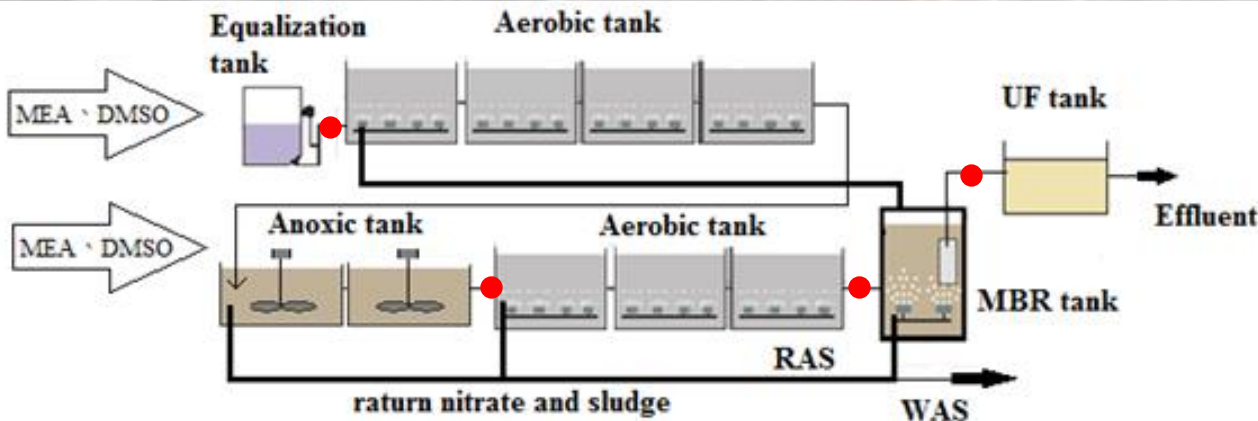
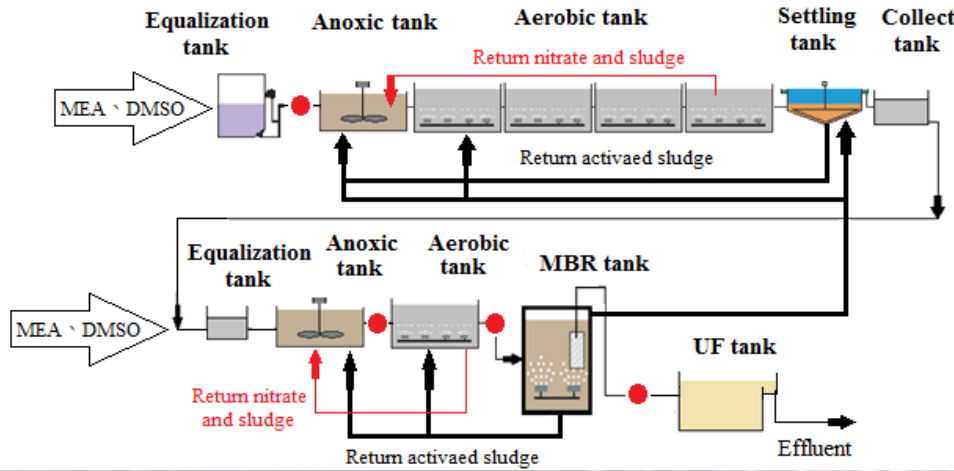
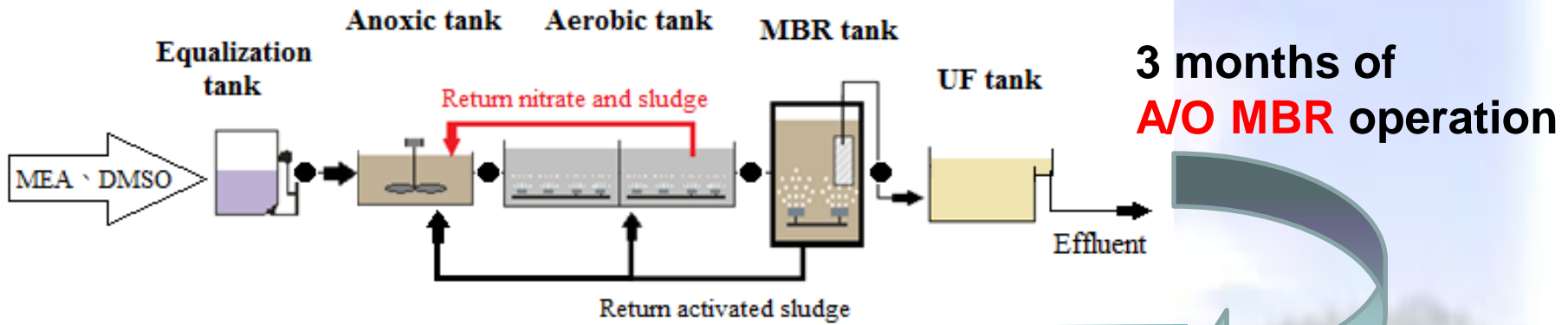
Nitrogen permit

($\text{NH}_4^+\text{-N} < 30 \text{ mg-N/L}$, $\text{NO}_3^-\text{-N} < 50 \text{ mg-N/L}$)

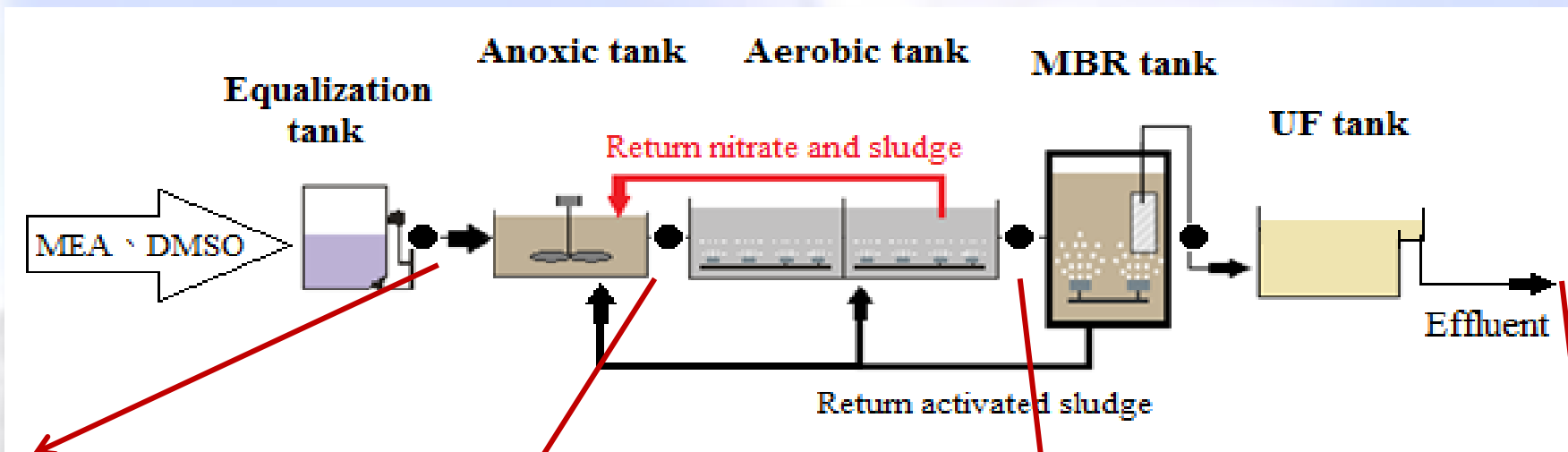
vs

Wastewater reclamation

Case II: MBR for MEA/DMSO treatment



A/O MBR Operation Mode



	MEA	DMSO	TKN
Day 1	303	172	-

	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N
Day 1	102	59	105

	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N
Day 15	59	83	83
Day 29	105	83	79
Day 43	83		
Day 57	83		
Day 78	79		

- Complete MEA/DMSO removal
- No nitrification

	MEA	DMSO	TKN
Day 78	95	0	0

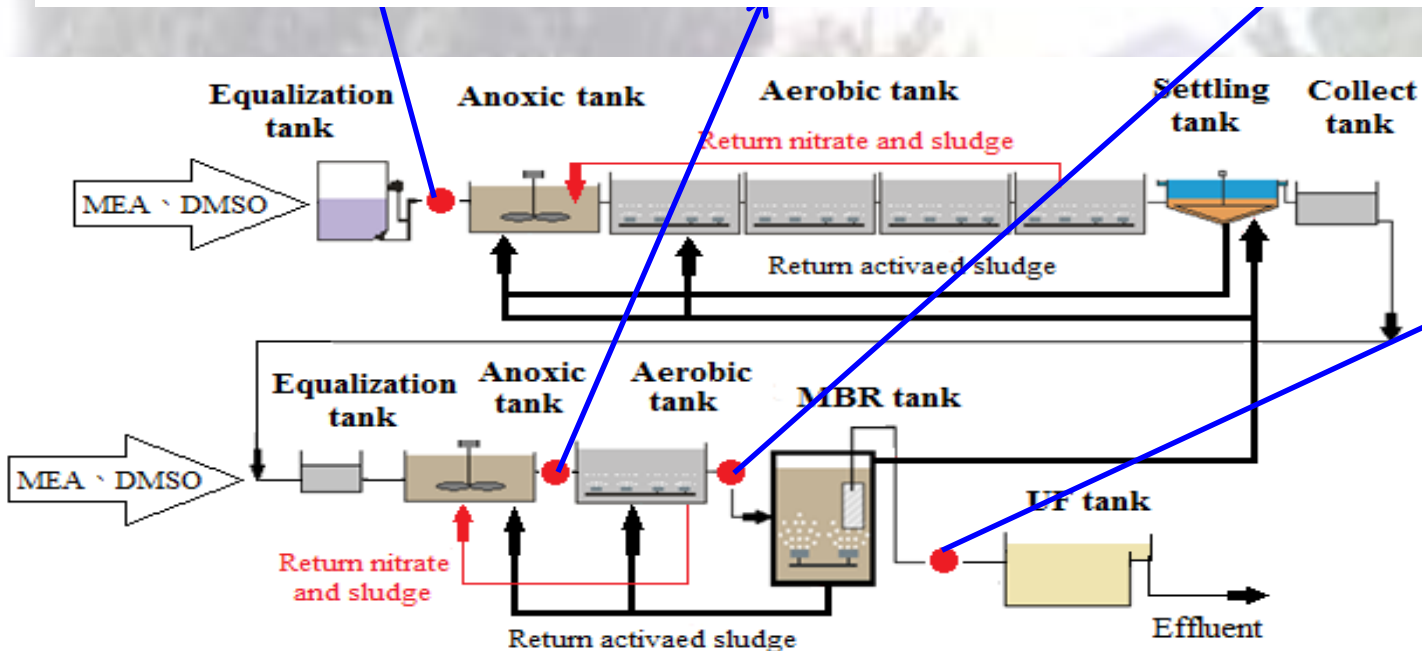
	NH ₄ ⁺ -N
Day 1	102
Day 15	59
Day 29	105
Day 43	83
Day 57	83
Day 78	79



Nitrification of A/O/A/O MBR

Potential means for nitrification improvement in A/O/A/O MBR

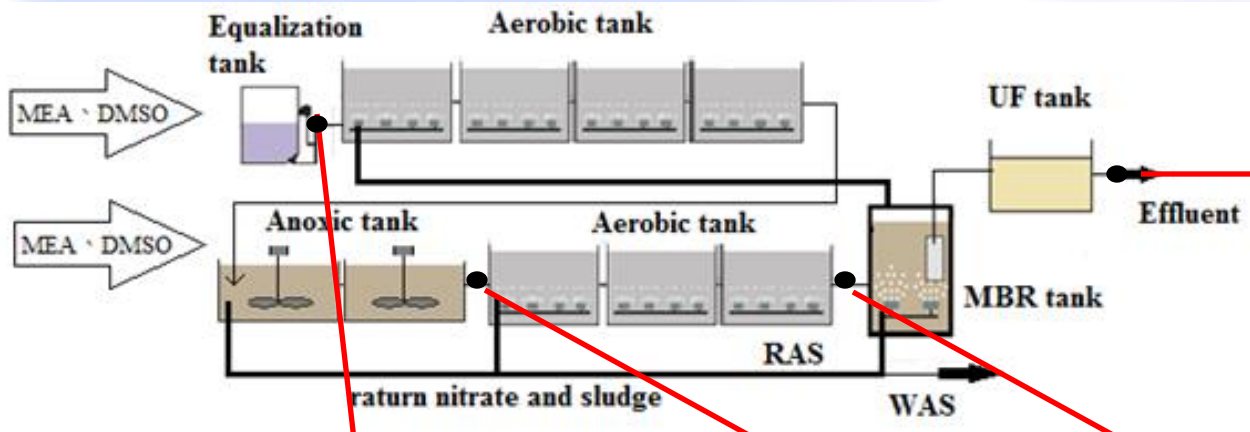
1. Reasonable biomass concentration
2. Sufficient DO supply ($DO > 5$)
3. Relatively sufficient HRT ($HRT > 24$ hr)



	NH_4^+-N	TKN
Day 95	129	121
Day 106	119	114
Day 120	101	112
Day 134	7	1
Day 148	0	0
Day 162	1	1
Day 176	0	6
Day 191	0	0
Day 204	0	0



O/A/O MBR Operation Mode



	MEA	DMSO	TKN	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$ $\text{NO}_2^- \text{-N}$ $\text{NO}_3^- \text{-N}$			$\text{NH}_4^+ \text{-N}$ $\text{NO}_2^- \text{-N}$ $\text{NO}_3^- \text{-N}$			$\text{NH}_4^+ \text{-N}$ $\text{NO}_2^- \text{-N}$ $\text{NO}_3^- \text{-N}$		
Day 274	462	0	63	41	0	0	57	0	2	35	0	4

Potential means for nitrification improvement in O/A/O MBR

1. Reasonable biomass concentration
2. Sufficient DO supply (DO >5)
3. pH >6
4. Relatively sufficient HRT (HRT >24 hr)

Day 0/0	500	457	109	4	0	34	23	0	23	0	0	30
---------	-----	-----	-----	---	---	----	----	---	----	---	---	----

Case II MBR Experience

- Complete MEA/DMSO removal
- Successful nitrification:
 - Relatively sufficient HRT > 24 hr
 - Supply sufficient DO (>5 mg/L)
 - Reasonable biomass concentration
 - Control pH > 6



Case III: MBR for MEA/DMSO wastewater treatment and reclamation

**Challenges: Nitrogen permit
(TN < 20 mg-N/L)**

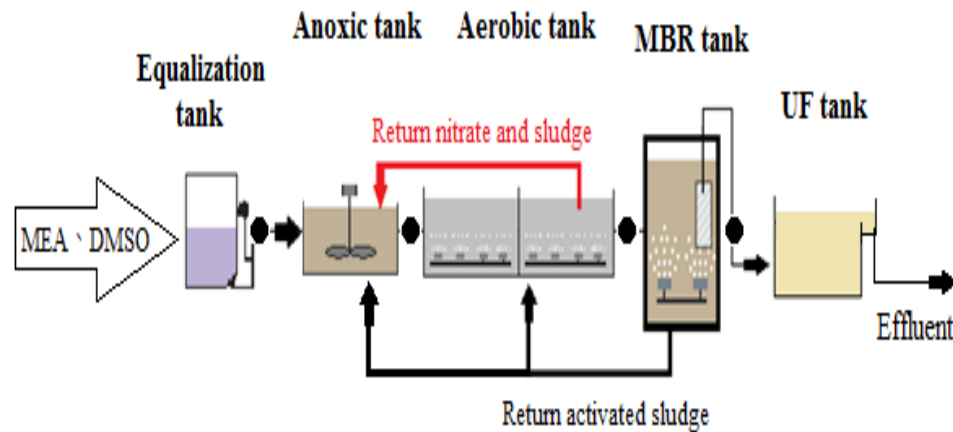
vs Wastewater reclamation



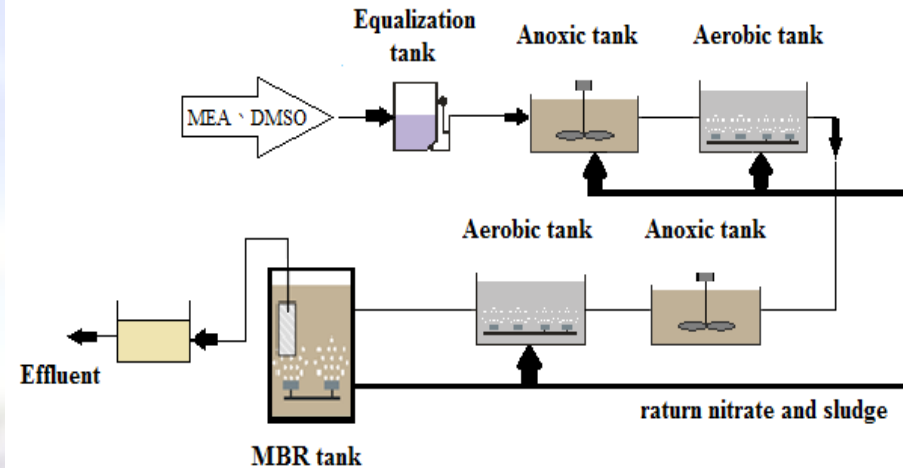
Operation Modes of the Full-Scale MBR

Treating MEA/DMSO

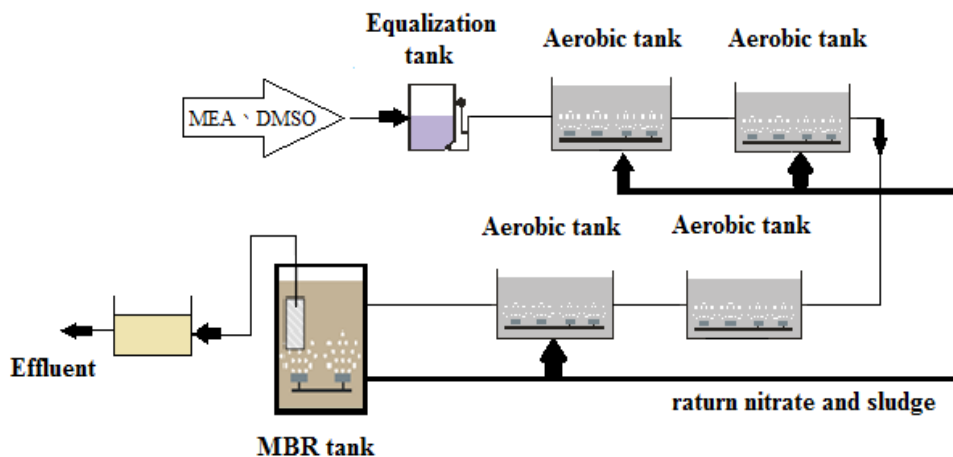
I. A/O MBR



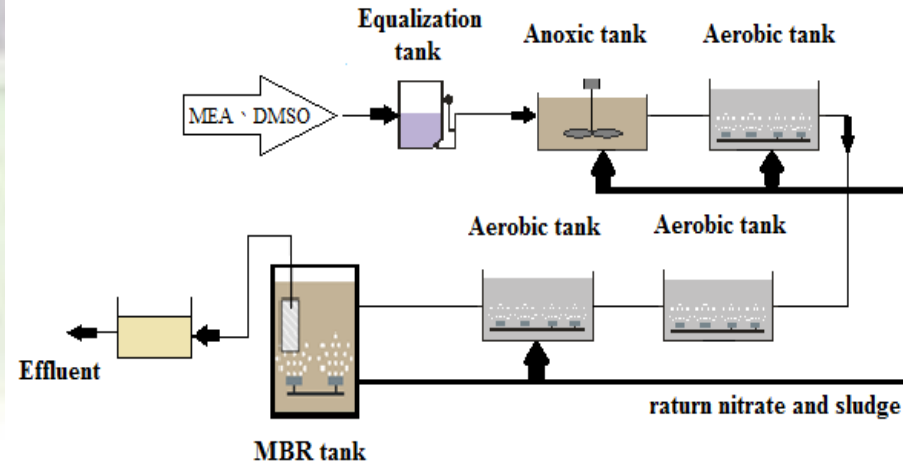
II. A/O/A/O MBR



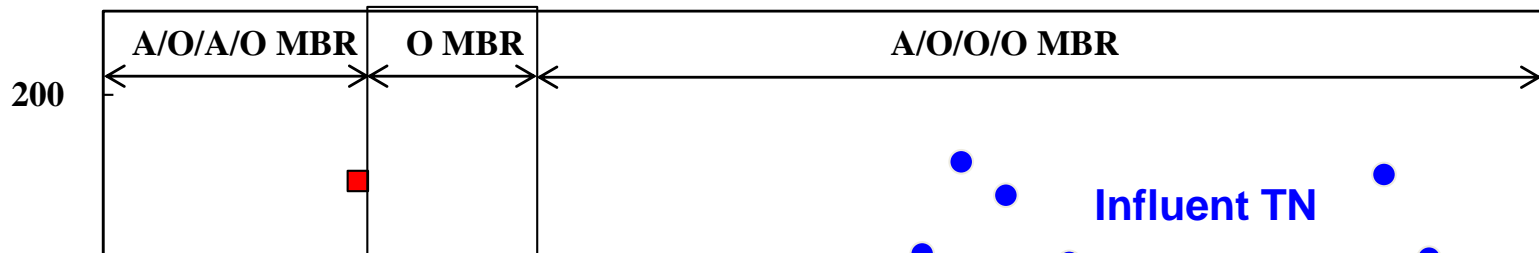
III. O/O/O/O MBR



IV. A/O/O/O MBR

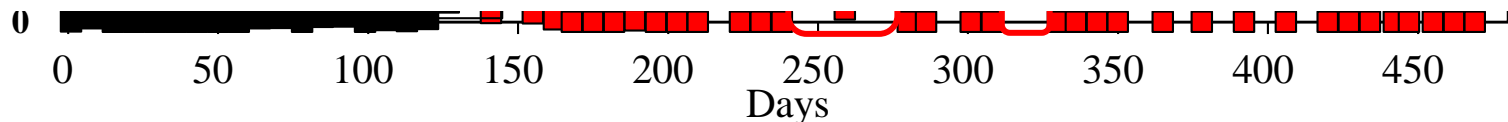


Nitrification Performance of the Full-Scale MBR under A/O/O/O Operational Modes



Case III MBR Experience

- Successful nitrification:
 - Relatively sufficient HRT
 - Supply sufficient DO (>5 mg/L)
 - Reasonable biomass concentration
 - Control pH > 6.5



Case IV :

TFT-LCD 混合廢水回收潛能評估

- 浮除槽出流水過RO膜時有相當大的機會形成磷酸鈣結晶，進而影響RO膜過濾之效能。雖經過多次抑垢劑試驗以減少磷酸跟與鈣的結合，但過膜通量之測試結果顯示抑垢劑無法有效降低磷酸鈣結晶阻塞RO膜潛勢。因此，建議若可藉由調整廢水處理流程來避免鈣離子與磷酸根結合，或是先行去除，則有機會降低浮除槽出流水之阻塞潛勢。
- RGB稀排回收水各段水質分析，可以發現在MF出流水濁度和溶解性有機物都有上升趨勢，由分子量分析結果發現RGB稀排原水經過生物處理後，有機物分子量從小分子量轉變成大分子量，這些大分子量的有機物可能是造成後續cartridge filter或是RO阻塞的原因。而由RO膜表面結垢物元素分析結果發現造成廢水回收系統末段RO膜阻塞的原因可能為有機物與鋁矽結垢物阻塞。未來應針對不同結垢物進行前處理改善以降低RO膜阻塞潛勢。
- Scrubber洗滌水，因含有較高的導電度及NPDOC，並不建議回收。



簡報內容

- I、前言
- II、光電廢水案例介紹
- III、展望

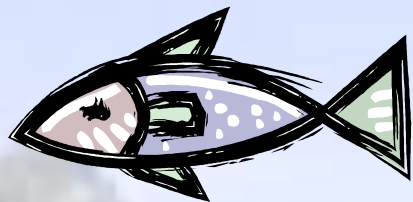


未來展望

- TFT-LCD製程廢水分流系統應確實執行，以提高生物廢水處理系統之穩定性。
- TMAH廢水宜單獨處理，並以回收再利用為目標。低濃度TMAH廢水可以絕對厭氧生物反應器有效處理。
- MEA/DMSO廢水分流宜確實掌握，並可以MBR系統處理後經RO系統處理回收再利用。
- TFT-LCD廢水回收再利用處理技術之研發
 - － 生物處理/前處理/過濾/RO
 - － 膜阻塞潛勢/膜阻塞結垢物評估與削減



魚與熊掌可以兼得



法規標準



回收水量

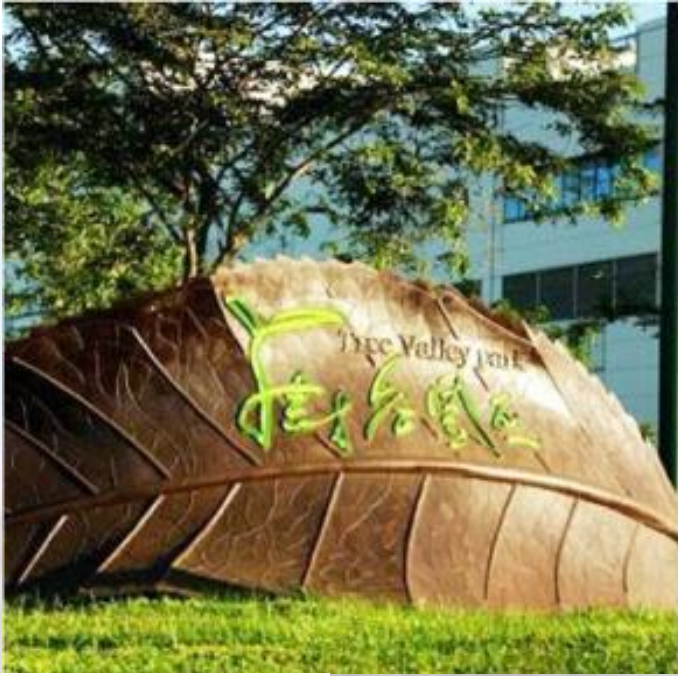


高氨工業廢水除氨相關期刊論文發表

1. Fukushima, T., Whang, L.M., Lee, Y.C., Putri, D.W., Chen, P.C., Wu, Y.J., (2014) Transcriptional responses of bacterial amoA gene to dimethyl sulfide inhibition in complex microbial communities. *Bioresource Technology*.
2. Fukushima, T., Whang, L.M., Chiang, T.Y., Lin, Y.H., Chevalier, L.R., Chen, M.C., Wu, Y.J. (2013) Nitrifying bacterial community structures and their nitrification performance under sufficient and limited inorganic carbon conditions. *Applied Microbiology and Biotechnology*. Vol. 97, pp. 6513–6523.
3. Fukushima, T., Whang, L.M., Chen, P.C., Putri, D.W., Chang, M.Y., Wu, Y.J., Lee, Y.C. (2013) Linking TFT-LCD wastewater treatment performance to microbial population abundance of *Hyphomicrobium* and *Thiobacillus* spp. *Bioresource Technology*. Vol. 141, pp. 131–137.
4. Wu, Y.J., Whang, L.M., Chang, M.Y., Fukushima, T., Lee, Y.C., Cheng, S.S., Hsu, SF, Chang, C.H., Shen, W.S., Yang, C.Y., Fu, HC, Tsai, T.Y. (2013) Impact of food to microorganism (F/M) ratio and colloidal chemical oxygen demand on nitrification performance of a full-scale membrane bioreactor treating thin film transistor liquid crystal display wastewater. *Bioresource Technology*. Vol. 141, pp. 35–40.
5. Wu, Y.J., Whang, L.M., Fukushima, T., Chang, S.H. (2013) Responses of ammonia-oxidizing archaeal and betaproteobacterial populations to wastewater salinity in a full-scale municipal wastewater treatment plant. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Vol. 115, pp. 424–432.
6. Whang, L.M.*, Wu, Y.J., Lee, Y.C., Chen, HW, Fukushima, T., Chang, M.Y., Cheng, S.S., Hsu, SF, Chang, C.H., Shen, W.S., Huang, C.K., Fu, HC, Chang, B. (2012) Nitrification performance and microbial ecology of nitrifying bacteria in a full-scale membrane bioreactor treating TFT-LCD wastewater. *Bioresource Technology*. Vol. 122, pp. 70–77.
7. Hu, TH, Whang, L.M.*, Liu, PWG, Hung, YC, Chen, HW, Lin, LB, Chen, CF, Chen SK, Hsu, SF, Shen, WS, Fu, HC, Hsu, CH (2012) Biological treatment of TMAH in a full-scale TFT-LCD WWTP. *Bioresource Technology*. Vol. 113, pp. 303–310.
8. Kumar, M., Lee, P.Y., Fukushima, T., Whang, L.M., Lin, J.G. (2012) Effect of supplementary carbon addition in the treatment of low C/N High-technology industrial wastewater by MBR. *Bioresource Technology*. Vol. 113, pp. 148–153.
9. Lei, C.N., Whang, L.M.*, and Chen, P.C. (2010) Biological treatment of thin-film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) wastewater using aerobic and anoxic/oxic sequencing batch reactors. *Chemosphere*, Vol. 81, pp. 57-64.
10. Hu, T.H., Whang, L.M.*, Lei, CN, Chen, CF, Chiang, T.Y., Chen, H.W., Lin, L.B., Liu, PWG, Cheng, SS (2010) Evaluation of methanogenic treatment of TMAH in a full-scale TFT-LCD wastewater treatment process. *Water Science and Technology*, Vol. 62 (2), pp. 403-409.
11. Whang, L.M*, Yang, K.H., Yang, Y.F., Han, Y.L., Chen, Y.J., and Cheng, S.S. (2009) Microbial Ecology and Performance of Ammonia Oxidizing Bacteria (AOB) in Biological Processes Treating Petrochemical Wastewater with High Strength of Ammonia – Effect of Na₂CO₃ addition. *Water Science and Technology*, Vol. 59 (2), pp. 223-231.
12. Whang, L.M*, Yang, Y.F., Huang, S.J., and Cheng, S.S. (2008) Microbial ecology and performance of nitrifying bacteria in an aerobic MBR treating TFT-LCD wastewater. *Water Science and Technology*, Vol. 58 (5), pp. 2365-2371.
13. Wu, Y. R., Whang, L.M.*, Huang, S. J., Yang, Y. F., Lei, C. N., Cheng, S. S. (2008) Evaluation of Performance and Microbial Ecology of SBR and MBR Treating TFT-LCD Wastewater. *Water Science and Technology*, Vol. 58 (5), pp. 1085-1093.
14. Lei, C. N., Whang, L.M.*, Lin, H. L. (2008) Biological Treatment of TFT-LCD Wastewater. *Water Science and Technology*, Vol. 58 (5), pp. 1001-1006.
15. Park, H.D., Whang, L.M., Ruesser, S., and Noguera, D. R. (2006) Combining aerated-anoxic and UCT processes for biological nutrient removal: lessons from a full-scale study. *Water Environment Research*. Vol. 78, pp. 637-641.



ACKNOWLEDGEMENTS



Tree Valley Foundation,
Chimei-Innolux Corporation,
National Cheng Kung University, Taiwan, ROC

