

出國報告（出國類別：其他-研習）

## 赴印度研習「農業劣質水使用以及 土壤水質改良技術介紹」出國報告

服務機關：行政院農業委員會農業試驗所、農田水利處

姓名職稱：吳秉諭助理研究員、陳彥圖技士

派赴國家：印度

出國期間：104年2月9日至104年2月26日

報告日期：104年4月

# 壹、摘要

我國參與農業相關的國際組織、並且屬於正式成員國者，包括：亞非農村發展組織(AARDO)、亞太農業研究機構聯盟(APAARI)、亞洲生產力組織(APO)、亞洲蔬菜研究發展中心(AVRDC)、亞太糧食肥料技術中心(FFTC/ASPAC)……等等；上述國際組織每年均有提供與農業生產技術相關的國際訓練課程，提供會員國農業研究、推廣或技術人員，關於特定主題的研習進修機會，藉此促進彼此間研究成果討論與學術技術交流，並協助解決開發中國家農業發展所遭遇問題。

本次研習課程為亞非農村發展組織(African-Asian Rural Development Organization, AARDO)協助組織聯繫，並委由印度農業研究委員會(Indian Council of Agricultural Research, ICAR)轄下的中央土壤鹽害研究機構(Central Soil Salinity Research Institute, CSSRI)負責教學參訪，研習期間的往返機票、住宿用膳、交通參訪、教材文具等相關花費，皆由亞非農村發展組織所提供，其餘預防醫療、意外保險與國內交通等則由研習人員自付。

國內參加此次研習課程學員與所屬機關(構)分別為：行政院農業委員會農田水利處陳彥圖技士，與行政院農業委員會農業試驗所吳秉諭助理研究員。本篇研習報告由吳秉諭助理研究員主筆，再由陳彥圖技士補充修正；並依照「行政院及所屬各機關出國報告綜合處理要點」指示結構撰寫，將此次課程內容分為水質、土壤、作物、灌排、節能、其他與實驗等章節作摘要說明，另將印方所提供簡報檔與實驗手冊等資料收錄於附件檔中，提供相關領域同仁參閱。

能有此次研習進修機會，除了感謝農業委員會與筆者所屬機關(構)長官的支持，以及相關單位同仁所提供的諮詢或協助以外，也非常感謝亞非農村發展組織秘書處(AARDO Secretariat)的Dr. Khushnood Ali，協助連繫研習課程相關資訊並提供往返機票(或等值經費)，另外也須一併感謝中央土壤鹽害研究機構(CSSRI)的Dr. Gajender，在研習期間課程、食宿、參訪等大小事，大抵皆由他作為窗口，協助每位學員解決問題。

最後，因兩位研習人員的專長領域未能完全涵蓋此次研習課程主題，本研習報告中若有專有名詞翻譯或是語意理解錯誤之處，仍請各界農業研究、教育推廣、技術開發先進不吝指正；若有需要課程原始投影片檔或相關資料者，也以可來信(行政院農業委員會農田水利處工程科陳彥圖技士的電子郵件地址為：[yentu@mail.coa.gov.tw](mailto:yentu@mail.coa.gov.tw)；行政院農業委員會農業試驗所農業化學組吳秉諭助理研究員的電子郵件地址為：[zapywrg@tari.gov.tw](mailto:zapywrg@tari.gov.tw))詢問，謝謝！

**關鍵字：**鹽土(Saline soil)、鹼土(Sodic soil)、鹽鹼土(Saline-sodic soil)、導電度(EC)、酸鹼度(pH)、鈉吸附比例(SAR)、可交換性鈉百分比(ESP)、殘留離子濃度(RSC)、劣質水(Poor quality water)、石膏需要量(Gypsum requirement)。

## 貳、目次

壹、摘要.....	1
貳、目次.....	2
參、本文.....	4
一、目的.....	4
圖一、全球人為因素引起之土壤品質劣化區域分佈圖.....	4
圖二、1995 年與 2025 年全球可利用水資源與預估短缺情形示意圖.....	5
圖三、2007 年全球可利用淡水資源與缺水情況示意圖.....	5
圖四、全球缺水指數與缺水地區分佈圖.....	6
二、過程.....	6
表一、赴印度研習課程表.....	7
三、課程主題分類與概述.....	6
[劣質水]	
1. 農業劣質水分類與定義.....	9
2. 地質化學與水文循環－劣質水的鹽類來源.....	11
3. 劣質水對土壤鹽鹼化的衝擊.....	13
[鹽鹼土]	
4. 土壤剖面與鹽害土壤管理.....	17
5. 在高鹽膨轉土作物生產的水分管理.....	19
6. 在亞非農村發展組織三個成員國中的積水與土壤鹽鹼化問題概述.....	22
[作物相關]	
7. 提升作物鹽類耐受性的方法.....	26
8. 耐鹽作物選育.....	28
9. 高鹽、高鈉與積水逆境的植物生理機制.....	30
10. 維持作物產量的劣質水灌溉管理.....	32
11. 鹽害環境的新興園藝作物.....	35
12. 使用劣質水維持園藝作物產量.....	37
13. 乾燥與鹽害地區的農林間作.....	39
14. 以高鹽高鈉劣質水種植木本植物.....	41
15. 以劣質水種植工業或非傳統作物前瞻.....	43
[灌溉排水]	
16. 園藝作物劣質水滴灌技術.....	46
17. 以劣質水進行底層（暗管）滴灌.....	48
18. 印度底層（暗管）排水與積水鹽害土壤管理.....	51
19. 地下水補注管井－前瞻與問題.....	53

[節能]	
20.節約、保護型農業.....	55
21.農業節能措施.....	57
22.節水設施栽培（可能涉及未發表成果，印方未提供簡報檔）	
[其他]	
23.印度農業資源與糧食安全概述.....	59
24.使用現代工具強化鹽害環境作物生產力.....	60
25.鹽害土壤的碳循環與碳吸存.....	62
26.印度土壤整治經濟分析.....	64
27.廢汙水整治與管理技術發展.....	66
28.重金屬汙染廢水的微生物整治技術.....	68
[實驗]	
29.廢水水質檢驗與分析.....	69
30.劣質水之石膏需要量評估.....	71
<b>四、心得及建議.....</b>	<b>73</b>
圖五、參加此次「農業劣質水使用」國際訓練課程之修業證書.....	74
圖六、「農業劣質水使用」國際訓練課程之參加學員與 CSSRI 講師合影.....	75
<b>肆、附錄(請參閱附件檔).....</b>	<b>76</b>
一、課程投影片之彙整檔	
二、印方提供之實驗手冊	

# 參、本文

## 一、前言、目的

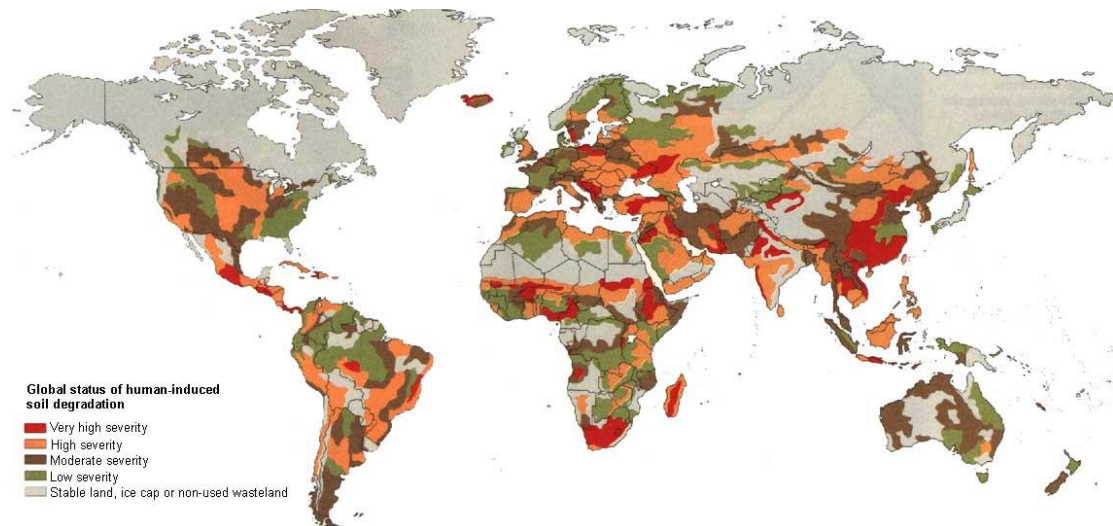
根據聯合國糧食與農業組織(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)以及聯合國環境計畫署(United Nations Environment Programme, UNEP)的研究報告，全球農業生產面臨土壤品質劣化(圖一)與可利用淡水資源日益短缺(圖二至圖四)等問題。

土壤品質劣化的其中一項，便是地質因素或人為活動所引起的土壤鹽化現象。鹽害地區土壤依化學性質如導電度、酸鹼值、鈉吸附比例或可交換性鈉百分比等數值範圍的不同，可再區分為鹽土(Saline soil)、鹼土(Sodic soil)、鹽鹼土(Saline-sodic soil)三者。

而在乾燥或半乾燥氣候區由於降雨分佈不均、雨季集中、乾季雨水缺乏等因素，導致農業生產必須仰賴含鹽量高(Saline water)、或含鈉量高(Sodic water)的劣質地下水，作為作物灌溉所需的替代水源；但是水質不佳卻導致作物產量下降、品質不佳，並更進一步造成土壤鹽害問題惡化。

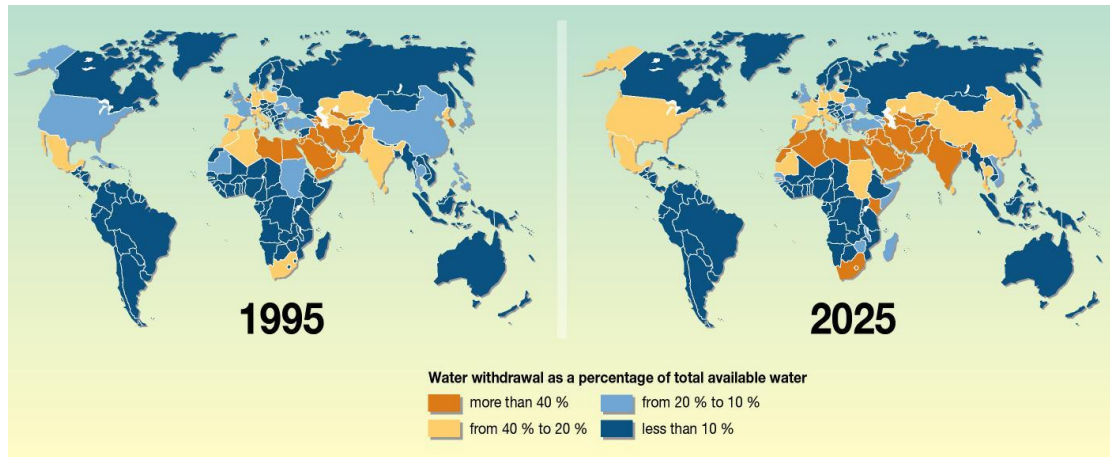
有鑒於大部分亞洲與非洲的成員國，在農業發展上面臨同樣的困境，亞非農村發展組織(African-Asian Rural Development Organization, AARDO)於1962年成立，透過農業生產技術相關課程訓練與人員培訓，藉此合力消除開發中國家農村所面臨的飢餓、貧窮、疾病等問題。

此次「農業劣質水使用」即屬於亞非農村發展組織所提供的國際訓練課程之一，目的在於瞭解鹽鹼土與劣質水的定義、特性，應用於農業生產與作物種植時可能發生的問題，透過現有的科學研究與技術開發成果，消弭自然環境的嚴苛條件，並為農民生計與農村發展提供永續經營的可行之道。

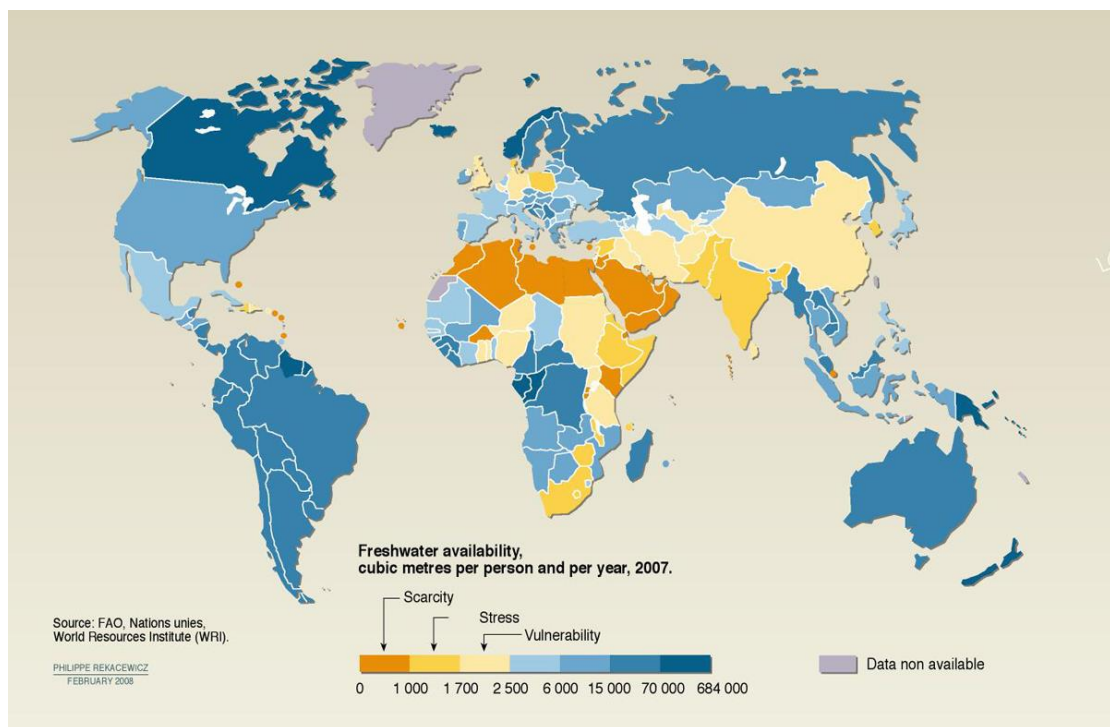


圖一、全球人為因素引起之土壤品質劣化區域分佈圖

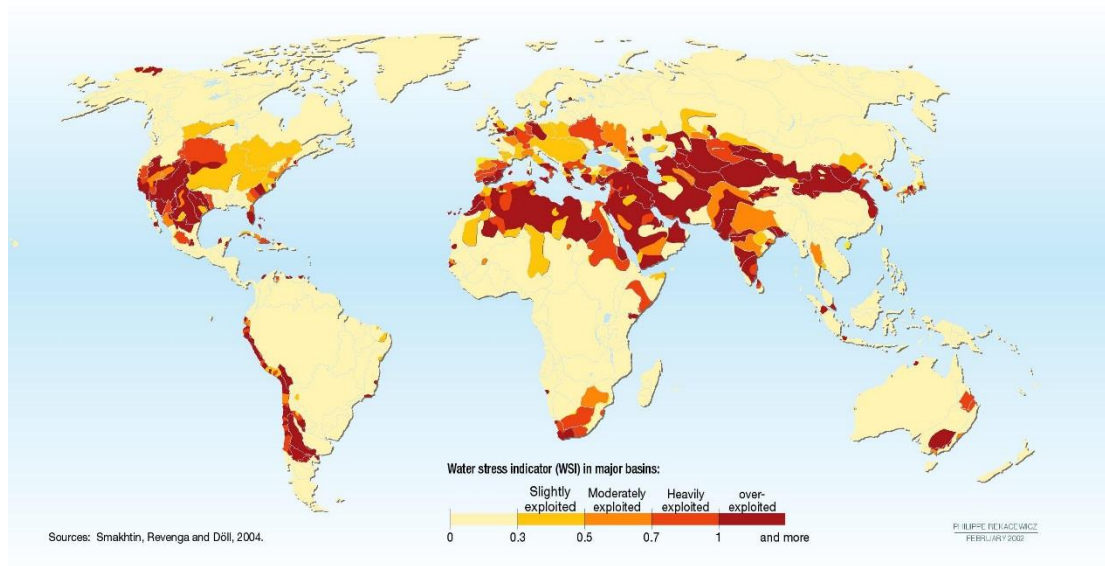
(圖片取自 FAO 網站：<http://www.fao.org/docrep/u8480e/U8480E3z.jpg>)



圖二、1995 年與 2025 年全球可利用水資源與預估短缺情形示意圖  
 (圖片取自 UNEP 網站：<http://www.unep.org/dewa/vitalwater/jpg/0400-waterstress-EN.jpg>)



圖三、2007 年全球可利用淡水資源與缺水情況示意圖  
 (圖片取自 UNEP 網站：<http://www.unep.org/dewa/vitalwater/jpg/0221-waterstress-EN.jpg>)



圖四、全球缺水指數與缺水地區分佈圖

(圖片取自 UNEP 網站：<http://www.unep.org/dewa/vitalwater/jpg/0222-waterstress-overuse-EN.jpg>)

## 二、研習過程

本次研習課程為亞非農村發展組織協助組織聯繫，並委由印度農業研究委員會轄下的中央土壤鹽害研究機構負責教學參訪，研習期間的往返機票、住宿用膳、交通參訪、教材文具等相關花費，皆由亞非農村發展組織所提供，其餘預防醫療、意外保險與國內交通等則由研習人員自付。此次參加研習課程學員與所屬機關（構）分別為：行政院農業委員會農田水利處陳彥圖技士，與行政院農業委員會農業試驗所吳秉諭助理研究員；研習課程表詳見表一。

## 三、課程主題分類與概述

此次課程內容分為水質管理、土壤鹽害、作物選育、灌排技術、節能農業、其他相關與實驗課程等，茲依照上述主題分成不同章節作摘要說明；另亦將印方所提供簡報之壓縮檔，與水質檢驗或土壤改良相關實驗手冊等資料收錄於附件中，提供農業行政、試驗研究、教育推廣與技術開發之同仁參閱。

表一、赴印度研習「農業劣質水使用以及土壤水質改良技術介紹」課程表

日期	參訪行程或授課主題
2月9日	臺灣桃園機場－新加坡樟宜機場
2月10日	新加坡樟宜機場－印度新德里機場－中央土壤鹽害研究機構 (Central Soil Salinity Research Institute, CSSRI)
2月11日	1. 研習學員註冊 2. 參觀 CSSRI 溫網室與試驗田 3. 參觀 CSSRI 研發成果展示館 4. AARDO 暨 CSSRI 研習課程開幕式 5. CSSRI 研發活動與成果簡介座談會
2月12日	1. 農業劣質水分類與定義(Categorization of poor quality water) 2. 使用現代工具強化鹽害環境作物生產力(Use of modern tools for enhancing crop productivity in saline environments) 3. 地質化學與水文循環－劣質水的鹽類來源(Geochemistry and hydrologic cycles-sources of origin of salts in poor quality water) 4. 於 CSSRI 研發成果展示館介紹印度鹽害土壤剖面
2月13日	1. 劣質水對土壤鹽鹼化的衝擊 (Impacts of poor quality water for soil salinization and alkalinization) 2. 劣質水之石膏需要量評估實驗觀摩 3. 在高鹽膨脹土作物生產的水分管理(Water management for crop production in saline vertisols) 4. 鹽害土壤的碳循環與碳吸存(Carbon sequestration in salt affected soil)
2月14日	CSSRI－首都德里都市參訪
2月15日	德里－使用劣質水試驗田參訪－阿格拉
2月16日	阿格拉文化參訪－德里－CSSRI
2月17日	1. 劣質水水質評估(Assessment of poor quality water) 2. 鹽害土壤之石膏需要量評估實驗觀摩 3. 使用劣質水維持園藝作物產量(Sustaining production of horticultural crops with poor quality water) 4. 以高鹽高鈉劣質水種植木本植物(Plantation of trees with saline and/or sodic water) 5. 乾燥與鹽害地區的農林混作(Bio-saline agroforestry for dry regions)
2月18日	1. 地下水補注管井－前瞻與問題(Groundwater recharge tubewells- prospects and problems) 2. 在亞非農村發展組織三個成員國中的積水與土壤鹽鹼化問題概述(An overview of waterlogging and soil salinity problems in three AARDO countries) 3. 印度農業資源與糧食安全概述(Resources and liabilities) 4. 鹽害土壤改良試驗田參訪
2月19日	1. 保護型農業(Conservation agriculture)



	<p>2.節水設施栽培(Water conservation through protected cultivation)</p> <p>3.維持作物產量的劣質水灌溉管理(Management poor quality irrigation for sustainable crop production)</p> <p>4.以劣質水種植工業或非傳統作物前瞻(Prospects of growing industrial and non-conventional crops with poor quality water)</p> <p>5.印度底層（暗管）排水與積水鹽害土壤管理(Subsurface drainage for management of waterlogged saline soils of India)</p> <p>6.AARDO 成員國的廢水產生、處理與使用情況(Wastewater production, treatment and use scenario in AARDO countries)</p>
2月20日	兩處與 CSSRI 合作的暗管排水計劃試驗田參訪
2月21日	<p>1.耐鹽作物選育(Breeding of salt tolerant crops)</p> <p>2.鹽害環境的新興園藝作物(Rising horticultural crops under saline environments)</p> <p>3.廢汙水整治與管理技術發展(Advances in management and remediation of wastewater)</p> <p>4.重金屬汙染廢水的微生物整治技術(Microbial remediation of heavy metals contaminated wastewater)</p> <p>5.廢水水質檢驗與分析實驗觀摩</p> <p>6.高鹽、高鈉與積水逆境的植物生理機制(Physiological mechanisms of salinity, sodicity and waterlogged stresses in crop plants)</p>
2月22日	(本日無安排授課或參訪行程)
2月23日	<p>1.農業節能措施(Energy conservation in agriculture)</p> <p>2.以劣質水進行底層（暗管）滴灌(Subsurface drip irrigation for sewage and waste water)</p> <p>3.提升作物鹽類耐受性的方法(Approaches for enhancing salt tolerance in crop plants)</p> <p>4.園藝作物劣質水滴灌技術(Drip irrigation in horticultural crops- suitable for saline water)</p> <p>5.印度土壤整治經濟分析(Economic analysis of land reclamation in India)</p> <p>6.邊際農業系統整治前後的社會樣態(Social ecology of reclamation and post-reclamation management in marginal agroecosystems)</p>
2月24日	<p>1.圖書館參訪與瀏覽過去研發成果文獻</p> <p>2.領取研習證書與課程相關資料</p> <p>中央土壤鹽害研究機構－印度新德里機場</p>
2月25日	新加坡樟宜機場－臺灣桃園機場

\*備註：

- 1.上表行程以農試所吳秉諭助理研究員的行程為主；農水處陳彥圖技士去程於2月9日夜間已抵達，參加完閉幕式後，回程於2月25日從自新德里機場返回，2月26日傍晚抵達桃園機場。
- 2.授課主題後方有英文者，為有提供投影片（「節水設施栽培」課程除外）且在室內授課；無英文者表實驗觀摩，或於外部試驗田及其他地點參訪之行程。

# 課程主題：農業劣質水分類與定義 (Categorization of poor quality water)

演講者或組織：R. K. Yadav (CSSRI)

## 翻譯與摘要：

### 1. 背景說明

全球水資源概況：海水佔 97%，淡水約 3%；淡水分成三部分－冰冠、冰川、冰雪佔 77.8%，地下水佔 21.6%，表面水佔 0.6%；表面水又可分為－河川、湖泊佔 57%，土壤水分佔 33%，大氣水氣佔 7%，生物體內則有 3%；因此實際可以使用的淡水資源只佔全球水資源的一小部分。

### 2. 灌溉水質參數

灌溉水質評估水體是否適合用於灌溉，灌溉水質可能影響土壤特性與作物生長。主要的評估標準為水體中所含鹽類的種類與含量，常見的評估指標有：導電度 (Electrical conductivity, EC)、殘留鈉離子濃度 (Residual sodium concentration, RSC)、鈉吸附比率 (Sodium adsorption ratio, SAR)、毒性離子含量。

EC 值 (dS/m) 反應水中鹽類含量多寡，若鹽類含量高，則滲透壓勢能低、而作物將難以吸收所需水分。RSC 值定義為： $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ ，單位為 meq/L，評估水中碳酸根與碳酸氫根對作物所造成的鹼性毒害。SAR 值定義為： $\text{Na}^+ / \sqrt{[(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2]}$ ，評估相對於鈣鎂的鈉含量，以及過量時可能引起的土壤孔隙堵塞與水分無法下滲的問題。

其他評估水質是否適用灌溉的參數包括：總陽離子含量中，鈣應超過 35% 而鈉應低於 65%；鈣與鎂的比值應大於或等於 3.0；硼超過 5.0 ppm，鋰超過 0.5 ppm，氟超過 5 meq/L，氯超過 1 ppm，鉬超過 0.05 ppm，鋁超過 5 ppm，或氯離子與硫酸根離子比率為 1:3 時，會對作物（或根部）造成毒害。

### 3. 對作物影響

土壤或灌溉水含有過量鹽類，對作物可能造成的負面影響包括：因滲透壓效應引起的生長遲緩、土壤團粒構造破壞導致通氣性與排水性降低、作物對於施用肥料的增產效果降低、鹽類影響作物所需養分的傳輸與吸收、限制根系發展與植物體內相關代謝途徑。

以高鈉或高 RSC 值水灌溉，影響作物生長的可能因子包括：缺鈣（鈣與碳酸根形成難溶沉澱）、過量鈉導致毒性與植物體內鈣鉀等養分不平衡、過量碳酸根與碳酸氫根的毒性、降低鋅鐵錳等養分可溶性或有效性、增加氟硒鉬溶解性或毒性、缺水或土壤表面硬殼形成等。

### 4. 劣質水分類

印度高鹽灌溉水使用指引如下表 (Minhas and Gupta, 1992)：

土壤質地 (黏粒%)	作物鹽類 耐受性	不同降雨量與容許灌溉水 EC 值 (dS/m) 上限		
		< 350 mm	350-550 mm	> 550 mm
細質地 (> 30 %)	敏感	1.0	1.0	1.5
	中等	1.5	2.0	3.0
	耐鹽	2.0	3.0	4.5

中至細 (20-30 %)	敏感	1.5	2.0	2.5
	中等	2.0	3.0	4.5
	耐鹽	4.0	6.0	8.0
中至粗 (10-20 %)	敏感	2.0	2.5	3.0
	中等	4.0	6.0	8.0
	耐鹽	6.0	8.0	10.0
粗質地 (< 10 %)	敏感	-	3.0	3.0
	中等	6.0	7.5	9.0
	耐鹽	8.0	10.0	12.5

印度高鈉灌溉水使用限制如下表：

土壤質地 (黏粒%)	使用上限		備註
	SAR(mmol/L) <sup>1/2</sup>	RSC(meq/L)	
細質地 (> 30 %)	10	2.5-3.5	年雨量 350-550 公厘、雨季休耕冬季種植耕作系統的限制。
中至細 (20-30 %)	10	3.5-5.0	鈉低於 75%、鈣鎂高於 25%、或年雨量高於 550 公厘時，RSC 值 5 仍屬安全。
中至粗 (10-20 %)	15	5.0-7.5	若為兩期作，調整 RSC 的石膏需要量以冬季水質評估，雨季建議種植低需水量作物。
粗質地 (< 10 %)	20	7.5-10.0	

課程主題：地質化學與水文循環－劣質水的鹽類來源(Geochemistry and hydrologic cycles- sources of origin of salts in poor quality water)

演講者或組織：A. K. Mandal (CSSRI)

翻譯與摘要：

### 1. 鹽化土壤概述

土壤是地景的立體組成之一，具有明確的形狀、面積和深度。**鹽土**(Saline soil)具有接近中性的 pH 值與中性可溶鹽類，在 25°C 時 EC 值大於 4 dS/m、ESP 值小於 15，在土壤剖面中存在明顯的鹽類結晶層(Salic horizon)，主要離子包括鈉、鈣、鎂、氯、硫酸根等，亦可能含有少量硝酸根與硼，以及碳酸鎂、碳酸鈣與硫酸鈣沉澱；可能的成因包括：凹地、窪地的鹽類沉積；土壤母質為海洋沉積物；以含鹽量高的河水或地下水灌溉；排水不良；海岸、三角洲或紅樹林地帶；屬於乾燥與半乾燥氣候區，且土壤結塊、結殼或易生成不透水層…等，都是鹽土的可能成因。

EC 值在 0-2 dS/m 時，鹽類對作物的影響可以忽略；EC 值在 2-4 dS/m 時，敏感作物的產量可能受到影響；EC 值在 4-8 dS/m 時，一般作物的產量受到限制；EC 值在 8-16 dS/m 時，只有耐鹽作物的產量可以接受；EC 值大於 16 dS/m 時，只有少數嗜鹽植物(Halophyte)可以生存。

**鹼土**(Sodic soil) pH 值大於 8.5，EC 值小於 4 dS/m，ESP 值則是大於 15，常見的陽離子包括鈉、鈣、鎂，常見的陰離子包括碳酸根、碳酸氫根。可能的地質化學過程包括：過量鹽類自土壤中移除，土壤溶液 pH 值上升；有機物質溶解、分散，使土壤表面呈現黑色；土壤剖面可能存在鈉飽和的黏土礦物層(Natric horizon)，主要由於過量的鈉離子累積；可能形成稜柱或圓柱狀構造，且土壤通氣性與排水性極差。

鹽鹼土指 pH 值大於 8.5，ESP 值大於 15，EC 值大於 4 dS/m，同時具有高的鹽類含量與強鹼性的鹽害土壤。

### 2. 土壤鹽分含量測定與換算

土壤鹽分通常是以導電度(EC)值表示，但是所使用的土壤樣本與蒸餾水（或去離子水）比例，則因分析需求而有不同；土水比由高到低分別為飽和抽出液、1:1、1:2、1:5…等，所添加的水量越多，可以讓量測與準備過程越快速（只添加飽和水量則需以抽氣過濾方式進行）。

一些常用的換算包括：

水中鹽類百分比  $P_{sw} = \text{每公升水含有鹽類毫克數(ppm)} / 10,000 = 64 \times \text{EC 值}$

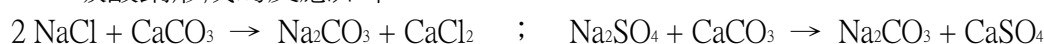
土中鹽類百分比  $P_{ss} = (\text{水中鹽類百分比 } P_{sw} \times \text{土中含水量百分比 } P_w) / 100$

滲透壓(以大氣壓單位表示) =  $0.36 \times \text{EC 值} \times 10$

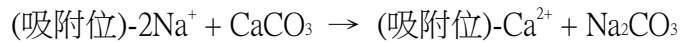
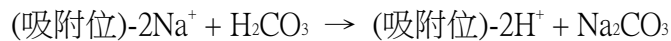
鈉吸附比例(SAR)與可交換性鈉百分比(ESP)之間存在良好相關性，根據實驗結果： $ESP = [100(-0.0126+0.01475 \text{ SAR})] / [1+(-0.0126+0.01475 \text{ SAR})]$ 。

### 3. 土壤鹽化與劣質水成因

碳酸鈉形成的反應如下：



土壤黏粒表面吸附位址的置換反應如下：



造成土壤鹽害與劣質水的因素，包括：氣候、母質、地形，以及相對應的質流與能量流反應過程。

陰陽離子的移動性比較（序列萃取）：I— $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ；II— $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ；III— $\text{SiO}_3^{2-}$ ；IV— $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ 。因此在地形起伏與淋洗發生時，移動性較差的鐵、鋁與矽酸根離子留在高處，易移動的鈉、鉀、鈣、鎂、氯與硫酸根離子被帶到低處累積，中間坡地則可能有碳酸鹽類的累積。

坡地地形若以礦物種類來區分，山頂主要為高嶺石(Kaolinite)，山坳則為蒙特石(Montmorillonite)；若為熱帶地區，高地除了高嶺石(Kaolinite)外，也可能是三水鋁石(Gibbsite)或水鋁礦(Hydrargillite)，低地則是累積碳酸鈣或具有鹽鹼土性質的蒙特石黏土礦物。

#### 4.補充說明

全球各大洲鹽害土壤分佈面積(百萬公頃)，分別為：北美—15.8、中美—2.0、南美—129.1、非洲—80.5、南亞—87.6、中亞和北亞—211.7、東南亞—20.0、澳洲—357.3、歐洲—50.8，總計全球共有 954.8 百萬公頃土壤受到鹽害影響，約佔全球陸地面積的 8%。

受鹽類影響的土壤分類與說明如下表：

主要離子	分類	環境、地區	不利影響	整治方法
$\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$	鹽土	乾燥、半乾燥	滲透壓效應、毒害	淋洗過量鹽類
大量 $\text{Na}^+$ ； $\text{CO}_3^{2-}$ 與 $\text{HCO}_3^-$ 可水解產生鹼性	鹼土	半乾燥、半潮濕	鹼性、土壤構造破壞	化學添加（如石膏）
$\text{Mg}^{2+}$	鎂土	半乾燥、半潮濕	滲透壓、毒害	化學添加、淋洗
$\text{Ca}^{2+}$	石膏性土	乾燥、半乾燥	酸性、毒害	鹼性化學添加
$\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$	酸性硫酸根土	海岸、潟湖(含高量硫沉積物)	強酸性、毒害	施用石灰

課程主題：劣質水對土壤鹽鹼化的衝擊(Impact of poor quality water for soil salinization and alkalinization)

演講者或組織：N. Basak (CSSRI)

翻譯與摘要：

## 1. 背景說明

土壤鹽化 (Salinization, 含有大量可溶鹽類) 與鹼化 (Sodicization 或 alkalinization, 含有大量可交換性鈉, 或是存在大量碳酸根與碳酸氫根), 是乾燥與半乾燥地區灌溉時常見的問題。在乾燥與半乾燥地區因為降雨稀少, 地下水便成為主要或是唯一的灌溉水源; 而這些地方的地下水, 通常含有過量的鹽類, 較高的 SAR、RSC 值, (相較於鈉含量) 較低的鈣鎂比例, 或是存在對植物生長有害的氟離子、硼離子等。

## 2. 基礎概念

土壤 EC 值越高時, 因滲透壓效應會導致作物無法吸收足夠水分而阻礙生長; 土壤 SAR 或 ESP 值越高時, 會因表面鈉飽和、黏粒彼此分散, 堵塞小孔隙並破壞土壤團粒構造, 也可能因水解提高土壤溶液的 pH 值, 同樣導致作物生長不良。

土壤鹽度 (Salinity) 是土壤化學性質之一, 通常以土壤飽和抽出液的導電度值表示 (EC<sub>e</sub>, 單位 dS/m); 而滲透壓潛勢 (Osmotic potential) 則是植物是否面臨水分逆境的關鍵指標, 兩者存在實驗關係式如下:  $OP = 0.36 \times EC_e$ 。氯與磷酸二氫根離子、氯與硝酸根離子、氯與硫酸根離子、鈉與鉀離子彼此在植物體內的傳輸呈現拮抗關係。土壤鹼度 (Sodicity) 用以表示土壤物理特性, 尤其是黏粒分散、團粒破壞所導致的土壤通氣性與排水性下降; 通常鹼土可能會再表面形成結殼, 缺乏鈣或含過量鈉 (影響作物鉀吸收), 過量的碳酸根或碳酸氫根離子, 亦可能發生積水或嚴重的土壤沖蝕現象。

土壤鹽害分類: 正常土壤  $EC < 4$ 、 $pH < 8.5$ 、 $SAR < 13$ 、 $ESP < 15\%$ ; 鹽土 (Saline soil)  $EC > 4$ 、 $pH < 8.5$ 、 $SAR < 13$ 、 $ESP < 15\%$ ; 鹼土 (Sodic soil)  $EC < 4$ 、 $pH > 8.5$ 、 $SAR > 13$ 、 $ESP > 15\%$ ; 鹽鹼土 (Saline-sodic soil)  $EC > 4$ 、 $pH < 8.5$ 、 $SAR > 13$ 、 $ESP > 15\%$ 。

鈉鉀鈣鎂等離子在土壤溶液中不會水解, 亦不會產生  $H^+$  或  $OH^-$  離子來改變土壤溶液的 pH 值; 碳酸根離子與碳酸氫根離子在土壤溶液中會水解, 並產生  $OH^-$  離子使土壤溶液的 pH 值上升; 三價鋁離子或鐵離子在土壤溶液中會水解, 並產生  $H^+$  離子使土壤溶液的 pH 值下降。在石灰質鹽鹼土或鹼土中, pH 值不會大幅度的下降, 原因主要是存在  $H^+$  離子時, 會使方解石 (或其他型式碳酸鈣礦物) 產生以下反應來中和酸性:  $CaCO_3 + H^+ \rightarrow Ca^{2+} + HCO_3^-$ 。

在一截面積 A、高度 L 的土壤管柱, 固定由上方加水、並維持土面上水體的高度 h, 當土壤管柱完全水飽和時, 在一定時間 t 之內, 若下方開口所流出的水量為 Q, 則飽和導水度  $K_{sat}$  可定義為  $QL/(Aht)$ , 物理因次為 [長度]/[時間], 常用單位如 cm/hr、mm/hr 等。

黏土礦物與性質包括: 高嶺石—1:1 型礦物、無膨脹性、陽離子交換容量 2-5 cmol/kg; 膨潤石—2:1 型礦物、高膨脹性、陽離子交換容量 80-120 cmol/kg; 蛭石—2:1 型礦物、低膨脹性、陽離子交換容量 100-160 cmol/kg; 伊萊石—2:1 型礦物、無膨脹性、陽離子交換容量 20-40 cmol/kg。

不同土壤性質的飽和導水度比較：鹽害膨脹土的飽和導水度隨著 ESP 值上升而下降。在相同 EC 值情況下，飽和導水度以高嶺石較高、蒙脫石其次、蛭石最差；而在相同黏土礦物組成下，飽和導水度隨 EC 值上升而增加。黏粒含量越高時，飽和導水度越低；SAR 值越高時，飽和導水度越低。

土壤團粒構造與水分保存、通氣性、作物生長、微生物活性與土壤沖蝕等相關；鹼土對於雨水或灌溉水的通透性低，起因於土壤黏粒分散、堵塞小孔隙並破壞土壤團粒構造。在土壤 pH 值從 8.5 上升到 9.5 時，或土壤深度增加時，土壤團粒百分比或大團粒佔全體百分比均下降。

土壤構造破壞過程與影響：土壤溶液存在過量可交換性鈉、團粒被破壞→團粒釋出黏粒與粉粒、沿土壤剖面上至下阻塞孔隙→土壤黏粒表面可交換性鈉飽和、黏粒體積膨脹→黏粒進一步擠壓或封閉孔隙、降低土壤排水性→土壤因高鈉含量與降低土壤溶液鹽類濃度而影響作物生長。

高鈉含量的影響包括：鈉離子僅具有單一電荷，且在土壤溶液中形成較大的水合半徑與鬆散的分子結構；比其他陽離子更容易吸附在土壤黏粒表面；在黏粒週遭以弱的電性形成包覆層；高度鈉飽和的土壤黏粒膠體，彼此會因為外層的部分正電荷而彼此排斥，進而破壞土壤構造。

依擴散電雙層理論解釋土壤黏粒表面與土壤溶液中帶電離子的分佈情形—當土壤溶液鹽類濃度越低，受土壤黏粒表面影響的離子層越厚，且土壤黏粒表面的陽離子，越容易因擴散移往土壤溶液，而土壤溶液的陰離子也越容易因擴散而移向土壤黏粒表面。

**分散**(Dispersion)與**絮聚**(Flocculation)：分散指二級土壤粒子（如團粒）裂解為一級土壤粒子（如黏粒），或指在土壤溶液中，黏粒懸浮並分佈在整個系統中；絮聚則是相反的現象，指一級土壤粒子（如黏粒）聚集為二級土壤粒子（如團粒），通常是壓縮電雙層且減少外層離子彼此的電荷排斥而形成。

因絮聚而形成的土壤團粒與團粒間大孔隙，是土壤空氣與水分傳輸的關鍵因素；植物的根系生長，通常也是從團粒間的空隙向外發展。若陽離子具有較低電荷與較大的水合半徑，則對於土壤粒子的絮聚能力則較差；比較常見陽離子的相對絮聚能力：鈉(訂為 1.0) < 鉀(1.7) < 鎂(27.0) < 鈣(43.0)。

而把絮聚能力較差者（鈉）除以較佳者（鎂、鈣）的比例，也就產生一個評估土壤陽離子組成狀態的指標—鈉吸附比例(Sodium adsorption ratio, SAR)定義為 $[Na^+] / \sqrt{([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]) / 2}$ ，濃度單位通常表示為每公升毫莫耳或毫當量。

團粒穩定度（分散或絮聚）主要是由土壤中陽離子組成狀態（SAR 值），以及可溶性鹽類的多寡（EC 值）來決定：鈣鎂含量多、鈉含量低，則 SAR 值下降且土壤粒子傾向絮聚；鈣鎂含量少、鈉含量高，則 SAR 值上升且土壤粒子傾向分散。倘若鈉含量高、鈣鎂含量少，但土壤中的可溶性鹽類增多（EC 值上升）時，土壤粒子仍有可能傾向絮聚；若鈉含量低、鈣鎂含量多，土壤中的可溶性鹽類減少（EC 值下降）時，土壤粒子仍有可能傾向分散。

若土壤團粒穩定性接近臨界值，則灌溉水質（含鹽量多寡）可能會影響土壤團粒穩定度。反之，若是以含鹽量較高的地下水灌溉，水分可以下滲，而以雨水（含鹽量較低）灌溉時，經常形成積水時，則可從土壤團粒狀態的改變，推斷土壤團粒穩定度是處在臨界狀態。

鹽害土壤與團粒穩定度的說明如下表：

鹽害土壤分類	EC 值(dS/m)	SAR 值	團粒穩定度
正常	<4	<13	絮聚
鹽土	>4	<13	絮聚
鹼土	<4	>13	分散
鹽鹼土	>4	>13	絮聚

### 3. 相關實驗

分散指數(Dispersion Index)定義為水可分散粉粒與黏粒佔總粉粒與黏粒的百分比。水可分散粉粒與黏粒分析流程：取 20 公克樣本土壤，倒入圓筒並加蒸餾水至 1 公升，反覆震盪約 50 次，再以國際吸管法(International pipette method)讀值。總粉粒與黏粒分析流程：取 20 公克樣本土壤置於 1 公升燒杯，加入 30 毫升 30%過氧化氫（分兩次，每次 15 毫升），讓樣本氧化 6 小時，加入 15 毫升 0.1 N 鹽酸反應 1 小時，再加入 200 毫升 5%六偏磷酸鈉反應 12 小時。電磁攪拌子以 2500 rpm 速度攪拌 1 分鐘後，轉置到圓筒中，反覆震盪 50 次，再以國際吸管法讀值。

實驗結果顯示，當 ESP 值上升時，分散指數上升。在弱育鹼土中，土壤溶液總電解質濃度(Total electrolyte concentration, TEC)為每公升 60 毫當量時，分散指數隨鈣鎂比例下降而下降，TEC 值 120 meq/L 時則無顯著差異；在弱育鹽鹼土中，TEC 值 60 meq/L 時無顯著差異，120 meq/L 時分散指數隨鈣鎂比例下降而下降；在正常膨轉土中，不論 TEC 值高或低，分散指數均隨鈣鎂比例下降而上升。

土壤離子平衡性分析與管柱實驗：水分含量 10%且經磨碎過篩(2 mm)之樣本土壤，裝入底部填有 2.5 公分高酸洗砂、內徑 10.4 公分高 15 公分的管柱中，總體密度為 1.35 g/cm<sup>3</sup>，讓蒸餾水從底部以毛細作用上升方式，溼潤整個管柱土樣 14 小時，之後從管柱上方加水，使土壤呈飽合狀態，捨棄最先流出的 50 毫升滲出液，之後再依序收集 5 管 50 毫升滲出液，並以 Whatman 40 試紙過濾，量測每管滲出液的 pH 值、EC 值、鈣、鎂、鈉和氯離子含量。

實驗結果顯示，當分別以蒸餾水與不同 TEC 值與鈣鎂比例的劣質水進行淋洗時，依序（1 至 5 管）收集的滲出液，在弱育鹼土的 pH 值在第二與第三管有微幅上升，在弱育鹽鹼土的 pH 值則是增加 2 以上，正常膨轉土則是上升 1；弱育鹼土的 EC 值在第 2 管上升 4 dS/m 之後持平，在弱育鹽鹼土的 EC 值則是第 2 管上升 20 至 30 dS/m，第 3 管又快速下降 30 至 50 dS/m，正常膨轉土的 EC 值在第 2 管上升 4 至 6 dS/m 之後平衡。

絮聚相關實驗：土壤樣本先不使用任何有機物質氧化劑以及土壤黏粒分散劑，以標準方法(Dontsova and Norton, 1999)分離黏粒後，再將黏粒以蒸餾水分散、沉降、清洗，以硝酸銀測試不含氯離子之後冷凍乾燥，取 0.25 公克黏粒樣本放入試管並加蒸餾水 40 毫升（懸浮液的黏粒濃度為 6.25 g/L），震盪後靜置 24 小時，吸取 3.5 公分深的懸浮液，再以分光光度計量測波長 420 nm 處的透光度，計算絮聚值（Flocculation value，單位 mmol/L）。

實驗結果顯示，伊萊石比蒙特石絮聚值高，而當 ESP 值增加時，絮聚值也隨之增加。弱育鹼土 TEC 值 60 meq/L 時，絮聚值隨鈣鎂比例下降而減少，TEC 值 120 meq/L 時，絮聚值隨鈣鎂比例下降而增加；弱育鹽鹼土不論 TEC 值高或低，絮聚值均隨鈣鎂比例下降而增加；正常膨轉土絮聚值的變化，與 TEC 值高低或鈣鎂比例趨勢較無關聯。



#### 4. 結論

半乾燥或乾燥氣候區的低降雨量與高蒸發量容易導致鹽分累積，而使用含鹽量或含鈉量高的地下水，亦可能加劇土壤鹽害的問題。含鈉過量的鹽害土壤通氣與排水性皆差，比起一般或具有理想質地與礦物組成的土壤，鹽害土壤的導水度小了數倍之多。

但是透過增加灌溉水其他電解質或離子的濃度，並小心控制灌溉水使之維持較低的 SAR 值時，仍有可能增加土壤黏粒絮聚性與水分的移動性；反之，若週期性的施用去離子水（或含鹽量較低的雨水），可能會增加土壤黏粒的分散情形，並使（分光光度計波長 420 nm 處的）透光度降低。

鎂離子對於土壤黏粒的絮聚效果比鈣離子差，鎂離子在土壤黏粒表面與溶液中的分量呈現顯著負相關，分光光度計波長 420 nm 處的透光度也顯示鎂離子對黏粒絮聚的負面影響。從微型蒸滲儀的實驗結果顯示，在鹽害土壤增加灌溉水 TEC 值也會影響土壤 ESP 值。

在印度鹽害土壤施用劣質水的長期田間實驗中，顯示結合使用淡水與劣質水兩者，可以有效把土壤鈉飽合度維持在相對較低的範圍內，並有助於調整土壤黏粒穩定度，增進土壤通氣與排水性，並進而改善作物生長情形與增加產量；建議此類地區依照鹽害分類與降雨情況，將兩種水質週期性地交替使用。

## 課程主題：土壤剖面與鹽害土壤管理(In-situ examination of soil profiles for reclamation and management)

演講者或組織：A. K. Mandal (CSSRI)

### 翻譯與摘要：

#### 1. 土壤剖面主要土層

土壤化育可能會形成五個主要土層，包括 O 層、A 層、E 層、B 層、C 層，分別描述如下：

**O 層**—由植物殘體或動物屍體等有機物質所形成的有機層，通常較常見於森林而較少見於草原；通常含有 20% 或 30% 以上的有機物質。

**A 層**—最上層的無機層，但無機成分經常和腐植質化的有機物質，錯綜複雜地混合在一起；受到耕犁、放牧或其他人為活動的影響。

**E 層**—受到雨水或灌溉水淋溶作用的影響，而流失大部分的矽酸鹽黏土礦物、鐵鋁氧化物或其他鹽類；較 A 或 B 層顏色淺、有機物質少、質地粗。

**B 層**—上層鹽類因淋溶而澱積於此，包括矽酸鹽黏土礦物、鐵鋁氧化物、腐植酸、碳酸鹽與石膏等；色澤可能較為暗紅或結構脆化。

**C 層**—母岩經過初步風化作用、但卻未成土完全的風化層，性質可能介於岩層或土壤母質，也可能與兩者截然不同。

另外在 C 層下方，則是尚未受到風化作用（或極其有限）影響的岩石層，通常註記為 **R 層**。

#### 2. 土壤剖面過渡層

土壤化育過程中，可能因為不同的成土因素與過程，產生出性質介於上述五種主要土層之間的過渡層，例如 AB 層、EB 層、BE 層、BC 層等；註記方式是吧主要性質寫前面，次要性質寫後面，例如 AB 層便是比較像 A 層，而比較不像 B 層的過渡層。若是在過渡層中，存在兩種主要土層各自一部分的特性，則在過渡層的英文字中間加上斜線(/)，如 E/B 層便是部分有 E 層特性，而另一部分有 B 層特性。

#### 3. 土壤剖面附屬土層

在主要土層中，可能具有特定且可區別的理化性質，此時仿照主要土層以大寫英文字母註記的方式，以小寫字母表示此類附屬土層；說明如下：

**c 層**—膠結成小塊或小球，存在含鐵、鋁、錳、鈦的礦物或膠結劑。

**g 層**—灰黏土層，成土過程中鐵離子減少或移除，或是積水引起的還原狀態。

**k 層**—鹼土族碳酸鹽類的累積，通常指碳酸鈣。

**m 層**—連續膠結或黏結超過 90% 的體積，限制植物根部生長；碳酸鹽膠結記為 km、矽酸鹽記為 qm、因含鐵礦物記為 sm、由石膏膠結記為 ym、碳酸鹽與矽酸鹽記為 kqm、由比石膏溶解度高的鹽類膠結記為 zm。

**n 層**—土層中存在或累積大量可交換性鈉。

**t 層**—矽酸鹽黏土礦物形成、移轉或因澱積作用而在土層中累積。

**w 層**—主要用在 B 層，指澱積作用不明顯處顏色或構造的發展或區別。

**y 層**—土層中存在或累積石膏（硫酸鈣）。

**z 層**—土層中存在或累積比石膏溶解度高的鹽類。

#### 4. 鹽害土壤田間判別

判別流程：在田間觀測到作物生長不良或是無植物生長的農地→觀察土壤表面是否有鹽霜(Salt efflorescence)的形成；檢查田區是否有低漥積水或太過潮濕的情況；作物發芽率低或生長區域呈現塊狀分佈；土壤表面結殼；作物產生鹽害反應→以上若有任何一項屬實，可能是高鹽或高鈉引起的鹽害問題→採集土壤樣本→量測 pH 值、EC 值與導水度→以 pH 值 8.2（適用印度）、EC 值 4 dS/m 以及導水度高或低，來判別是鹽土或鹼土的問題。

鹽土或鹼土可供區別的性質或測值如下表：

區別項目	鹼土	鹽土
降雨積水	長時間積水	短時間或不積水
積水水質	深色、混濁、起泡	澄清
表面結晶	暗棕色或灰色	白色結晶
地下水質	正常或高 RSC 值	高 SAR 值
存在結塊	存在碳酸鈣結塊	較深處可能有石膏
天然植被	<i>Brachiaria mutica</i> 、 <i>Chloris barbata</i> 、 <i>Cynodon dactylon</i> 、 <i>Desmostachya bipinata</i> 、 <i>Dichanthium annulatum</i> 、 <i>Diplachne fusca</i> 、 <i>Kochia indica</i> 、 <i>Panicum antidotale</i> 、 <i>Sporobolus marginatus</i> 、 <i>Suaeda maritima</i> 。	<i>Aeluropus lagopoides</i> 、 <i>Butea monosperma</i> 、 <i>Chloris pallida</i> 、 <i>Cressa cretica</i> 、 <i>Cyperus rotundus</i> 、 <i>Dichanthium annulatum</i> 、 <i>Haloxylon salicornicum</i> 、 <i>Sporobolus pallidus</i> 、 <i>Suaeda fruticosa</i> 、 <i>Zygophyllum simplex</i> 。
EC 值	變異	4 dS/m 以上
ESP 值 (SAR 值)	15%以上 (13 以上)	變異
pH 值	8.2 以上	不到 8.2
土壤溶液 化學組成	經常存在碳酸根或碳酸氫根	氯離子、硫酸根離子
作物生長 阻礙因子	鹼性的土壤溶液	土壤溶液高滲透壓
地理分佈	半乾燥或半潮濕氣候區	半乾燥或乾燥氣候區
整治之道	添加土壤改良劑中和鹼性	淋洗移除過量鹽類

課程主題：在高鹽膨轉土作物生產的水分管理(Water management for crop production in saline vertisols)

演講者或組織：R. L. Meena (CSSRI)

翻譯與摘要：

## 1. 內文

印度全境地理面積為 328.7 百萬公頃，受鹽害影響土地面積約為 6.7 百萬公頃，若依舊的土壤分類系統，可分為四個主要類別土壤，包括：紅土—117.2 百萬公頃，黑土—73.5 百萬公頃，沖積土—58.4 百萬公頃，沙漠土—30.0 百萬公頃，其他如鹽鹼地區、森林山丘或泥炭與沼澤等，則有 49.6 百萬公頃。

若依新的土壤分類系統，則有 10 種主要土綱，包括：新成土—80.1 百萬公頃(24.37%)，弱育土—95.8 百萬公頃(29.13%)，膨轉土—26.3 百萬公頃(8.02%)，旱境土—14.6 百萬公頃(4.47%)，黑沃土—8.0 百萬公頃(2.43%)，極育土—0.8 百萬公頃(0.24%)，聚鋁鐵土—79.7 百萬公頃(24.25%)，氧化物土—0.3 百萬公頃(0.08%)，屬於其他土綱或尚未調查與分類者—23.1 百萬公頃(7.01%)。

全球屬於膨轉土綱的土壤面積約有 340 百萬公頃，主要分布在半乾燥熱帶地區，如非洲、南亞與澳洲等地。膨轉土為富含蒙特石黏土礦物的深色土壤，具有收縮膨脹的特性；黏粒含量通常大於 35%，且分佈自表面至 50 公分深的土層；乾燥狀態通常具有大的裂縫，寬度至少 1 公分，深度達 50 公分或更深；土壤 pH 值範圍介於 7.2 至 8.5，有機物質含量低，碳酸鹽含量介於 0.5 至 8%；表面可能形成微凸微凹起伏，斜率梯度介於 1 至 8%。

印度有 2 億 5 千萬人生活在離海岸 50 公里內的地區，在此地區內有 3,600 個漁村、12 個主要港口、185 個次要港口，另有 4,120 平方公里的紅樹林。沿岸地區土壤受到：潮汐起伏與潮水週期性淹沒，較淺的地下水位，雨季排水不良，冬季缺乏淡水（而以含鹽劣質水灌溉）…等因素導致土壤鹽害的發生。此地區鹽類主要為氯化鈉與硫酸鈉；又因為農村社會經濟發展狀況不佳，難以自行投資相關土壤改良或灌溉排水設施。

高鹽膨轉土對於農業生產或耕種作物的阻礙包括：土壤水分狀態影響田間農機操作（過乾時，表面結殼或形成堅硬土塊；過濕時，因黏粒含量多而黏稠性高）；土壤水分下滲速率低、排水差，積水常造成植物生長逆境；土壤有機碳、氮、硫、磷等養分含量低；常伴隨土壤鹽害一起發生。

提升單位用水的作物生產力策略包括：植物層面—提高其他非水資源投入，提升水利用效率，縮短植物生命週期，改種其他高價值旱作作物；田區層面—減少灌溉用水量，減少土壤蒸發量，藉由精準施用減少蒸發量；管理層面—減少輸水過程損失，藉由精準施用減少滲濾損失，增加田區儲水容量。

作物需水量(Water requirement)指作物從發芽到成熟期間，生長所需的水分供給量；包含三個部分：

- (1)作物使用—蒸發、蒸散與生理代謝活動所需水分；
- (2)不可避免的損失—輸水管路洩漏、土壤向下滲濾、土壤孔隙蒸發等；
- (3)特別需求—種植前淹灌整地、種子浸泡萌芽、水稻湛水管理，或因土壤鹽害管理而額外需要的水分等。

一個成功的農田灌溉管理，應能達成以下幾點關鍵：施用作物生長所需要的水量；灌溉水質應可被接受；灌溉時機應被妥善規劃；應該使用適當的灌溉方法；應避免因淋洗而造成根圈土壤的鹽類累積；地下水位應以適當的排水方法進行控制；植物所需養分應被精準衡量與計算。

劣質水灌溉可能引起的危害包括：作物因滲透壓逆境，可利用水分較實際灌溉水量少；土壤物理性質惡化，且通氣性或導水度降低；植物生長所需養分有效性降低。而可能的劣質水使用方式，則有：單獨使用、與淡水一同混合使用、或週期性交替使用。

印度全國年平均降雨量為 550 mm，但全年不同作物灌溉需水量為 1500 mm，又降雨空間分佈不均且集中在雨季，故有必要將淡水與劣質水混合使用。使用的方式可能在整個生長季，由淡水和劣質水依一定比例合成中等鹽分的灌溉水；或在作物重要需水期以淡水灌溉，較不敏感的生長時期以鹽水灌溉。

淡水和劣質水混合施用的比例，視土壤質地、降雨多寡，以及作物對鹽類耐受性而定。而以劣質水灌溉的作物管理注意事項包括：作物需水量較少者，具有較高的鹽類耐受性；萌芽、開花、結實階段通常較為敏感，應避免以劣質水灌溉；一般作物隨生長階段演進，對於鹽類耐受性增加；印度冬季作物比夏季作物的鹽類耐受性高；部分作物具有耐鹽鹼環境的品種；提高單位面積的播種數，可能有助於提高作物存活數。

以劣質水灌溉的水分管理注意事項包括：播種前灌溉應以淡水為主，以利將鹽類從種子生長區淋洗移除；應將種子種於抬升田畦上，而非低窪的溝中；滴灌有助於將鹽類從根圈土壤移除；使用噴灑器所造成的鹽類累積情形，比淹灌來得少；使用噴灑器的時間點應在傍晚或夜間，以減少日照引起的水分蒸發；增加灌溉頻率、但是減少每次提供的灌溉水量（或灌溉深度），有助於減少鹽類在根圈土壤的累積情形。

以劣質水灌溉的施肥管理注意事項包括：將部分化學肥料以有機質肥料取代，有助於提升氮肥使用效率；將磷肥用量適度提高（比一般推薦施用量更高），有助於鹽害環境下的作物產量；綠肥可能降低土壤 pH 值，因而減輕高鈉含量或鹼土造成的危害。

## 2. 圖表

包括：印度不同省分的鹽害土壤面積；印度土壤分類、主要土綱面積與佔比；全球膨轉土地理分佈區域圖；印度部分省分膨轉土面積與鹽害土壤面積；膨轉土外觀與裂縫特徵示意圖；膨轉土與鹽類累積示意圖；膨轉土之土壤剖面與特性；膨轉土之鹽害與積水問題；鹽、鹼土分類、定義與常見特性；灰燼土外觀與土壤剖面；有機質土外觀與土壤剖面；膨轉土外觀與土壤剖面；旱境土外觀與土壤剖面；永凍土外觀與土壤剖面；氧化物土外觀與土壤剖面；新成土外觀與土壤剖面；弱育土外觀與土壤剖面；極育土外觀與土壤剖面；聚鋁鐵土外觀與土壤剖面；黑沃土外觀與土壤剖面；淋澱土外觀與土壤剖面；全球水資源簡介；印度水資源簡介；印度地下水灌溉水質分類；印度劣質水地理分佈區域圖；印度不同省份水質分布比例與劣質水佔比；水質評估與相關參數說明；灌溉水損失因素與佔比；單位用水的作物生產力相關因素列表；印度常見作物的需水量與單位用水的作物生產力列表；印度常見作物建議灌溉水量與重要需水時期；劣質水中常見的鹽類學名、化學式與俗名列表；在鹽害地區種植芥菜圖示與相關簡介；以高鹽劣質水灌溉嗜鹽草本作物的生長情形與鹽類移除效果評估；以淡水混合劣質水灌溉不同作

物的生長情形；油籽作物以淡水搭配劣質水交替灌溉的種子產量比較表；在鹽害地區的蒔蘿種植；篩選具鹽類耐受性的棉花品種；不同草棉或陸棉品種在劣質水灌溉下的產量比較表；不同棉花品種在鹽害地區生長情形；數種果樹在劣質水灌溉下的生長情形；小麥耐鹽品系與在鹽害地區的生長情形；在高鹽膨轉土以 EC 值 9.4 dS/m 劣質水灌溉的桐油樹生長情形。

課程主題：在亞非農村發展組織三個成員國中的積水與土壤鹽鹼化問題概述(An overview of water logging and soil salinity problems in three AARDO countries)

演講者或組織：S. K. Gupta (CSSRI)

翻譯與摘要：

## 1. 背景介紹

亞非農村發展組織(Afro-Asian rural development organization, **AARDO**)成立於西元 1962 年，是 30 個非洲與亞洲國家（布吉納法索、埃及、衣索比亞、甘比亞、迦納、肯亞、賴比瑞亞、利比亞、馬拉維、模里西斯、摩洛哥、奈及利亞、獅子山、蘇丹、尚比亞、孟加拉、印度、伊拉克、約旦、南韓、黎巴嫩、馬來西亞、阿曼、巴基斯坦、菲律賓、斯里蘭卡、敘利亞、葉門與臺灣）所組成的自治組織，致力於增進彼此農業發展，透過合作方式消除上億農民乾渴、飢餓、文盲、疾病與貧窮等不利環境，並提升農民收入與促進農村繁榮。

全球耕地面積約為 1,500 百萬公頃，其中 1,110 百萬公頃依賴雨水來支持作物生長，僅約 390 百萬公頃具有灌溉系統。在全球耕地中，有 76.6 百萬公頃被界定為鹽化區域（21.2 百萬公頃嚴重鹽化、20.8 百萬公頃中等鹽化、34.6 百萬公頃輕微鹽化）。若以地域區別，則 52.7 百萬公頃在亞洲，14.8 百萬公頃在非洲，3.8 百萬公頃在歐洲；若以水源可獲得性區別，45.4 百萬公頃具有灌溉系統，31.2 百萬公頃無灌溉設施。在亞洲與非洲的鹽化區域中，估計 67.5% 由於排水不良與積水，導致土壤積累鹽類與耕作困難，因此成為亞非農村發展組織優先解決的問題之一。

常見的灌溉地區積水原因：氣候因素－雨季的暴雨或強降雨；灌溉網路－滲漏或洩漏問題，缺乏夜間供水，缺乏管理或維持費用，不恰當的設計或管理規定；田區管理－田區無法精準整平（存在小範圍的低窪處易積水），缺乏灌溉與排水設施，不切實際地種植需水量大的作物；地質地形－土壤質地細、孔隙小，存在不透水層且極接近地表，因人為開發地形排水受限；政策因素－缺乏參與式灌區管理，缺乏單一窗口主管機構，缺乏相關技術，不適當的水價。

地下水位的抬升可能使底層鹽類因毛細作用帶至土壤表層，加劇鹽類累積；地下水位離地表僅 0 至 75 公分時小麥產量降低，對應到的土壤  $EC_e$  值約為 5 dS/m，水稻在土壤  $EC_e$  值超過 2 dS/m 時也有產量下降的現象。排水是增進此類鹽份累積農田產量與生產力的關鍵，全球 90% 依賴雨水農地皆排水不良，近 250 至 300 百萬公頃迫切需要排水改良；具備灌溉系統的 390 百萬公頃農地中，有 190 百萬公頃擁有排水設施，但僅有 60 百萬公頃的設施提供適當排水。

## 2. 埃及

全國面積約 100 萬平方公里，但農業區因水源問題，被侷限在尼羅河谷與三角洲地區（僅佔全國面積 3.6%）。尼羅河畔是全世界最古老的農業區之一，耕種作物已有超過 5000 年的時間。埃及 86% 被歸類為極乾燥氣候，剩下的 14% 為乾燥氣候；平均年降雨僅 10 mm，首都開羅為 28 mm，亞歷山大港 190 mm。

1960 年代在尼羅河上游興建的**亞斯文大壩**，有效提升耕種密度並消除雨季的洪水。為解決積水與土壤鹽化的問題，開放式（明溝）排水系統於 1933 年興

建，至 1966 年時已達 1.3 百萬公頃；排水政策在 1978 年修正為暗管排水，至今已超過 90%灌溉面積農地具有排水設備。

在埃及的暗管排水建議參數條列如下：平均海平面以上 5 公尺與 3 公尺之間的暗管橫向排水係數為 1 mm/day，在尼羅河三角洲北部則為 1.25 mm/day；對於非水稻田的集水井（縱向）排水係數應為 3 mm/day，若為水稻田則為 4 mm/day；暗管間距的最經濟建議值為 30 m，上限為 60 m，下限為 20 m。

埃及政府排水工程計畫(Egyptian Public Authority Drainage Projects, EPADP)，包括建立、加深與擴大暗管與明溝排水設施覆蓋面積—暗管排水目標 2.7 百萬公頃（三角洲 1.9、上游谷地 0.8），明溝排水目標 3 百萬公頃（三角洲 2、上游谷地 1）；並以每年 0.4 百萬公頃速度，重建老舊（30 年）或失效的排水設施。在遭受嚴害地區比較興建排水設施前後的作物產量：小麥增產 130%、埃及三葉草增產 48%、玉米增產 75%、水稻增產 10%。

埃及法令提供暗管排水投資成本，以 20 年週期計算直接且完全回收的保障（但不計入利息與其後費用），相關成本包括：安裝工程合約總額、EPADP 提供管材費用、施工期間對穀物減收的補償，以及工程合約總額 10%的行政規費（作為 EPADP 計畫永續經營的收入）等。

### 3. 巴基斯坦

**印度河流域**是全世界最大的連續灌溉系統之一，本區年平均降雨量由西南沿海 120 mm，向東北山地 750 mm 遞增，渠道灌溉效率約 35-36%；全國可耕地約 80%連接灌溉網路，平均穀物產量為每公頃 2.2 公噸。農業為主要經濟活動之一，佔其國內生產毛額 24%以上，而農業部門就業人口則佔總人口 40%以上。主要水源來自高山冰雪融解或雨季降雨，每人每年可利用淡水為 1200 m<sup>3</sup>，至 2020 年預計降為 855 m<sup>3</sup>，為全球缺水國家之一。

地下水位抬升與鹽類在土壤表面累積，是乾燥與半乾燥氣候農業區常見的問題。乾季時，巴基斯坦灌區農田約有 13%地下水位離地面不到 1.5 公尺；在雨季時，此比例則增加到 26%。巴基斯坦全國約有 6 百萬公頃鹽化土壤，若以自然（一級）或人為（二級）活動所造成的土壤鹽化區分，大約一半是位於灌溉渠道鄰近地區，歸屬於人為活動（人為灌溉但排水不良）引起的二級土壤鹽化。

其中 0.7 百萬公頃屬輕微鹽化土壤，1.9 百萬公頃為多孔性鹽化土壤（具透水性，可由生物或化學方法改良），1.1 百萬公頃為嚴重鹽化土壤（高地下水位且存在不透水緻密層），其餘 2.3 百萬公頃為引用鈉含量較高的水灌溉所引起（70%印度河流域的地下水井含高鹽量或高鈉量）。

巴基斯坦水資源與能源開發部(Water Resources & Power development authority, WAPDA)訂定灌溉水質標準，依導電度（EC，單位 dS/m）或總溶解固體（TDS，單位 ppm）分為三級：可接受 EC<1.5、TDS<1000，臨界邊緣 EC 值 1.5-2.7、TDS 值 1000-1700，毒害等級 EC>2.7、TDS>1700。

對照美國農業部(USDA)提供的灌溉水質分類標準，依 EC 值、鈉吸附比例（SAR）、殘留碳酸鈉（RSC，單位毫當量）分為三級：可使用 EC<1.5、SAR<10、RSC<2.5，臨界邊緣 EC 值 1.5-3.0、SAR 值 10-18、RSC 值 2.5-5.0，毒害等級 EC>3.0、SAR>19、RSC>5.0。

巴基斯坦土壤的含鹽量(salinity)與含鈉量(sodicity)分類，前者以 EC、後者以 SAR 界定：無影響 EC<4、SAR<13，輕微 EC 值 4-8、SAR 值 13-25，中等 EC 值 8-15、SAR 值 25-45，嚴重 EC>15、SAR>45。土壤排水等級以地下水位離地表



高度(m)界定：極差 0-0.9、差 0.9-1.8、中 1.8-3.0、良 3.0 公尺以上。

WAPDA 在 1968 年針對鹽分控制與排水計畫(Salinity Control and Drainage Projects, **SCARPs**)成立專責機構 SCARP Monitoring Organization (**SMO**)，開始利用挖鑿豎井(每 250 公頃設置一口井)進行垂直排水的工程方式來進行整治，達成數項成就包括－耕種密度由 84%提升至 117%、積水面積由 16%降至 6%、不受鹽害影響的耕地面積由 49%增加至 74%、農業部門生產毛額增加 94%。

但是由於工程成本過於昂貴、整治屬於大尺度方式、成效評估不合規範、計畫的永續性遭到質疑等因素，近來開始採行其他方式進行改良，包括－排水暗管的設置(覆蓋面積已達 32 萬公頃)、改善灌溉管理、改善明溝排水、排水阻斷器的導入、灌溉渠道截彎取直、地下水流模式導入；以及針對鈉含量過高鹼土(Sodic soils)進行改良的措施，如：鹽類淋洗、施用石膏、施用酸液、施用有機糞肥或農業廢棄物(如糖廠加壓殘渣)等。

#### 4. 衣索比亞

主要的問題來自於**膨轉土**(Vertisols)的土壤特性：膨轉土為深色、黏粒與黏土礦物含量高的土壤，在乾季時土壤十分堅硬，而雨季時土壤黏性高，增加耕犁操作困難；乾燥時表層會出現深的裂縫，灌溉時水會從裂縫下滲，使底層土壤潮濕而表層土壤依舊乾燥，增加水分管理的困難。

全球約有 280 百萬公頃的膨轉土，主要分佈於非洲、澳洲、印度和美國。在衣索比亞有 12.6 百萬公頃的膨轉土，約佔全國總面積 10.3%，另有 2.5 百萬公頃土壤具有膨轉性質；分佈在低海拔(<1500 m)、中海拔(1500-1800m)和高海拔(>2000 m)地區。

衣索比亞大約有四分之一的膨轉土為農耕用途(約佔高海拔地區面積的 24%)，其餘多作放牧使用。常見的雨水澆灌作物有：苔麩、硬粒小麥、鷹嘴豆、小扁豆、亞麻、小油菊和普通小麥等；灌溉作物則有棉花、甘蔗、柑橘與蔬菜類等。

在此類土壤的平均穀物產量約為每公頃 500 至 800 公斤，平均的豆科作物產量為每公頃 500 至 700 公斤，油脂作物產量為每公頃 300 公斤；均僅為其他土壤一般產量的四至六分之一。主要原因在於雨季開始後，積水與土壤的黏性使農民無法耕作。農民對於積水的應對方式，包括：在雨季結束後，利用土壤殘留水分進行種植；捨棄小麥，改種對積水逆境較為耐受的苔麩和燕麥；排水狀況改善後，農民通常改種獲利較佳的蠶豆、豌豆或大麥等。

傳統**排水**方法有：以機械於間隔 3 至 6 公尺處，挖掘 15 至 20 公分寬、深的排水溝；以牛拉犁挖掘排水溝，並抬升作物種植田畦的高度；在播種前耕犁數次，劃設相隔 80 公分的狹窄深溝線段，再以人力挖溝、覆土造畦。改良後的表面排水方式有：拱形田畦和排水溝－以曳引機與板犁進行挖溝造畦，畦寬 6 公尺、溝寬 1 公尺；寬畦與溝(相較於傳統 15 至 20 公分)－以兩隻牛來背負板犁，並挖出畦寬 80 公分、溝寬 40 公分、溝深 25 至 30 公分的構造。

衣索比亞灌溉**水質**依 EC 值、SAR 值、RSC 值分成數級：良好 EC<2、SAR<10、RSC<2.5，高鹽(Saline)EC 值 2-4 或>4、SAR<10 或>10、RSC<2.5，高鈉(Sodic) EC 值<4 或不定、SAR<10 或>10、RSC 值 2.5-4.0 或>4.0，毒害(三數值的範圍變異，通常只含有過量氯、鈉、硝酸根、硼、氟或重金屬等)。

使用劣質地下水管理方式包括：作物管理(品種選育、品系差異、生長階段敏感度、改良的耕作管理)、土壤管理(不同的土壤性質、田區地面與排水構型)、

灌溉管理（減少淹水高度但增加灌溉頻率、劣質與淡水混合使用、播種前後的灌溉、滴灌的應用）、化學管理（施肥與土壤改良）、雨水儲存與回收等。

課程主題：提升作物鹽類耐受性的方法(Approaches for enhancing salt tolerance in crop plants)

演講者或組織：P. C. Sharma and A. Kumar (CSSRI)

翻譯與摘要：

### 1. 非生物逆境

植物對非生物逆境（如強光、高溫、低溫、缺水、土壤鹽害、空氣汙染、物理傷害等）的反應，包括：生長方面－萌發抑制、成長遲緩、無法成熟、產量減少；生理方面－改變蒸散速率、減少水分吸收、減少光合作用、改變呼吸作用、減少氮同化（合成）、產生代謝毒性、累積生長抑制因子；分子生物方面－改變基因表現、大分子裂解、重要酵素活性降低、減少蛋白質合成、（細胞）膜系統的瓦解。植物常見的非生物逆境耐受機制，包括：活化信號傳遞因子、改變基因表現、累積相容溶質、合成逆境蛋白、增進抗氧化代謝、離子動態平衡與分隔、促進細胞膜內外離子傳輸、累積多元胺、調整荷爾蒙平衡等。

### 2. 鹽化土壤

分佈在超過 100 個國家、全球約 10% 的陸地屬於鹽化土壤，各種氣候區中的沙漠、河谷、山腳、海岸，或是從低於海平面的窪地、到海拔 5000 公尺以上的高山，皆存在土壤鹽化的問題。在印度約有 6.73 百萬公頃的面積，屬受鹽害影響的土壤（高鹽 Saline soil－2.96、高鈉 Sodic soil－3.77 百萬公頃）。

鹽害土壤定義、分類與參數介紹：

鹽土(Saline)－ $EC > 4$  dS/m、 $ESP < 15\%$ 、 $SAR < 13$ 、 $pH < 8.8$ （在印度）；

鹼土(Sodic)－ $EC < 4$  dS/m、 $ESP > 15\%$ 、 $SAR > 13$ 、 $pH$  值 8.5-10.5（在印度）；

鹽鹼土(Saline-Sodic)－ $EC > 4$  dS/m、 $ESP > 15\%$ 、 $SAR > 13$ 、 $pH > 8.5$ ；

可交換性鈉百分比(ESP)－由可交換性鈉除以陽離子交換容量；

鈉吸附比例(SAR) =  $Na^+ / \sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}$

### 3. 應對策略

對於鹽害土壤作為農業用途的兩種基本策略－土壤改良或作物選育。分類若屬於鹽土者，可以透過土壤淋洗與暗管排水的方式，將鹽類自土中移除；若分類屬於鹼土者，則可透過施用石膏（平衡土壤鈣與鈉離子並調整 pH 值）的方式改良。但土壤改良花費成本較高，非農戶所能負擔，通常須由政府額外提供補助；因此選育耐鹽作物品系，便成為另外一種低成本的解決方法－可由種原庫中尋找既有品種，或是針對特殊性狀進行育種。

### 4. 耐鹽品系

由 CSSRI 選育、並經印度中央品種發佈委員會(Central Variety Release Committee, CVRC)認可的耐鹽作物品系如下：

水稻－CSR 10、CSR 13、CSR 23、CSR 27、CSR 30、CSR 36、CSR 43；

小麥－KRL 1-4、KRL 19、KRL 210、KRL 213；

印度芥菜－CS 52、CS 54、CS 56；

鷹嘴豆－Karnal Chana 1。

印度常見作物的不同品系，對鹽耐受度大多介於 4 至 6 dS/m，對鹼耐受度介於 pH 值 8 至 8.8 之間。

水稻耐鹽品系性狀簡介如下：

品系	CSR 10	CSR 13	CSR 23	CSR 27	CSR 30	CSR 36
株高(cm)	85	105	115	115	155	110
成熟日數	120	145	130	120	155	135
穀粒型態	短粗	細長	細長	細長	香米	細長
鹽耐受性(dS/m)	11.0	9.0	10.0	10.0	7.0	11.0
鹼耐受性(pH)	10.0	10.0	10.0	9.9	9.5	9.8
正常產量(t/ha)	6.0	6.0	6.5	6.0	3.0	6.5
鹽害產量(t/ha)	3.0	3.5	4.0	4.0	2.0	4.0

小麥與印度芥菜耐鹽品系性狀簡介如下：

品系	KRL 19	KRL 210	品系	CS 54	CS 56
株高(cm)	70	99	株高(cm)	160	202
成熟日數	142	143	成熟日數	121	132
穀粒型態	中	粗	穀粒型態	粗	中
鹽耐受性(dS/m)	7.3	6.6	千粒重(g)	5.3	4.4
鹼耐受性(pH)	9.3	9.3	鹽耐受性(dS/m)	6-9	6-9
正常產量(t/ha)	4.5	5.2	鹼耐受性(pH)	9.3	9.3
鹽害產量(t/ha)	3.0	3.5	平均產量(t/ha)	1.6-1.9	1.5-1.6

## 5.耐鹽機制

鹽害逆境來自離子性逆境與滲透壓逆境，前者包括：K<sup>+</sup>缺乏、Na<sup>+</sup>過量與毒害（葉片枯萎，抑制光合作用、蛋白質合成、酵素活性）；後者包括：抑制水分吸收、細胞增長、葉片發育。而作物反應則有離子平衡（Na<sup>+</sup>排除、分隔、再吸收）與滲透壓調整（累積不同離子、溶質，或是有機物質成分）等。

決定是否為耐鹽品系的四項主要因素，包括：是否具備排除、耐受或分隔Na<sup>+</sup>與Cl<sup>-</sup>的能力？是否具備維持水分狀態或可以合成滲透壓調節酵素的能力？能否避免Na<sup>+</sup>與Cl<sup>-</sup>對細胞敏感構造的直接或間接傷害？能否避免養分缺乏（如K<sup>+</sup>等）逆境的發生？

常見的植物耐鹽機制包括：在根部限制毒性離子進入或排除；在植物體層級中，傳輸毒性離子到葉鞘或老葉以茲分隔；由鹽腺或鹽囊（嗜鹽植物）將鹽類分泌出植物體外；或是在細胞層級中，將毒性離子貯存於細胞液泡或細胞壁以茲分隔。

## 6.選育方針

作物不同品系在不同生長階段（如：萌發、營養、開花、結果、收穫等）對鹽類耐受性可能不同，因此有三種基本選育方針：調整生長全期施加的鹽類濃度等級，並選出全期產量最高者；針對不同生長階段進行選育，選出者最後再經過雜交成為單一品系；以及只針對作物最敏感的階段進行選育。

用以判斷作物遭受鹽害逆境的型態表現有：鹽土的葉尖白化與頂燒現象、鹼土的葉黃或枯萎、植株生長停滯、低分蘗數、穗花不孕、低收穫率、低穗花數、低千粒重、改變開花週期、葉卷曲、葉白斑、根系發展不全，以及田間植株成區塊狀分佈（部分植株大面積死亡）。其他鹽害逆境的生理與生化表現有：地上部Na<sup>+</sup>傳輸量增高、老葉中累積Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>吸收量上升、Zn-P-K<sup>+</sup>吸收量下降、植株鮮重與乾重下降、多元胺與有機溶質增加等。

課程主題：耐鹽作物選育(Breeding of salt tolerant crops)

演講者或組織：N. Kulshreshtha (Sugarcane Breeding Institute, SBI)

翻譯與摘要：

### 1. 目標

SBI 耐鹽作物選育的目標與工作包括：蒐集、評估和培育耐受高鹽、高鈉與積水逆境的植物基因資源；辨識植物應對上述逆境的性狀反應；與（印度）國內相關研究計畫合作培育逆境耐受品種；與農業大學、中央地方研究機構或國際組織共同進行研究或相關培訓計畫。

### 2. 相關技術

鹽害地區土壤整治方法，分為化學技術與水文技術：前者施用土壤改良劑（如石膏等）改變作物種植環境，可有效在短時間內提升作物產量，缺點則是初期投入成本太高；後者主要針對積水或內陸鹽害地區進行排水工程，並搭配使用經調整過的劣質水，主要缺點為排水設備（如暗管埋設）的費用較高。

對比化學與水文技術的昂貴，植物相關技術（作物選育、品種改良）相較而言成本較低，優點包括：對環境衝擊較小、對生態較為友善、執行成本較低、技術轉移容易。但對照土壤整治方法，在鹽害地區作物產量上的提升程度，則是植物技術面臨的瓶頸之一。

有鑑於單純使用土壤或植物相關技術，在成本過高或產量過低上的缺點，混合兩種技術、並尋求可接受的成本效益平衡點，變成為可行的對策。

### 3. 小麥耐鹽品種

小麥耐鹽品種包括：KRL 1-4（1990年）、KRL 19（2000年）、KRL 210（2010年）、KRL 213（2010年）、KRL 35（2004年）、KRL 99（2007年）、KRL 3-4（2009年）等。其中 KRL 210 產量較 KRL 19 提升 11%，具小麥黃銹病、葉銹病、印度腥黑穗病、標誌黑穗病、散黑穗病的抵抗力，與黃潛蠅的耐受性。KRL 213 產量較 KRL 19 提升 8%，具黃銹病、葉銹病、印度腥黑穗病與葉枯病的抵抗力。KRL 35 的株高 98 公分、148 天成熟、穀粒大小中等、耐鹽至 EC 值 7.3 dS/m、耐鹼至 pH 值 9.3，一般與鹽害狀態下產量分別為每公頃 4.8 與 3.5 公噸。KRL 99 相較於敏感品系(HD 4530)，在播種後 22 天之後連積水 15 天與強鹼性(pH 9.5)的情況下，仍能有良好生長表現。KRL 3-4 親本為 HD 1982 與 Kharchia 65，紅穀粒、淺綠葉、白芒，非蠟質葉面且直立生長，品種註冊碼為 INGR09087。將印度小麥品種依鹽鹼耐受等級（EC 值 dS/m 與 pH 值）分為四級：敏感(EC 5.0 dS/m、pH 8.5)者有 HD 4502、HD 4530、Raj 911、Moti、Hira、Mexicalli 75、Altar 84；中等至敏感(EC 5.5 dS/m、pH 9.1)者有 HD 2009、HD 2285、HD 2851、HD2329、UP 2338、PBW 343、PBW 502、WH 542；中等至耐受(EC 6.5 dS/m、pH 9.3)者有 KRL 210、KRL 213、KRL 19、KRL 1-4、KRL 35；耐受(EC 8.5 dS/m、pH 9.6)者有 Kharchia 65、KRL 3-4、KRL 99。

### 4. 水稻耐鹽品種

水稻耐鹽品種包括：CSR 10（1989年）、CSR 13（1998年）、CSR 23（2004

年)、CSR 27 (1998 年)、CSR 30、CSR 36、CSR 43 (2011 年)。CSR 10 為第一個耐鹽品種，植株矮而產量高，約 120 天成熟，耐鹼可達 pH 值 10.2，可在不施用土壤改良劑的情況下存活。CSR 13 親本為 CSR 1、Bas 370 與 CSR 5，株高 105 公分、穀粒細長，145 天成熟，耐鹽至 EC 值 9 dS/m，耐鹼至 pH 值 9.9，具部分抗病性。CSR 23 親本為 IR 64、IR 4630 與 IR 9764，株高 115 至 120 公分、115 天成熟，適合在強鹼土壤耕作。CSR 27 親本為 Nona Bokra 與 IR 5657，株高 115 公分、125 天成熟，耐鹽至 EC 值 10 dS/m，耐鹼至 pH 值 9.9，具部分抗病性，適合在強鹼與海岸地區鹽害土壤耕作。CSR 30 為第一個耐鹽印度香米品種，親本為 Pak. Bas 1 與 BR 4-10，穀粒細長、155 天成熟，耐鹽至 EC 值 7.0 dS/m，耐鹼至 pH 值 9.5，在正常土壤產量比印度香米標準品系 Taraori 高出 20%。CSR 36 親本為 CSR 3、Panvel-1 與 IR 36，耐鹽至 EC 值 11 dS/m，耐鹼至 pH 值 9.9，株高 100 公分、140 天成熟，具部分抗病性。CSR 43 株高 95 公分、110 天成熟，耐鹽至 EC 值 7 dS/m，耐鹼至 pH 值 10。

## 5. 其他耐鹽作物

**印度芥菜**耐鹽品種有：CS 52 (1997 年)、CS 54 (2005 年)、CS 56 (2008 年)。CS 52 耐鹽至 EC 值 8.5 dS/m，耐鹼至 pH 值 9.3，株高 170-180 公分，55-60 天第一次開花，135-145 天成熟，油脂含量不受土壤鹽分的影響，較一般品種增加 30%。CS 54 株高 160 公分，121 天成熟，耐鹽至 EC 值 9 dS/m，耐鹼至 pH 值 9.3，較一般品種油脂增加 38%。CS 56 為晚播種品種，耐鹽至 EC 值 9 dS/m，耐鹼至 pH 值 9.3，較一般品種油脂增加 38%。

**鷹嘴豆**耐鹽品種為 Karnal Chana 1，耐鹽至 EC 值 6.0 dS/m，耐鹼至 pH 值 9.0，147 天成熟，正常與鹽害狀態下產量分別是每公頃 2.1 與 1.5 公噸以上。甘蔗耐鹽品種為 Co 0238，甘蔗產量每公頃 81.08 公噸，蔗糖含量 17.99%，纖維含量 13.05%，粗糖等級屬於 A1 等級，對積水、鹽害、低溫具耐受性。

## 6. 選育方法與策略

提升選育效率的方法包括：

- (1) 選擇合適試驗場址—存在不同的土壤鹽分等級，提供植物生長所需水源。
- (2) 適當試驗設計避免土壤異質性—各種品系均栽種於不同鹽含量梯度小區中。
- (3) 使用相關耐受性指標評估—如產量下降的門檻 EC 值、斜率、相對產量(%)與耐鹽指標(鹽害產量除以正常產量)等。
- (4) 在實驗室、盆栽與田間進行重複試驗—選擇合適尺度繁育土壤消除異質性。
- (5) 辨別限制產量的生長階段—如抽穗、開花、成熟期，建議對不同時期選育。
- (6) 在不同鹽害等級或逆境層級下選育。
- (7) 相關的植物生理參數—如增加滲透壓調節機制、改變水利用效率等。
- (8) 導入多重鹽類耐受性指標評估—發芽率、葉面積、葉冠層體積、存活率等。
- (9) 與產量相關的耐受性指標—分蘗數、植株生質量、穀物產量、稔實率等。
- (10) 不同品系間的型態、生理與性狀差異。
- (11) 釐清導致耐受等級差異的基因表現。
- (12) 穩定性參數與其他。

課程主題：高鹽、高鈉與積水逆境的植物生理機制(Physiological mechanisms of salinity, sodicity and waterlogging stresses in crop plants)

演講者或組織：S. K. Sharma (CSSRI)

翻譯與摘要：

### 1. 名詞解釋

**Halophyte** 字面上為鹽類植物，指可以在高鹽類濃度環境下生存的植物，如：*Atriplex*、*Sueda*、*Salicornia* 與 *Artemisia* 等；而與 Halophyte 相對的則是 **Glycophyte**，字面上為糖類植物，指無法在高鹽類濃度環境下生存的植物，一般農作物皆屬此類植物。

### 2. 鹽鹼逆境

一般來說，高鹽環境對於植物生長通常有三個主要的危害，包括：使根圈土壤溶液滲透壓升高、水勢能降低，使植物無法獲得所需水分；特定離子造成的毒性，包括鈉離子、氯離子、硫酸根離子或其他離子；因高鹽（或高鈉）所造成各種植物所需養分的不平衡。

植物對於高鹽環境的反應有兩個層面，包括：滲透壓效應—較快速的反應，植物因缺水而抑制新葉的生長；離子效應—較緩慢的反應，因離子毒性或養分不平衡，導致舊葉的衰老或凋萎。而植物適應高鹽環境可能有三種途徑，包括：增強滲透壓耐受性、排出鈉或氯離子、組織累積與耐受鈉或氯離子。

高鹽環境造成植物生長遲緩或組織損壞的原因包括：減少水分吸收、細胞膜傷害、鈉與鉀離子的選擇性、鈣與鈉的選擇性、溶質（鹽類離子）的累積與細胞脫水、葉片凋萎並減少光合作用進行、生長中組織缺乏必要的養分或代謝物質、生長激素的失衡等。

鹽類進入植物體的途徑與相關保護機制的先後次序為：鈉離子進入根部（被動運輸）→鈉離子由根部向外排除（主動運輸）→植物避免鈉進入木質部→儲存於莖部→鈉自細胞質中排除→鈉自韌皮部傳輸至舊葉中→其他細胞保護機制（儲存於液胞或排出至細胞間質）。

### 3. 積水逆境

鹽土與鹼土因土壤化學性質與物理構造破壞，常造成積水並影響植物生長，原因包括：氣體擴散受限、礦質養分缺乏、缺氧且造成土壤氧化還原電位降低、二氧化碳少而乙烯過量、厭氧環境代謝產生的毒性、還原態離子所造成的毒性、減少呼吸作用、減少根部水分傳輸等。

### 4. 圖表

包括：CSSRI 試驗田區、溫網室或基因轉殖隔離區介紹；在不同鹽鹼條件下的小麥品系耐受性測試；印度所育種水稻 CSR 10 與 CSR 36 與鹽類耐受性圖示（優於 IRRI 所育品種 SALTOL）；不同作物與品系對鹽類敏感或耐受程度列表；不同作物與品系在不同鹽鹼條件下的生長情形圖示；以種子產量對 263 種基因型的鷹嘴豆鹽類耐受性進行篩選；在不同氯化鈉添加濃度處理下，評估不同品系花生質量與鹽類耐受性與圖示；鹼土與積水狀態下，植物不同部位的鈉、鉀累積情形；耐受與敏感植物在鹼土與積水狀態下，地上部鈉、鉀累積情形；不同作物

在四種 pH 值與積水狀態下，植株硼累積情形；敏感型與耐受型鷹嘴豆品系（CSG 8890、CSG 8927），在鹽害逆境下的淨光合作用、葉面蒸散與氣孔通透情形；不同基因型小麥在鹽鹼土壤狀態下，以 ICP 分析的植株硼濃度。

## 5. 結論

在小麥、鷹嘴豆或其他作物中，對鹽類產生耐受性的性狀包括：地上部累積鈉與氯離子、水分吸收調節、葉面積大小等；也就是耐鹽機制可能由多種基因所調控，使得選育耐鹽品系或增強作物鹽類耐受性兩者，變得更加複雜與難以掌握。未來研究建議從更廣泛的種質資源中篩選，或是探索可能對鹽類產生耐受性的野生型植株，引進這類異地、非原生的作物品種，可能與透過雜交、育種方式得到相似或更好的成果。



## 課程主題：維持作物產量的劣質水灌溉管理(Managing poor quality irrigation for sustainable crop production)

演講者或組織：R. K. Yadav (CSSRI)

### 翻譯與摘要：

#### 1. 背景說明

印度水資源概況(各項數據單位為十億立方公尺,BCM):年降雨量 4,000 BCM,蒸散量、土壤水分與地下水儲存量 2,131 BCM,表面逕流(含地下水流入河水者) 1,869 BCM,可利用水資源 1,123 BCM。而每人可利用水資源在 1990 年時是 1,953 m<sup>3</sup>, 2010 年為 1,754 m<sup>3</sup>, 預測 2050 年是 1,035 m<sup>3</sup>。

印度降雨量不少,但在空間與時間的分佈上卻極不均勻—Rajasthan 省降雨少於 150 mm,但東北各省降雨量卻大於 10,000 mm;印度全境年降雨 4,000 BCM 中,只有 684 BCM 被妥善利用,而部分地區則因超抽地下水,導致水質劣化與土壤鹽害的問題。

#### 2. 灌溉水質參數

灌溉水質好壞指水體是否適用於灌溉用途,對於土壤性質與作物生長有否不良影響,通常由所含鹽分的種類與多寡來決定。常見的灌溉水質參數包括:導電度(Electrical Conductivity, EC)、殘留鈉濃度(Residual sodium concentration)、鈉吸附比例(Sodium adsorption ratio)與特定離子毒性等。

RSC 值高低表示存在碳酸根與碳酸氫根的多寡,以及可能使土壤溶液中,鈣鎂離子產生沉澱、提升鈉毒害效應的評估;RSC 值小於 1.25 meq/L 時,可安全使用,介於 1.25 至 2.5 meq/L 時,瀕臨使用極限,RSC 值大於 2.5 meq/L 時,則不適用於灌溉用途。

#### 3. 劣質水分類

印度灌溉用劣質水分類如下表：

水質分類	EC 值(dS/m)	SAR 值	RSC 值(meq/L)
A. 優良	<2	<10	<2.5
B. 含鹽(Saline)			
i. 輕微	2-4	<10	<2.5
ii. 中等	>4	<10	<2.5
iii. 嚴重	>4	>10	<2.5
C. 含鈉(Sodic)			
i. 輕微	<4	<10	2.5-4.0
ii. 中等	<4	<10	>4.0
iii. 嚴重	變異	>10	>4.0

#### 4. 劣質水使用指引

含鹽劣質水可能以直接施用,或是與淡水搭配使用;若為後者,可能以:混合、循環或是依序使用。切換時機包括不同耕作季節或同期作內轉換。

大麥分別以混合與循環施用劣質水的田間試驗,淡水(FW)EC 值小於 0.6 dS/m,劣質水(SW)EC 值介於 10.5 至 13.7 dS/m、SAR 值 12.3 至 14,產量結果如下表：

淡水(FW)、劣質水(SW)混合使用			淡水(FW)、劣質水(SW)循環使用		
EC 值 (dS/m)	平均產量 (t/ha)	相對產量 (%)	施用方式	平均產量 (t/ha)	相對產量 (%)
FW	4.8	100	4 FW	4.9	100
6	4.5	94	FW + DW	4.7	96
9	4.1	85	2FW + 2DW	4.1	84
12	3.6	75	2DW + 2FW	4.0	82
SW	2.3	48	1FW + 3DW	3.4	69
			4 DW	2.1	43

劣質水與淡水依序使用對作物產量的影響如下表：

EC 值 (dS/m)	施用次序	作物產量 (t/ha)	用水效率 (kg/ha/cm)
護城河豆(Mothbean)			
0.3	整季	2.52	56
4.7	整季	0.27	12
4.7	播種前淡水 之後劣質水	1.56	41
芥菜(Mustard)			
0.3	整季	2.32	63
12.3	整季	1.05	58
12.3	播種前淡水 之後劣質水	1.80	64

## 5. 劣質水管理

若灌溉水源為高 RSC 值的劣質水，且缺乏其他淡水可供混合或交替使用，可以考慮在入水口處設置一石膏施用池，透過石膏所額外提供的鈣離子，來減低劣質水中過量鈉離子或碳酸根、碳酸氫根離子所造成的負面影響。若欲降低一單位的 RSC 值，每公頃面積、每公分高灌溉水量應施用 12 公斤的石膏。石膏施用池大小視流速與所欲調整的 RSC 值而定，流速 10-20 L/s、調整 RSC 值 4-10 meq/L 時，石膏施用池大小從 2-18 m<sup>3</sup> 不等。

## 6. 作物鹽鹼耐受性

印度常見作物對鹽度耐受性分類如下表(Mass, 1986 & CSSRI Ann Rep)：

敏感	中等敏感	中等耐受	耐受
EC <sub>t</sub> <1.2 EC <sub>0</sub> <8	EC <sub>t</sub> :1.2-3 EC <sub>0</sub> :8-16	EC <sub>t</sub> :3-6 EC <sub>0</sub> :16-24	EC <sub>t</sub> :6-10 EC <sub>0</sub> :24-32
鷹嘴豆、綠豆、芝麻、洋蔥、胡蘿蔔	蠶豆、玉米、花生、甘蔗、苜蓿、埃及三葉草、蘿蔔、水稻、花椰菜、辣椒	小麥、芥菜、豇豆、燕麥、高粱、大豆、菠菜、珍珠粟、香瓜	大麥、棉花、甜菜、紅花菜

(資料上未說明 EC<sub>t</sub> 與 EC<sub>0</sub> 的差異，推測前者是土壤、後者是灌溉水測值；或是前者為與淡水混合後、後者為劣質水原本測值。)

印度常見作物對鹼度耐受性分類如下表：

ESP 值	作物種類
10-15	紅花菜、綠豆、豌豆、扁豆、木豆、黑豆、香蕉
15-20	大豆、木瓜、玉米、柑橘
20-25	花生、豇豆、洋蔥、珍珠粟、芭樂、葡萄
25-30	亞麻、蒜、瓜爾豆、玫瑰草、香茅、高粱、棉花
30-50	芥菜、小麥、向日葵、刺黃果、埃及三葉草
50-60	大麥、田菁、巴拉草、虎尾草
60-70	水稻、甜菜、Karnal 草

## 7. 結論

劣質水灌溉可以透過數種生產管理方式來維持作物產量，包括：精準整平讓雨水下滲，保留在土壤或地下水層中；選擇耐鹽作物或品系，並選在其較不敏感的生長階段施用劣質水；施用劣質水時調整肥料施用量；小心調整劣質水與淡水混合比例或施用次序，讓所施用灌溉水質低於作物對鹽鹼耐受的門檻值；以入水口設置石膏池的方式，調整劣質水的 RSC 值。另外對於劣質水灌溉，應特別注意土壤長期性質變化與鹽類積累，以確保作物永續生產。

課程主題：鹽害環境的新興園藝作物(Raising horticultural crops under saline environment)

演講者或組織：D. Singh (Central Arid Zone Research Institute, CAZRI)

翻譯與摘要：

## 1. 前言

Rajasthan 省是印度大型省分之一，面積 34 萬餘平方公里，約佔印度全境 11% 的面積；而在 Rajasthan 省有 19 萬餘平方公里屬於乾燥氣候區，約佔全省 62% 的面積；土壤 90-95% 由砂粒組成，其餘 5-10% 則是黏粒，有高含量的可溶性鹽類，以及相對（其他省分）較高的土壤 pH 值；年降雨僅有 250 mm 或更少；日均溫攝氏 32 度，相對溼度 35%（夏季）至 60%（雨季），每年平均強風風速 10.7 km/hr。

## 2. 內文

### (1) 田區準備

以印度 Rajasthan 省田間試驗種植園藝作物的經驗為例，相關田區準備與種植操作注意事項包括：灌溉水質與可獲得性、區位選擇、農機前置作業、種植所需工具或裝備、勞力需求、灌溉水路設計與建設、樹苗移植或種植所需穴位準備。

### (2) 種植間距

影響或決定種植間距的因素包括：當植株成熟或十分高大時，也能充分接受日照而不受彼此遮蔽；允許相關農業機具進入與執行種植作業；提供個別植株根系發展所需空間。棕櫚樹植株間距通常為 10 m x 10 m（每公頃 100 株），但也可能為 9 m x 9 m（每公頃 121 株）或 10 m x 8 m（每公頃 125 株）。

種植密度可能也會與環境生態因素（主要為水源供應問題）或品種相關；一般來說，商業種植通常以 10 m x 10 m、9 m x 9 m、10 m x 8 m 的間距種植，但是 *Khadrawy*（一種阿拉伯棗類）的矮植株品種可以較高密度種植。當棕櫚成熟期濕度高或降雨危害大時，種植間距則有拉大的趨勢。

### (3) 穴位挖掘

建議挖掘一立方公尺的的穴位，作為幼苗種植的區位；可以視需要將土方與石膏或有機資材（或充分腐熟的糞肥）混合後再回填；需要注意的是，糞肥或化肥上方，距植株根部應有 15 至 20 公分厚的土層；土方回填應在種植前的一或兩個月進行，種植前另應短暫的灌溉。

### (4) 種植時機

春季可以避開冬季的寒冷，溫暖的氣候有助於植株快速生長；而秋季則可提供幼苗較長的時間避開炎熱的夏季。以印度 Rajasthan 省的情況而言，秋季是較佳的選擇（若對於夏季較不乾熱，但冬季嚴寒且可能面臨降雪或結凍的地區而言，建議的種植時間點是八月或九月）。

### (5) 種植深度

種植深度的決定，最重要的因素是植株的核心（指根部球狀區域）不可以被水覆蓋；若深度太深，根部淹沒在水層以下，會導致根部腐爛而植株死亡；若深

度太淺，則根部會缺水乾化、植株亦會死亡；最佳的種植深度即是讓球狀區域外徑切齊土壤表面，避免讓穴位積水淹過植株根部。

#### (6) 移植階段

為了較好的植株存活率與早期生長發育，通常會讓幼苗種植於農場苗圃 8-12 個月的時間，等植株長出充足數目的葉片後，再移植到極乾燥或受鹽害影響的地區；若是側枝移植，則建議至少等 10-12 個月以後，再與苗圃的母體植株分離進行移植。

#### (7) 移植區位

植株移植後，須立即將週遭土壤構築出一盆狀結構（外圍高、中間低），避免灌溉水向外逕流，並確保植株獲得充分的水分供應；若以滴灌系統而言，建議的盆狀結構直徑應為 3 公尺，而外圍與中間落差介於 20-30 公分，讓灌溉水能到達移植植株的根系。

#### (8) 側枝選擇

移植用的側枝應選擇生長至少 3 至 5 年，且無病害或蟲害發生者；側枝直徑應介於 20 至 35 公分，而重量應超過 10 公斤、但低於 25 公斤；雖然亦可選擇僅有 5 公斤重或更低的側枝進行移植，但其存活率可能較低，並須要細心管理至少 2 年的時間。

側枝移植時，必須先返回苗圃種植（絕不可直接移植至田野）；最佳的側枝移除時間點是晚春或初夏的二月或三月（此指印度大陸型乾濕分明氣候區）；而最適合從苗圃移植至田野間的時間點，則是秋季的八月至九月間（請參閱(4)中的種植時機）。

### 3. 圖表

包括：印度乾燥、半乾燥、半潮濕氣候區地理空間分佈，乾燥氣候區各省分佔比，乾燥、半乾燥氣候區年降雨量、年蒸發量、乾旱頻率、期作數等；在 Rajasthan 省園藝作物分類與佔比；Rajasthan 省乾燥與鹽害地區圖示；棗樹果園的設計、挖掘與種植示意圖；10 m x 8 m 種植間距示意圖；棗樹移植後結實與採收示意圖；數種乾燥地區適合種植之果樹（取其果實、莖葉或種子），與其醣類含量、蛋白質含量、熱量、營養價值或相關加工產品介紹。

### 4. 結論

上述鹽害地區適合種植的果樹，通常可以提供一定的蛋白質、熱量、礦物質或維生素；部分果物可以作為蔬菜的替代品，提供生活在乾燥氣候區群眾必要的養分攝取；部分適種作物被發現具有藥用特性；許多果樹具有食用、藥用或是其他加工等多用途；提供惡劣環境下的農業種植新選擇。

## 課程主題：使用劣質水維持園藝作物產量(Sustaining production of horticultural crops with poor quality water)

演講者或組織：A. Singh (CSSRI)

### 翻譯與摘要：

#### 1.內文

使用高產品種、施加大量化學肥料等高能源投入的農業生產方式，在 20 世紀下半葉對世界糧食增產貢獻匪淺；但是這種生產模式卻造成生態系統服務功能受損、生物歧異度降低與自然環境惡化等危害。土壤鹽害是土壤品質劣化的主要表徵，與水質劣化兩者均為農業永續經營的阻礙；而在乾燥或半乾燥氣候區因灌溉引起的土壤鹽害與農業生產問題，則是各國農民、研究人員與政策制訂者的一大挑戰。

有鑑於全球人口增長與淡水資源日益稀少，以及農業部門為淡水資源主要使用區塊，發展成本可行、環境友善、永續利用的作物生產與用水策略是勢在必行的。開發中國家因為都市人口增加與工業發展需求，造成農業灌溉可利用水資源減少；在印度也因同樣的問題，使得劣質水（如家庭污水或工業廢水、高鹽含量或高鈉含量地下水、農糧畜牧部門的排放水等）在農業上的利用變成不可避免的趨勢。

使用家庭污水或工業廢水灌溉，可能因其中所含的重金屬、代謝物、致病原、殘留藥物成分或其他有機物質，造成人體健康或環境生態的危害；使用鹽含量或鈉含量高的地下水灌溉，可能因其中所含的過量鹽類毒害效應，而造成植物生長遲緩並影響作物產量或品質；使用農糧畜牧部門的排放水灌溉，其中所含的鹽類、農業藥劑、各式養分或土壤改良劑等，也對於作物生長產生不同的影響。

在印度使用廢水或劣質水作為農業灌溉趨勢增加的原因，包括：可利用於灌溉的淡水資源日益稀少；對於廢水再利用重要性與價值的正確認知；化學肥料價格昂貴（廢水可提供部分植物生長所需養分）；正確操作管理可降低環境或健康風險；當地社會與文化普遍認同與支持。

以廢水灌溉農作物可能造成的不同層級風險分析如後：

#### (1)對消費者風險低、但田間操作人員仍需保護措施

當作物不屬於人類食用範疇者（如棉花）；當作物被人類食用前，通常經過高溫或烘乾，而降低病原感染風險者（如穀物、油籽）；蔬果類作物於採收後，會經過裝罐、加工且殺菌者；作為飼料且餵養動物前，經過日曬烘乾者；具有圍籬隔絕公眾進入的景觀用途（苗圃、森林、生態緩衝帶）灌溉。

#### (2)對消費者與田間操作人員風險中等

牧場未日曬烘乾處理的新鮮飼料作物；未碰觸廢水、未以廢水澆灑、未連根帶土採收的作物；通常煮熟後才食用的作物（如馬鈴薯、茄子、甜菜根）；通常果皮不被食用的作物（如瓜類、柑橘類與香蕉）。

#### (3)對消費者與田間操作人員風險最高

任何可能未經煮熟便生食的作物；生長、採收、處理過程可能碰觸到廢水（或食用部位碰觸到土壤）的作物；未隔絕公眾進入的景觀用途（如公園、草皮、高爾夫球場）灌溉。

廢水用於農業灌溉的主要目標或注意事項包括：使用處理過的廢水可以消除對於人類、動物或環境的風險；發展並推廣低成本、對使用者友善的廢水處理設備；定期監測使用廢水灌溉區域的土壤健康狀態；廢水灌溉應優先搭配滴灌設備，而避免使用噴灑器（致病原擴散危害）；促進農業機械的使用，避免使用人工操作（人員健康疑慮）；採收前一至二週應停止廢水灌溉；人類或動物食用前的加工或殺菌處理；建立搭配淡水使用的灌溉期程表。

## 2. 圖表

包括：地中海國家在 1990 年、2025 年與 2050 年的人口與可利用淡水資源預測；一些作物或農產製品，於種植或加工過程中隱含的需水量模擬；使用經處理或未處理廢水灌溉，對於園藝作物生長影響的文獻回顧列表；廢水處理或使用的指標性微生物；廢水是否適用於農業灌溉的微生物數量分類；廢水灌溉作物中的微量或重金屬元素含量分析；廢水灌溉地區，3 種不同深度土壤，於作物種植前與採收後，土壤 pH 值、EC 值與重金屬含量分析；將淡水與廢水以不同比例混合施用之土壤、水質、作物重金屬含量分析；地下水水質依 EC 值、SAR 值與 RSC 值不同的分類；常見蔬果的鹽類耐受性；草坪常見草種的鹽類耐受性；高鹽含量劣質水灌溉對園藝作物生長的影響；作物在不同可交換性鈉(ESP)含量等級下的耐受性；果樹對土壤鹼度的相對耐受性；高鈉含量劣質水灌溉對園藝作物生長的影響；滲透壓保護劑對植物在鹽害逆境下的影響；與植物在鹽害逆境相關的生理機制示意圖，離子傳輸相關的表現基因列表。

## 課程主題：乾燥與鹽害地區的農林間作(Biosaline agroforestry for dry regions)

演講者或組織：J. C. Dagar (ICAR)

### 翻譯與摘要：

#### 1. 背景說明

預計 2050 年世界人口將由 70 億增加至 91 億，須額外提供 10 億公噸的農產品與 2 億公噸的畜產品，才能滿足人口增長的需求。目前約有 8.7 億人處在糧食攝取不足與缺乏飲用水源的條件下生活。而全球超過 40% 的糧食生產，來自具有灌溉系統的農田（面積約僅 307 百萬公頃）。

全世界由降雨獲得的淡水資源每年約 108,831 立方公里，其中 3,900 立方公里進入河川或湖泊提供人類使用，灌溉用水佔 70%（約 2,710 立方公尺），工業用水佔 11%，而都市或家庭使用占 11%。灌溉用水佔比最高者為亞洲(87%)，其次為非洲(85%)美洲(81%)與大洋洲(77%)，最低者為歐洲(59%)。

不同水體的導電度(dS/m)與總溶解固體(ppm)數值範圍：雨水 EC 值 0.02-0.05、TDS 值 10-30，自來水 EC<1.5、TDS<1000，海水 EC 值 50-60、TDS 值 33,000-40,000。其中 EC 值與 TDS 值的換算，大致上可以 1 dS/m 等於 640 至 660 ppm 作推估。

全球約有 43 個國家使用高鹽地下水作為灌溉水源，印度不同州別使用劣質水灌溉的比例，約介於 25%至 84%之間。乾旱地定義為水收入（降雨）小於水支出（蒸發、蒸散、逕流）的地區，約佔全球陸地面積的三分之一，約有 7.5 億的人口居住於其中。

#### 2. 劣質水灌溉

印度高鹽灌溉水使用指引如下表(Minhas and Gupta, 1992)：

土壤質地 (黏粒%)	作物鹽類 耐受性	不同降雨量與容許灌溉水 EC 值(dS/m)上限		
		< 350 mm	350-550 mm	> 550 mm
細質地 (> 30 %)	敏感	1.0	1.0	1.5
	中等	1.5	2.0	3.0
	耐鹽	2.0	3.0	4.5
中至細 (20-30 %)	敏感	1.5	2.0	2.5
	中等	2.0	3.0	4.5
	耐鹽	4.0	6.0	8.0
中至粗 (10-20 %)	敏感	2.0	2.5	3.0
	中等	4.0	6.0	8.0
	耐鹽	6.0	8.0	10.0
粗質地 (< 10 %)	敏感	-	3.0	3.0
	中等	6.0	7.5	9.0
	耐鹽	8.0	10.0	12.5

#### 3. 耐鹽林木

依對鹽類耐受範圍（EC 值）高低分級，高過 35 dS/m 的樹種：*Tamarix*、*Prosopis*、*Salvadora*、*Acacia farnesiana*；在 25 至 35 dS/m 的樹種：*Casuarina*、



*Terminalia catappa*、*Thespesia populnea*、*Cocos nucifera*；在 15 至 25 dS/m 的樹種：*Acacia tortilis*、*A. nilotica*、*Callistemon lanceolata*、*Pongamia pinnata*、*Eucalyptus camaldulensis*、*Crescentia alata*、*Albizia lebbek*、*Ziziphus mauritiana*、*Parkinsonia aculeata*。

#### 4.耐鹽牧草

使用 EC 值 10 dS/m 的水灌溉，連續三年種植的每公頃平均產量介於 4 至 18 公噸的牧草品種有：*Brachiaria mutica*、*Cenchrus setigerus*、*Cynodon dactylon*、*Panicum antidotale*、*P. coloratum*、*P. laevifolium*、*P. maximum*、*P. virgatum*。

#### 5.耐鹽果樹

刺黃果(*Carissa carandus*)、象橘(*Feronia limonia*)、木橘(*Aegle marmelos*)與印度棗(*Ziziphus mauritiana*)均可以劣質水灌溉，或在鹽害土壤上生長。刺黃果依所使用的灌溉水 EC 值不同，每公頃產量可能從 627 公斤到 1,156 公斤。另上述果樹亦可與大麥、瓜爾豆等，以農林間作方式栽植。

#### 6.食用、藥用、園藝與油料作物

其他耐鹽的食用、藥用、園藝與油料作物包括：蒔蘿(*Anethum graveolense*)、庫拉索蘆薈(*Aloe vera*)、芝麻菜(*Eruca sativa*)、蓖麻(*Ricinus communis*)、洋車前子殼(*Psyllium seed husks*)、*Isabgol*、水芹(*Lepidium sativum*)、決明屬(*Senna*)、香根草(*Vetiver*)、香茅(*Lemon grass*)、菊屬(*Chrysanthemum*)、桐油樹(*Jatropha curcas*)、*Euphorbia antisiphilitica* 等。

#### 7.膨轉土適栽作物

適合在積水的膨轉土上種植的木本植物有：*Azadirachta indica*、*Prosopis juliflora*、*Acacia nilotica*、*A. eburnea*、*Butea monosperma*、*Jatropha curcas*、*Salvadora persica*、*Feronia limonia*；草本植物則有：*Dichanthium annulatum*、*Leptachloa fusca*、*Eragrostis spp.*、*Bothriochloa pertusa*、*Heteropogon contortus*、*Chrysopogon aciculatus*、*Themeda triandra*、*Tragus biflorus*、*Cymbopogon martinii* 等。

#### 8.海岸地區適栽作物

紅樹林樹種：*Avicennia*、*Bruguiera*、*Ceriops*、*Cynometra*、*Exoecaria*、*Kandelia*、*Nypa*、*Rhizophora*、*Heritiera*、*Sonneratia*、*Xylocarpus*；或相關樹種：*Terminalia catappa*、*Thespesia populnia*、*Casuarina*、*Salvadora persica*、*Pandanus*、*Pongamia pinnata*、*Borassus flabellifer*。

#### 9.其他潛在作物或嗜鹽植物

鹽害地區潛在作物：*Zostera marina*、*Distichlis palmeri*、*Pennisetum typhoides*、*Sesuvium portulacastrum*、*Chenopodium quinoa*、*C. alba*、*Salicornia bigelovii*、*Sarcocornia spp.*、*Tetragonia tetragonioides*、*Crithmum maritimum*、*Borassus*、*Terminalia catappa*、*Beta vulgaris*、*Portulaca oleracea*、*Kosteletzkya virginica*、*Suaeda torreyana*；嗜鹽植物：*Nypa fruticans*、*Calophyllum inophyllum*、*Citrulus colocynthis*、*Pandanus spp.*、*Parthenium argentatum*、*Simonsia chinensis*、*Salvadora persica*。

課程主題：以高鹽高鈉劣質水種植木本植物(Plantation of tree with saline or sodic water)

演講者或組織：O. S. Tomar (CSSRI)

翻譯與摘要：

### 1. 前言

1952 年印度國有林政策指出，若欲達到平衡的生態體系，則至少需要全境 33% 的森林覆蓋面積；至 1982 年印度政府土地利用調查資料顯示，森林面積約佔全國 22.7%。因糧食供給與人口壓力的緣故，人工植林無法從既有且肥沃的農耕土地執行，因而將重心轉往廣大的鹽害地區；又因此類地區常常缺乏淡水來源，遂僅能利用含鹽量或含鈉量高的劣質水（佔各省分水源約 32-83%），作為人工植林所需的灌溉水源。

過去研究指出，可能可以耐受高鹽或高鈉灌溉水的樹種，包括：細葉桉 (*Eucalyptus tereticornis*)、苦楝 (*Melia azedarach*)、印度苦楝 (*Azadirachta indica*)、牧豆樹 (*Prosopis juliflora*)、阿拉伯金合歡 (*Acacia nilotica*)、亞江欖仁 (*Terminalia arjuna*)、閩浮樹 (*Syzygium cumini*)、大葉合歡 (*Albizia lebeck*)、水黃皮 (*Pongamia pinnata*)、鴨嘴花 (*Adhatoda vasica*)、鐵刀木 (*Cassia siamea*)、皂莢樹 (*Acacia tortilis*) 等。

使用高鹽或高鈉劣質水灌溉，樹苗種植前後的管理十分重要，須盡可能避免鹽分在土壤累積，以及減少樹苗移植時可能遭受到的危害。近期研究 (Tomar et al., 1994; Minhas et al., 1997) 指出畦溝種植技術 (**furrow planting technology**)，可能是大陸雨季型氣候較好的植林管理方式。

### 2. 圖表

包括：不同試驗處理與受測樹種列表；不同 EC 值、RSC 值與對細葉桉、大葉合歡生長影響；半乾燥氣候石灰質土壤試驗區土壤物理化學性質；31 個不同樹種移植後 1-9 年存活率；31 個不同樹種移植後 1-9 年植株高度；31 個不同樹種移植後 1-9 年樹幹直徑；31 個不同樹種移植後 1-9 年各項表現排序與綜合評估；移植後不同時期土壤鹽度變化；部分試驗樹種移植後 3 年、8 年後土壤有機碳含量變化；不同樹種樹葉離子組成；分別施用淡水與劣質水，對於試驗樹種的影響；劣質水與氮肥、磷肥單獨，或以不同比例混合施用，對不同樹種生長的影響。

### 3. 結論

由以上實驗圖表結果，可以得到高鹽高鈉劣質水種植木本植物的相關建議，包括：

(1) 高 RSC 值的劣質灌溉水，可以透過施用石膏來減輕高鈉所帶來的危害。細葉桉和大葉合歡分別在 EC 值 8.5 dS/m、SAR 值 60 與 EC 值 7.0 dS/m、SAR 值 40 時仍可正常生長，上述範圍可視作此二物種的安全限值。

(2) 適量使用氮肥和磷肥，似乎可以減輕高鹽劣質水對樹種的危害。

(3) 檉柳、阿拉伯金合歡、金合歡、皂莢樹、牧豆樹、細葉桉、印度苦楝、鐵刀木等樹種，似乎可以在乾燥與半乾燥氣候區的石灰質土壤上生長，以畦溝使用劣質水 (EC 值 10.5 dS/m) 灌溉亦能表現良好。

(4) 羊蹄甲 (*Bauhinia variegata*)、黃槐 (*Cassia glauca*)、大葉相思 (*Acacia*

*auriculiformis*)、閩浮樹、十字葉蒲瓜樹(*Crescentia alata*)、木麻黃(*Casuarina equisetifolia*)、雨樹(*Samanea saman*)、亞江欖仁、大葉合歡等樹種，對於使用劣質水灌溉的生長表現不良，應避免種植於鹽害地區。

(5)爪哇決明(*Cassia javanica*)與十字葉蒲瓜樹對於寒害十分敏感。

(6)在移植後最少需要兩年的灌溉管理。阿拉伯金合歡在存活率、生長與生質上的表現，優於印度黃檀(*Dalbergia sissoo*)。

(7)對於鹽類耐受的樹種而言，相較於淡水，使用劣質水灌溉仍會造成生質量的降低；但其降低幅度會比敏感樹種來得小。

(8)使用畦溝配合高鹽或高鈉劣質水的灌溉方式，可以將大部分鹽類留在畦溝中，僅少部分影響溝與溝中間的土壤；種植行間區域的雨水會逕流至畦溝中，成為土壤鹽類清洗的主要水源。

課程主題：以劣質水種植工業或非傳統作物前瞻(Prospects of growing industrial and non-conventional crops with poor quality water)

演講者或組織：P. Kumar, A. Singh, R. K. Yadav and R. L. Meena (CSSRI)

翻譯與摘要：

### 1.前言與 MAP(Medicinal and Aromatic Plants)重要性

全球約有 25%地區面臨土壤、水資源或生物歧異度的惡化。氣候變遷加劇全球糧食生產困境，而開發中國家首當其衝。印度面臨嚴重的土壤與水源鹽化問題，約有 6.73 百萬公頃的土地遭受鹽害影響。因在鹽害影響地區可正常生長與不斷增加的需求，藥用與芳香作物的種植成為必然的趨勢。

藥用與芳香作物的重要性包括：在農村聚落中，具有社會文化與健康照護的需求和價值；開發中國家有廣大的人口，仰賴傳統醫療與藥用植物；在人類疾病治療上，被確認具有安全性與療效；在印度文化與傳統中具有長遠歷史；約有 25%現代藥物由植物所提煉；具有加工、歧異度與永續利用價值。

### 2.鹽害逆境下植物生理或生化改變

在鹽害地區植物面臨缺水逆境、離子毒性、養分不平衡、生長抑制，影響作物產量和品質。

鹽害影響植物生理反應包括：

#### (1)種子萌芽與發育

因水分吸收減少、干擾荷爾蒙關連、對種子胚芽造成毒害，導致無法萌芽或生長情形不佳。研究指出，40 mM 的氯化鈉溶液可以減少 *W. somnifera* 的種子萌芽率與早期發育(Jaleel et al., 2008)；而氯化鈉濃度增加將導致 *P. frutescens* (中藥) 種子萌芽率降低(Zhang et al., 2012)。

但是鹽分逆境不見得降低所有藥用作物的種子萌芽率；研究指出，氯化鈉溶液 EC 值自 0 至 10 dS/m 不會明顯降低 *O. basilicum* L.與 *E. sativa* L.的種子萌芽率(Miceli et al., 2003)；在 5000 ppm 鹽類溶液濃度下，洋車前子殼(Isabgol)種子仍可完全萌發(Sedghi et al., 2010)。

#### (2)細胞膜穩定性

細胞膜主要由脂質和蛋白質所組成，在鹽害逆境下，原生質膜與脂質膜會破損，導致細胞膜上離子通道通透性增加，亦造成細胞質內電解質流失(Blum and Ebercon, 1981)。在一些藥用作物中，觀察到鹽害逆境下脂質的過氧化(自由基從膜上脂質取得電子、破壞細胞膜)與細胞膜損傷。

但與種子萌芽情形類似，並非所有藥用作物均會因鹽類逆境而損壞細胞膜，相反的在某些藥用作物中，逆境反而增加細胞膜穩定度。欲達到對鹽類的耐受性，細胞膜必須能在高鹽環境下維持其通透性，並強化抗氧化物酵素活性(如超氧化物歧化酶、過氧化氫酶、過氧化物酶)，以避免細胞膜損傷。

#### (3)葉片含水量

因滲透壓逆境可能導致細胞脫水，如研究發現，阿拉伯茴香(cumin)在 EC 值 8 dS/m 的環境下植株水分減少(Garg et al., 2002)；而部分植物可能對於鈉與

氯離子的累積，或減少水分吸收存在調節機制，如海茴香在高鹽環境下，組織水分狀態不受影響(Amor et al., 2005)。

#### (4)葉綠素含量

葉綠素是與細胞膜存在鍵結的色素，因此細胞膜的穩定度會影響葉綠素的型態完整性與功能正常性；若細胞膜在高鹽環境下受到損傷，葉綠素鮮少完好無缺(Ashraf et al., 1992)。而葉綠素的減少，可能與特定酵素活性降低有關(Kreps et al., 2002)。高鹽逆境可能造成 MAPs 的氣孔通透性與光合作用改變，如 *W. somnifera*(Jaleel et al., 2008)與 *A. annua*(Qureshi et al., 2005)在鹽害時，葉綠素含量減少、光合胞器受損、光合作用速率降低等。

#### (5)礦質養分多寡

鹽害影響植物的養分吸收，如鈉離子減少鉀離子的吸收，氯離子減少硝酸根離子的吸收(Grattan and Grieve, 1999)；在 *M. pulegium* L.與 *S. sclarea* L.也觀察到類似的情形(Quesalti et al., 2010)；在 *A. majus* L.的地上部與根部，鈉與氯離子增加，而鉀與鈣離子則減少。

#### (6)植株生長與存活

鹽害逆境限制葉的分化與擴張，改變葉片水分狀態，減少節間生長，加速葉的衰老與脫落，減少光合作用進行，累積毒害離子等，減緩植株生長或造成死亡。不同植物對氯化鈉濃度的門檻值如：鼠尾草為 75 mM、*C. maritimum* 為 200 mM、*T. vulgaris* 為 1500 ppm、*C. moxifolium* 為 5000 ppm。

鹽害造成植物生化反應包括：部分 MAPs 會累積滲透壓保護劑或抗氧化劑酵素，以克服滲透壓逆境並避免細胞脫水；鹽分逆境下，脯胺酸如滲透壓保護劑的作用，也是氮的一種儲存方式或來源；對鹽類具有耐受性的植物，通常含有大量的脯胺酸；*P. amarus*、*C. roseus*、*W. somnifera* 產生抗氧化劑因應。

### 3.其他與圖表(印度或其他國家對 MAP 相關研究結果、MAP 主要用途、以 MAP 進行土壤整治或改良)

適中的鹽類逆境可能帶來的益處包括：增加香芹的脂質合成並提升品質(Petropoulos et al., 2009)；*T. vulgaris* L.脂質百分比隨鹽類濃度提升，最大值出現在施用 4500 ppm 處理組(El-Din et al., 2009)；以高鹽劣質水灌溉，可以提升 *C. officinalis* L.的油脂含量，以及主要的脂質成分，包括  $\alpha$ -杜松醇、 $\gamma$ -與  $\delta$ -杜松萜烯(Khalid and da Silva, 2010)；*C. schoenanthus* 的氧合單萜烯合成受鹽類刺激而增加(Khadhri et al., 2011)。

圖表包括：19 種藥用作物與 6 種香氣作物對土壤或灌溉水的鹽鹼耐受性；以 EC 值 8.5 dS/m 的劣質水灌溉，對四種藥用作物產量的影響；不同灌溉水質或灌溉次數對蒔蘿種子產量的影響；灌溉水質對番瀉樹緩瀉劑成分含量影響；不同 EC 值灌溉水對玫瑰草植株與油脂產量的影響；灌溉水質對香茅鮮重產量的影響；以 EC 值 8.5 dS/m 的劣質水灌溉，對玫瑰草和香茅存活率與地上部生質量的影響；以 EC 值 8.5 dS/m 的劣質水灌溉，對香根草地上部與根部乾重的影響；蘆薈、蘆筍、番瀉樹在鹼土生長情形；水芹、印度人蔘、黃果龍葵在鹽土的生長情形；玫瑰草在鹼土不同 ESP 值層級的油脂產量、脂質組成(香葉醇與乙酸香葉酯百分比)；不同玫瑰草和香茅品種在鹼土的生長差異；土壤 pH 值對香根草根部與油脂產量及經濟收益的影響；印加孔雀草在鹼土不同 ESP 值層級的植株與油脂產量；4 種香氣作物與 17 種藥用作物常見用途；數種藥用與香氣作物種植前後，對鹽害土壤化學性質的影響。

#### 4. 結論與展望

在已經劣化或是瀕臨劣化的環境中，發展合適的替代性土地利用方式十分重要。在此類地區種植藥用或香氣作物，將其轉化為可生產的土地是其中一種最佳選項。許多高經濟價值的藥用或香氣作物，對高鹽或高鈉的鹽鹼環境具有耐受性；在鹽土、鹼土或鹽水灌溉下生長，其產量或品質不會受到太大影響。甚至在適中的鹽類條件下，植株生質量或是藥用、香氣等次級代謝物成分反而獲致增長。未來研究應朝向與分子生物學或基因體學的跨學科合作。

## 課程主題：園藝作物劣質水滴灌技術(Drip irrigation in horticultural crops- suitability for saline water use)

演講者或組織：S. Kumar (CSSRI)

### 翻譯與摘要：

#### 1. 滴灌簡介

滴灌與其他灌溉方式的差異，主要在於只針對植物根圈土壤供水，而不是對整個田區土壤；通常灌溉的頻率較高，但每次供水的流量與流速則較低。滴灌的四項主要特徵，包括：施用速率低、涵蓋期程長、通常以固定週期方式加水、透過低壓系統傳輸。

不同灌溉方法的用水效率比較如下表(Sivanappan, 1998)：

比較項目	灌溉方式與其對應效率(%)		
	淹灌	噴灑	滴灌
輸水效率	40-50 (渠道) 60-70 (水井)	100	100
施用效率	60-70	70-80	90
表面水蒸發損失	30-40	30-40	20-25
總體效率	30-35	50-60	80-90

滴灌技術使各種類型的農田能孕育作物，不論土壤性質、氣候條件或保水能力，皆可藉此提升作物產量；不論是在印度或是其他國家的研究，皆顯示滴灌可以有效節省水資源，保留土壤、避免土壤沖蝕，節省肥料或其他相關能源的耗費，並間接保護耕作環境、促成農業的永續經營。

#### 2. 劣質水滴灌

全球人口自 1960 年代的 30 億人，增加至 2000 年的 60 億人，預計 2025 年將逼近 80 億人；與人口增長趨勢相反的，是每年可利用水資源由 1960 年代的 17,532 立方公里，降低至 2000 年的 7,370 立方公里，預計 2025 年將降至 5,717 立方公里。

農業灌溉用水是全球最大的水資源支出，約佔所有利用水資源的 69%；其次是工業用水（約佔 21%），以及都市、家庭用水（約佔 10%）。預計到了 2025 年，全世界有 48 個國家、約 30 億的人口，將面臨缺水的危機。由於氣候變遷與氣候異常將加劇此類風險，農業部門有必要預先推廣節水栽種技術。

含鹽量高的劣質水以滴灌與適切方式管理時，除了可提升農業生產力外，另有其他方面的益處，包括：所節省下來的水資源可提供其他用途；以最小的環境風險將鹽水再利用；仍可生產高品質的工業所需加工原料；因植物適應逆境所產生的蔬果品質與保存期限提升，以及所衍生的市場價值。

在不同的灌溉方式下，土壤鹽分的累積方式也有所不同：以暗管底層滴灌時，離管路越遠處鹽類濃度越高；若以表層淹灌或噴灑方式加水，離土壤表面越遠（越深）處，鹽類濃度越高。而使用含鹽量高劣質水對葉面進行噴灑時，仍會造成焦黃或葉面損傷。

印度中耕作物（行株間距 75 公分）的滴灌管路架設，常以間距 1.5 公尺、深度 30-35 公分方式埋設，適用於粉質壤土與黏質壤土。

### 3.案例分析

印度滴灌較傳統灌溉方法的作物產量與節水效率比較：

作物	產量增加(%)	節水效率(%)
番茄	25-50	40-60
洋蔥	25-40	20-30
馬鈴薯	20-30	40-50
甘藍菜	30-40	50-60
花椰菜	60-80	30-40
西瓜	88	36
石榴	45	45
甘蔗	33	56
香蕉	52	45
辣椒	45	63
葡萄	23	48
花生	91	36
萊姆	50	61

印度常見蔬果作物對鹽類的相對耐受性如下表：

種類	在不同的相對產量(%)所對應的滴灌水 EC 值(dS/m)		
	90%	75%	50%
葡萄	1.7	2.7	4.5
杏樹	1.3	1.8	2.5
棗椰樹	4.5	7.3	12
柳橙	1.6	2.2	3.2
草莓	0.9	1.2	1.7
洋蔥	1.8	2.3	3.3
馬鈴薯	2.1	4.3	7.8
番茄	2.4	4.1	6.9
茄子	2.3	4.1	7.1
苦瓜	2.0	3.4	5.8

### 4.滴灌系統維持

定期維護或檢修可以讓劣質水滴灌系統正常運作，以下幾項是特別要提醒的操作步驟：(1)定期清潔或反向沖洗過濾器；(2)定期沖洗側向分管；(3)經常檢查流量控制閥，必要時就更換；(4)經常檢查系統壓力，不正常的壓降（或上升）則代表管路出現問題；(5)定期施加必要的抗沉澱劑或藻類抑制劑；(6)定期檢查化學藥劑自動添加設備，確保其正常運作；(7)定期檢查逆流保護裝置，確保其正常運作。

### 5.未來研究議題

未來可能的研究議題包括：在農田、灌溉或排水設施對不同品質的水管理方法建立；發展並使用數值模型，來協助評估不同灌溉水質與相對的作物產量關係；對非傳統灌溉用水（如劣質水、高鹽地下水、家庭廢水）的使用，提出可行策略與政策架構。



課程主題：以劣質水進行底層（暗管）滴灌(Subsurface drip irrigation for sewage and waste waters)

演講者或組織：R. S. Pandey (CSSRI)

翻譯與摘要：

### 1. 前言

根據國際水資源管理組織(International Water Management Institute, IWMI)以政策輔助(PODIUM)模型進行的預測,到了 2025 年全球將面臨水資源短缺的危機,屆時將有 33%的世界人口與將近 45 個國家受到嚴重缺水的影響,而印度便是其中之一。

全世界水資源分佈與佔比如後：海洋 97.2%、極地冰冠或陸地冰川 2.15%、深度 800 公尺以內的地下水 0.31%、深度 800 公尺以下的地下水 0.31%、土壤中非飽和區的含水量 0.005%、淡水湖 0.009%、鹽水湖或內陸死海 0.0084%、河流或地底、洞穴伏流中的平均含水量 0.00014%、大氣中含水量 0.00079%。

印度每年可利用水資源分析如後：表面水 690 立方公里、地下水 450 立方公里、跨河流相連的（指未來可能興建的渠道或水利設施）表面水 175 立方公里、地下水 80 立方公里；預測到了 2050 年，印度人口可能介於 15 至 18 億，而每年糧食需求量則為 4 億 5 千萬公噸。

### 2. 劣質水

目前印度每年可供開發利用的地下水總量為 135 立方公里，每年使用的劣質水約 32 立方公里；在不同省分的乾燥或半乾燥氣候區，劣質地下水使用率約介於 25 至 84%之間；未來若將可供利用的 420 立方公里地下水完全開發，則約有 100 立方公里屬於含鹽或含鈉量高的劣質水。除了地下水以外，可供利用的劣質水還包括都市或家庭所排放污水，以及工業部門製程廢水或能源部門發電冷卻水等。

印度對於未來可能面臨的缺水危機，提出的幾項應對方法包括：積極開發不同來源的水資源，除了傳統水源外，思考劣質水（含鹽或含鈉量高的地下水、農業污水、家庭廢水、工業放流水）使用的可能性；推動各式節水措施，包括導入精準且有效的灌溉（如滴灌）或其他用水方法。

### 3. 滴灌

根據研究，運用滴灌技術的水施用效率介於 90 至 95%，可能提升的產量為 20 至 70%，減少的水分蒸發損失介於 10 至 25%，整體省水比例為 40 至 75%，而肥料亦可節省約 20 至 40%；施用效率高、蒸發或傳輸損失少、利用效率高、單位水投入的作物生產力高，均是滴灌技術的優點。

印度運用滴灌技術的種植面積增加趨勢：1970 年代尚未開始，1985 年約為 1 千 5 百公頃、1989 年約為 1 萬 2 千公頃、1994 年約為 7 萬公頃、1999 年為 30 萬公頃、2002 年為 35 萬 5 千公頃…，預測至 2020 年或 2025 年時，應可有 28.5 百萬公頃的面積利用滴灌技術。

藉由滴灌技術管理農業劣質水的使用，可能帶來以下優點，包括：透過滴灌設備，可以更頻繁、視作物需求的進行灌溉；（養分或鹽類）的淋洗效率高；有限的淡水資源利用效率可以再提高；一般淹灌之前，為了避免局部積水而進行的

田區整平花費，可以節省下來。

#### 4. 廢汗水

印度常見的家庭或工業廢水去處：直接排放入表面水體（如河流）中、排放至低窪地區或池塘中、廢水處理廠與沉降池或曝氣池、土壤含水層處理系統、返回農業系統或水產養殖魚塭使用；部分未經妥善處理的廢水，有可能造成地下水污染。

家庭或工業廢水的潛在危害包括：可能含有致病原（細菌或病毒），可能導致疾病散播；可能含有重金屬（鎘、鉻、砷、鉛等），可能對人產生毒害；所含無機成分或離子，若超過特定限值可能造成健康風險；若廢水中生化需氧量或化學需氧量太高，排放至鄰近水體中，可能導致水中生物死亡，造成環境問題。廢水作為農業灌溉使用的可能益處包括：含有氮、磷等無機養分，可以作為植物生長所需肥料；可能含有有機物質，提高土壤有機碳含量…等。

目前印度使用廢水灌溉的情況：約有 30% 未經處理的廢水，透過表面水體作為蔬菜或其他作物灌溉用水；另有 60% 未經處理的廢水，直接棄置於河川或低窪地區，造成表面水體或地下水的污染；僅有 10% 的廢水，有經過各地設置廢水廠的處理流程（處理成效不明），之後也是用於農業灌溉中。

使用廢水與滴灌技術搭配的優點包括：不會形成氣溶膠；廢水較不會滲濾至底層；以底層滴灌時，作物食用部位惟有在碰觸到土壤時，才有被致病原污染的可能；以表層滴灌時，亦可藉由覆蓋塑膠布，避免廢水中病原菌污染食用部位；而以底層滴灌，可減少操作者於中耕管理時的病原感染機會。

目前全世界關於使用廢水於農業滴灌技術的研究，主要包括：霧化器或滴水器的阻塞現象研究；使用二級或三級廢水，對於土壤污染情形的評估；使用二級或三級廢水，對於作物品質或食用安全影響分析；而在大部分開發中國家使用表層或底層滴灌技術，均未有對健康不利影響之報告。

對於阻塞現象的研究包括：灌溉水質或週圍土壤性質對於阻塞的效應；如何避免或改善阻塞的發生；灌溉水質參數如生化需氧量、懸浮固體總量、微生物濃度等的影響；霧化器、滴水器或過濾器的設計或改良；廢水施用量（或與淡水混合比例）對阻塞的影響。

在廢水滴灌種植蔬菜的試驗中，得到了下列結果：底層滴灌所存活的病原菌比表層滴灌少；底層滴灌可以避免土壤表面的病原菌污染；選用合適的過濾器可以減少滴灌廢水的生化需氧量與病原菌含量；滴灌成本有限且可被接受；阻塞情況輕微；底層滴灌的管路**背壓**(Back Pressure)需要進一步評估。

#### 5. 圖表

包括：1990 年、2020 年與 2025 年的農業灌溉、飲用維生、工業、能源或其他用途的需水量預估；印度各省分可利用水資源與劣質水利用率一覽表；印度家庭廢水水質參數分析；不同深度土層（或岩層）的導水度；使用廢水進行表層或底層滴灌的管線設計圖；甘藍菜以表層與底層滴灌示意圖；表層與底層滴灌流速與變異係數的 3 年試驗數據；表層、底層滴灌與淹灌的施用效率以及底層滲濾評估；過濾器參數一覽表；供試作物相關資訊；濾砂器隨時間的導水度變化；以原廠建議的流量—每小時 18 立方公尺所需要的能源消耗；微生物在不同水質介質的存活行為；不同廢水來源與微生物，在不同介質中的移動行為評估；以廢水進行表層或底層滴灌，不同出水口距離與土壤深度中的大腸桿菌菌落數；以廢水進行表層、底層滴灌種植秋葵、甘藍菜的用水效率；果園設置底層滴灌管路、安裝

側管與果樹周圍環狀管路的示意圖；田間測試滴管管路背壓的裝置示意圖；實驗室量測管路流量示意圖；22 種不同實驗設計的管路流量一覽表；將管路原始設計流量與實測流量的差距，視作可能背壓的影響，並將之列表討論。

## 6. 結論

以印度推廣廢水滴灌技術的經驗而言，滴灌系統的優點包括：省水、提升作物產量、適用於鹽害土壤、有助於雜草控制、節省田區管理成本、提升肥料利用效率、具有灌溉管理彈性、可以避免土壤沖蝕、最小化病蟲害問題等；而廢水滴灌的缺點則有：可能發生霧化器或滴水器的阻塞，管路洩漏或因動物、昆蟲的咬嚙或田區除草等操作而破壞，過濾器、調壓閥、流量計與幫浦等可能故障或遭竊，而以上均可能增加滴灌系統的維護成本。以長期田間試驗以及與農村合作推廣成功的案例而言，廢水滴灌是未來印度面臨淡水資源短缺的最佳解決方案之一。

課程主題：印度底層（暗管）排水與積水鹽害土壤管理(Subsurface drainage for management of waterlogged saline soils of India)

演講者或組織：S. K. Kamra (CSSRI)

翻譯與摘要：

## 1. 簡介

印度面臨的地下水問題包括：地下水位因超抽而逐年下降；部分地下水層被抽至乾涸；因灌溉所導致的土壤與地下水鹽化；沿海地區鹽水或海水入侵地下水層；因人類活動（如農業、工業或家庭廢水等）造成的地下水污染；地質因素造成的地下水水質劣化（含砷和氟等）。

全球 40%糧食生產地區具有灌溉和排水設施；全球約有 2 至 3 千萬公頃土地屬於嚴重鹽害等級，另有 6 至 8 千萬公頃土地屬於輕微至中等鹽害等級；預估全球每年因此損失 100 億美金的農業產值，而其中約有 3 至 5 百萬公頃的土地，被建議在未來 25 年應提供底層排水設施以進行土壤改良。

在印度全境約有 6.74 百萬公頃遭受鹽害影響的土地，其中 2 百萬公頃是位於西北省分的乾燥或半乾燥氣候區內，面臨積水且鹽害嚴重的土壤；另有 1 百萬公頃位於海岸地區，是歸類為具有膨脹土性質的土壤；預計到了 2025 年，可能有 1 千 3 百萬公頃土地因灌溉劣質水，而產生鹽類累積的危害。

在部份印度省分中，使用劣質地下水灌溉的比例約介於 32%至 84%之間；而在這些灌溉用劣質水當中，屬於高鹽含量(Saline water)水源者，約佔全體的 20%；屬於高鈉含量(Sodic water)水源者，約佔全體的 37%；鹽含量高且鈉含量亦高者(Saline-sodic water)，約佔全體的 43%。

## 2. 底層（暗管）排水

因鹽類累積可能導致的土壤化學性質改變與土壤物理構造破壞，因此若以高鹽或高鈉含量劣質水灌溉，則須藉由有效的排水管理，將鹽分與積水移除，避免因積水引起鹽類累積；另外也需要注意排水管路的設計，藉此最小化對於環境的傷害。

橫向底層排水與垂直管井排水之間的差異，包括：垂直管井排水可能造成更多的地下水位下降，相較於橫向底層排水需要額外抽取較多的地下水；橫向底層排水的積水移動距離較垂直管井排水短，且大部分是經由較淺、鹽分較低的土層；橫向底層排水移除鹽類總量隨時間增加，而垂直管井排水則相反。

以暗管排水整治每公頃鹽害土壤的效益分析如後：土地開發 5,000 盧比、排水管材 25,000 盧比、系統設置勞力支出 20,000 盧比、排水棄置或處理費用 5,000 盧比，每公頃總花費 55,000 盧比；收益成本比為 1.46，內部收益率為 13%，投資回收期為 5 年（以上為 2010-2011 年物價水準）。

印度自 1980 年代開始在鹽害地區設置暗管排水系統，至今約有 40,000 公頃的區域受益，包括：Haryana 省 8,800 公頃、Rajasthan 省 16,500 公頃、Maharashtra 省 2,500 公頃、Karnataka 省 1,200 公頃、西南 Punjab 省 500 公頃（另有 2,000 公頃與排水管路連接）。

印度鹽害地區建議暗管埋設深度與間距如下表(Ritzema et al., 2008)：

氣候與農業區	深度(m)	間距(m)
Andhra Pradesh 省半乾燥海岸平原農業區	1.4	10-15
Haryana 省半乾燥跨恆河平原農業區	1.4-1.75	60-100
Kerala 省潮濕海岸平原農業區	1.0	30
Gujarat 省半乾燥農業區	1.0	20-40
Rajasthan 省乾燥內陸農業區	1.0-1.5	30-60
西 Bengal 省半潮濕低恆河平原農業區	1.75	15-45

鹽害地區設置暗管排水前後作物產量變化如下表：

省分	作物	作物產量(t/ha)		
		排水前	排水後	增加(%)
Haryana	棉花	0.0	1.4-1.8	-
	小麥	0.0-3.1	1.9-4.9	18-112
	大麥	0.0	2.1-4.2	-
	水稻	1.4	1.7	21
	珍珠粟	0.88	1.23	39
Andhra-Pradesh	水稻	3.6-3.7	5.2-5.6	45-50
Gujarat	甘蔗	78-104	105-140	35
Karnataka	水稻	1.4-4.0	3.7-8.4	98-340
	棉花	3.3	10.4	215
	向日葵	3.0	7.4	146
	高粱	6.8	11.6	70
	小麥	4.0	6.7	68

## 課程主題：地下水補注管井－前瞻與問題(Groundwater recharge tubewells- prospects and problems)

演講者或組織：S. K. Kamra (CSSRI)

### 翻譯與摘要：

#### 1. 背景說明

與地下水相關的環境議題，包括：長期抽取所導致的地下水位下降、以含鹽量高地下水灌溉造成土壤鹽化、人為或地質因素造成的下水污染等。

Haryana 省 (CSSRI 所在) 土壤依鹽害等級分為五類，包括：A 級 (良好) – EC 值 <2 dS/m、SAR 值 <10；B 級 (一般) – EC 值 2-4 dS/m、SAR 值 <10；C 級 (鹼土) – EC 值 <4 dS/m、SAR 值 >10；D 級 (鹽土) – EC 值 4-8 dS/m、SAR 值 <10；E 級 (鹽鹼土) – EC 值 >4 dS/m、SAR 值 >10。

Haryana 省不同縣市的地下水位深度 (距地面)，從 17.5 至 48.7 公尺不等；從 1974 年至 2012 年，平均每年地下水位下降 35 至 79 公分。總體來說，印度每年利用地面水 150 km<sup>3</sup>、地下水 220 km<sup>3</sup> 水量，但降雨等天然補注卻僅有使用量的 4-10%，因此有必要進行人工補注，以維持地下水位與灌溉水源。

#### 2. 地下水補注簡介

地下水補注設施包括：挖鑿管井、並於其中鋪設不同孔徑的過濾材質，開設橫向大排水溝 (可能與既有灌溉排水渠道或河川連接)、底部鋪設不同孔徑的過濾材質，或在橫向大排水溝中加設矩形堰、或與垂直管井結合 (排水溝每隔一段距離設置一個管井)，來增強地下水補注的成效。

印度雨季降雨可能在低窪地區或無效的排水設施附近造成大面積積水，除了造成農業機具操作困難外，也可能因為鹽類的累積影響作物產量；此時小型地下水補注設施便可發揮效用，一方面協助表面積水排除，一方面把水引導回地下水層，因為降雨本身含鹽量極低，亦可協助改善地下水鹽化的問題。

管井的各項參數說明如下：上部為鋪設不同孔徑的過濾床，長寬約 1.65 公尺，深度約至地表下 1.8 公尺，鋪設材質由上至下依序為一粗砂 (粒徑 0.5-1.0 公厘)、小石礫 (粒徑 1.0-1.2 公分)、圓石 (粒徑 10-12 公分)；下部為深入地下水層的管路，中心可能是內徑 12.5 公分、周圍開有縫隙的 PVC 管，或是內徑 15 公分的 PVC 暗管，從接近地表處穿過上層過濾床，再從過濾床底向下延伸至地下水層 (不同地點的管井深度可能不同)。

#### 3. 地下水補注成效評估

比較不同試驗地點的地下水補注管井排水情況，估計表面逕流原水濁度在 5-10 NTU (散射比濁測定法之濁度單位) 時，所設置的管井可有效解決排水不良的問題，若原水濁度增加，則建議調整過濾床鋪設材質孔徑，不然積水排除時間將比預期延長。

2009 年 Haryana 省兩處地下水補注設施的水文與經濟衝擊分析：逕流面積 12、20 公頃，逕流體積 12,480、20,800 立方公尺，投資成本 (補注每立方公尺至地下水層中的花費) 3.5、2.1 盧比，因排水而恢復耕作的稻田比例 25%、30%，耕作增加的收入 24,500、58,800 盧比；地下水補注速率 – 每週 2,500 至 3,500 立方公尺 (約每秒 4 至 6 公升)，地下水面抬升 0.6 至 3.3 公尺，減少的地下水

鹽類含量 0.2 至 2.4 dS/m。

2009 年在 Gujarat 省兩處地下水補注設施的成效分析：在香蕉、木瓜、大豆與芒果田，因排水改善每公頃增加的收益分別為 75,000、50,000、14,000、33,250 盧比。2009 年在 U.P. 省，因地下水補注也使水中氟離子濃度由 2.5 ppm 下降至 0.6 ppm。

#### **4. 前瞻計畫**

印度政府預計投入 13 億盧比的經費，在北部 Muzaffarnagar 地區的排水渠道中，每隔 2 公里設置 1 至 1.5 公尺高的節流壩(Check dam)，並在 Hindon 河道興建 1 公尺高的節流壩，在雨季時關上、集水作為地下水補注的水源，並在冬季或夏季開啟，讓鹽含量較高的廢水流出。

與鄰近節流壩相連的補注管井各項參數：離河道 15 至 30 公尺，連接河道與補注管井的 PVC 管直徑為 4 吋，中間可能再設置有水閘門與沉降池（深度 2 公尺、補注管井入水口深 1 公尺）；過濾床長寬各 3 公尺，鋪設材質由上至下依序為一粗砂(0.7-1.0 mm)、小石礫(6-12 mm)、圓石(20-40 mm)，中心為直徑 22.5 公分、開有槽孔的 PVC 管，深入地下 30 至 50 公尺，外圍填充 1.5 至 2 公分的石頭。

## 課程主題：節約、保護型農業(Conservation Agriculture)

演講者或組織：H. S. Jat (International Maize and Wheat Improvement Centre, CIMMYT)

### 翻譯與摘要：

#### 1. 背景說明

人口成長與收入提升等因素，導致未來全球糧食需求增加，預計 2030 年的稻米、棉花、小麥、玉米需求量，比 2000 年分別增加了 28%、102%、40%、76%；而土壤品質劣化，化石能源與水資源的可利用性減少，或是氣候變遷與氣候異常等，則是加劇了全球糧食增產的困難度。亞洲人口佔全球人口 50% 以上，卻僅有全球陸地面積的 1/3；具有多樣的氣候與生態，不同的土壤性質與耕作系統，集約式農業與灌溉系統，面臨農業勞動力減少與人口老化的問題。在印度恆河平原 (Indo-Gangetic Plain, IGP) 的水稻小麥輪作系統，存在下列幾項主要問題：超抽地下水、地下水位下降、增加能源成本與地下水質劣化，土壤有機質含量下降、主要與微量養分缺乏，灌溉水質汙染或鹽化，雜草、害蟲產生抗藥性、控制困難，作物殘體焚燒等問題。

#### 2. 永續與保護性農業

判別農業系統能否永續發展的三項主要指標，包括：是否發生土壤沖蝕、土壤有機物質是否減少、是否發生土壤鹽化。無法永續發展的主要因素包括—不適當的土壤耕犁管理（土壤構造破壞、土壤壓實、土壤表面密封或結殼、通氣與排水性降低）、未將作物殘體或有機物質施回農田、僅種植單一作物。其他可能影響農業永續性的因素包括：氣候變遷、農業勞動力減少、可利用水資源降低、農田面積減少與集約化利用、有限的無機肥料供應（除氮以外）。

從不永續到永續農業，須要改變的三項管理方針為：減少土壤擾動（最小化耕犁或不耕犁）、合理的土壤覆蓋（作物殘體歸田）、由單一作物連作改為多種作物輪作（增加作物多樣性）；而符合以上三項管理方針的農業生產模式，即稱為保護性農業(Conservation Agriculture)。保護性農業最早由英國於 1940 年代提出，1960 年代美國出現不耕犁的生產管理，而在 1970 年代巴拉刈等除草劑則加速了不耕犁的發展。

保護性農業分佈在各種環境與氣候區中：從赤道（肯亞、烏干達）至南緯 50 度（阿根廷）或北緯 65 度（芬蘭），從平原至 3000 公尺以上（波利維亞）、土壤性質從 90% 砂粒（澳洲）至 85% 黏粒（巴西），降雨量從 250 公厘（西澳）至 2000 或 3000 公厘（巴西、智利）。至 2011 年全球約有 124 百萬公頃歸類為保護性農業（單純不耕犁者為 150 百萬公頃）；在印度則有約 2 百萬公頃的保護性農業。

在巴西 20 年期(1977-1998)的長期試驗中，減少施用化學肥料 30% 和 50% 的玉米及大豆田，產量分別由每公頃 4 與 2.2 公噸上升至 8 與 3.6 公噸。在巴拉圭 20 年期的長期試驗中，在砂質土壤的傳統耕犁操作農田，棉花、玉米、豆類與花生的產量分別減少了 42 至 54%。由以上的研究可以發現，保護型農業雖然標榜低耗能、低投入，但在作物的表現上，不會比傳統農業生產管理得到的產量低。

在開發中國家推廣保護型農業，所面臨到的三項主要挑戰包括：一、缺乏適合的種子直播機（尤其是中小型農田）；二、作物殘體或其他有機物質無法回歸



農田（當作飼料、燃料、造紙原料或直接焚燒）；三、改變根深蒂固的傳統農耕管理概念（通常農民比研究人員更容易接受新觀念）。

### 3. 農業機械

農業機械的改良是保護性農業得以推廣或發展的重要助力，包括：雷射精準整平機、種子直播機（適用多種作物且重量減輕）、大間距拖曳機、適用小型農地的改良農業機械等。印度的零耕犁農業機械發展可追溯自 1990 年代，原型機都是針對多種作物與多重管理目的發展，並適用於完全殘體覆蓋的農田。

### 4. 殘體歸田

在仰賴雨水的耕作系統中，作物產量與其殘體經常不足以達到維持土壤有機物質的需求；而在具有灌溉設施的耕作系統中，卻經常產生太多的殘體可能妨礙後續的種植管理。兩種不同的解決方法包括：針對前者可以從畜牧部門的有機殘體作補充；後者則可適度將殘體移作他用或發展合適的農業機械。

### 5. 改變觀念

分析印度保護型農業相關技術，操作農機或改良管理所生的淨收益，每公頃介於 100 至 2,500 美元。而就雷射整平技術的經濟效益分析，每台農機提供每年 350 人日的直接就業機會，另外還有製造、運輸、服務等間接就業效應；以水稻小麥的輪作系統來說，每年產生 60 萬公噸穀粒，年產值約 1,200 萬美元；因耕犁管理改變而節省的能源支出，一年約 2,500 萬美元；節水效益每年則為 2.2 立方公里；其他包括溫室氣體排放減量、減少肥料使用與政府補助等。

## 課程主題：農業節能措施(Energy Conservation in Agriculture)

演講者或組織：Petroleum Conservation Research Association (PCRA)

### 翻譯與摘要：

#### 1. 組織簡介

1973 年第四次中東戰爭爆發，石油輸出國組織為了打擊以色列與支持以色列的國家，宣布石油禁運，導致第一次全球石油危機的發生。為了因應石油價格上升與進口困難，印度石油公司、全國生產委員會、技術發展局的工程師，針對工業與公路運輸潛在的節能措施進行評估，推測應有 20 至 30% 的節能空間（各部門潛在的節能空間分別為：運輸－20%、家用－20%、工業－25%、農業－25%、商業－25%）。於 1976 年 1 月 6 日，印度政府成立石油節約行動小組(Petroleum Conservation Action Group, PCAG)，至 1978 年 8 月 10 日，改組為石油節約研究機構(PCRA)。

#### 2. 農業發展預測與衝擊

全球人口增加與開發中國家國民收入成長，對於糧食的需求將逐步增加，同時也反應在糧食的價格層面；小麥和稻米的產量提升，預估將可滿足未來的需求，價格將自近期高點微降；畜牧飼料的需求，與開發中國家對畜產品的需求趨勢相同，均將逐步上升；植物油、乳製品與糖類的需求與價格均會上升。

在印度農業生產成本（諸如肥料、柴油、電力與農藥等）近五六年來以緩慢速率上升，但是政府對於油料或肥料補助的減少，以及相關資材進口價格的上升，卻是以較大的幅度影響生產成本與利潤。同時勞動力與工資的成長，在過去五年成長了兩倍，若產量與收益未能相對應提升，將造成經營的壓力。

農業部門產值佔全國 GDP 的比例，預計由 2000 年的 22.5% 下降至 2020 年的 7.5%，主要是由於非農業部門的快速成長與獲利所導致。目前將近有一半的印度勞動人口從事農業生產，**農業也是低收入、貧窮或弱勢族群糧食與收入的主要來源。**

有鑑於印度是全世界擁有最多貧窮與營養不良人口的國家，積極提升作物產量與糧食供給，確保農業、與農業相關的工業和服務業穩定成長，透過就業和所得提生逐步達成減少貧窮和營養不良的人數，將是未來印度發展最重要的課題。

農業的成長可以透過提升生產力、投資灌排設備、農村基礎建設、針對農業或加工以及水、肥利用效率提升的研發來達成。目前印度農業有商業化與多元化經營的趨勢，包括禽畜飼養、水產養殖、園藝花卉等，都仰賴現代化設備與相關農業機械的使用，而這也意味著能源使用與節約浪費的可能性。

#### 3. 農業部門節能空間

印度的石油資源有限，將近 80% 是透過進口來滿足國內石油需求，每年外匯支出約 5.25 兆盧比，而政府亦提供高額的石油補助；在國際市場的原油價格不確定性很高，而印度盧比對外幣的匯率也經常在變動。柴油的終端使用大致可分為運輸與非運輸用途，前者包括私人或商用汽車、休旅車、三輪客貨車、重型與輕型貨車、巴士、火車及空海運等；後者包括發電、工業、工程及農業用油等，其中農用曳引機與抽水馬達約佔整體柴油消耗的 13%。印度農用柴油可再細分為

曳引機使用(56.7%)、抽水設備使用(24.33%)與耕犁收穫等農機使用(23.07%)。

柴油佔農業部門能源消耗的比例，從 1980-81 年的 1.55% 上升至 2012-13 年的 23.6%，而能源支出佔各種作物生產成本的 48%-68%，預測未來十年農業用油的需求將隨 GDP 一同成長。2013 年印度曳引機或耕犁機數量約為 450 萬台，柴油抽水馬達約有 1800 萬部。每公頃農業能源消耗為日本的 3.7 倍，美國的 1.55 倍，亞洲平均數值的 1.47 倍，世界平均數值的 1.55 倍，說明農業部門節能仍有很大的成長空間。

#### 4. 相關節能與節約技術

農場**儲油槽**可能因揮發或洩漏而損失可觀的能源，以下方法可以減少或避免油料損失：保持儲油槽外部完整；以白色或銀色塗料上漆，減少日照引起的溫度上升與揮發；使用具有壓力調節閥的設備；無人看管的油槽上鎖；定期檢查管路連接處、閥門密合處與噴嘴是否洩漏。儲油槽洩漏可能污染地下水。

一般農用**柴油車輛**能源效率提升的方法，包括：最小化怠速時間（一般 75 馬力的柴油貨車，一天怠速 10 分鐘、一年約 61 小時，耗費油料 117 公升）；避免快速啟動；定期維護檢查（火星塞汙損或閥門拉桿卡住可能增加 10-15% 的油耗，空氣過濾片阻塞可能導致額外 20% 的油耗）；確保油槽閥門密合；減少載具不必要的重量；保持合適胎壓（每平方英寸降低 6 磅的壓力，增加油耗 3%）；輪胎對齊與平衡；升級為省油的機型。

在操作**曳引機**時的一些注意事項，包括：選擇與作業面積匹配的機型設備，在小面積農田越小越輕的農業機械越省油；避免不必要的往返（使用手機或無線電聯繫和回報），並以最小路徑完成作業面積操作；以原廠建議的速率行進；調整適當的負重，避免過重與過輕（輪胎滑移可能增加油耗）。

關於**抽水設備**節能的**操作建議**如下：遵照使用說明操作抽水馬達並定期維護；使用認證的寬口閥門；使用大口徑輸水管，以降低摩擦與能源損耗；使用聚氯乙烯管 (Polyvinylchloride, PVC) 或高密度聚乙烯管 (High Density Polyethylene Pipe, HDPE)，避免使用鍍鋅鐵管 (Galvanized Iron, GI)，可減降低摩擦與能源損耗；減少輸水管路的轉彎數量；埋設管路盡可能接近地下水面，或抽水口距離水源不超過 3 公尺。

# 課程主題：印度農業資源與糧食安全概述 (Resources and liabilities)

演講者或組織：CSSRI

## 翻譯與摘要：

### 1. 前言

印度淡水資源佔全球約 4.6%，陸地面積佔全球約 2.3%，卻佔了全世界人口的 17.2%；全年降雨平均為 1170 mm，分為農業、家庭、工業、發電、環境生態與自然蒸發等用途，其中以農業灌溉用水為大宗。預計到了 2050 年，印度人口將由目前的 12 億人增至 16 億人，對糧食的需求將由目前的 235 兆公噸增為 377 兆公噸，但是耕地面積卻僅由現在的 143 百萬公頃，微幅增加至 145 百萬公頃；因此有必要提高單位面積產量，以滿足人口增長所需的糧食。

### 2. 圖表

包括：非洲、亞太與澳洲、歐洲、拉美、中東、北美鹽害土壤分佈面積；印度鹽土、鹼土、酸土的化學性質與圖示；印度 15 個省分的鹽土、鹼土與鹽害面積總和；印度全境鹽鹼土地地理空間分佈圖；印度鹽鹼土與劣質水相關統計數據；印度溝渠、傳輸與灌溉因洩漏與蒸發所損失百分比；灌溉系統重建工程示意圖；磷酸工業製程與可用作土壤改良的副產品磷石膏簡介；田間試驗施用磷石膏的稻麥產量與不同地點結果；透過植物殘體在土壤表面覆蓋，減少的水分逸散（節水百分比）、雜草控制與不同作物產量增加百分比；在鹽鹼土種植果樹或香氣作物的改變土地利用實例；水稻直播與不耕犁，對產量、土壤有機碳、物理化學性質與操作成本分析簡介；鹽土積水管理與對作物產量、耕地面積、就業機會的影響；鹽害地區導入耐鹽品系作物簡介；海岸地區土壤改良與深溝、多元種植經營管理；暗管排水改良鹽害土壤示意圖；鹽、鹼土積水管理；多元種植經營管理成本效益分析；不同作物水利用效率、灌溉需要量與需水生理階段；以劣質水、淡水或不同深度灌溉對小麥產量的影響；不同灌溉管理對水稻產量的影響；不同地點作物產量對灌溉水管理的迴歸分析式。

### 3. 小結

透過相關技術研發與轉移，印度土壤整治行業已被建立。至今已有約 2 百萬公頃的鹼土被整治完成（每年整治約 5 萬 5 千公頃土地）；每年額外增加 15 至 16 百萬公噸的水稻或小麥產量；每年農業產值額外增加 152 億盧比；每年的農業部門亦增加 8 千 3 百萬日就就業機會。

課程主題：使用現代工具強化鹽害環境作物生產力(Use of modern tools for enhancing crop productivity in irrigated saline environments)

演講者或組織：D.S. Bundela (CSSRI)

翻譯與摘要：

## 1.內文

印度灌溉渠道發展歷史：1870年以前，渠道用作打獵或取水；1871年至1950年，開始增設灌溉渠道或蓄水池；1951年至1965年，密集設置灌溉渠道；1966年至1998年，改為設置地下水井；1999年至今，調整地下水使用，或與灌溉渠道合併使用。

渠道供水與灌溉的特性包括：技術層面－灌溉權利或義務、灌溉強度與容量因子；組織層面－較低的管理強度、由上而下的組織架構、水權分配機構；社會經濟層面－平等性、單位灌溉水量可產生的最大產量、可增加作物產量與農民收入。

印度渠道灌溉的特性或問題包括：灌溉水路由公眾組織管理；作物灌溉需求在冬季開始增加，但渠道水源供應在非雨季卻減少；因灌溉而使乾燥地區或季節的作物產量增加，但鮮少農民注意到水分管理與鹽類平衡的問題；一段時間過去，作物產量因土壤鹽類累積兩積水問題而開始下降。

因灌溉引起的鹽類累積，與簡易計算結果說明如後：種植小麥施用 40 cm 高的渠道水，假設每公升水中有 130 mg 鹽類，則每公頃農田總投入鹽類為 520 kg；種植水稻時以同樣的渠道水灌溉，施用 100 cm 高，則每公頃農田總投入鹽類為 1300 kg；若以上為稻麥輪作系統，則一年每公頃增加 1820 kg 的鹽類。

為何需要使用現代工具：傳統田野調查的資料蒐集或操作方式較為困難，耗時費力，且採樣頻率低而每次採樣間隔不一致；現代工具提供大範圍蒐集資料的機會，並且有能力監測農業或環境灌溉渠道中，因計畫改變所引起的水分傳輸差異。

相關的現代工具包括：資料蒐集－總測站儀、全球定位系統(GPS)、遙測(RS)相關技術等；資料說明－地理資訊系統(GIS)軟體；作物生長或水分傳輸模式－CROPWAT、AQUACROP；決策支持系統－DSS 模式等。資訊系統與決策輔助工具包括：事務或資料處理系統(TPS/DPS)→辦公自動化系統(OAS)→資訊管理系統(MIS)→知識或技術輔助系統(KSS)→決策輔助系統(DSS)→專家系統(ES)→執行輔助系統(EIS/ESS)。

## 2.圖表

包含：全世界灌溉面積與穀物生產力排行的前十名國家（前者依序為：印度→中國→美國→巴基斯坦→伊朗→印尼→泰國→墨西哥→土耳其→孟加拉；後者依序為：美國→中國→印尼→孟加拉→泰國→墨西哥→巴基斯坦→印度→伊朗→土耳其）；七個 AARDO 成員國（埃及、迦納、伊拉克、奈及利亞、斯里蘭卡、蘇丹、臺灣）的灌溉面積與穀物生產力列表；灌溉系統與其農業經濟影響圖示；印度主要河流流域圖示；印度灌溉渠道分佈圖；不同類型灌溉或儲水設施示意圖；印度跨河流或流域的連結渠道或水利設施計畫圖（2014 年預估計畫總共須投入

11.2 兆盧比)；印度各省分渠道灌溉面積與比例比例分佈圖；印度不同省分渠道管理制度差異；在不同灌溉情境下的水分損失率；印度渠道管理制度的轉變；印度鹽鹼土分類與化學性質；灌溉用地下水質分類；灌溉管理與決策輔助系統(DSS)之應用；決策輔助系統(DSS)之架構圖；發展灌溉系統與農業區塊的圖層地理資料庫；發展與應用決策輔助系統(DSS)程式；作物需水量模組；灌溉渠道與地下水供應量模組；作物對水分、鹽類與產量反應的模組；錶面水停留期間預測次模組；積水預測次模組；土壤鹽度與管理次模組，與其使用的作物相對產量迴歸方程式；小麥在不同鹽分條件下的相對產量評估；土壤鹼度與管理次模組與石膏需要量評估；含鹽量或含鈉量高的劣質水灌溉模組，與不同氣候農業區的劣質水 EC 值容許上限；缺水條件下的灌溉管理模組；最佳生產管理次模組；決策輔助系統(DSS)田間驗證、推廣講習、佈署與可行性評估；英文版與印度文版的決策輔助系統(DSS)與作物反應模組；決策輔助系統(DSS)強化作物生產力的決策變數與整體架構圖。

課程主題：鹽害土壤的碳循環與碳吸存(Carbon sequestration in salt affected soils under different agro-ecosystems)

演講者或組織：P. Dey (Indian Institute of Soil Science)

翻譯與摘要：

### 1. 背景說明

碳的重要性與相關議題包括：農業提升作物產量的關鍵（碳循環、光合作用與呼吸作用）；植物體約有 45%由碳組成，且與植物生長所需能量儲存與供給相關，和氮循環與水循環同是植物所須養分循環的主宰，亦提供相關生態系統服務（食物、飼料、纖維、肥料與燃料）；環境污染的指標之一；減緩溫室氣體排放；能源（化石燃料）的主要成分；清潔發展機制與碳交易可能增加農業部門收益；碳吸存是技術上可行的。

全球碳循環各個組成大小(Gt C)：海洋沉積物有 20,000,000、海水中 40,000、煤石油天然氣礦 10,000、土壤中 1,550、陸地生物相 700、大氣中 750。陸地生物相每年向大氣釋出與吸收之通量(Gt C/year)皆為 60、化石燃料向大氣釋出通量為 5.5、伐林或樹木死亡向大氣釋出通量為 1.6、海洋對大氣每年淨吸收通量為 2.0，綜合以上，大氣每年淨增加 5.1 Gt C，約略等於每年增加 1.5 ppm。

### 2. 土壤退化

土壤退化指土壤品質劣化與土壤生產力降低，通常與肥力等級、有機物質含量、土壤構造、鹽類與毒性化學物質的濃度改變有關。三種不同形式的土壤退化包括：**物理性**退化－土壤表面緻密或結殼、壓實或構造破壞、土壤沖蝕、沙漠化或紅土化；**化學性**退化－養分流失、土壤酸化、鹽鹼化或污染；**生物性**退化－土壤有機質含量減少、土壤生質碳減少，生物性或微生物性活動的減少或不平衡。

全球約有 1,964 百萬公頃土地受人為活動影響而退化，包括：1,643 百萬公頃的土壤沖蝕（強風或河水）、239 百萬公頃的化學性退化、68 百萬公頃的土壤壓實或構造破壞、11 百萬公頃為排水不良所導致。印度土壤退化相關影響：土壤沖蝕－每年損失 4,978 百萬公噸土壤，養分流失 0.23%至 3.64%；土壤鹽鹼化－約 7.8 百萬公頃面積，約有 50%渠道灌溉區受到鹽害影響；積水－估計因排水不良所導致農作物減產約 40%至 80%。

印度全境地理面積約為 329 百萬公頃，農村或都市建築面積約 65 百萬公頃，剩下的各種土地利用與土壤退化(括弧中為總面積)面積分別為：耕地－90(142)、森林－31(67)、永久休耕－24(24)、放牧－12(12)、未利用可耕地－16(16)、樹叢－0(3)。

### 3. 土壤碳吸存

碳吸存於土壤中的益處包括：減少大氣中二氧化碳濃度、增加作物產量、提供農民額外的收入（透過清潔發展機制或碳交易）。土壤有機碳影響土壤肥力與物理狀態；鹽害地區的土壤有機碳含量受到氣候、土地利用、耕作制度與土壤管理方式的影響。在乾燥與半乾燥氣候區，連續耕作、耕犁管理與殘體移除的操作，可能導致土壤有機碳減少。相較於一般土壤的有機碳含量(0.5%)，受鹽害影響(由其是鈉含量高的鹼土)者有機碳含量更低(0.1%)。一些可以增加土壤碳吸存的方式，如減少耕犁或整地、農林間作等；在鹽鹼地進行農林間作的長期試驗，土壤

有機碳增加 0.21%至 0.46%，pH 值下降 1 至 2。

#### **4. 保護性農業**

一般的耕犁措施可能改變土壤物理、化學與生物性質，並干擾自然的碳、氮、水循環進行。因此所謂的保護性農業(Conservation Agriculture)，主要是透過最小化土壤擾動、持續地覆蓋作物殘體、以及輪作與覆蓋作物多樣性，三種方式來達成增加土壤有機碳的目的。相關的環境保護措施包括：不耕犁、雷射整平技術、水稻種子直播、葉面色澤與氮肥施用推薦表、種植作物或輪作多樣性等。

#### **5. 其他補充**

不耕犁對環境的益處：節省水、勞力與能源的消耗，增加土壤有機碳含量，減少土壤壓實與構造破壞，增加肥料使用效率，減少土壤沖蝕。土壤碳吸存對環境的益處：增加土壤保水能力與水分使用效率，增加陽離子交換容量，減少土壤沖蝕，增加滲濾作用、減少逕流，增進土壤構造與孔隙度，減少肥料投入量，增加土壤緩衝容量，提升土壤生物活性與微生物歧異度，增進養分循環與儲存等。



課程主題：印度土壤整治經濟分析(Economic analysis of land reclamation in India)

演講者或組織：K. Thimmappa (CSSRI)

翻譯與摘要：

### 1. 背景說明

印度全境 16 個省分，被歸類為鹽土的面積有 1.7 百萬公頃，歸類為鹼土的約有 3.8 百萬公頃，因鄰近海岸而遭受鹽害者有 1.2 百萬公頃；合計土壤受到鹽類影響的面積，共有 6.7 百萬公頃。印度鹼土的分類有三：輕微—pH 值 8.5 至 9.0、ESP 值接近 15；中等—pH 值 9.1 至 9.8、ESP 值 15 至 40；嚴重—pH 值大於 9.8、ESP 值大於 40。印度因鹽害無法耕作或減產，一年損失約為 2,300 億盧比，其中五穀雜糧佔 50.08%、油籽 15.63%、豆科 8.3%、其他 25.99%。

印度農田持有面積分類與佔比：邊際—小於 1 公頃者佔 65%；小型—1 至 2 公頃者佔 18%；中型—2 至 10 公頃者佔 16%；大型—大於 10 公頃者佔 1%。農民主要面臨的問題包括：資本薄弱、難以進行相關設備投資，無法取得改良用資材（如石膏）、缺乏相關土壤改良知識、土壤整治花費高昂等。

### 2. 整治費用分析

在 2011 年的問卷調查中，當印度政府提供 90%補助時，有 96 位農民願意參加土壤改良計畫；補助比例降為 50%時，有 24 位農民有意願；補助降至 10%時，僅 9 位農民可以負擔；政府完全不補助時，剩 3 位農民可以自行出資，來進行相關的土壤改良或整治。

鹼土施用石膏進行土壤改良的花費，每公頃約從 5.2 萬到 7.5 萬盧比不等（視鹽害等級與土壤改良劑種類），整體花費平均為 6.6 萬盧比。考量物價與薪資水平上升等因素，土壤整治費用的增加（每年以 7-8%估算）到了 2044 年約為 2014 年基準的 8-10 倍。從 1979 年開始至 2014 年，鹼土改良約已達總面積的一半（63.8 萬公頃），預計到了 2044 年，印度 134.5 萬公頃的鹼土將可全部完成整治。

### 3. 整治前後農民收益分析

若將鹼土分成正常、輕微、中等、嚴重四個等級，整治前中等鹼土只能在雨季種植、冬季休耕，嚴重鹼土則是兩季都休耕無法栽種。整治前每公頃淨收益（盧比）：正常—5.9 萬；輕微—2 萬；中等—負 1.8 萬（入不敷出）。整治後每公頃淨收益：正常—6 萬；輕微—5.3 萬；中等—4.2 萬；嚴重—3.2 萬。

與 1979 年的基準相比，至 2013 年因鹼土整治而增加的糧食作物產量約為 4.58 百萬公噸，預測到了 2043 年總計將增加 8.65 百萬公噸的產量；因土壤改良而每年額外增加的農業就業機會，2013 年為 113 百萬人日，預測到了 2043 年將增加 213 百萬人日。

### 4. 其他經濟效益分析

與 1979 年的基準相比，因土壤改良成功，導致每年所增加的作物種子需求，至 2013 年為 4,194 百萬盧比，預測到了 2043 年將增加 7,923 百萬盧比；化學肥料

的需求量至 2013 年增加 5,230 百萬盧比，預測到了 2043 年將增加 9,879 百萬盧比。而農業部門產值將由全國產值的 2% 上升至 9%。殺蟲劑、種子、肥料、僱員與作物，佔農業產值貢獻比例分別為 1%、2%、3%、8%、86%；2013 年整治一公頃土地所增加的年收益為 24 萬盧比。

## 5. 結論

土壤整治技術在經濟效益上來說是可行的，且是鹽害地區農民脫貧的重要關鍵；由成功整治的案例進行分析，所增加的穀物產量與就業機會，將有助於提升農業部門的整體收益與農戶所得。目前土壤改良主要面臨的問題包括：農民資本薄弱、難以進行相關設備投資，無法取得改良用資材（如石膏）、缺乏相關土壤改良知識、土壤整治花費高昂等；因此建議印度政府繼續提供石膏等資材補助與改良技術，以利全國土壤改良的推廣，並確保糧食增產無虞。

課程主題：廢汙水整治與管理技術發展(Advances in management and remediation of wastewater)

演講者或組織：K. Lal (Water Technology Centre, IARI)

翻譯與摘要：

### 1. 廢水產生、特性與使用潛能

預測西元 2025 年時全球人口將達 80 億，其中 97% 分布在開發中國家。在印度不同部門未來 20 年水資源運用預測中，不論是農業灌溉、民生飲用、工業製程或能源發電等，各部門對水的需求量均隨人口成長而增加，但是水資源可利用量卻因氣候變遷與用途競爭而降低。其中，可供灌溉的淡水佔印度農業需水量比例，將由 1998 年的 83% 降至 2050 年的 67%；因此農業劣質水（含廢水）的使用將成為必然的趨勢。

在家庭與都市廢水 2010 年的統計數據，印度大都會、一級城市、二級城市分別有 35、463、410 個，每日產生廢水量為 15,644、19,914、2,697 百萬公升，廢水處理容量為 8,040、3,513、234 百萬公升，分別僅有 51%、18%、9% 的廢水經過妥善處理。而預測都市人口將由 2011 年的 3.77 億人增加為 2051 年的 10.93 億人，若以每人每日產生廢水量 121 公升推算，2051 年每日產生的家庭與都市廢水約為 132,000 百萬公升。

工業與能源部門廢水 2005 年的統計數據，每日產生總廢水量為 82,446 百萬公升，其中 68,977 百萬公升是熱能發電廠的冷卻水，其餘 13,469 百萬公升廢水分別由發電(24%)、造紙(14%)、工程(32%)、紡織(13%)、鋼鐵(8%)與其他(9%)等類別所產生。中、大型工廠與小型工廠產生廢水分別佔工業部門廢水的 62% 與 38%，僅有 21% 的印度工業廢水經過妥善處理；而小型電鍍工廠，則是主要的重金屬汙染來源。

全球使用廢水灌溉的面積約介於 500 至 2000 萬公頃，印度亦有 7.3 萬公頃農地使用未經處理廢水灌溉，其中 4 萬公頃是以河道中的廢汙水灌溉，由廢水灌溉支持的每年農業產值約 2.66 億盧比（約 1.3 億台幣）。2004 年的估算中，印度全國廢水每年可灌溉 150 萬公頃農地，支持 100 萬公噸作物產量，並提供 1.3 億人日的就業或受僱機會（2014 年估算為 250 萬公頃、170 萬公噸、2.2 億人日）。

印度首都特區德里面積 46,208 平方公里，農地面積約 46,100 公頃，其中 1,705 公頃是以廢水灌溉，主要作物包括：瓜類、茄子、番茄、甘藍、蘿蔔、菠菜、花椰菜、秋葵、香菜與飼料作物。另有 5,000 公頃廢水灌溉區種植園藝作物，由市場調查顯示，首都圈花卉或景觀作物販售利潤高於水產養殖與農糧作物。灌溉水的平均重金屬濃度 ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) 分別為：銅 0.16-0.20、鋅 0.02-0.11、鉛 0.26-0.60、鎘 0.02-0.03。

關於使用廢水進行農業灌溉的利弊得失分析：

**利益**—增加缺水農地作物產量、提高農戶收入、都市糧食供給、營養循環再利用、周年均可灌溉（不侷限於雨季）…等。

**危害**—與水相關的慢性疾病或傳染病（痢疾、傷寒、蛔蟲、鉤蟲、淋巴絲蟲、A 型肝炎等），與土壤、地下水品質惡化或汙染…等。

## 2. 對作物產量、環境品質與健康之影響

在糧食作物、農林間作、飼料作物與蔬菜作物等不同耕作系統的長期研究中，使用廢水灌溉（相較原先缺水狀態）增加的產量介於 14%至 28%之間；相較河水有較多的氮磷含量，可以較少水量、施肥量維持各系統與期作養分平衡；土壤酸鹼值無明顯變化，但導電度（鹽類含量指標）、有機物質含量、氮磷鉀的含量均上升；萵苣、薄荷、花椰菜、芹菜、菠菜、香菜、洋蔥、蘿蔔的鉛、鋅、鎘、鉻、鎳含量超過安全限量，銅則略低於標準值；6 個廢水灌溉地區的土壤分析數據，其中 2 個地區相較於河水灌溉對照組，重金屬累積情形顯著，其餘 4 個地區則無顯著差異，可能與廢水來源（家庭或工業）差異有關。

## 3. 管理策略

最佳管理操作(Best management practices, **BMPs**)包括：依廢水養分含量對施肥量作調整；抬升作物種植田畦土層高度，避免食用部位直接接觸廢水；灌溉以清水與廢水混合，或改用滴灌方式；採收前勿以廢水灌溉；從離地 10 公分以上高度採收；採收後以清水洗淨；改種非食用園藝作物（花卉或草皮等）；農林間作或改變土地利用方式。

## 4. 整治技術

傳統廢水處理方法包括：化學沉降、離子交換、電解回收、溶劑萃取流體透膜分離；其他整治方法則有：植生復育、重建溼地系統、微生物整治、生物材質吸附等。**植生復育**的植物品種包括：*Alyssum bertolonii*、*Arabidopsis halleri*、*Arabidopsis thaliana*、*Astragalus bisulcatus*、*Astragalus racemosus*、*Brassica oleracea*、*Corydalis pterygopetala*、*Haumaniastrum robertii*、*Helianthus annuus*、*Hemidesmus indicus*、*Ipomea alpina*、*Sebertia acuminata*、*Sonchus asper*、*Stackhousia tryonii*、*Thlaspi caerulescens*、*Thlaspi goesingens*。用於微生物整治的菌種則有：*Aspergillus niger*、*Bacillus spp.*、*Chlorella vulgaris*、*Cotrobacter spp.*、*Rhizopus arrizhus*、*Zooglea spp.*。天然物或**農業廢棄物**用於生物吸附者有：稻殼、黑豆殼、可可豆殼、活性碳化椰殼、茶渣、蛋殼、蟹殼、向日葵莖、數種鋸木屑等。

## 5. 政策建議

工業部門應減量用水，並加強廢水與化學藥劑的回收再利用，並落實重金屬與有機污染的源頭管制，避免工業與家庭廢水混流；獎勵各地方研發與設立有效、且（農民）可負擔的廢水處理再利用系統，保留作物所需養分，並移除病原菌與污染物；定期監測廢水、地下水品質與土壤的健康狀態；在使用廢水灌溉地區，提供農民可行的農藝管理方式與推薦種植作物；在污染高風險地區以非食用園藝作物取代糧食作物；提供農民與使用廢水居民定期健康檢查。

## 6. 未來研究

評估植物根部或微生物產生的有機分泌物、質子傳輸，或其他人為添加的鉍合劑、金屬還原劑等，增加重金屬溶解度（有效性）而促進植生復育的效果；瞭解微生物整治的分子過程與錯合行為；利用基因工程結合超累積性狀與高生質量特性，提供更有效的植生復育成果；提供因地制宜的最適管理方針，以降低廢水灌溉產生的病原傳播或污染威脅；尋覓生物吸附重金屬材質的安全處置方式，將農業廢棄物轉化為高附加價值商品，並建立適宜的商業模式。

## 課程主題：重金屬污染廢水的微生物整治技術 (Microbial remediation of heavy metals contaminated wastewater)

演講者或組織：P. K. Joshi (CSSRI)

### 翻譯與摘要：

#### 1. 簡介

工業部門與都市家庭均是廢水產生的主要來源，廢水中可能含有重金屬如鉛、鉻、鎘、鎳等；傳統的廢水處理方法花費較為昂貴，且不一定能將廢水中的重金屬移除至所欲達到的安全標準；而使用細菌、藻類或真菌作為污染物吸附劑的生物方法，成本相對低廉且對環境生態較為友善。

#### 2. 圖表

包括：Haryana 省 36 個不同地點工業廢水或污泥中的鎘、鉛、鎳重金屬濃度；*Trichoderma fasciculatum*、*T. longibrachiatum*、*P. chrysosporium* 菌種在 25、50、75 ppm 鉛、鎘、鎳或鉻介質中的生長情況；六種真菌(*A. niger*、*A. terreus*、*T. longibrachiatum*、*T. fasciculatum*、*A. awamori*、*Phanerochaete*) 在不同介質濃度對於鉛、鎘、鎳、鉻、鋅、銅的吸收能力；*A. terreus* 菌在不同濃度重金屬介質中的生長情形；菌種 (*T. fasciculatum*、*T. longibrachiatum*、*P. chrysosporium*、*B. cereus*、*B. sp.*、*BS18*、*NI16*) 在不同介質 pH 值對重金屬鉛、鎘、鎳移除能力的差異；*T. longibrachiatum*、*T. fasciculatum*、*B. cereus*、*B. sp.* 對不同組合的鉛、鎘、鎳移除能力評估；掃描式電子顯微鏡對 *T. fasciculatum* 菌對鎘存在與否的形態差異觀察；以 FTIR 對 *T. longibrachiatum* 與鉛、鎘、鎳作用的官能機進行分析；農業廢棄物對不同菌種與其重金屬移除能力差異之評估。

#### 3. 結論

工業放流水與污泥中，經常含有高濃度的重金屬污染物。研究顯示，*Trichoderma fasciculatum*、*T. longibrachiatum*、*A. terreus* 三個菌種，在液體介質濃度為 60 ppm 時，分別移除大量的鉛、鎘、鎳；*A. terreus* 與 *P. chrysosporium* 兩個菌種，則是在 40-60 ppm 時，移除大量的鉻、鋅、銅。真菌與細菌移除重金屬的最適介質酸鹼值介於 pH 5 與 pH 7 之間；*Trichoderma fasciculatum*、*T. longibrachiatum*、*B. cereus* 與 *B. sp.* 等菌種，若以不同方式組合時，對於鉛、鎘、鎳有顯著移除效果；FTIR 分析顯示，若存在重金屬時，*T. longibrachiatum* 的官能機（如：-NH、-OH、-CH、C=O 等）會與鉛、鎘、鎳形成鍵結。農業廢棄物（如稻殼、稻稈、糞尿等）的使用有助於微生物生長與去除重金屬能力。

課程主題：廢水水質檢驗與分析(Examination of water and wastewater)

演講者或組織：M. Choudhary (CSSRI)

翻譯與摘要：

## 1. 微生物分析

環境微生物若以能否利用乳糖（藉由醱酵作用獲取所需能量）為標準，可以分為乳糖醱酵菌(Lac+)或非乳糖醱酵菌(Lac-)；前者如大腸桿菌、腸桿菌屬與克雷伯氏菌屬，會產生酸並降低培養介質的 pH 值，並形成有顏色的菌落，添加膽鹽時會在菌落週遭形成沉澱，使之變得模糊；後者如沙門氏菌、變形桿菌、鼠疫桿菌、綠膿桿菌、痢疾桿菌等，無法利用乳糖而以蛋白胨(peptone)作為能量來源，代謝過程產生氨、使培養介質的 pH 值上升，菌落白色或無色。

大腸桿菌(*Escherichia coli*, *E. coli*)是許多不同特性的細菌通稱，大部分品種不會使人致病，但少數可能讓人有腹瀉、尿道感染、呼吸道疾病或肺炎等症狀；部分類別的大腸桿菌可以作為水質的標準—若飲水中出現此類大腸桿菌，則代表水源可能受到汙染。大腸桿菌屬於革蘭氏陰性菌，桿狀且無色素，具有鞭毛與纖毛，會分泌外毒素；可能存在牛隻或人類的腸道，也可能存在於土壤或水源中。

檢測水質樣本中大腸桿菌群(Coliform group)的方法，有多管醱酵法、濾膜法、存在測試與酵素呈色及螢光反應檢測法。

**多管醱酵法**：假定測試—將 10、1、0.1 毫升的水樣，接種至含有乳糖或月桂酸胰化蛋白(Lauryl tryptose)的試管中，在 35°C 培養 24 小時；確認測試—若管中有氣體產生，則將該水樣塗抹於紅甲烯藍或 Endo 培養基上；完成測試—培養基出現菌落後，以革蘭氏染色法作確認。

**濾膜法**：水體樣本通過 0.45  $\mu\text{m}$  的濾膜，然後塗抹於 Endo 培養基上，以 35°C 溫度培養 24 小時。

**存在測試**：100 毫升的水樣加入含有乳糖或月桂酸胰化蛋白的基質中，並添加溴甲酚紫指示劑，若出現黃色表示可能存在，須進一步的確認。

**酵素呈色及螢光反應**：培養基含有 ONPG (Ortho-nitrophenyl- $\beta$ -D-galactopyranoside)，和 MUG (4-methylumbelliferyl- $\beta$ -D-glucuronide)。若存在大腸桿菌群細菌，會分解 ONPG 並形成黃色；若存在大腸桿菌，則除了分解 ONPG 外，也會分解 MUG，以紫外線照射下會產生螢光。

## 2. 生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand, BOD)

生化需氧量表示水中需氧生物，在特定溫度與一定時間內，分解水中有機物質的過程中，所需要耗費的溶氧量；通常用來檢驗廢水、放流水、汙染水體的水質，評估廢水處理廠的汙水負載程度，以及類似水質處理系統對移除水中有機物質的效率。

水質樣本的採樣注意事項，包括：必須具有代表性、可以單點（單次）或多點（多次）採樣、保存於 4°C 以下（但不可結冰）、48 小時內開始 BOD 分析。

以 **Winkler 法** 分析溶氧量：

(1)所需試劑－硫酸錳溶液、氫氧化鈉－碘化鉀－疊氮化鈉混合溶液、濃硫酸、澱粉溶液、硫代硫酸鈉。

(2)實驗步驟－將待測水樣填滿 300 毫升的玻璃瓶並把上蓋（或塞子）闔上；以校正過定量吸管吸取 2 毫升硫酸錳溶液，並將吸管間端沒入水面下再添加（避免接觸空氣），小心擠壓定量吸管（使之不產生氣泡）；以相同方式添加氫氧化鈉－碘化鉀－疊氮化鈉混合溶液；闔上蓋子使水樣與試劑在不接觸空氣的情況下，上下倒置混合數次，若出現氣泡則棄置並再重新配置；若水中有溶氧存在，則溶液將呈現棕橘色的沉澱或絮狀物，若然，則將瓶子上下倒置翻轉數次，讓絮狀物反覆沉降至瓶底；以定量吸管吸取 2 毫升濃硫酸溶液，並自液面上添加，闔上蓋子翻轉瓶子數次，絮狀物將重新溶解消失，此時水樣可在低溫黑暗的條件下保存至多 8 小時（建議蓋子附上橡膠圈密封、並以蒸餾水清洗後封口、外部再以鋁箔包覆）；取 201 毫升處理過的試液（約略等於 200 毫升原始水樣）加入三角瓶中，若試液呈紅棕色，則以 0.025 N 硫代硫酸鈉溶液滴定至淺黃色，記錄滴定體積，加入少量澱粉指示劑，若無藍色生成，則溶液中已無氧氣；若仍有藍色，則再以 0.025 N 硫代硫酸鈉溶液或 0.025 N 氧化苯砷(Phenyl Arsine Oxide, PAO)滴定至藍色消失，紀錄總共所使用的硫代硫酸鈉體積。

### 3.化學需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD)

與生化需氧量測試相同，用來評估水中有機物氧化成二氧化碳和水的過程；與 BOD 測試不同的，是不使用水中溶氧，而以所添加的重鉻酸鉀化學式中的氧，來氧化水中有機物；當重鉻酸鉀與有機物反應完成，就算產生 3 價的鉻離子 Cr(III)，可由 3 價鉻、重鉻酸鉀與有機物的計量關係作推算。

所需試劑包括：0.025 N 重鉻酸鉀標準液、0.025 M 硫酸亞鐵銨（摩爾鹽）標準液、硫酸汞粉末、硫酸銀粉末、Ferrouin 指示劑和濃硫酸。

實驗步驟：取 2.5 毫升水樣與 2.5 毫升蒸餾水加入兩個試管中；兩個試管均加入 1.5 毫升的重鉻酸鉀標準液，以及 3.5 毫升的濃硫酸；密封後放入 150°C 的消化器兩小時；冷卻至室溫後轉置入錐形瓶中，加 2 滴 Ferrouin 指示劑後呈綠色，再以 0.1 N 硫酸亞鐵銨溶液滴定至紅色。

### 4.固體總重

水樣中的固體總重量，單位常以 mg/L 或 ppm 表示，包含總溶解固體（鹽類）重量與總懸浮固體重量；常以水浴加熱、水氣蒸發後，秤重方式量測。

### 5.溶解固體總重

水樣中總溶解固體（鹽類）的重量，水樣可以濾紙過濾，再將過濾後的濾液經水浴加熱、水氣蒸發後，秤重方式量得。

### 6.懸浮固體總重

水樣中總懸浮固體的重量，可由固體總重扣去溶解固體總重後求得。

課程主題：劣質水之石膏需要量評估(Gypsum and amendments requirement in sodic soil and irrigation water- concept and practical assessment)

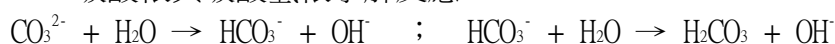
演講者或組織：N. Basak and N. K. Arora (CSSRI)

翻譯與摘要：

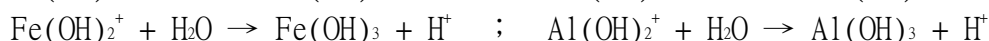
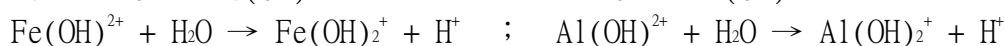
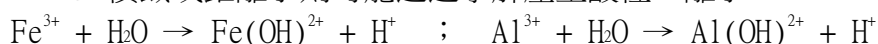
### 1. 水解反應

鹼土係指土壤中含有過量可交換性鈉，以及可能水解產生鹼性 OH 離子的碳酸根與碳酸氫根離子。

碳酸根與碳酸氫根水解反應：



三價鐵或鋁離子則可能透過水解產生酸性 H<sup>+</sup> 離子：



### 2. 石膏改良技術簡介

石膏作為鹼土與劣質水的改良劑，是由美國加州大學的 Schoonover 博士於 1952 年提出的，目的是中和土壤過多的鹼性離子，並以鈣離子取代黏粒表面可交換位上的鈉離子，藉此改善土壤的物理、化學與生物性質。通常無機改良劑的整治效果較快，而石膏又是最便宜與容易取得的資材，因此最常用於鹼土的整治與改良。鹼土改良的石膏(CaSO<sub>4</sub> • 2H<sub>2</sub>O)需要量，取決於鈉飽和程度、土壤質地、欲達到的改良效果、作物鹽鹼耐受性、灌溉水質與施用量等因素。

### 3. 所需試劑與配製方法

飽和硫酸鈣溶液—取 5 公克二水和硫酸鈣加入 1 公升蒸餾水中，震盪 10 分鐘後過濾，取其濾液。

氯化銨、氫氧化銨緩衝溶液—取 67.5 公克氯化銨加入 570 毫升的濃氨水中，再加蒸餾水稀釋至 1 公升，並調整 pH 值至 10。

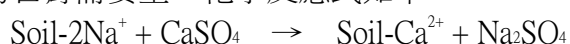
鉻黑 T(Eriochrome Black T, EBT)指示劑—0.5 公克的 EBT 與 100 公克的硫酸鉀混合。

0.01 N 氯化鈣溶液—0.5 公克氯化鈣與 10 毫升 3N 鹽酸加水稀釋至 1 公升。

0.01 N EDTA 溶液—2 公克的 EDTA 和 0.05 公克的氯化鎂加水稀釋至 1 公升。

### 4. 反應原理

將固定重量的土壤樣本，與相對大量的飽和硫酸鈣溶液混合，溶液中的鈣會將土壤黏粒表面可交換位上的鈉離子取代出來，溶液中鈣離子的減少量，即是鹼土的石膏需要量；化學反應式如下：



### 5. 實驗流程

取 5 公克土壤樣本放入 250 毫升的三角瓶中，再加入 100 毫升的飽和硫酸鈣溶液，震盪 5 分鐘後以 Whatman No. 1 試紙過濾。數毫升濾液潤洗（並排出）後，以定量吸管吸取 5 毫升濾液加入定量瓶，再以蒸餾水稀釋至 25 毫升。將溶液轉置於三角瓶中，加入 1 毫升的氯化銨、氫氧化銨緩衝溶液，並取少量 EBT 粉末加



入，再以 EDTA 標準液滴定，使顏色由葡萄酒紅變為藍色。另外取 5 毫升飽和硫酸鈣溶液，依上述流程進行空白滴定。

## 6. 石膏需要量計算

土壤樣本 5 公克，飽和硫酸鈣溶液添加量 100 毫升，經過濾後取出作滴定的體積為 5 毫升；假設以 0.01 N 的 EDTA 空白滴定為 A 毫升，飽和硫酸鈣溶液中的鈣濃度為：A 乘上 EDTA 當量濃度乘上 1000 除以取液體積，假定為每公升 S 毫當量；另外假設土壤混合震盪後的濾液，以 EDTA 進行滴定所需的體積為 B 毫升，則土樣濾液中的鈣與鎂離子濃度為：B 乘上 EDTA 當量濃度乘上 1000 除以取液體積，假定為每公升 T 毫當量；則加入 100 毫升飽和硫酸鈣溶液後，留在土壤中的鈣離子毫當量數為： $(S-T) \times 100 / 1000 = 0.1(S-T)$ ；若 5 公克土樣的石膏需要量是  $0.1(S-T)$ ，則 100 公克為  $2(S-T)$  毫當量的鈣，1 公斤為  $400(S-T)$  毫克的鈣，一公頃表土  $2.24 \times 10^6$  公斤則需要  $896(S-T)$  公斤的鈣；因石膏的分子量為 172，意即 40 公斤的鈣相當於 172 公斤的石膏，因此每公頃  $896(S-T)$  公斤的鈣需要量，相當於每公頃  $3.85(S-T)$  公噸的石膏需要量；只要透過上述滴定實驗流程，即可推算出採樣區域每公頃的石膏需要量。

## 7. 劣質水改良

在含有高量鈉或高碳酸根與碳酸氫根的水體中，也可以添加石膏的方式作改良；經實驗每公頃、每 1000 立方公尺的劣質水，若欲降低 RSC 值一個單位（每公升的毫當量數），則需於灌溉水源中加入 86 公斤的石膏，來減緩的劣質水對作物的毒害效應。

#### 四、心得及建議

筆者此次參與「農業劣質水使用」國際訓練課程，時值臺灣面臨十年來最嚴重乾旱之際，水庫乾涸見底、產業水權紛爭、灌區農田休耕、地方水源調配等，不難想見身為世界人口第二大國的印度，對於極其有限的淡水資源與遭受鹽害影響的土地，竟能生產出可以滿足十二億人口的糧食，背後所代表的意義即為一印度政府投注極大的資源，在改良或適應鹽害土壤與劣質水灌溉的作物生產體系上，並取得了莫大的成功。

「他山之石，可以攻錯」，以印度面臨淡水資源不足採取的策略，可以作為未來臺灣農業發展，因為氣候變遷或氣候異常所導致「乾旱期增長、乾旱發生頻率增加」的因應對策；未來施政建議包括：灌排水利工程投資與維護，旱作生產技術教育與推廣，精準滴灌設施補助與建設，鹽鹼土改良與劣質水利用，耐鹽與抗旱作物品種選育，導入園藝藥用或香氣作物，地質生態敏感區農林間作或提倡節能保護型農業措施等，將有助於國家糧食安全與農業永續經營。

能有此次研習進修機會，除了感謝農業委員會與筆者所屬機關（構）各級長官的支持，以及相關單位同仁所提供的諮詢或協助以外，也非常感謝亞非農村發展組織秘書處(AARDO Secretariat)的 Dr. Khushnood Ali，協助連繫研習課程相關資訊並提供往返機票（或等值經費），另外也需一併感謝中央土壤鹽害研究機構(CSSRI)的 Dr. Gajender，在研習期間課程、食宿、參訪等大小事，大抵皆由他作為窗口，協助每位學員解決問題。

最後，因兩位研習人員的專長領域未能完全涵蓋此次研習課程主題，於本研習報告中若有專有名詞翻譯或是語意理解錯誤之處，仍請各界農業研究、教育推廣、技術開發先進不吝指正；若有需要課程原始投影片檔或相關資料者，也可來信（行政院農業委員會農田水利處工程科陳彥圖技士的電子郵件地址為 [yentu@mail.coa.gov.tw](mailto:yentu@mail.coa.gov.tw)；行政院農業委員會農業試驗所農業化學組吳秉諭助理研究員的電子郵件地址為 [zapywrg@tari.gov.tw](mailto:zapywrg@tari.gov.tw)）詢問，謝謝！



Central Soil Salinity Research Institute,  
Karnal, 132 001 India



Ministry of Rural Development,  
Govt. of India, New Delhi



Afro-Asian Rural Development Organization  
(AARDO), New Delhi, India

## Certificate

This certificate is presented to

**MR. WU, PING-YU,**  
**Assistant Research Fellow**

**Council of Agriculture, Taiwan Agricultural Research Institute**  
**for successfully completed Ministry of Rural Development**  
**Govt. of India financed "International Training Programme**

on

**Use of Poor Quality Water in Agriculture**

**(February 11-24, 2015)**

**for Afro-Asian Rural Development Organization (AARDO) member**  
**countries" at ICAR-Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India**

  
R. K. Yadav 23.2.2015  
Course Director

  
D. K. Sharma  
Director, CSSRI- Karnal



圖五、參加此次「農業劣質水使用」國際訓練課程之修業證書



圖六、「農業劣質水使用」國際訓練課程之參加學員與 CSSRI 講師合影  
(第二排左三為陳彥圖技士、第二排右二為吳秉諭助理研究員)

## 肆、附錄

附件檔包含下列兩項研習課程資料：

- 一、課程投影片之彙整檔；
- 二、印方提供之實驗手冊。