

1. _____ (Temperature)

2. _____ (Turbidity)

3. _____ (_____, pH)

4. _____ (Dissolved oxygen, DO)

嘉義縣大埔國民中小學實驗記錄表

29

你了解你的大便嗎？《一顆屁的科學》

組別：_____ 班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____



時報出版 · 2019/09/03 · 1516 字 · 閱讀時間約 3 分鐘

便便（或者正經點，可說排泄物）

去上大號常會說是「撒條」、「做蛋糕」或「拉屎」（taking a crap）（最後這個據說源自十九世紀的克拉普馬桶公司〔Thomas Crapper & Co toilets〕，但其實更早就有人這麼說了）。若是取諧音押韻，可以說，來一波雪特（take an Eartha [Kitt]）或小嘍駕到（take a William [Pitt] or Brad [Pitt]）*。

若說排泄物（糞便）是屁的母親，那麼尿液就是它的兄弟，汗算是它的姊妹，而鼻涕就是它的叔叔。結痂、耳垢、唾液、嘔吐物和肚臍屎都是婚禮或葬禮才會碰面的古怪遠親……以上這些證明了生物學／人類學某種程度上可相互隱喻關聯（？）

本篇文章的重點都是 Shits（無誤）圖/pixabay

糞便是代謝後的廢物，也就是消化過程遺留下來的東西，以及身體想要排除的一批其他產物。男性的排便習慣與女性不同，男性平均每週排便 9.2 次，但女性只有 6.7 次；40% 的男性每天撒條一次，女性則為 33%。雖然 7% 的男性每天做兩次或三次蛋糕（敝人不才，原本還以為自己固定一天拉三次是主流派），但只有 4% 的女性如此。而且，有 1% 的女性每週小嘍最多才一次，嘖嘖。順帶一提，雪特一般最受歡迎的時間是凌晨，男性會比女性早解決這事。

是什麼成為了糞便？糞便裡有多種小腸無法吸收（因此留待大腸細菌來使其腐爛）的食物混和在一起，還有多餘及死掉的細菌、代謝過程產生的廢物、死去的腸道細胞，它們全都順勢被包覆在黏液中，這樣滑出你的屁股時會比較順暢。糞便的成分大致如下：

- 30% 為不溶性膳食纖維（不可消化的食物，如山梨醇、纖維素、菊糖）
- 30% 為細菌，有死的也有活的（細菌會持續進行替換）
- 10~20% 為無機物，例如磷酸鈣
- 10~20% 為油脂，如膽固醇
- 2~3% 為蛋白質
- 腸道壁的死亡細胞
- 膽紅素，老的紅血球細胞分解時會產生的一種黃色物質
- 死亡的白血球細胞

每個人的便便各不相同，而且每天的飲食內容、消化系統功能好壞與健康狀態都會使糞便有些變化。雖說排便是人體消化過程相當正常的一環，但安全衛生是我們無時或忘的，裡頭的細菌與病原體本來就不該跑進我們嘴巴或肚子。那樣子的話，麻煩就大了。要記得勤洗手！

什麼是水庫優養化？

組別：_____ 班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____

生活中的農藥、肥料、清潔劑中，含有豐富的硝酸鹽與磷酸鹽；當這些化學物質排放到水中時，水草、藻類獲得大量養分而大量繁殖後，因光合作用及呼吸作用造成水體溶氧量太低，呈缺氧狀態，造成魚類等水中生物無法生存或死亡，水體也產生惡臭，這就是「優養化」的現象。

而調查發現家庭污水中磷的主要來源，絕大部分是來自於一般日常使用的洗衣、洗碗等清潔劑，此類清潔劑含磷成份可高達12%，比歐盟要求的0.5%高出數十倍。

水庫優養化日益嚴重

最近有一則媒體報導，根據美國的一份研究報告指出，一種名為全氟及多氟烷基化合物的致癌化學成分PFAS，已經遍佈在900萬加州居民的86個供水系統中。回來看台灣，109年9月自由時報的報導，環保署首次針對全國水庫進行大規模、高頻率水質監測，本島明德、白河、鏡面、澄清湖、鳳山、阿公店等6水庫被評為優養化，其中鳳山及明德已百分之百優養化，水質最差。大埔水庫佈滿布袋蓮，已經到了無法採樣的「慘況」，其餘皆已達營養等級，下一步就是優養化。

當水中的溶氧下降至低於每公升兩毫克(2mg/L)的低溶氧(hypoxia)狀態，對於水中生物而言就成為「死區」，也就是說，優養化是死區的「前奏」。生態研究顯示，全球死區的數量不段的在增加，衍生的不只是經濟的影響，更重要的是海洋生態的崩壞，而且是很難逆轉的！

我們每天喝的水乾淨嗎？

根據上述環保署的水質檢測，台灣水庫中磷的含量已達26%！所以水庫管理局還贈送低磷的清潔劑給集水區的住戶使用，希望降低磷的含量。其實最有效的治本方法就是鼓勵大家使用低磷、無磷的清潔用品，採取含有天然成分洗潔精，如：植物酵素、天然精油等，以降低環境傷害。

人工濕地污水處理技術(上)

國立中山大學環境工程研究所所長 周明顯 & 博士生 彭致豪

摘要

由於生活污水、工業廢水及畜牧廢水的不當排放，導致臺灣地區總長度為2,934公里的50條主、次要河川中，約有1,022公里遭受污染，占河川總長33.78%。人工濕地不僅可處理受污河水，並可復育河岸生態。故推動濕地技術整治河川污染，對於台灣目前的生態環境，具正面價值及意義。

依國內近年之研究成果知，污水在人工濕地的水力停留時間大都在5天以內。在COD進流濃度<50mg/L時，其去除率通常<50%；進流濃度為51-270mg/L時，其去除率可達90%。在進流BOD<10mg/L，BOD平均去除率為50%；在進流BOD為10-40mg/L，BOD平均去除率為80%。其他污染物之去除率分別為SS 30-90%（平均60%）、氮60-90%（平均80%）、磷30-90%（平均50%）。本國濕地研究中，常用之植物為蘆葦、空心菜、香蒲、水芙蓉、竹葉菜、培地茅、狼尾草、浮萍與布袋蓮等，其中以布袋蓮與蘆葦在去除各種水中污染物的表現較佳。

關鍵字：人工濕地、污水處理、生活污水、COD、BOD、氮、磷

一、前言

人工濕地系統(constructed wetlands system, CW)是將生態工程技術應用於水或廢水管理及處理上的一種自然淨化程序，在操作上無須曝氣、攪拌、加壓等太多人為動力，亦不需添加化學藥劑或介質單體附著物等人造物質。污染物在人工濕地系統中被去除的機制複雜，多種淨化作用可同時發生，但由於靠自然淨化，因此速率較慢。去除機制除了物理性、化學性、生物性處理外，還包括了植物的吸收攝取作用。整體形成循環穩定，不需能源輸入，亦不需經常維修之系統。具有省能源、低成本、無二次污染、操作維護簡單、不破壞生態等優點；又可以提供生態棲息空間、土地復育、自然景觀等多重功能，故具有十分大的發展空間。本文就就近年各專家學者之研究成果加以分類探討。

二、人工濕地的種類

人工濕地大致分為兩大類(25)，其一是表面水自由流動式(free water surface flow CW, FWS)，其二是表面下流動式(subsurface flow system CW, SSF)。

FWS系統內有種類不同的大型水生植物(macrophytes)存在，概分五種：

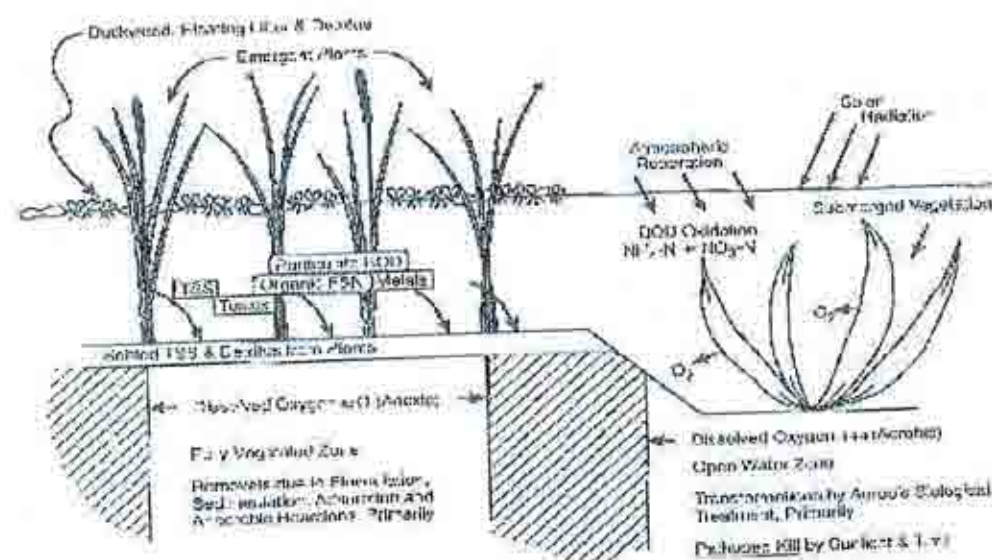
- 挺水植物型(emergent macrophytes)
- 浮水植物型(floating macrophytes)
- 著根浮水植物型(bottom-rooted floating macrophytes)
- 挺水植物浮水型(emergent macrophytes with floating mat)
- 沉水植物型(submersed macrophytes)

SSF系統一般可依水流動方式分為兩類：

- 水平流動型(horizontal-flow system)
- 垂直接流動型(vertical-flow system)

三、人工濕地的功能與機制

圖一為示 FWS 濕地去除污染物機制 (26)。在一般情況下，污染物進入人工濕地後會在各種不同機制的作下降解，此諸機制包括：細菌的轉化、吸收、沉澱、自然衰減、揮發、與化學反應等。除此之外，介質的過濾作用與植物吸收亦為濕地去除污染物之機制。

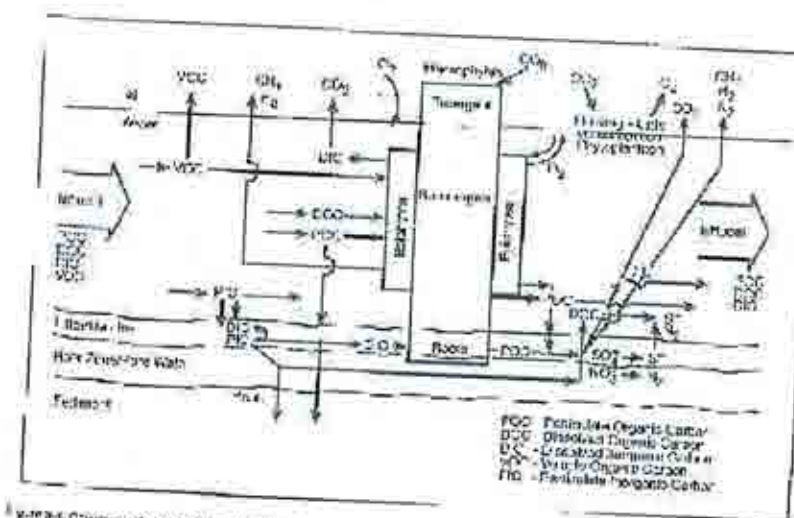


圖一 FWS 濕地去除污染物之機制(26)

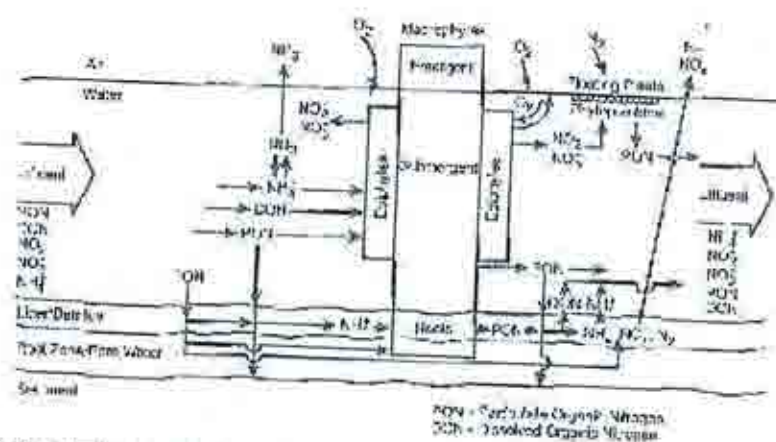
人工濕地系統即藉由這些過程處理如生化需氧量 BOD、懸浮固體物 SS、氮、磷、重金屬與病原體等。水質淨化的主要角色由植物、介質、與微生物族群三者所共同扮演。表一 (25) 將污染物在人工濕地中的處理機制作一彙整。

表一 各類污染物在人工濕地的處理機制

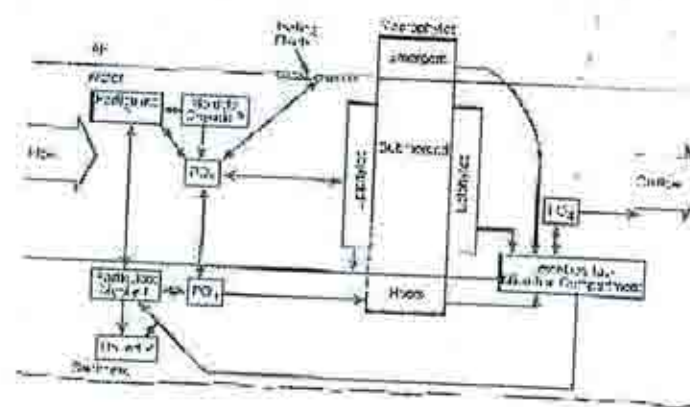
污染物	處理機制	備註
懸浮固體物	過濾、沉澱	詳圖一 (26)
有機物	微生物分解	詳圖二 (26)
氮	水解、硝化、脫硝、揮發、吸附、生物吸收	詳圖三 (26)
磷	生物吸收、吸附	詳圖四 (26)
致病源 (細菌、病毒、原生動物、寄生蟲)	沉澱、過濾、吸附後，自然死亡或被掠食	詳圖一 (26)
重金屬	吸附、離子交換、與有機物螯合、過濾、生物吸收	詳圖一 (26)



圖二 FWS 濕地之碳傳輸



圖三 FWS 濕地中氮傳輸



圖四 FWS 濕地中磷傳輸

四、人工濕地去除水中污染物之應用

根據環保法令所規範之陸域水體環境基準或放流水標準，分別有營養鹽（如氮、磷、總磷等）、生化需氧量、化學需氧量、懸浮固體、大腸桿菌群、重金屬與農藥等各項，目前專家學者的研究資料中，均將上述各項指標納入報告之中，以符合實際應用需求。以下亦以上述各項指標來探討人工濕地的處理效能。

4-1 營養鹽的去除

地表水體中的營養鹽，如氮、磷、沈積物、病原菌等是為典型的污染物質，主要來自於農業活動。含氮物質因為對河口的優養化、地下水的污染或由大氣酸性沈降而影響水體，尤其受重視。

氮在自由表面流動式與地下流動式兩種系統中的去除機制相似，主要透過微生物新陳代謝的過程將氮以氣態的型式去除，雖然植物也會對氮進行攝取，但其攝取速率受到氮負荷量左右。生物性的硝化/脫硝作用能有效除氮，氮在好氧狀態下由硝化菌氧化成硝酸鹽，硝酸鹽隨後在厭氧狀態下被脫硝菌還原成自由態氮。通常在表面流與地下流動式的人工濕地中，脫硝菌群要遠比硝化菌族群還多。只要系統中存在足夠的可溶性有機碳，脫硝反應通常可以輕易地在介質或水層底部的還原區域中發生，所以硝化作用是氮去除的限制機制。磷在人工濕地中最主要的去除機制是透過吸附、吸收，以及與介質中的鋁、鐵等物質形成低溶解度的化合物，併同沈澱作用以成不可溶的狀態將磷帶留。對於磷在單位時間單位面積去除量的表現上並未優於傳統的生物方法，以磷為處理對象的人工濕地比起應付其他污染物在設計上需要更大的面積。表二歸納各文獻中重要研究。

表二：以人工濕地處理營養鹽之各文獻重要研究結果

文獻	重要研究結論
7	人工濕地中必須提供充足之碳源，以利脫硝作用的進行。當 COD/NH ₃ -N 在 3.5 時，各系統硝酸鹽濃度可降至 5 mg/L 以下。
9	濕地去除營養鹽之機制中，植物及藻類的存在具有重要的貢獻。當氮磷濃度接近時 (TIN/PO ₄ -P=1.8)，磷為過量基質，氮則為限制基質，可促進濕地中光合成生物（植物及藻類）及細菌之生長，並增強氮的去除機制，TIN 去除效率可達 88~95%；較高的氮磷濃度比，導致較高的磷酸鹽去除效率 (TIN/PO ₄ -P=4.8 及 1.8 時，PO ₄ -P 之去除效率為 55~89% 及 52~70%)。上述結果知，人工濕地去除營養鹽時，廢水中磷濃度的增加對氮的去除有顯著促進，氮濃度的增加亦對磷去除有顯著幫助。
12	濕地系統中營養鹽的去除，極有可能因植物的生長不良而受到影響。因此除了尋求最有效率的水力負荷外，進流污水中的氮、磷濃度必須有一個為求操作穩定的限值。無論是依靠落葉沈積或是以採收方式來提高磷的去除率時，植物的生長速度都會是評估系統表現的重點。非點源污染的水質水量變化差異大，若現場基流不足以提供乾季時植物生長所需，則可考慮將部分或全部生活污水放流併入系統之中。除了提供枯水期維持最低水量的要求，生活污水中有效磷的引入，也有助於原本磷受限的系統對氮的去除。

文獻	重要研究結論
14	人工濕地在磷酸鹽去除中，被水芙蓉、蘆葦、空心菜、竹葉菜、及狼尾草等植物去除的重量比例初步估計分別為 32.5、87.6、52.6、62.7、及 63.2%，其餘則為土壤吸附及微生物吸收。濕地中植物對於除磷的部分佔有 30% 以上的比重，蘆葦更接近 90%；水生植物的生長速率與除磷速率並無明顯的相關性。
17	以人工濕地淨化二仁溪中之氮磷時，明顯受到水力負荷變化的影響，一般而言去除率會隨 HRT 增長而提高，但 HRT 增長到某種程度去除率有減緩的趨勢。水溫的升高卻有降低二者去除反應速率的現象，初步判定此一現象可能與進流河水中污染物負荷變化很大有關。
20	一般而言，去除率會隨 HRT 增加而提高，該研究觀察到 HRT 增加到某種程度時，去除率有減緩的趨勢。此外實驗結果亦顯示，人工濕地系統雖受到水力負荷的影響，但對於處理污染程度較低的校園廢污水中磷酸鹽與氨氮而言，仍具有明顯的去除效果。
21	營養鹽去除效果不好，可能原因為植物種植及收割不規律，導致植物體腐爛之後，將吸收的氮磷又釋放至濕地系統內，使得氮磷的移除並沒有很完全，植物適時的收割對於氮磷的去除有相當大的影響。在氮磷的去除效果，礫石濾床在氮的去除方面表現不及卵石濾床，在實驗進行中發現礫石濾床的植物生長狀況一直不如卵石濾床，可能是因礫石含有其他物質會抑制植物的生長，這將是在礫石應用時所該注意的事項。
22	本研究主要探討三種水生植物（布袋蓮、水芙蓉、浮萍）在濕地內有無礫石的條件下對養豬廢水的淨化能力。結果顯示，水生植物對 NH ₃ -N、NO ₃ -N、NO ₂ -N 具有相當大的去除效率，尤其是在有礫石的條件下。在所選的三種本土型水生植物中，針對 NH ₃ -N、NO ₃ -N、NO ₂ -N 之平均去除率，以布袋蓮的去除率較高，其次為水芙蓉，再其次為浮萍；針對 T-P、TKN 之平均去除率，以水芙蓉去除率最高其次為布袋蓮，再其次為浮萍。而就生長的狀況而言，三種水生植物均非常容易且快速成長，故頗適合作為濕地處理之水生植物。

4-2 重金屬的去除

重金屬在人工濕地中主要的去除機制為吸附、離子交換、與有機物螯合、過濾、生物吸收，雖然部份植物具有吸收及超累積微量元素於其組織體內能力，對於受污染的土壤及水環境，利用此能力以移除有毒重金屬及微量元素，此種處理方法稱植物淨化處理方法 (Phytoremediation process)。

在濕地裏佔優勢性之浮水性植物物種，如浮萍 (*Lemna minor* L.) 及滿江紅 (*Azolla pinnata* R. Br.)，對鐵及銅有高達 78 倍的生物濃縮效應。布袋蓮對含銀的工業廢水可在極短時間內給予有效率的移除。存在於濕地的不同植物物種，布袋蓮 (*Eichhornia crassipes*)、天胡荽 (*Hydrocotyle umbellata*)、青萍 (*Lemna minor*)、滿江紅 (*Azolla pinnata*) 等濕地植物，也於近年被熱絡的討論其對鎳、鋅、鐵、鎘、鉻、鉛、銅、鎘等重金屬之累積吸收情形。

根據國內研究報告 (24)，人工濕地處理重金屬除植物的生物濃縮作用外，植物體本身與底泥之間亦有交互作用發生，導致植物根部累積量通常較上部組織為高之外，底泥累積量亦相當可觀，例如鉛在人工濕地的分布狀況 (6)，於底泥所提供之去除率可達 70 % 以上。表三歸納各文獻中重要研究結論；另外，表四轉列前樹人 (2001) 對 FWS 人工濕地系統去除金屬的研究結果 (25)。

表三：以人工濕地處理重金屬之各文獻重要研究結論

文獻	重要研究結論
6	蘆葦、水芙蓉、竹葉菜及香根草等四種植物對含有不同重金屬的廢污水有一定程度的去除效率。彼等對於鉛 (Pb) 的去除率，分別為 93、98、81 及 99%。
24	該研究以浮水性植物布袋蓮 (<i>Eichhornia crassipes</i>) 為例，說明其對五種微量元素 (鋁、鉛、銅、鋅、鎳) 於莖葉部及根部兩不同部位在田間的累積吸收情形。比較五種重金屬在布袋蓮組織內之移動能力 (translocation ability)，結果為鋅 > 鎳 > 鋁 > 鉛 > 銅。 布袋蓮對不同微量元素，當外部環境含低濃度微量元素時生物濃縮效應達最高，而後隨外部含量的增加而減少。於水域環境，生物濃縮因子依序為銅 (2864) > 鉛 (2245) > 鋅 (1328) > 鋁 (1027) > 鎳 (611)；於底泥環境除銅外，濃縮效應都不好。 布袋蓮根部組織累積微量元素之量遠高於莖葉部之量，平均約為莖葉部的 3~15 倍。根部組織累積微量元素之高低，依次為銅 > 鋅 > 鎳 > 鉛 > 鋁。對銅、鉛、鋅、鎳，布袋蓮是一良好的植物淨化體。

表四：前樹人 (2001) 對 FWS 人工濕地系統去除金屬的研究結果 (25)

Metal	Wetland type	Concentration (mg/L)		Mass removal (kg/ha.yr)
		In	Out	
Cd	Constructed	43	0.6	2.4
	Constructed	160	20	7.9
Cr	Constructed	3.4	1.5	4.5
	Constructed	1510	60	82
Cu	Constructed	8	3	11
	Natural	20.4	6.1	0.21
Fe	Constructed	6430	2140	243
	Constructed	205000	6300	29900
Pb	Natural	241	766	4.3
	Constructed	1.7	0.4	3.1
	Constructed	2.2	1.63	0.085
	Natural	2.0	5.5	-0.03

Mn	Constructed	210	120	5.1
	Constructed	7400	3900	526
Hg	Natural	<0.2	0.21	0.0001
Ni	Constructed	35	10	1.4
	Constructed	7.5	3.8	0.8
	Natural	17.0	9.1	0.14
Ag	Natural	0.36	0.53	-0.0005
Zn	Constructed	2200	230	112
	Constructed	36	11	60
	Natural	20.6	5.6	0.22

4-3 懸浮固體的去除

由於人工濕地系統中的生態與水文環境，包括水生植物體本身與其殘渣形成的過濾機制、緩慢的流速增加固體沉降的效果等，均可有效降低水中的懸浮固體含量。被過濾或沉降後的有機固體的部分也會經由微生物的分解轉換為其他基質，提供其他生物新陳代謝之所需，使得物質有效的進入自然轉換機制中。表五歸納各文獻中重要研究結論。

表五：人工濕地去除懸浮固體物之重要研究結論

文獻	重要研究結論
10	FWS 濕地對 SS 去除的主要機制為：沉降、遮光 (抑制藻類生長) 及植物組織間的過濾作用，植物覆蓋密度的穩定會增強這些去除機制，而 pilot-scale FWS 濕地對 SS 去除的啟動適應期約需 5 個月。SSF 濕地去除固體最主要靠礫石間隙之過濾及沉降作用，SS 去除效能上無須啟動適應期。
12	該研究指出，由於水力上突增的負荷極易造成自由表面流動式濕地底層沈積物的再懸浮，導致系統失效並阻塞 SSF 的介質床濕地，故必須設計妥善的進流方式。因此在設計上建議提高 FWS 的停留時間，亦即加大池的面積，並且在進流處要有類似岸扇、蛇籠或擋板等緩流整流設備，以應付初期逕流突增的水量與高濃度的懸浮固體物，使不致造成沖蝕及流徑短縮。 若欲維持以地表下進流方式進入 SSF，則 FWS 與 SSF 間可置一類似落水池設施，出口連接與分散式的進流管線，除了可提供額外的沈澱效果外也可避免 SSF 因管線水量突增，水流上湧沖刷表面而形成渠流。 欲提高系統的水力效率時，必須考慮到流速與水量突增的影響。儘管提高長寬比可同時增加體積利用率及改善流況，然而不可忽略縮小截面後增加的流速對沈積物沈降的影響；非點源突增的流量更可能造成 FWS 混濁。
16	以人工濕地去除二仁溪水中之 SS 時，明顯受到水力負荷變化的影響，一般而言去除率會隨 HRT 增長而提高，但 HRT 增長到某種程度去除率有減緩的趨勢。而水溫的上升降低 SS 的去除速率，初步判定此一現象可能與連流河水中 SS 負荷變化很大有關係。
18	廢污水中含有營養鹽，加上日光無法完全被遮蔽，因此在濕地中會因為藻類的生長繁殖而使得水中的 SS 增加。故可利用生長快速的水生植物如水芙蓉等，使之與藻類競爭營養鹽，長成後又可遮蔽陽光，使藻類不易生成。

文獻	重要研究結論
21	人工濕地對於 SS 的去除率分別為礫石槽 32~94%、卵石槽 2~90%。礫石濾床在 SS 的去除效果，明顯優於卵石濾床，推斷是礫石表面有非常多不規則的孔隙，可以提供比卵石更多的表面積讓微生物附著生長，也能讓懸浮固體物有最佳的留滯效果。因此，廢棄礫石在濕地濾材的利用方面是可以推行應用的。
22	以設置有礫石層（5cm）之底泥，培植浮萍的人工濕地系統，對於養豬廢水中的 SS 去除率最佳。

4-4 有機物的去除

在人工濕地中，有機物的去除，主要的機制為微生物的分解，例如在 4-1 節中所提氮之分解過程脫硝作用，微生物即需要碳源來進行此反應，故水中有機物因而消耗。有機物之去除效果必須是其種類而定，微生物並不能將水中各種有機物加以分解，一般而言，生化需氧量（BOD）之去除效果在 90% 以上，化學需氧量（COD）之去除效率只有 50-70%。再者，水中 COD/BOD 之比值越大，COD 去除效果越差。表六歸納各文獻中重要研究結論。

表六：人工濕地去除有機物之重要研究結論

文獻	重要研究結論
12	比較水芙蓉池（FWS）進出流水中 BOD ₅ 及 COD 的變化情況推測，部分可溶性有機碳的組成在流經水芙蓉池後由易於生物分解的形態改變為不易被微生物利用的形態。不具生物有效性的可溶性有機碳在排入地下水層後較難被分解，儘管水芙蓉池對 BOD ₅ 的去除上有不錯的效果，但若考慮僅利用水芙蓉池當做二級放流水中再淨化的單元，以對作為飲用水水源的地下含水層補注時，此現象將造成淨水程序中額外的負擔。
15	以人工濕地去除二仁溪水中之化學需氧量時，明顯受到水力負荷變化的影響，一般而言去除率會隨 HRT 增長而越高，但 HRT 增長到某種程度去除率有減緩的趨勢。而水溫的上升卻降低 COD 的去除速率，初步判定此一現象可能與進流河水中 COD 負荷變化很大及高 COD/BOD ₅ 比值有關。
21	人工濕地對於 BOD 的去除率分別為礫石槽 16~100%、卵石槽 13~100%。礫石濾床在 BOD ₅ 的去除效果，明顯優於卵石濾床，推斷是礫石表面有非常多不規則的孔隙，可以提供比卵石更多的表面積讓微生物附著生長，也能讓懸浮固體物有最佳的留滯效果。因此，廢棄礫石在濕地濾材的利用方面是可以推行應用的。
22	以設置有礫石層（5cm）之底泥，培植布袋蓮的人工濕地系統，對於養豬廢水中的 BOD 去除率最佳。

4-5 致病原的去除

水體中致病原為細菌、病毒、原生動物、寄生蟲等，當水體進入濕地後這些微生物亦成為濕地生態系之成員，在經過濕地時，其中植物及其枯萎部份與殘渣，將使流速減

緩並使微生物沉澱、過濾或吸附後，造成其自然死亡或被採食，達到濕地將其去除的效果。以下將各文獻中重要研究結論歸納於表七中。

表七：人工濕地去除病原菌之重要研究結論

文獻	重要研究結論
1	二仁溪系統經人工濕地淨化後，大腸桿菌數目明顯降低，至少有 80% 之去除率，表示濕地系統具有淨化能力；而魚塭系統則以 total coliform bacteria 來計算，由於魚塭中具有環境中已經存在的野生種大腸菌類，其中的 FWS（free water surface flow system）系統與其生長環境相似，故無明顯的去除效能；然 SSF（subsurface flow system）系統則有較佳的去除率。
4	探討 CW 系統對校園廢污水中大腸桿菌去除之效能，以為淨化水質之指標。CW 系統由種植香蒲之表面自由流動式濕地（free water surface, FWS）及種植蘆葦之表面下流動式濕地（subsurface flow, SSF）串聯而成，以柱塞型（plug flow）方式控制，結果顯示校園污水經人工濕地淨化後，大腸桿菌數目明顯降低，平均去除率可達 85% 以上，表示濕地系統具有有效降低生活污水中微生物之能力。

4-6 農藥之去除

依據王姿文等（2001）所發表有機性農藥達有龍（Diuron）在人工濕地中降解之初步探討（5），顯示在水力停留時間（HRT）約 2 天操作下，自由表面流動式濕地（free water surface system, FWS）與表面下流動式濕地（subsurface flow system, SSF）對達有龍去除率並無顯著差別，約為 61-88%；進出流水之 COD 降解效率平均為 64%。顯示達有龍在人工濕地中可能被微生物所礦化分解或植物體吸收。以上研究證實，人工濕地有能力去除分解有機性農藥物質，在農地逕流水的污染防治上為一種可行的技術選擇。

4-7 各研究成果彙整

依據近年專家學者研究成果顯示，人工濕地對於污染物之去除率乃因濕地尺寸、栽種植物種類、操作參數、水力停留時間、水力負荷、季節變化等複雜因素造成各污染物去除率有所變化，故人工濕地處理技術仍有廣泛探討之空間。

知識 | 這些水生植物你見過多少？

2016-03-02 由 盆栽小棧 發表于家居

資料來源：<https://kknews.cc/home/y63a9b.html>

水生植物，顧名思義，能在水中生長的植物。水生植物有的葉子柔軟而透明，有的形成為絲狀，如金魚藻，其絲狀葉可以大大增加與水的接觸面積，使葉子能最大限度地得到水裡很少能得到的光照，吸收水裡溶解得很少的二氧化碳，保證光合作用的進行。根據水生植物的生活方式，一般將其分為挺水植物、浮葉植物，沉水植物和漂浮植物及濕生植物這幾大類。







水質淨化方法任務單

組別：_____ 班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____

【除去水中雜質的方法】

資料來源：

<https://ananedu.com/a/5/25/b14.htm>

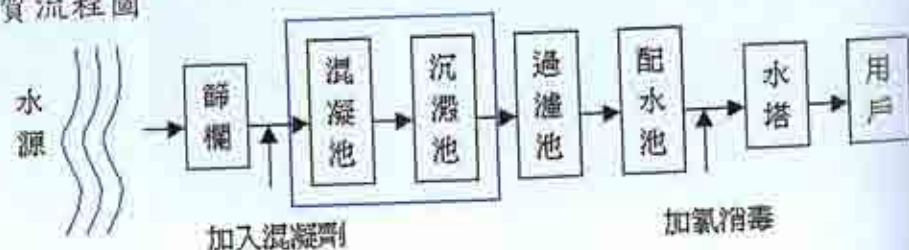
存在於自然界的水，如湖水、河水、海水、泉水，通常都含有多種的雜質，例如：泥沙、礦物質、藻類、細菌等等，都不適合人類的飲用或工業上使用，所以必須先淨化，除去水中的雜質。

一般而言，水的淨化方法有下列幾種：

1. 沈澱法：利用靜置水中小顆粒懸浮的雜質(我們稱為懸浮物)因重力而自然沉降的原理分離水與雜質，為了促進沉澱可以加入混凝劑等化學物質，使雜質與混凝劑聚成較大物質而加速沉澱。
2. 過濾法：天然水利用過濾法，可以除去一些水中懸浮的雜質(懸浮物)，並可除色、除臭。如在過濾槽中鋪上砂礫、細砂以及木炭等。
3. 蒸餾法：把水加熱沸騰，使水變成水蒸氣，然後再冷卻收集起來，因為雜質不能蒸發，於是就和水分離了。
4. 化學處理法：化學處理法是指在水中加入化學藥劑以達到淨水的效果。
5. RO 逆滲透法：利用逆滲透膜的方式使雜質無法通過濾材，而保留純淨的水質，現今一般家庭最常用此種方法。

【自來水廠淨化水質的程序】

1. 淨化水質流程圖



淨化水質的程序

- (1) 篩欄：用來篩欄各種大型體積物質，如樹枝、破布、保特瓶等。
- (2) 混凝池、沈澱池：加入混凝劑，並使混凝劑與水迅速混合，使混凝劑與水中細小的物質聚在一起成為較大的物質，很快的在沉澱池中沉澱下來。

(3) 過濾池：經混凝沉澱無法去除之微小顆粒物質，可經由過濾池濾除。

(4) 配水池：經過濾後之清水儲存的地方。

(5) 加氯消毒：為避免病菌滋生，用氯氣殺菌。

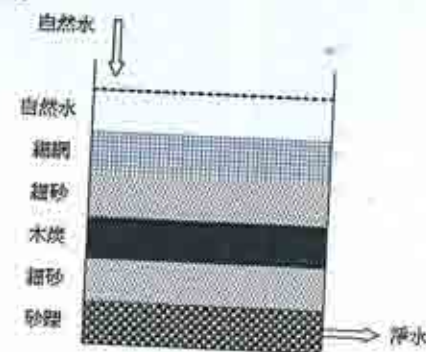
2. 使水混濁頑固的分子—細小的雜質(懸浮物)

沉澱是讓水淨化最常用，也是自來水公司淨化水質的首要步驟，其原理是比水重的懸浮物如砂、泥土等由於重力自然下沉，而被去除。取一杯水混著少許砂土攪拌使其混濁，然後靜置使其沉澱，大約 10 分鐘後，發現水還是很混濁，這些使水混濁的細小雜質因為太小了而無法藉由重力作用而沉澱，如此一來，不知何時才能看到澄清的水。為了減少沉澱時間，而自來水公司也為了水處理的效率，因此我們使用了非常手段，那就是使用混凝劑，當混凝劑與水迅速混合時，混凝劑會與水中細小的物質聚在一起成為較大較重的物質，所以可以很快的在沉澱池中沉澱下來。

*** 最常見的混凝劑是明礬(硫酸鋁)，價格便宜，沒有毒性。當混濁的水加入超過一定量的明礬時，便會開始產生凝聚的現象。**

3. 雜質最終停留站—過濾池

原水經過單純沉澱或是混凝沉澱後，仍然會含有許多微細之雜質，因此，一般沉澱水無論其處理效果如何良好，皆不適合直接當作淨水流出，而必須進一步加以過濾。常用的過濾材料是細砂，其原理是當水流經細砂濾層時，因雜質無法通過細砂間微小的孔隙而與水分開，如此水就乾淨了。幾十年前並沒有家家戶戶都有自來水，想要有乾淨的水，就必須自己製造過濾器，所用的材料為細砂、耐綸細網、木炭、砂礫等製成如下圖的過濾槽。



圖一 水的過濾槽

水生植物學習單

組別：_____ 班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____

住家附近看過那些水生植物?

它們有哪些淨水效果?

這堂課你有甚麼心得感想?

水質淨化課程後測

組別：_____ 班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____

- () 1.在人工濕地中，下列何種植物去除磷酸鹽的重量比例最高？
(A)水芙蓉 (B)蘆葦 (C)空心菜 (D)竹葉菜 (E)狼尾草
- () 2.在人工濕地中，下列何種植物去除含氮 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 污水的重量比例最高？
(A) 布袋連(B) 水芙蓉(C)空心菜 (D)竹葉菜 (E) 浮萍
- () 3.在人工濕地中，下列何種植物去鉛 (Pb) 的重量比例最高？
(A) 蘆葦 (B) 水芙蓉(C)空心菜 (D)竹葉菜 (E)香根草
- () 4.校園污水經人工溼地淨化後，大腸桿菌數目明顯降低，平均去除率可達多少% 以上？(A)25 (B)45 (C)65 (D)85 (E)95
- () 5.人工濕地是否有能力去除分解有機性農藥物質？(A)是 (B)否
- () 6.下列圖一開花水生植物名稱為？
(A)布袋連(B)水芙蓉(C)台灣萍蓬草 (D)竹葉菜 (E) 浮萍
- () 7.下列圖二水生植物名稱為？
(A)布袋連(B)水芙蓉(C)台灣萍蓬草 (D)竹葉菜 (E) 浮萍
- () 8.下列圖三水生植物名稱為？
(A)布袋連(B)水芙蓉(C)台灣萍蓬草 (D)竹葉菜 (E) 浮萍
- () 9.下列圖四水生植物名稱為？
(A)布袋連(B)水芙蓉(C)台灣萍蓬草 (D)竹葉菜 (E)香根草
- () 10.下列圖五水生植物名稱為？
(A)水芙蓉 (B)蘆葦 (C)空心菜 (D)竹葉菜 (E)狼尾草



教學歷程照片



學生於校內進行收對廢水的行動



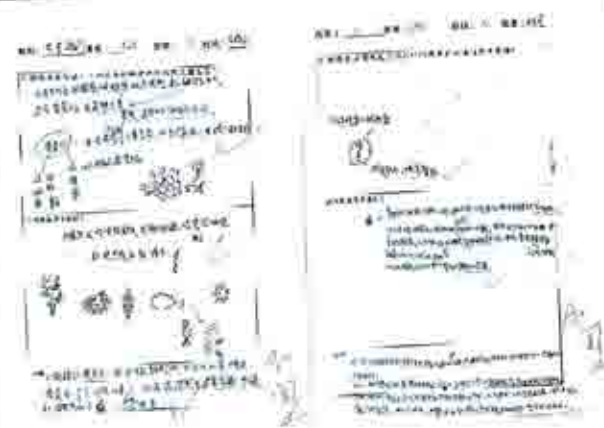
學生製作簡易的廢水淨水器-器材及材料準備



學生進行廢水水質檢測-pH 質



學生製作簡易的廢水淨水器






學生完成水生植物學習單情形



學生進行水質淨化課程後測情形

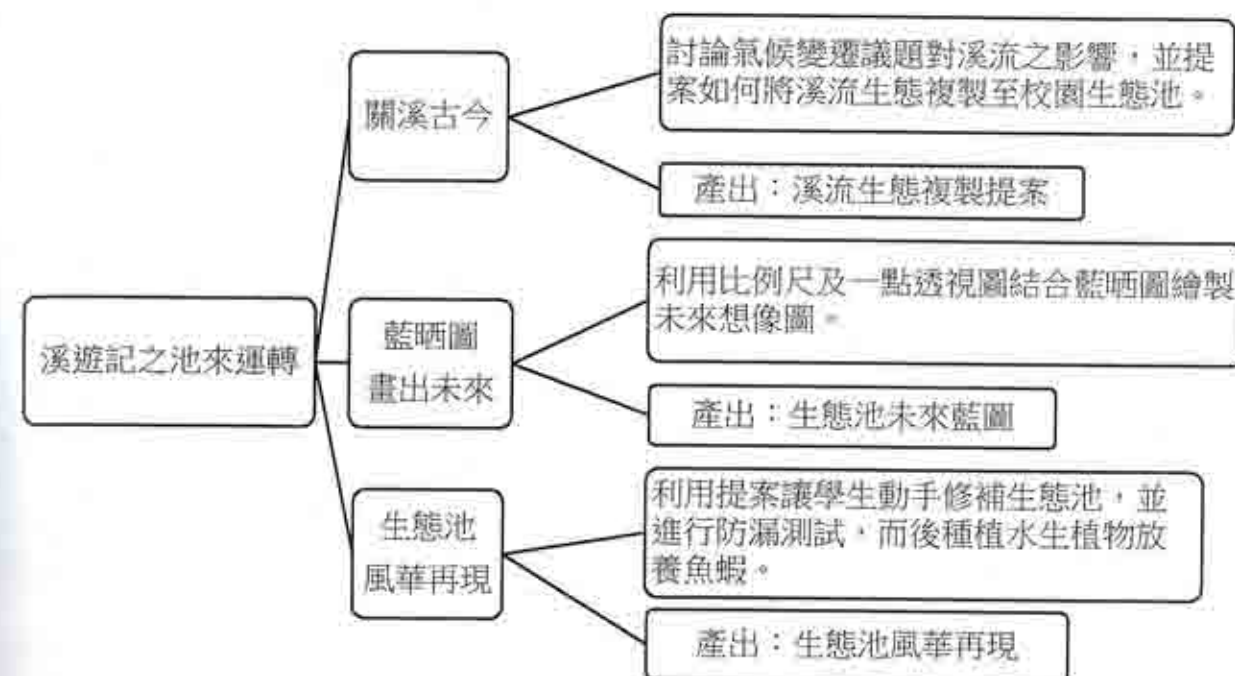
教育部 109 年度中小學科學教育計畫專案 嘉義縣109學年度大埔國中小教師研究發展課程教學活動設計單

領域/科目	自然、數學、藝術	設計者	大埔國中小 張雅雯、鄭夙君
實施年級	八年級	總節數	6
單元名稱	溪遊記之池來運轉		
核心素養			
總綱核心素養		領綱核心素養	
A2 系統思考與解決問題 A3 規劃執行與創新應變 B1 符號運用與溝通表達 B3 藝術涵養與美感素養 C2 人際關係與團隊合作		數-J-B1 具備處理代數與幾何中數學關係的能力，並用以描述情境中的現象。能在經驗範圍內，以數學語言表述平面與空間的基本關係和性質。 數-J-B3 具備辨認藝術作品中的幾何形體或數量關係的素養。並能在數學的推導中，享受數學之美。 自-J-A2 能將所習得的科學知識，連結到自己觀察到的自然現象及實驗數據，學習自我或團體探索證據、回應多元觀點，並能對問題、方法、資訊或數據的可信性抱持合理的懷疑態度或進行檢核，提出問題可能的解決方案。 藝-J-A2 嘗試設計思考，探索藝術實踐解決問題的途徑。 藝-J-C2 透過藝術實踐，建立利他與合群的知能，培養團隊合作與溝通協調的能力。	
學習重點	學習表現	自 po-IV-2 能辨別適合科學探究或適合以科學方式尋求解決的問題（或假說），並能依據觀察、蒐集資料、閱讀、思考、討論等，提出適宜探究之問題。 自 ai-IV-1 動手實作解決問題或驗證自己想法，而獲得成就感。 數 n-IV-4 理解比、比例式、正比、反比和連比的意義和推理，並能運用到日常生活的情境解決問題。 數 s-IV-6 理解平面圖形相似的意義，知道圖形經縮放後其圖形相似，並能應用於解決幾何與日常生活的問題。	

	藝 3-IV-2 能規劃或報導藝術活動，展現對自然環境與社會議題的關懷。
	藝 2-IV-3 能理解藝術產物的功能與價值，以拓展多元視野。
學習內容	自 Mc-IV-3 生活中對各種材料進行加工與運用。
	自 Na-IV-7 為使地球永續發展，可以從減量、回收、再利用、綠能等做起。
	數 N-7-9 比與比例式：比；比例式；正比；反比；相關之基本運算與應用問題，教學情境應以有意義之比值為例。
	數 S-9-1 相似形：平面圖形縮放的意義；多邊形相似的意義；對應角相等；對應邊長成比例。
議題融入	藝 P-IV-3 設計思考、生活美感。
	藝 A-IV-3 在地及各族群藝術、全球藝術。
教材來源	自編教材
學習資源	環境教育、SDGs( 優質教育  氣候行動  陸域生命)、美感教育
	1. 一點透視 https://www.youtube.com/watch?v=yifMB-sGwCk&t=43s https://www.youtube.com/watch?v=2dWISpoKyQs
	2. 達森設計 https://www.moride.net/pond.html
	3. 學習扶助科技化評量系統 https://exam.tctc.edu.tw/tbt.html/
	4. 做出自己的藍圖 - 光合藍圖藍曬組 https://www.lifechem.tw/blog/160604
	5. 走進台南藍晒圖 保存記憶交疊新想像 https://www.youtube.com/watch?v=L-d7qcyRVCY
	6. 台南藍晒圖復活！在福寶村重現 https://www.youtube.com/watch?v=cw3lxX15sHU
	7. 環境資訊中心-白堊土 https://e-info.org.tw/taxonomy/term/11487
學習目標	
1. 利用數學比例概念繪製出生態池的縮圖。	
2. 繪製校園藍晒圖。	

3. 透過觀察了解生態池的現況。
4. 搜集生態池相關資訊並規劃設計生態池未來想像圖。
5. 針對漏水提出解決的方案。
6. 依據方案執行提出修正方案再執行。

課程架構



學習活動設計

學習活動流程	時間	學習資源	評量
活動一 觀溪古今			
1. 引起動機 教師提問現今溪流與以前溪流生態環境有何不同？並帶入氣候變遷議題對溪流的影響。	5 分鐘	圖片	口頭評量
2. 發展活動 藉由溪遊記課程學生已了解溪流生態，本課程為規劃設計複製溪流生態之 SOP。 (1) 讓學生分組討論，如何將溪流生態複製到學校的生態池內。 (2) 學生設計複製溪流生態的流程圖。	30 分鐘	任務單	質性評量
3. 綜合活動 各組上台分享小組流程圖。	10 分鐘		口頭評量

~第一節結束~			
活動二 藍晒圖 畫出未來			
1.引起動機	5 分鐘	PPT	口頭評量
(1) 教師展示比例尺概念相關的幾何圖形。 (2) 讓學生說出比例尺的概念。			
2.發展活動			
美感教育就是從生活中透過發現、探索、體驗的歷程，從人與自然生態環境的互動中培養「發覺美」、「探索美」、「感受美」、「認識美」及「實踐美」的知能，進而讓學生產生自信心並應用於生活之中。利用一點透視圖，讓學生了解點、線、面間的關係，進而體驗立體空間圖形的美感。			
(1) 教師教授比例數學相關概念，並讓學生運算練習。	25 分鐘	自編講義	實作評量
(2) 一點透視圖繪製及練習。	15 分鐘	畫圖紙	實作評量
(3) 讓學生測量生態池的大小，並記錄。	10 分鐘	直尺	
(4) 讓學生自由發揮畫出生態池的縮小圖。		筆	
(5) 透過影片「做出自己的藍圖 - 光合藍圖藍曬紙」，「走進台南藍晒圖 保存記憶交換新想像」介紹讓學生認識藍晒圖。	30 分鐘	影片	實作評量
(6) 採用藍晒圖構圖方式，結合數學比例概念及溪流生態，讓學生畫出生態池未來想像圖。			
3.綜合活動	5 分鐘		口頭評量
各組上台分享生態池未來樣貌圖。			
~第三節結束~			
活動三 風華再現			
1.引起動機	5 分鐘		口頭評量
回顧活動一複製溪流生態可行設置的方案。			
2.發展活動			
於前述活動中已帶學生進行測量及場勘並觀察生態池所面臨的危機，其中以無法蓄水為主要問題，引導學生發現解決漏水問題為首要任務。			
		防水布	
		黏土	
		水生動植物	

(1) 各組學生估測所需材料。(運用面積、體積概念)	40 分鐘	實作評量
(2) 學生針對漏水問題，使用防水布、黏土等材料著手進行修補及測試防漏效果。	45 分鐘	實作評量
(3) 種植水生植物，放養魚蝦。	20 分鐘	
藉由活動一所設計之複製溪流生態流程圖進行滾動式修正，待生態池完成防漏測試後，首先將水生植物植入使其穩定成長，再將溪流魚蝦放入，並持續觀察、紀錄做滾動式修正。		
3.綜合活動		
學生分享將溪流生態複製到校園內生態池的心得及收穫。	25 分鐘	口頭評量
~第六節結束~		
教師省思		學生回饋
實驗教育課程打開我的教學新視野，相較於傳統的教育，實驗教育課程給學生更多自我成長的空間。課程實施過程師生共同成長，不同領域的教師有更多機會共同備課，領域間迸出美麗的火花，學生們由原本的被動學習轉為主動，放手讓學生嘗試解決問題，能看見更多奇特的想法。身為教學者的我，於實驗教育課程裡體會到多元的教學方法，並時時修正教學方法與技巧，培養學生問題解決的能力。		校園中的生態池已歷時許久，因學校的課程安排，讓我們在實驗課可去觀察與測量生態池，並設計未來想像圖。藍晒圖是一種很特別的畫畫方式，因藝術家老師讓我認識藍晒圖的美，也學到藍晒圖的設計方法。和老師、全校同學一起完成美麗的藍晒圖，畫畫的過程很辛苦，很累，但真的很開心，因為我們把學校變美了！

教學歷程照片



小組討論方案



景觀池實地勘察及丈量



繪製一點透視圖



小組方案發表



藍晒圖裝置藝術



藍晒圖完工

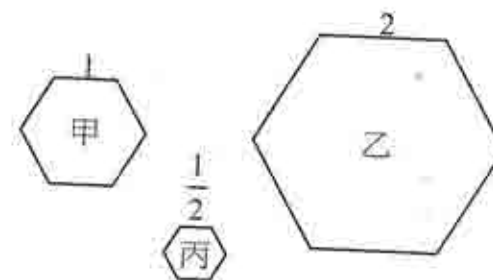
嘉義縣大埔國民中小學 109 學年度「溪遊記之池來運轉」 前測卷

班級	7 年 1 班 8 年 1 班	教授單元	比例尺
教學設計者	鄭夙君	授課時間	109 年 12 月 29 日 13:15~14:00
學生人數	15 人	授課總節數	1 節
學習能力指標	6-s-02 能認識平面圖形放大、縮小對長度、角度與面積的影響，並認識比例尺。 9-s-03 能解釋出平面圖形的縮放，即為圖形之長寬成等比列放大或縮小。		

1. 學校圍牆的邊長是 500 公尺，在地圖上的長度是 5 公分，在比例尺上要怎麼表示？

2. 爺爺有一個長 180 公尺、寬 120 公尺的長方形菜園，地圖上的縮圖是長 9 公分、寬 6 公分，是實際菜園邊長的幾分之幾倍縮小圖？

3. 甲圖是一個正六邊形，經影印機放大後得到乙圖，縮小後得到丙圖，回答下列問題：



(1) 乙圖是甲圖的【 】倍縮放圖。

(2) 丙圖是甲圖的【 】倍縮放圖。

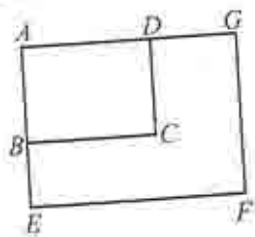
嘉義縣大埔國民中小學 109 學年度「溪遊記之池來運轉」
後測卷

班級	7 年 1 班 8 年 1 班	教授單元	比例尺
教學設計者	鄭夙君	授課時間	109 年 12 月 29 日 13:15~14:00
學生人數	15 人	授課總節數	1 節
學習能力指標	6-s-02 能認識平面圖形放大、縮小對長度、角度與面積的影響，並認識比例尺。 9-s-03 能解釋出平面圖形的縮放，即為圖形之長寬成等比列放大或縮小。		

1. 阿光家到學校的距離長 800 公尺，在地圖上的長度是 8 公分，在比例尺上要怎麼表示？

2. 縮圖上的長度和實際長度的比是 $1:2000$ ，比值是 $\frac{1}{2000}$ ，長方形花園在縮圖上長 9 公分、寬 6 公分，長方形花園實際的長和寬各是多少公尺？

3. 如圖，長方形 AEFG 是長方形 ABCD 縮放圖，若 $\overline{AD} = 24$ ， $\overline{AB} = 18$ ， $\overline{AE} = 30$ ，則 $\overline{AG} = ?$



姓名：

座號：

班級：

圖三視圖

大埔區中小「生態池」提案書



總頁：11

中華書局 110 年 03 月 25

方誌

頁數

封面至卷

科學閱讀 第一冊

總編輯：江宜瀨老師

編輯人員

林子欽校長、江宜瀨主任、鄭意柔主任、李佩馨主任、
張雅雯組長、林淑雅老師、鄭夙君老師、張家銘老師

Take it easy.

標準水質檢驗如何做？就靠檢測這 3 種菌體！

文章發布日期：2020/02/11 資料來源：<https://www.stst.com.tw/class/id=1263>

水質檢驗標準有其規定，為確保市民飲用水水質安全，衛福部明訂檢驗符合法規資訊。但究竟如何做好標準的水質檢驗呢？答案就靠這 3 種菌。



衛福部明定的飲用水規範

因應民眾購買包裝水或盛裝飲用水需求，市售的包裝水或盛裝水可是隨處可見。水源及水質的優劣及產品的衛生對於飲用水安全著實重要，目前衛福部針對供人飲用之包裝飲用水及盛裝飲用水規範其水源水質應符合飲用水水源水質標準。其中微生物限量：大腸桿菌群、糞便性鏈球菌及綠膿桿菌皆須陰性。

如何做好水質衛生控管？

包裝水或盛裝飲用水的生產過程中，除了水源的管控，在分裝時包含設備、管路等每一個環節都要避免微生物的污染，防止微生物殘存在管壁或進出管口，或者任何讓微生物增生的機會。而製程中也會透過除菌過濾，如：紫外線燈、臭氧...等殺菌方式，並經由逆滲透，以確保產品的最終安全。

水質微生物的檢測方式

水質微生物檢測的方式，通常會將適量水倒入已滅菌的過濾設備，利用無菌濾膜進行過濾，再將濾膜放入特定培養皿中，以適當條件進行培養及計數。監控大腸桿菌群、糞便性鏈球菌及綠膿桿菌作為水源水質的衛生評估，當檢出微生物時，可能代表水源水質源頭受汙染或在製造、儲存、取用或配送過程中遭受汙染！

水質檢驗必知的 3 種菌體！

(1)大腸桿菌群：大腸桿菌群的檢出，可拿來判斷水質汙染的程度。水中的大腸桿菌群含量可作為水質受糞便汙染的指標，而且可能有腸道致病菌像是：大腸桿菌、沙門氏桿菌、致賀氏菌...等的存在，只是檢測水質的病原菌分離的方法複雜且費時，執行起來不容易，因此僅規範及檢測特定的指標微生物。飲用大腸桿菌群超量的水可能造成腸胃不適，引發腹痛、腹瀉、發燒、頭痛等症狀，所以包裝飲用水的大腸桿菌群是不得檢出的。

(2)糞便性鏈球菌：糞便性鏈球菌與大腸桿菌群的生存型態類似，對於環境的適應性和抵抗力更高，所以在自然界分布更廣。而水中出現糞便鏈球菌通常表示為糞便汙染，鏈球菌大多存在於人或動物的糞便中，但是鏈球菌在汙染的水中較難繁殖生長，且相較於大腸桿菌群較難消滅，所以把糞便性鏈球菌作為監測水質的衛生指標更具意義。

(3)綠膿桿菌：綠膿桿菌又稱銅綠假單胞菌 (*Pseudomonas aeruginosa*)，是一種革蘭氏陰性菌，適合在潮濕的環境下生長，經常存土壤、植物、耕地、水源等地，也常見於腐敗的食物、皮膚等。當傷口受到綠膿桿菌桿時會出現“藍綠色膿汁”，因此稱之。綠膿桿菌為人類伺機性致病菌，對健康的個體不具有病原性，若水

中含有綠膿桿菌，肢體接觸後對於抵抗力較差的老人或小孩，就可能引起皮膚傷口化膿、眼睛感染等症狀，甚至呼吸道、泌尿道生殖系統也可能受感染，嚴重者可能導致腦膜炎。綠膿桿菌會形成生物膜 (biofilm)，如果受其汙染會持續存在水中長達一段時間，所以製程中管路、過濾器清潔和例行維護，也是很重要的防護，特別像飲水機、加水站等設備也需特別注意，因此綠膿桿菌是包裝飲用水衛生指標菌之一。

如何確保水質衛生？

民眾在購買包裝飲用水時，一定要特別注意選擇有完整包裝和標示明確的產品！開瓶後也要適當的存放和盡快使用完畢，如到加水站購買飲用水時，也要確認加水站的環境及設備是否有依照規定進行維護清潔和記錄。

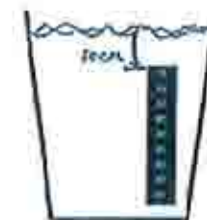
更重要的是水站所販售之盛裝水，必須經煮沸後才能飲用，確保我們飲水的安全哦！

小知識 - 簡易水質檢測教學

- 溫度檢測：污水之溫度較自來水高約 $1 \sim 2^{\circ}\text{C}$ ，高溫廢水排入水體會提高水溫，導致水中的生物死亡。

步驟：

1. 將溫度紙片放入水中
2. 等待一分鐘後
3. 觀察試紙顏色數值顯示



18 20 22 24 26 28 30 32 34

(資料來源：徐貴新, 2006)

- 溶氧量檢測：溶氧是指溶於水中氧的含量，一般水中適合魚類生長溶氧需要 3.0 mg/L 以上，為水污染之重要指標。

步驟：

1. 用小玻璃瓶於水中取滿水
2. 加入兩顆 Do 試劑
3. 加蓋
4. 搖晃到完全溶化
5. 等待五分鐘後
6. 比對顏色



(資料來源：徐貴新, 2006)

- 酸鹼值檢測：中性： $\text{pH} = 7$ ，酸性： $\text{pH} < 7$ ，鹼性： $\text{pH} > 7$ 。一般酸性廢水具腐蝕性，對河海和港口系統設備造成損害，殺滅魚貝水生生物，使水體不適於遊憩、灌溉及給水。

步驟：

1. 用長塑膠管取水到 10c.c. 刻度
2. 加 pH 試劑一顆
3. 搖晃溶解
4. 比對顏色

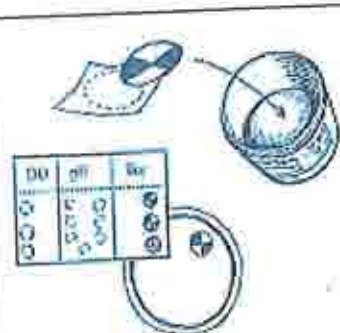


(資料來源：徐貴新, 2006)

●濁度 (JTU) 檢測：濁度表示水對光的反射及吸收性質，來源有黏土、砂土、淤泥、無機及有機微粒、浮游生物、細菌等。影響：水生植物光合作用、魚類生長、繁殖，干擾消毒作用。一般濁度計檢測時濁度單位為 NTU；但本次我們使用的是 JTU，即傑克遜濁度單位是一個過去使用的單位，當時人們利用傑克遜濁度計目測濁度：將待測水樣倒入一支豎直置於火焰正上方的玻璃管中，直到無法看清玻璃管為止。

步驟：

1. 將黑白貼紙撕下
2. 貼在平底角落
3. 加滿水到黑線
4. 比對清澈度







(資料來源：徐貴新, 2006)

●觀察水中生物種類，得知水質的好壞


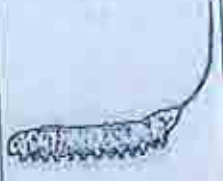

如果我們到水邊的時候，不妨仔細觀察附近動植物的種類，藉由動、植物種的辨識，也可以初步判別水質的好壞。乾淨水邊常見之生物：




說明	圖鑑	名稱	說明	圖鑑	名稱
樣子像蒼蠅，喜歡棲在石頭上而得名。身體黃褐色，長 1~3 公分。尾毛 2 根，腳 3 對，足尖有雙爪。雜食性。		石蠅	外形像蠶，會取碎石來綴結成網狀巢，因而得名。身體紫褐色，長 3.5 公分，頭部狹尖，有鬚。頭和前胸佈滿黑褐色小點，腳有 3 對。藻食性。		長鬚石蠅
和長鬚石蠅屬於同一類。會石為巢。身體長用分泌物黏結細黃褐色，長 3 公分，較肥胖。腳有 3 對。藻食性。		流石蠅	身體扁平，便於棲息於石縫中，長 0.5~2 公分。淡褐色，長相似石蠅，不同的是尾毛有 3 根，腳 3 對。足尖單爪，有翅芽。藻食性。		扁蚌蜉

輕度污染之水邊常見之生物：





說明	圖鑑	名稱	說明	圖鑑	名稱
身體棕褐色，尾毛有二根，因而得名。有片狀翅芽。藻食性。		雙尾小蚌蜉	扁平呈圓盤形，像是錢幣一樣，所以又名「水錢」。腳有三對，但從背面看不到。藻食性。		扁泥蟲
外形像蜈蚣，又稱「水蜈蚣」、「蛇蜻蛉」。頭及前胸是赤褐色，中後胸及腹部是紫褐色，體節兩側有絲狀突起。口器發達，為肉食性。		石蛉	與豆娘的幼蟲，通稱為「水蜆」。蜻蜓幼蟲體形寬短，尾端有三根葉狀鰓。是肉食性，下唇特化成捕捉器。		蜻蜓幼蟲

在比較髒之水邊常看見之生物：

說明	圖鑑	名稱	說明	圖鑑	名稱
形狀類似子子，體紅色而得名。無脚，有觸角，腹末有鉤爪。常潛入泥沙中，吃腐敗的有機物。		紅蟲	因尾部有一根長條呼吸管而得名，又稱「鼠尾蛆」。身體淡黃色，圓筒形，體表多皺紋，體節不明顯，因污水溶氧不足，而將呼吸管伸出水面呼吸。吃腐敗的有機物。		管尾蟲
線形，像蚯蚓，全身紅色，多剛毛。常將身體一部份鑽進泥中，露出的部份一被碰觸，立刻會鑽入泥裡。吃腐敗的有機物。		類蚓類			

說明	圖鑑	名稱	說明	圖鑑	名稱
身體扁平，具有伸縮性，伸長後可達3倍，藉伸縮前進或後退。身體兩端有吸盤，可固著在石頭上。吃腐敗的有機物。		水蛭	螺殼細長成椎狀，深褐色，螺紋清楚。吃腐敗的有機物。同類的還有福壽螺和廣口螺。		螺類
身體黃綠色，脚有3對，足尖單爪。尾毛有3根，有翅芽。體形極小。藻食性。		姬蟬			

昆蟲的水質指標(資料來源：曾昭恆, 2006)

	
石鱖 輕度(普通)污染水域	苦花 未(稍)受污染水域
	
吳郭魚 嚴重污染水域	鰱魚 中度污染水域

水中魚類的觀察(資料來源：曾昭恆, 2006)

優養化(Eutrophication)(一)

highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress

優養化(Eutrophication)(一)

國立臺灣師範大學附屬高級中學學生蔡韶恬/國立臺灣師範大學附屬高級中學化學科陳昭錦老師

優養化是指水體生態系中，由於清潔劑、肥料或礦物等富含植物生長營養素的物質流入，導致水質汙染的現象，這些植物營養素通常含有氮、磷等元素。

其結果通常使生態系之初級生產力(Primary production)增加(植物過度的生長與腐敗)，進一步的影響包括：缺氧、水質惡化及魚、貝類大量死亡等。

(三聚磷酸鈉曾經是很多種清潔劑的添加成份，為優養化的元兇，
圖片來源：<http://en.wikipedia.org/wiki/Eutrophication>)

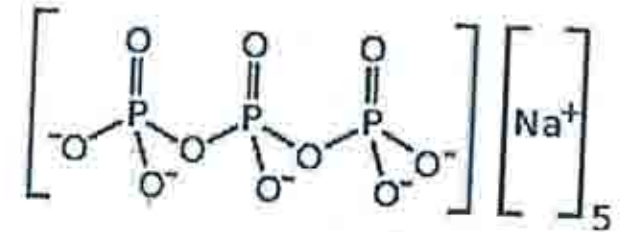


(優養化，圖片來源：
<http://en.wikipedia.org/wiki/Eutro>)

優養化的機制(Mechanism of eutrophication)

優養化肇因於植物營養素的過量供給，導致植物及藻類急速大量成長，這些有機體死亡後大量消耗水體中的溶氧，形成大量缺氧的狀態，導致水質惡化。在水體系統中，窒息性水生植物或浮游性植物(即藻華)的生長速率若提高，會阻礙正常生態系統的運作，使水中缺氧，導致魚類及甲殼類無法生存。

磷酸鹽是造成優養化的限制因子(limiting factor)，自然界的磷酸鹽原本固定在土壤中，是植物生長必需的營養素，其流動是藉由侵蝕作用。一旦磷酸鹽被轉移至湖泊等水體中，將很難除去，意即優養化幾乎是不可逆的。此時水變得混濁，顏色轉為綠、黃、褐或紅。人類也同樣受到衝擊：優養化降低河流、湖泊和河口資源的利用價值，如影響娛樂、捕魚、狩獵及破壞環境等，甚至干擾飲用水的處理，造成健康的問題。



(一)湖泊、河流和海洋

二十世紀中，優養化現象被視為是歐洲及北美湖泊和水庫的嚴重污染問題，而後範圍更加擴大。依據調查，亞洲54%的湖泊有優養化現象，歐洲為53%、北美為48%、南美為41%而非洲則為28%。

湖泊的優養化是一種自然的過程，也有許多湖泊的狀態恰好與優養化相反，即營養物質隨時間漸漸減少。現代考古湖沼學家認為，氣候變遷及其他外在因素的影響同樣重要，而更重要的是調節湖泊自然生產力的因素。河口也有自然優養化的趨勢，因為流水所挾帶來自陸地的植物營養素集中在河口狹小的範圍內。

位處熱帶的氾濫平原地區，優養化也可能由於季節性洪水氾濫的自然過程而產生，如尚比西河的巴洛茲氾濫平原，當雨季開始之後，第一次的洪水(稱之為紅水)沖掃過氾濫平原，洪水所帶來自平原上牲畜的糞便，及腐敗的乾季植物，往往造成優養化而導致許多魚類的死亡。平原上為種植玉

米、稻米和甘蔗等作物而施肥，使優養化的現象更形嚴重。

人類的活動會加速營養物質進入生態系，農業與工業的排放，化糞池與下水道污水，及其他人類的活動產生的污染，會增加無機營養素與有機物的流動，使其進入陸地、水體及海洋沿岸生態系統(包含珊瑚礁)，增加大氣的含氮化合物也會增加土壤氮元素的供應來源。

當湖泊受到下水道的點狀污染源污染而產生優養化時，磷元素常被視為是主要的元兇，藻類的數量和湖泊優養化程度與水中的磷含量有密切的關係。安大略實驗湖泊區的研究結果顯示，磷元素的增加與優養化速率有密切的關聯性存在。人類活動使磷元素在地球的循環速率增加了四倍，其主要原因是農業肥料的生產與使用。在1950到1995年之間，已經有600,000,000噸的磷施放於地球表面，主要在農地上。控制磷的點狀來源能快速地控制優養化，因此改善的關鍵繫於政策的改變。

(二)陸生生態系

一般認為植物營養素流入湖泊、海灣或其他半封閉水域(甚至緩流的河流)會使水生系統繁茂，然而陸生生態系也同樣受到負面的衝擊。土壤中硝酸鹽的增加往往使植物種類結構改變，而這種改變並非人們所希望的。當陸地生態系發生優養化時，許多植物品種也會面臨危機，例如：歐洲大部分的蘭花品種及一些多草低地、森林和沼澤地帶的生態系以低量植物營養素為主。若氮元素含量非自然地增加時，便有利於生長快速、競爭力較強的植物，如高大的草，它們會過度生長，使整個地區完全改觀，而較脆弱的品種就可能消失，如品種豐富的沼澤被蘆葦或芒草所取代。又如由於施肥田地的肥料過量使用，可能使壯麗的森林轉變成濃密的蕁麻和懸鉤子灌木叢等。

至於優養化的形成，氮的化學形式是最常被關注的問題，因為植物對氮有高度的需求，所以增加氮化合物會刺激植物的生長，磷元素增加時其情況也相同。土壤中氣態的氮非常穩定，不能直接為高等植物使用。陸生生態系依賴固氮細菌將氮氣轉變成其他形式，如硝酸鹽。然而可被利用的氮是受到限制的，生態系取得的氮超過植物所需稱為氮飽和。磷素遠比氮素更不易溶於水，因此它由土壤濾出的速率遠較氮素慢，因此對於水生系統的限制營養素，磷素遠比氮素重要。

連結：優養化(Eutrophication)(二)

參考資料：

1. Eutrophication。檢索日期 2014.8.15，<http://en.wikipedia.org/wiki/Eutrophication>。
2. 葉名倉(民97)，基礎化學。南一，台南市，p.35。

Copyright 2020 科學Online

優養化題目

水質優養化的過程中，可以包含以下幾個階段：1 細菌等分解者分解大量死亡的藻類；2 藻類過度繁殖；3 水中溶解的氧氣減少；4 魚類大量死亡。試問上述幾個階段的發生先後順序為何？

- (A) 1234
- (B) 2134
- (C) 2143
- (D) 2314

B

下列有關「優養化」的敘述，何者正確？

- (A)因工業廢水而起，家庭廢水則不影響
- (B)會導致藻類大量孳生
- (C)水中溶氧量因藻類增加而大幅增加
- (D)因水中含氮、硫的有機物增加所致

B

很多清潔劑或洗衣粉都強調「無磷」，主要是避免什麼污染？(習 6-1) (A) 溫室效應 (B) 酸雨 (C) 臭氧破洞 (D) 優養化

D

臺灣特有的生態議題：蝦與人

2008/05/07

陳威宇 | 臺灣大學動物學研究所

吳書平 | 臺灣大學動物學研究所

羅竹芳 | 臺灣大學動物學研究所

您可知道人類與蝦如何相遇？蝦如何成為人類的重要水產資源？蝦類養殖又是如何發展成為全球化的高經濟產業？讓我們來了解蝦對人類的貢獻，更一觀蝦的美麗和哀愁！



臺灣原生種多齒米蝦，或稱大和米蝦（圖片來源：廖運志）

許多蝦類色彩鮮艷形態特殊，受到水族愛好者的歡迎並飼養在觀賞水缸中。這些觀賞用蝦，除增添水缸造景的美感外，也可撿拾殘餌，並清除水中滋生的藻類，共構水族飼養環境群落，維持缸內生態穩定。

世界各地蝦類料理的風味和方式迥異，人們對於蝦類美味的喜愛是不分國界的。這種無國界食

材的特性，使得蝦類養殖產業和進出口貿易成為各國重要的高經濟效益活動。

由蝦殼提煉出的甲殼素，不僅可做為外科手術中止血繃帶的原料，也常做為健康食品的添加成分，可減低人體對脂肪的吸收。近年來紅透半邊天的蝦紅素，在蝦殼中的含量也很高。

先前由於蝦白點症嚴重衝擊養蝦產業，促使全球水產生物和病毒學家投入研究，國內學術界也因參與蝦病研究獲致許多出色的成果。目前，臺灣是蝦類病毒疾病商業檢驗試劑最大的產製國，產品的全球市場占有率高達 70% 以上！

人與蝦的相遇

蘇軾（1037 - 1101 年）在〈前赤壁賦〉中記述與客遊赤壁，「侶魚蝦而友麋鹿」，文人的逸懷浪漫隨同自然萬物放身山水。同是宋代的羅願（1136 - 1184 年）在其所著的《爾雅翼》中，對於蝦的形態和種類有更深刻的描繪，文中描述「蝦多鬚，善游而好躍，今閩中五色蝦，長尺餘，具五色，梅蝦，梅雨時有之。蘆蝦，青色，相傳蘆葦所變。泥蝦，稻花變成，多在泥田中。又蝦姑狀如蜈蚣，一名管蝦……」。足見先人對蝦已有相當程度的觀察和了解，也反映了自古以來蝦與人類生活的密切關係。

兩千餘年前的希臘哲學家亞里斯多德（Aristotle, 384BC - 322BC）透過對各種複雜生命形式的詳盡觀察，以歸納法創立早期的動物分類概念，而他所創設的「軟甲動物」分類群（即現今的甲殼動物）已把常見的水族蝦蟹囊括其中。如今在系統分類學上，俗稱的蝦是屬於節肢動物門（Arthropoda）甲殼亞門（Crustacea）軟甲綱（Malacostraca，沿用亞里斯多德所創的名詞）下十足目（Decapoda）的成員。

許多軟甲綱其他目中的動物，中文俗名裡雖有「蝦」字，卻非真正屬於十足目的蝦。如常用來做為餌料的豐年蝦屬於鰓足目（Branchiopoda），南極蝦屬於磷蝦目（Euphausiacea），具有食用價值的螳螂蝦（即一般漁市或海鮮餐廳所稱的瀨尿蝦）則屬於口足目（Stomatopoda）。此外，餐宴桌上常見的「明蝦」，並不是單一或特定蝦類物種，凡是體型較大的蝦（一般是對蝦科）都可稱為明蝦。

蝦的生活史

蝦可生存在海水和淡水環境裡。在自然界中，多數種類的蝦棲息於海水域，並在海洋中完成生長、生殖繁衍等個體生活史。雌蝦一次約可產下 5 萬至 100 萬個受精卵，產卵量視種類而有所不同。受精卵產出後 24 小時內就可成長為無節幼蟲，這些無節幼蟲以卵黃所含的養分維生並不進食。數天後無節幼蟲變態進入眼幼蟲期，這時期以藻類為食。再經數日，眼幼蟲進一步變態進入糠蝦期。糠蝦期幼蟲已具有蝦的雛形，這時期的體型較眼幼蟲大，已能攝食其他浮游生物。

在環境條件適合的狀況下，糠蝦期幼蟲約再經過 3 至 4 天就進入後期幼蟲階段，後期幼蟲末期已可稱為稚蝦，稚蝦已具備成蝦的形態特徵。在自然環境中，發育後的稚蝦會游到含有較高養分 and 低鹽度的河口區繼續成長，待成體後回歸大海，生活於海底，多數種類的蝦屬於底棲性動物。

蝦的價值

蝦是高經濟效益的水產動物，有觀賞、食用及相當高的附加價值。

觀賞價值 許多蝦類色彩鮮艷形態特殊，受到水族愛好者的歡迎並飼養在觀賞水缸中，例如台灣水族界近年流行飼養的水晶蝦、玫瑰蝦、蜜蜂蝦、海星蝦等。這些觀賞用蝦，除增添水族缸造景的美感外，也可撿拾殘餌，並清除水中滋生的藻類，共構水族飼養環境群落，維持缸內生態穩定。

食用價值 除了觀賞價值外，蝦類最重要、最廣為人們知曉的就是牠的食用價值。儘管世界各地蝦類料理的風味和方式迥異，人們對於蝦類美味的喜愛是不分國界的。這種無國界食材的特性，使得蝦類養殖產業和進出口貿易成為各國重要的高經濟效益活動。食用蝦類的價位差異甚鉅，從動輒單價新台幣上千元的波士頓龍蝦到耳熟能詳的東港櫻花蝦，甚至炒菜時加入提味、物美價廉的蝦米，都屬常見的食用蝦類，不變的是高營養價值的成分。

整體而言，蝦肉是一種低脂肪、低卡路里的高品質蛋白質，平均 100 公克蝦肉約含有 20 公克蛋白質，熱量卻不到 100 卡，更只含不到 1 公克的脂肪。此外，蝦肉還含有大量的微量元素硒（selenium）、維生素 D、維生素 B12 等。雖然蝦的營養價值很高，還是得提醒諸位讀者，食用前務必確定自己不會對蝦類食物產生過敏反應。此外，因蝦肉含有高普林成分，痛風患者也不宜攝取過量。

附加價值 蝦類除了蝦肉本身的食用價值外，蝦殼也是具高附加價值的重要商品。由蝦殼提煉出的甲殼素，不僅可做為外科手術中止血繃帶的原料，也常做為健康食品的添加成分，可減低人體對脂肪的吸收。近年來紅透半邊天的蝦紅素，在蝦殼中的含量也很高。這種類胡蘿蔔素因具強抗氧化特性，普遍添加在女性美容保養品中，也可做為營養補充食品，以預防神經退化性疾病，譬如阿茲海默氏症等。此外，由蝦殼萃取的葡萄糖胺，也常運用在減輕或預防關節炎的營養補充食品添加物中。

蝦類養殖產業

蝦類養殖產業屬於水產養殖的一環，人類進行水產養殖的歷史，可追溯至數千年前的中國。當時在低窪地區耕作的農民無意間發現，洪水氾濫後會有許多魚蝦困在稻田的水澤裡，只要適時餵養這些魚蝦，便可成為食物的來源。在許多出土的古文物中，也常記載類似的原始水產養殖模式。時至今日，這種和農作物共生、粗放式的水產養殖法，仍保存於部分中國農村中。

在沿海地區的蝦類有數百種，但大部分種類不是族群量稀少就是體型太小，不具經濟性和養殖

價值。經過長期選汰，目前國際間蝦類養殖業者選定進行商業性養殖的蝦種，幾乎全部屬於對蝦科成員。較常見的有草蝦、白蝦、藍蝦、中國對蝦、斑節蝦、印度白蝦、墨吉對蝦等，其中又以草蝦和白蝦是最大宗，占了蝦類養殖業產量的 85%。

人工養殖的蝦，繁衍過程主要在 3 個場所進行，分別是孵化池、育幼池和養成池。蝦的受精卵在孵化池中孵化，並發育進入無節幼蟲期。無節幼蟲具向光性，養殖業者常利用光照集中採收無節幼蟲，隨後移入育幼池中，完成後期幼蟲發育階段並成長至稚蝦。在育幼池中的蝦逐漸適應養成池的水溫和鹽度，經過約 1 個月後，再移入養成池中，一般稚蝦在養成池中飼養 3 至 6 個月就可收成販售。

當前國際蝦類養殖產業潮流，已由過去局限於地方性的傳統產業轉型為現代化整合性模式，從生產健康蝦苗到建立品牌、行銷策略等，全面採取企業化經營。因此包括無特定致病原種蝦的培育、自動化孵育系統、大面積養成池的管理、疾病控制、生物安全性措施、計畫性採收、冷凍/包裝/運送的一貫作業技術、建構完整的產品履歷、獲得國際食品衛生安全認證等，都是成功的蝦類養殖企業必備的產銷條件。

蝦類養殖與生態環境

蝦類養殖產業雖然能帶來龐大的商業利益，但也會對自然生態環境造成嚴重破壞。蝦類養殖場多位在河流出海口的紅樹林區，紅樹林蘊含高度生物多樣性，更是眾多海洋生物產卵繁殖的棲所，在自然保育上意義重大。此外，紅樹林的植被也具有水土保持和防洪的功能。1980 至 1990 年，國際養蝦產業蓬勃發展的 10 年間，全球紅樹林棲地面積減少了 35%，追究其因，養蝦場的開發難辭其咎。

雖然近年來高集約養殖場的興起，減低了對紅樹林棲地的破壞率，但高密度養殖場排放出來的廢水含有高量的含氮廢棄物或抗生素，也會嚴重破壞紅樹林區的原生環境。此外，在蝦類養殖過程中，養殖池下方的土壤會逐漸毒化或因引入海水而鹽化。一般養殖池若未和土壤預做良好隔離，約 3 至 5 年後土地就無法再利用，且需經 30 年才能重新恢復生機。近年來提倡責任養殖的概念，就在於導正過去傳統養殖業搶短線的心態，減低因蝦類養殖而引起的環境危害和負面效應。

蝦類疾病

造成蝦類傳染性疾病的包括病毒、細菌、立克次氏體、寄生蟲引發的感染症等，其中以病毒感染對養蝦產業的危害最大，尤以病毒性白點症為甚。何謂蝦類病毒性白點症呢？追溯這個疾病的感染史，自 1993 年起亞洲地區開始流行一種會造成養殖蝦群大量死亡的病毒性疾病，由於罹病蝦體的外骨骼（蝦殼）上經常出現白點狀病灶，因此稱為病毒性白點症。隨後蝦白點症以極快的速率蔓延全球，重創全世界養蝦產業。

由於這疾病嚴重衝擊養蝦產業，促使全球水產生物和病毒學家投入研究，國內學術界也因參與蝦類

研究獲致許多出色的成果，在 1996 年就建立蝦白點症分子診斷技術平臺。目前，臺灣是蝦類病毒疾病商業檢驗試劑最大的產製國，產品的全球市場占有率高達 70% 以上！

病毒性白點症研究建立的技術和概念，也帶動了相關蝦類疾病的研究，使得科學界和養殖業者對現階段危害養蝦產業甚殷的疾病，諸如傳染性皮下和造血組織壞死症、蝦類黃頭症、蝦類套拉症及蝦類白點症 4 種蝦類病毒性疾病，已累積相當的研究基礎，可藉由這些成果規劃養殖場疫病控制策略。

隨著病毒學和分子生物學研究的快速進展，科學家們已注意到感染海洋生物病毒基因的獨特性。這些特殊基因的發現，不僅對於宿主生物體基因表現和調控機制的研究有所助益，同時蘊藏著極大的應用發展潛力，未來更可望為臺灣生技產業開創新契機。

儘管當下全球蝦類養殖業因蝦病侵襲而呈現不景氣，這項產業仍有極高的經濟效益和發展潛能。臺灣地處亞熱帶，海洋資源充裕，生物科技發達，養殖業者素質也高，具有發展現代化養蝦產業的優勢。雖然目前本地的蝦類養殖業仍受諸多疾病困擾，但若能充分整合產官學界的力量，必可為養蝦產業注入新血，再現榮景！

附錄

油彩蠟膜蝦又稱海星蝦，主要以海星等棘皮動物為食，屬於寬額蝦科，具有扁平而寬大的螯肢，白色的身體上散布著藍色或橘紅色塊斑。臺灣所屬的太平洋海域有 *Hymenocera picta*（主要分布在中太平洋以東）和 *Hymenocera elegans*（主要分布在印度-太平洋海域）兩種海星蝦，東北角沿岸和墾丁海域的淺海珊瑚礁區都有海星蝦的蹤跡，是具有高觀賞價值的美麗蝦類。

清潔蝦具有紅白相間的縱向鮮豔條紋，是屬於藻蝦科的食屑與腐食性蝦類，廣泛分布在印度-太平洋海域以至紅海地區的淺海珊瑚礁生態系。由於清潔蝦會剝除並吃掉魚類體表的死亡組織和寄生蟲，珊瑚礁中許多魚類會主動靠近清潔蝦群聚的「清潔站」尋求除蟲服務。水族館和海水觀賞魚飼養者也常把清潔蝦和魚類共棲飼養，兼具觀賞和維持魚缸生態環境穩定的功能。

大和米蝦 (*Caridina multidentata*，正確中文名稱應譯為多齒米蝦) 是台灣原生種匙指蝦科中體型較大的種類，半透明的身體側邊有不規則斑紋，背上具淡黃縱向色帶，體長可達 4~5 公分。牠廣泛分布於全島清澈的溪流池沼等淡水域，屬於食屑性蝦類，水族館常把大和米蝦飼養在淡水缸中以除藻和清除腐質碎屑，也可做為其他大型魚類的餌食。過去國內常引用的學名 *Caridina japonica* 命名法規中無效的同物異名，本文引用的學名是遵循 Cai 等人 2006 年發表在《甲殼動物學期刊》(Journal of Crustacean Biology) 重新檢視校正系統分類的學術論文，但中文俗名仍沿用舊稱。

■片來源：廖運志

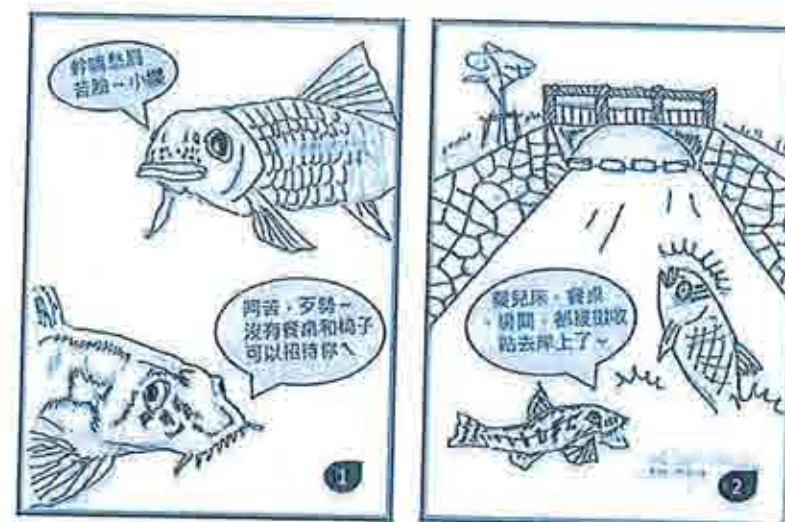
來源：

• 《科學發展》2008 年 5 月，425 期，6~11 頁

為什麼原地取材的砌石護岸不見得有利於生態？



est • 2017/07/05 • 1533字 • 閱讀時間約 3 分鐘



很多努力想成為生態工程的河溪治理，為何常變成生態殺手？關鍵之一在於為了標榜「就地取材，少用水泥」，我們把溪裡最重要的環境因子改變了。雖然可能在節能減碳上有九牛一毛的良善，但卻帶給原本住在溪裡的生物比地震洪水還可怕，且無法恢復的打擊。倘若我們原本的餐桌、座椅、眠床，都被別人拿去貼在牆上當壁飾，或許「家徒四壁」對這窘境是貼切的形容。

除了少部分淹沒在水線下的石縫可以利用，以及石縫長出的植物還能提供水裡一點食物遮蔭之外（但原本自然水岸的綠帶有著吃不完的食物呢！），大部分的水岸砌石就像可望不可及的壁飾一樣，無濟於補償河岸原本多元的路徑孔道和茂密的植生。而離水的石頭，也失去了原本對水域的多元貢獻。



水裡的石頭那麼有用？！

大小不一的溪石，是大小不一的動物躲貓貓的基地。你若去抓過蝦一定看過，謹慎的溪蝦一有顧慮就往石縫退。大的、小的魚蝦蟹，就在這迷宮裡互相捕食躲藏，沒有絕對輸贏，保有多樣的生物共存。



水下的溪石是絕大多數水中生物的居所或有嬰房，在污染不嚴重的溪水下翻開石頭，很容易找到水蠅、蜉蝣的稚蟲，在展翅飛向空中前，牠們就趴在石頭表面吃喝拉撒度過一整個童年。而溪魚產卵都得謹慎地挑選適當的水流與石縫，或黏著在石塊接觸面，跟適當的水流處。這是為了保護寶貴不會瞬間被沖走，不知去處，或馬上入魚口，變成別人佳餚。還要有足夠的氧氣及水溫拂過，才能增添孵化的機會。



那餐桌是？在溪水中，石頭是少數能附著藻類或小昆蟲的介面，尤其讓你得小心不跌倒的濕滑砂藻，正是許多素食雜食魚類的三餐。據前輩釣手說，有些溪魚因此有淡淡藻香帶來的美味。石頭邊常見圓形啄痕或條狀的表面刮痕，就是牠們光臨餐廳後的打卡記錄。



溪石也是瞭望台或巡弋崗哨。溪鳥常站在上面唱歌吶喊宣示領域，也是飛捕低空小蟲、潛水捕魚的返航基地。即便溪鳥越來越少見，你坐在溪邊打盹或戲水時，一定會想捉弄來來回回不離溪石的豆娘吧；牠們離水後的短暫蟲生，在石上戀愛交配，再將下一代產回自己長大的溪流家園。溪石，就這樣見證水域家族的傳承，儘管自己也會在暴雨後遷徙到不同河段。



溪石建立的龐大服務系統，可不能自己獨立運作。命中注定的地質條件下，氣候及地形帶來的水流，決定它們的大小排列，較大的溪石也有穩固溪床的功能。而陽光能穿透的水深，也決定餐桌上珍藻的供應。更有趣的是，較大而突出水面的溪石，形成的「水躍」自然就把氧氣帶入水中，堪稱重力帶動的打氣機啊！



畫最多台灣溪流的林煌雄老師，筆下的石頭鮮明地提醒了溪石是活力的來源，當你把這些石頭都移走，這些畫面的魔力都將消失。溪石是這麼萬能、這麼關鍵的自然資本啊！所以拜託，不管整治為了什麼，請盡量把石頭的原貌留在河裡！

參考資料：

- 『得賢的是…超級水公司！』

水資源的永續挑戰

© 2007.01 作者 / 薩克斯 (Jeffrey D. Sachs) 譯者 / 林筱雯

全球的水源供應已經嚴重不足，人口成長、全球暖化會使問題更加惡化。

雖然石油短缺經常登上頭條新聞，其實，水資源不足在世界各地製造的麻煩一樣多。最嚴重的地方是亞洲。位在亞洲的世界兩大國家：中國和印度，正在和逐漸惡化且尚未解決的水資源問題奮戰。中國北方的黃土高原屬於半乾燥或乾燥氣候，有將近兩億人口住在這裡，他們以馬達抽取地下水來灌溉農作，這種灌溉方式無法長久持續。事實上，黃河已經被抽取過度，再也流不進大海了。同時，抽取地下水也造成北京和其他北方大城的地下水位劇烈降低。印度的情形也非常類似。南印度經常有旱災，南方各省極度依賴流過境內的河川。當雨水很少時，河川上游的省份，如卡納塔克 (Karnataka)，會阻斷河水，對下游省份如坦米爾那都 (Tamil Nadu) 的農夫與居民有嚴重影響。就像在中國一樣，北印度數百萬計的鑿井，正讓地下水位高度逐漸降低，比地下水的天然補充速度更快。當然，水資源問題不只在開發中國家才有。在美國西部各州，以及美國與墨西哥之間，河川流量降低經常引發激烈爭議。在美國中西部大平原，有為數可觀的農地靠奧加拉拉含水層灌溉，這個含水層的水源充沛，但是正在逐漸減少。人口和經濟持續成長，會讓淡水資源更加吃緊。如今，使用更多的河水或地下水，經常是一場零和遊戲。當某地使用更多水源，其他地方的水源會更加稀少，造成當地經濟不穩定。氣候變遷讓壓力更為增加。喜馬拉雅山的冰河融化之後，流入河川。中國、印度，以及亞洲其他地區的幾億人口，以這些河川的水維生。喜馬拉雅山的冰河正在消退，有許多在本世紀會消失，河川水源供應也會跟著中斷。亞洲另外幾億人口，也有部份仰賴融雪來生活。而

且，即使降雪量不變，氣候變遷也會改變融雪的時間。天氣變得更溫暖後，融化的雪在春天就會流入河裡，比正常情況提早，使得漫長、乾燥的夏季無水可用。氣候變遷也讓降雨和蒸發模式改變，目前我們對其中機制仍然了解不多。乾燥地區可能會變得更乾；降雨頻率降低，但是雨勢增加。此外，劇烈天氣事件的強度也可能增加，像是熱帶氣旋。我在紐約哥倫比亞大學地球研究所的同事，採用理論推導並根據1000年的樹木年輪資料認為，全球暖化可能加劇美國西部的乾旱。雖然科學家還在熱烈討論中，但是有些證據指出，印度洋的海水表面溫度上升，可能導致東非部份地區發生旱災。解決之道並不簡單。沒錯，提高水價會讓水資源使用更有效率。滴水灌溉能降低農作的需水量。海水淡化能大幅擴充水源供給，儘管能源成本很高。淡水儲存系統也能讓農人免於穀物歉收的困境。但是，這些解決方法必須投入大量資本，而且它們並無法自動顧及窮人的需求，因為窮人支付不起那麼高的資金。而且，這些解決方法無法大規模進行，來完全解決水資源不足問題，因為大規模進行可能導致嚴重的生態後果。地球人口持續增加，保護水資源必須靠科學、生態、經濟、道德與國際合作等各方面的努力。在氣候變遷議題上，政府間氣候變遷研究小組（IPCC）著手尋求科學共識和可能的解決之道，成果相當可觀。如果我們從科學、科技、政策各方面同時著手研究水資源，必定能讓全球受惠。本文的完整英文版可以在Scientific American網站www.sciam.com/ontheweb線上閱讀

© 2020 SCIENTIFIC AMERICAN, A DIVISION OF NATURE AMERICA, INC. ALL RIGHTS RESERVED.

可以被海洋生物分解的新型塑膠，竟然是用纖維素、澱粉做出來的！



活躍星系統 · 2020/11/20 · 1906字 · 閱讀時間約3分鐘

0

• 沈培恩 | 渴望對科學有一點微薄貢獻的小小社畜、李伶慧

AA

當我們提到纖維素、澱粉時，是不是會馬上想到中午便當裡的炒青菜、白飯呢？然而，今日要討論的可不是午餐菜色！現在，纖維素、澱粉化身為科學家的重要材料，並且成功藉此研發出更環保的「塑膠」。

↑

這是來自日本大阪大學宇山浩教授團隊的研究成果，長期以來，宇山浩教授的團隊一直都致力於環保材料的研發，並在今年順利開發出以纖維素與澱粉為原料的塑膠。

想讓海洋變美麗？請把塑膠變不見！



塑膠垃圾摧毀海洋生態問題日益嚴重，開發具海洋生物分解性之塑膠是未來必要的開發趨勢。圖/ Pixabay

因工業發展與日常消費產生的塑膠垃圾，其難以被分解的特性，對環境造成的汙染日益嚴重，其中許多塑膠垃圾從都市或鄉村逸散，隨著雨水或河水流動，從陸地最終流入大海，無論是以塊材或是微粒的方式，它們都正在狠狠地摧毀海洋生態與環境，因此開發具生物分解性之塑膠——更精確地說，是具海洋生物分解性的塑膠——是一條勢在必行的路。

隆重歡迎塑膠界新生代——纖維素與澱粉

日本，可謂是全世界在海洋生物分解性之塑膠材料的領頭羊，除了正積極向國際標準化組織 (ISO) 等組織提案關於海洋生物分解性塑膠之標準外，相關材料的研發也正如火如荼地進行著¹。

到目前為止，以三菱化工生產的 PBS² 及鐘淵化工生產的 PHBH³ 為首，日本的企業已開發出多樣的海洋生物分解性塑膠，然而這些材料目前仍因突破不了產量低及價格高等難關，在普及方面尚無法有更進一步的發展。

宇山浩教授領導的研究團隊看見了纖維素與澱粉這兩種天然材料在海洋生物分解性塑膠領域的潛力，便致力於相關開發，並於今年順利以纖維素與澱粉為原料，開發出具海洋生物分解性之塑膠⁴。

剛中帶柔～高強度卻又容易破洞的塑膠

澱粉價格低廉且具生物分解性，但由於耐水性不佳的關係，在過往綠色塑膠材料的研究裡並不太廣泛地被應用。此次，宇山浩教授的團隊順利透過同為醣類的纖維素，與澱粉相互強化，製備出透明且具高強度之塑膠，為澱粉在生物分解材料的應用上開啟了新的篇章。

事前，宇山浩教授團隊將 TEMPO 氧化之纖維素^[1]與澱粉進行反應，使纖維素與澱粉間產生大量的鍵結，所得到的塑膠膜在外觀上非常透明，與纖維素之衍生物不透明的外觀在直覺上相去甚遠（圖 1）。

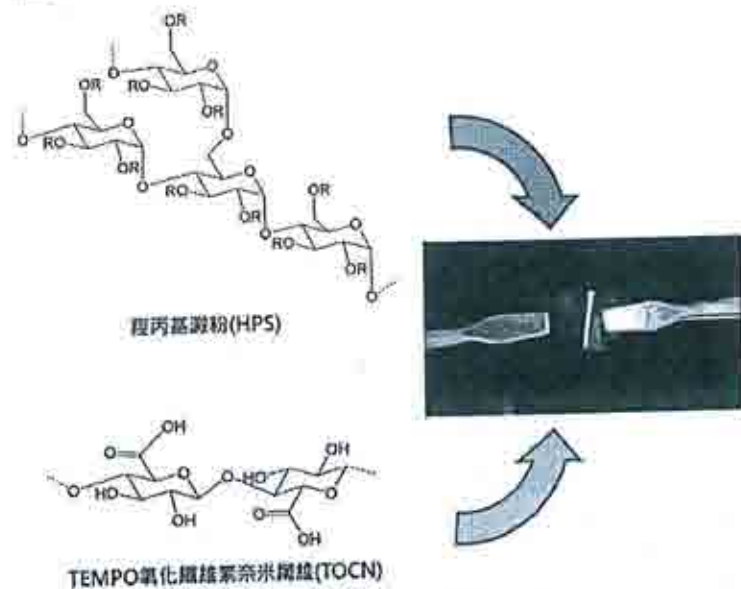


圖 1 利用纖維素與澱粉合成的塑膠膜的外觀。
圖 / 大阪大學宇山浩教授提供

另外，在強度方面，宇山浩教授團隊所開發的塑膠膜具有非常好的機械強度 (mechanical strength)，在拉伸測試中它可承受的應力比一般塑膠高出 2 倍，比較不容易被破壞。此外，該材料具有不同於其成分澱粉的良好耐水性，在水中浸潤後仍能維持良好的機械性質。

除了良好的機械性質外，當它在海水中浸潤一個月後，會產生許多孔洞，並有大量的細菌附著，說明了此材料也具備了良好的海洋生物分解性（圖 2）。

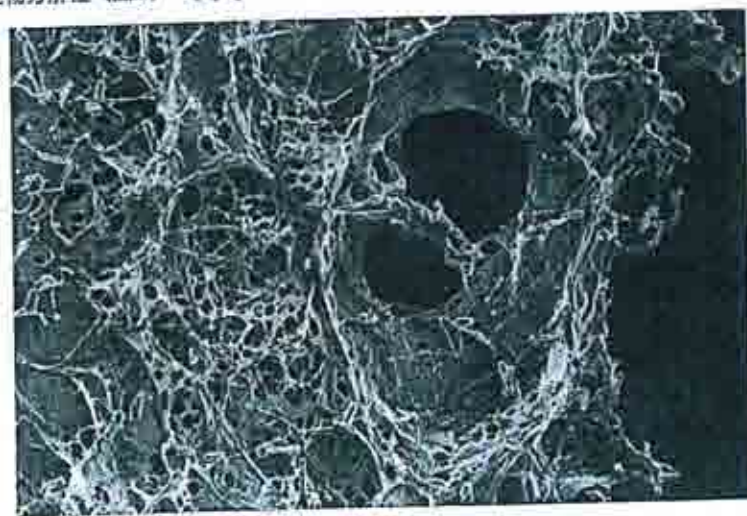


圖 2 分解時材料內部產生之孔洞，有利於分解的進展。
圖 / 大阪大學宇山浩教授提供

未來塑膠，取用自然，回歸自然

纖維素與澱粉皆為非常容易取得且價格低廉的天然材料，其中纖維素更能由稻稈等農業廢棄物取得，間接地促成了廢物再利用，也能夠減少燃燒農業廢棄物可能產生之溫室氣體，再加上材料製造過程簡單，可謂是從源頭、製成到產品皆對環境永續有極大貢獻之綠色材料。

目前，宇山浩教授的研究團隊正與企業合作，積極地開發該材料的工業化製程，以量產為目標邁進，期許在未來的某天，能夠取用於自然，再讓它回歸自然，不影響生物活動空間與生存權利，讓塑膠垃圾不再是海洋生物或環境的生存殺手。

註解

1. 使用化學物質 TEMPO 將纖維素的羥基氧化，氧化後，就能夠與澱粉的羥基反應，並產生鍵結的醚基。

投資集水區，何樂而不為？

2013/02/04 李柏昱 | 國立臺灣大學地理環境資源學系

過去利用硬體建設的方式取得水源與淨水已經越來越無法應付當今的需求與環境變化，不但成本高昂且無法永續使用。1 種新的方法：投資集水區，逐漸在世界各國推廣使用。1 份 2013 年出版的報告詳細觀察了新方法的發展現況。



水淨化設施的建造與維護費用都相當昂貴，若是遇上停電或過度混濁的水亦無用武之地。圖為日本京都的淨水設施。（圖片來源：Flickr 用戶 Ginkgo Telegraph）

2013 年 1 月 29 日，高雄市有兩萬五千多戶因為高屏溪遭受汙染而停水，需要緊急調配。而數天前，智利首都聖地牙哥的梅波河 (Maipo river) 則因為上游發生山崩，造成河水過於混濁，有 200 萬人無水可用。

這兩起大規模停水事件雖然一則是人為蓄意汙染，另一則為自然災害，但是都凸顯都市用水安全的潛在威脅。過去，水利工程思維採取的做法往往是建壩、築堤、蓋淨水廠，往往成效不彰亦不永續。

新的做法：投資集水區的保護，能同時維護城市飲用水、支持農業發展，還能對抗氣候變遷。聽起來不可思議，究竟是如何做到的？

根據 1 月 17 日由美國非政府組織「森林趨勢」(Forest Trends) 公布的《2012 集水區支出現況》報告 (State of Watershed Payments 2012)，約 2 千 4 百億元 (新台幣，下同) 已經投資在全世界 205 個不同的集水區，中國佔其中大約 91% 的投資金額，是最大的投資支出國。

雖然投資金額看似天價，省下的錢卻是投資的數倍：每年全球能省下 14 兆元的工程建設費用與 3

千8百億元的營運維護費用，還不包含工程建設對農業造成的衝擊損失。

投資集水區有甚麼實質上的好處呢？「森林趨勢」的發言人寫道：「如果紐約都會區依賴人為工程來汲取與過濾飲用水，珊迪颶風造成的損失將更為可觀。在風災期間仍能持續供應乾淨、安全的飲用水，主要歸功於紐約選擇付給上游的農夫與社區百萬美元，以減少對於供應紐約市用水的湖泊與溪流的汙染；而不是選擇將這筆錢用於建立淨水廠這類可能在停電時就停擺的設施。」

不過，許多集水區的「投資」並不是實際的金錢交易，而是透過提供農民蜂箱、果樹、天然牧草等方式進行。例如，在肯亞的奈瓦夏湖(Naivasha Lake)，一群由農夫、牧場主以及飯店業者組成的團體正一起為保護水源而努力。藉由資助當地小農購買高產出的作物品種，並協助提供穩定的農業灌溉用水，再增加農夫收成的同時，也能減少逕流，保持農地肥沃。

報告指出，投資集水區至今已經恢復1.17億公頃的農村土地，相當於32.5個台灣的大小！產生的乾淨用水足以注滿1座密西根湖，並大量減少因為逕流而被沖入河流與湖泊的氮和磷，避免湖泊優養化，保持農地富饒，農人能種植更多作物。

然而這只是開始，世界銀行有三分之一的貸款包含用水計畫，大多數計畫仍是建立傳統的淨水廠，而不是能同時維護水源、保護環境並為當地民眾帶來更多收益的「綠色」集水區投資計畫。好消息是，世界還有70個集水區投資計畫正在發展。

面對未來數十年的氣候變遷與人口持續往都市集中，集水區投資計畫仍需改良，例如需要進行各地的水文調查，以實施更針對性的集水區投資，好獲得更多安全且穩定的乾淨用水。（本文由國科會補助「新媒體科普傳播實作計畫—重大天然災害之防救災科普知識教育推廣」執行團隊撰稿）

責任編輯：鄭國威（元智大學資訊社會所）

延伸閱讀：

- 研究：投資集水區保護 成本效益高
- China Leads in Investing in Watersheds to Protect Drinking Water.
- The \$8 Billion Bargain: How Watershed Payments Save Cities, Support Farms And Combat Climate Change.

若大禹再世（三）：生態工法 做法到底有哪些？



陳舒寧 · 2014/12/20 · 2686字 · 閱讀時間約5分鐘

採訪編輯 / 陳舒寧

本文由科技部補助，泛科學獨立製作



台北科技大學土木與防災研究所林鎮洋教授（圖片來源：作者自攝）

為了因應各種情況的水災，河溪在平日也需要「保養」；如果說上游的主角是森林保土、下游的角色是濕地和滯洪池，那麼中游的守備範圍，就是以河道和河岸經營為重的野溪生態工法了。當土木這個千年老行業，面對加入「生態」考量的訴求，會出現什麼具體的可行作法？

台北科技大學土木與防災研究所的林鎮洋教授說，土木是一門古老的行業，而「安全」是歷史以來的第一考量。當人們開始重新省思環境保護對於工程的重要性，以生態和永續為目標的工程理念因運而生。然而，究竟應稱之為生態工法、永續工程或是其他名詞並不重要。「重點是真的有做出保護生態的成果，不論是用創新工法或是傳統工法，甚至設計者自己也不知道怎麼稱呼的工法也無所謂。名詞的創造，只是為了更便利地推廣概念。」

生態工程企圖同時在安全和生態之間獲得雙贏，那麼在實際案例中有哪些作法呢？

護岸工程，保護河岸減少侵蝕

野溪生態工法的切入點眾多，美國佛蒙特州的騎河治理計畫，強調事前完善而長期的調查，調查最好期滿一年，以獲取四季完整的生態變化資料，並需選定最能代表「理想型」條件的參考區段（reference site）。從河道內部到河道兩岸，分別需要考慮如何營造友善動物的環境、如何利用植生加強動物生活的空間、這些設計又如何反過來加固對人身安全的保障。例如建造攔河堰維護有利魚蝦生存的河水深度、在河道兩岸的護岸加入植根及石頭作為材料，則可加強堤岸的穩固性。

「護岸」是土木工程中可以容納多種生態考量的一個例子。護岸是保護河岸減少流水衝擊的保護構造。過去的護岸工法以安全為最高，也是唯一考量，如今從材料、結構到植生配置，護岸出現了各種更為生態導向的設計。例如就地取材、使用現地的巨石與礫石，或著以格樁工法為基礎，上層填植生土袋，下層堆疊卵石，在結構縫隙中噴植抓土性強的草花種子、蔓藤植物或具有軟枝條之喬灌木，達成保護河床減少冲刷的目的。而以墜、籠、拋石等材料製造多孔隙的空間，也較有利生物生存。

多孔隙營造對水生生物友善的土木空間

多孔的堤防材質對棲息水岸的生物較為友善，而不會如RC（鋼筋混凝土）一般阻擋生物遷徙，或是因表面高溫而不利爬蟲攀附。林教授舉例：「如果因為做了護岸工程，而使原本可以爬過去的樹蛙現在沒辦法再跟他的女朋友見面，那麼原本的生態鏈就被破壞了。」而河床之中其實也有近自然能作的空間，倘若封底石塊因水泥膠節均勻，而無法使地下水在無降雨時滲透入溪，魚蝦失去可供存活的基本水流量。而溪床若缺乏孔隙和大石塊，魚蝦易被水流沖走。以「拋石」或「堆砌石」營造出的多孔隙護岸和河道，讓生物更好避難、休息、繁衍。

其他直接幫助生態的工程嘗試之中，「魚道」是一個經典的解說例子：在水流湍急的急陡地方安設迂迴水路，提供水生動物可順利遊徙或曝曬的適當流速通道。「湍瀨」的設計則相反，目的在於營造淺瀨環境，增加水域環境和生物樣態的多樣性。又或著利用現有溪床地形，營造比較深的「深潭」環境，例如雪霸國家公園七家灣溪的櫻花鉤吻鮭，即是因為習慣居住的水潭區受到了泥沙淤積，深度和廣度都受到限制，而傷害了原本櫻花鉤吻鮭住習慣了的地方。

植生營造間接保護動物

台北市內湖的大溝溪，為了和既有的都市開發配合，特別強調結合現有自然條件和人為設施，例如登山步道等遊憩地點，提供都市居民適當的親水空間。相反地，在距離都市人口聚集處較遙遠的野溪工程，不妨嘗試採用放任原則，在營造基本植生環境之後，交由自然力量進行演替，達成生態中的動平衡。例如利用水芙蓉進行水生植物淨化工法，讓植物「主動」淨化水質。堤岸的植生工程除了綠化美觀的效果之外，其實有策略的培養原生種、或是多層次地栽種高低不同的植物，也較有利於生物的多樣性發展。而水岸植物疏密程度會影響水溫高低、落葉情形會影響食物鏈之基礎，凡此種種，岸上岸下的生態是唇齒相依的。

林教授表示，生態工法未必限定使用何種特定材質的工程素材，許多時候，就地取材、不做多餘的搬運和浪費，就是最符合生態永續的工法。最重要的是在整體規劃階段就開始考量生態，生態工法無標準答案，例如蛇籠可能在A地是個因地制宜充分發揮護岸功效的生態工法模範生，到了B地的礫石地基卻會成為漁筏為禍、破壞環境的傳統工法壞寶。這也是為何一般大眾接觸到的生態工法觀念，只有停留在最上位的理念宣導，因為實際的作法之間可能有極大的差異。另一個難題是，當鋼筋混凝土勢必比生態工法的自然取材來得堅固耐久時，公民應如何思考和選擇？我們能夠承載大自然多大強度的破壞力？人類是否應該追求無堅不摧的工程建設？或著接受「此等地區不宜人居」的現實？

林教授強調，台灣人的教育之中，生態和工程兩個學門仍易傾向於各據山頭、跨界溝通仍如同隔層膜。但他數十年前到德國參訪時，便驚訝的發現德國人是將生態思維融入工程學科之中，生態工程亦非跨部會開會、而是不同專業在同部門之下「同吃同住同勞作」，在日常生活中交流彼此的觀念。「夏禹治水、西門豹引漳利農、漢王導運、詹天佑完築京張、十大建設帶動經濟、高鐵興建……」林教授如數家珍的提出一串歷史上的水利和土木工程是如何和文明的發展密不可分，土木工程在未來應自詡為永續工程師，而非消極的環境破壞者。（本文由科技部補助「新媒體科普傳播實作計畫—重大天然災害之防救災科普知識教育推廣」執行團隊撰寫）

本文原發表於行政院科技部-科技大觀園「專題報導」。歡迎大家到科技大觀園的網站看更多精彩又紮實的科學資訊，也有臉書喔！

責任編輯：鄧國威 | 元智大學資訊社會研究所

延伸閱讀：

- [《自然生態工法在溪流治理上的規劃設計理念》](#)

若大馬再世系列專題：

- [若大馬再世：導言](#)
- [若大馬再世（一）：治水發跡 學日誌，好不好？](#)
- [若大馬再世（二）：森林保育 治水，從頭開始！](#)
- [若大馬再世（四）：濬洪空間 都市防洪萬靈丹？](#)
- [若大馬再世（五）：大地之腎 濕地也能減洪哩！](#)



河流變電池

© 2017.04 作者 / 斯尼德 (Amie Sneed) 譯者 / 甘錫安

淡水和鹹水交會處可產生充沛的再生能源。

河流與海洋交會處有個很棒的發電機會：這類淡鹹水交會處形成的鹽度梯度蘊含龐大的電位能，舉例來說，各大河口就可包辦全球發電量的40%。

科學家已經研究了數十年，希望把這個電位能轉變成可用的電力來源，並開發為多項技術。其中一項最新技術出自美國賓州州立大學土木工程系的助理教授戈爾斯基 (Chris Gorski) 與團隊之手，他們表示，新設計的淡鹹水生態系發電系統比過往研究的效率更高，成本則更低。

這套系統是從電容混合技術加以變化而得，運作原理有點類似電池：使用電池的電極，再藉由電化學梯度運作。但它是開放系統，和電池不同（參見右方說明）。

目前戈爾斯基團隊只在實驗室中測試過尺寸和手機電池相仿的原型裝置。依據發表在《環境科學與技術》期刊的論文，這款裝置每平方公尺可產生0.4瓦電力，比以往電容混合研究的發電密度高出一倍。他們還需要提高電力輸出，以及確定這款裝置的成本效益和可擴充程度（在實際環境中，發電廠的規模和小型倉庫相仿）。此外，這種「河流電池」必須有大量水流通過，所以他們也得研究這種技術是否可能導致生態系瓦解。

耶魯大學化學及環境工程系的研究人員史特勞伯 (Anthony Straub) 和其他科學家，則懷疑是否能在河海交會處建造高效率的系統，並指出這類技術最後或許只能用在鹽度梯度相當極端的地方，例如高鹽湖泊、地熱井或廢水處理廠。但如果這項技術可行又安全，未來或許將和太陽能、風能一樣成為再生能源。

運作原理

1. 把鹹水和淡水分別注入電池內兩側，放入由六氰鐵酸銅 ($\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) 製成的電極。濾紙可以盡量降低兩側的混合程度。
2. 在淡水這一側，電極中灌注鈉。有淡水時，電極中的鐵與鈉反應，產生鈉離子進入水中；鐵同時釋出電子，電子流過電路。
3. 在鹹水這一側，電極中的鐵與水中的氯離子反應，同時接受自淡水側來的電子。結合這兩個反應，電子由電池的一側流到另一側時，就可產生電力。
4. 液體每隔60秒交換一次（電池的鹹水側裝入淡水，反之亦然），即可讓電流持續下去。

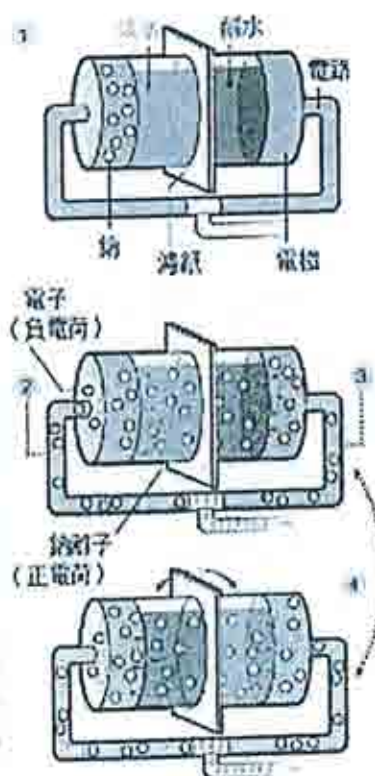


Illustration by Brown Bird Design

Source: "Harvesting Energy from Salinity Differences Using Battery Electrodes in a Concentration Flow Cell," by Taeyoung Kim et al., *Environmental Science & Technology*, vol. 50, No. 11, September 6, 2016

缺水太陽能有解

◎ 2018.01 作者 / 納爾遜·卡爾貝克 (Donna J. Nelson, Jeffrey Carbeck) 譯者 / 林慧珍

科學家以太陽能做為動力並採用特殊吸水材料，解決飲用水缺乏的問題。

全球有數十億人每年至少數個月、甚至終年缺乏乾淨飲用水，或必須遠道取水。若能直接從空氣中汲取水份，對這些人來說將是一大福音。但現有技術通常必須在濕度高的氣候下才能運作，而且需要大量電力，代價不菲且常無用武之地。這個問題現在可望解決：功臣是研發中的強大太陽能動力系統，這類系統可以持續擴充，甚至在乾旱地區運作；全世界有1/3人口住在乾旱地區，往往生活貧困。

目前用來吸附大氣水份的材料（例如加濕器中的沸石）多半都有缺點，像是濕度要夠高才能運作，而且必須耗費能量加熱以釋出吸收的水份。美國麻省理工學院（MIT）和加州大學柏克萊分校組成的研究團隊，已測試一項不需要電力的做法，希望能克服上述問題。

研究人員以稱為金屬有機骨架（metal-organic framework, MOF）的多孔晶體來設計系統，這種晶體是加州大學柏克萊分校化學家亞吉（Omar M. Yaghi）的團隊在幾年前開發出的材料。每種MOF的化學性質由其金屬和有機物的特定結構決定，科學家可依需求選擇合適的組合。MOF用途多樣，但最大的優點是孔隙極大：晶體內部表面積幾乎是多孔沸石的10倍；也就是說，一公克的MOF晶體大小約為一塊方糖，內部表面積卻如同一座足球場。

2017年4月，亞吉的團隊和MIT機械工程師王寧怡（Evelyn Wang）發表了一款原型設備，使用稱為MOF-801或反丁烯二酸鋯（zirconium

fumarate) 的高親水性材料。這種材料可把空氣中的水份吸入巨大孔隙中，並利用陽光的低能量便輕易把水份送進收集器。這種設備只需使用一公斤MOF，就能在相對溼度只有20%、類似沙漠的環境下，每天吸水2.8公升（亞吉表示，每人一天至少要喝355毫升的水，相當於一瓶罐裝飲料）；此外該設備也不需其他能量。研究人員認為系統還有更多改進空間，包括試驗不同成份以降低MOF的成本（目前每公斤鎔為150美元）、增加每單位材料吸水量，以及讓科學家為不同微氣候量身訂製MOF。

位於美國亞歷桑那州斯科次達市的新創公司「零質量水」（Zero Mass Water）採取另一種策略，他們開始販售一種不需連接電力網或既有供水系統的太陽能動力系統。該系統以太陽能電池板供應能量，驅動空氣通過專利吸水材料，把汲取的水份冷凝成液體；沒有陽光時，則改由一組小型鋰電池來供電。該公司表示，一個太陽能電池板單元每天能產出2~5公升水，貯存在30公升的儲水槽，並添加鈣和鎂以兼顧口感及健康。

該系統由零質量水創辦人、亞利桑那州立大學的材料科學家福瑞森（Cody Friesen）開發，目標是使該系統在任何地方都能永續且方便運作。一組配備一個太陽能電池板的系統在美國售價約3700美元，定價中10%做為資金，用於降低在缺乏水資源基礎設施的地區安裝的費用。福瑞森指出，這類系統能減少美國人對瓶裝水的需求，也能供水給缺乏乾淨飲用水的學校，使孩子「能夠去上學而不會生病」。

福瑞森說，過去一年他們在美國西南部及墨西哥、約旦和阿拉伯聯合大公國等國裝設了這種系統；最近則在美國國際開發署資助下，把太陽能組件送往黎巴嫩，為敘利亞難民提供飲水。福瑞森補充道，大多數人想到太陽能，「多半只想到電力，但未來人們會想到豐沛的水資源。」

一般報導

珍貴的 土壤資源

地表所覆蓋的
土壤，最薄可

能不到10公分，最厚也不過數公尺。

如果把地球比喻成一個足球，土壤就

只像貼在足球上的一張郵票那麼薄而已。土壤是怎麼來的？

它有什麼功能和特徵呢？本文為您揭開土壤的奧秘。



土壤在長期氧化還原交替作用下，容易產生紅棕色的氧化鐵斑紋或結核。

高度風化的熱帶紅土，土壤深厚（照片中的刻度單位是公分），pH值極低（遠4.5以下），黏粒含量高，氧化鐵鋁豐富。

許正一
蔡星奇

何謂土壤

土壤是指陸地上生物生長或生活的地表疏鬆層，它是由岩石經過物理、化學和生物作用風化而成，具有獨特的組成、構造和

功能。簡單地說，所謂土壤是地殼表層具有三度空間、獨立且變動的自然體，是由母岩歷經幾千年甚至幾十萬年才風化生成的。

土壤是鬆軟的未固結物質，厚度不均且色澤不一，由礦物



土壤深厚的紅土是高溫多雨環境下的典型熱帶土壤，質地黏重，酸鹼值很低。



經過蚯蚓攝食再排遺出來的土壤，構造與團粒化作用的強度都提高了。



黏粒含量豐富的土壤膠結性很強，容易呈現角度銳利的構造。

質、有機物、水分和空氣組成。土壤顆粒之間形成的孔隙充滿著空氣和水分，土壤中的空氣和大氣中的空氣組成差異很大，因為植物的根和微生物在土壤中會進行呼吸作用，造成土壤的二氧化碳濃度比大氣中的高。

土壤水分因為會溶解土壤固體中的離子，因此一般稱土壤水為「土壤溶液」。在土壤孔隙中，空氣和液體的比例隨著土壤環境的乾濕程度而有差異。當土壤較乾燥時，空氣增加，水溶液減少；當土壤變濕時，空氣減少，水溶液的體積就增加。當植物以土壤為立足點時，固體部分負有支撐植物使其不倒伏的功能，土壤溶液則提供養分和水分給根吸收，土壤空氣則讓根能夠進行呼

吸作用。因此土壤的固相、液相和氣相都要維持一定的比例，植物才能正常地生長。

由大自然力量引起的風化作用，導致地表的岩石顆粒愈來愈小，風化過程中的岩石也會釋放出礦物質。在地表活動的所有生物，包括動物、植物和微生物，活動時產生的排泄物、死亡後留下來的遺體和殘骸等，都算是有機物質，當然也會堆積在土壤中。這些有機物質和由岩石風化作用而來的礦物質，便組成了土壤的基本架構。土壤含有豐富的礦物質和有機物，可以做為植物立足生長的基地。各種微生物也會以不同的土壤做為棲息環境，許多動物也活動於土壤環境中。

土壤和人類的發展

古云：「有土斯有財。」的確沒錯，因為有了土壤，才能帶來一切的財富。古今中外許多著名的戰爭，都是為了爭奪土地，例如南北朝時代的五胡亂華，就是因為外來民族覬覦中原地區肥沃的土地而興起侵略的念頭。世界四大文明古國之一的波斯王朝之所以滅亡，是因為肥沃的美索布達米亞平原土壤劣化，糧食生產不足，造成社會動盪不安而走向衰敗。

人類對土壤的認識起源於對糧食的需求，但真正使土壤學成為一門獨立的科學，則是在19世紀以後。由於物理學、化學、生物學、地質學、地理學等基礎科

工業的高度發展和人類活動的破壞，造成20世紀中葉以來土壤資源遭受莫大的衝擊，導致人類一直被人口、糧食、資源和環境交錯而成的複雜問題困擾著。



土壤是提供糧食生產的重要基地

學的進展，才能有系統地進行土壤學的基礎和應用研究。20世紀時，隨著全球人口的增加，對糧食的需求量也愈顯殷切。為了提高農作物產量以應付不斷增加的人口，農業和化學肥料被大量投入土壤，許多森林和山坡地被開發成為農耕地。

最近越南、菲律賓等稻米生產大國的糧食作物短缺，非洲國家的居民出現嚴重饑荒。同時，能源作物又不斷地「搶走」糧食作物的生產地。21世紀的今天，耕地不足和土壤品質變差衍生的糧食短缺問題，一點也不能忽視。

工業的高度發展和人類活動的破壞，造成20世紀中葉以來土壤資源遭受莫大的衝擊，其危害的程度和規模，直到現今仍不斷地擴大中，導致人類一直被人口、

糧食、資源和環境交錯而成的複雜問題困擾著。因此，土壤資源是21世紀最重要的自然資源之一，應該加強重視和保育。

土壤的五大功能

提供植物生長的介質 植物的根必須生長在土壤中，透過土壤對植株的機械支撐力量，同時透過根部吸收養分而使植物能維持生命。因此在生態系中，不同的土壤性質就會產生不同的植被狀況，也會間接影響動物群落的型態。換句話說，土壤具有農業生產的功能，幾乎所有的農作物都得生長在土壤中才能有收穫。

植物的根從土壤中吸收養分，不足的部分由施肥獲得補充。除了少部分液態肥料經由葉面進入植物外，大部分的肥料必

須施入土壤經由根的吸收而成為養分。因此，要提高農作物的質和量，維持健康的土壤似乎是唯一的手段。近年來雖然有水耕栽培的農業生產方式，但這種無土栽培仍有一些缺點，例如水耕廢液衍生的水污染問題、產品的安全性和營養均衡性等，再次證明了土壤的不可替代性。

做為生物的棲息地 土壤雖然是地表上薄薄的一層，但在田野間信手抓起的一把泥土，其中所含的微生物數量卻可能有數億個之多，這些微生物包括細菌、真菌、藻類、放線菌、原生動物等。除了微生物外，土壤中的動、植物相也極為複雜。動物相分為大型動物和小型動物，大型動物有鼠類、昆蟲、蚯蚓、蝸牛等，小型動物有線蟲和輪蟲；植物相則有綠藻、藍綠藻、矽藻等。

各種養分和有機廢棄物轉變的場所 在土壤中，許多物質和能量藉由輸入、輸出和轉換參與生態系中的養分循環。植物靠光合作用攝入大氣中的二氧化碳，當植物死亡而殘體腐爛分解後，變成腐植質而成為土壤有機質的主要來源，或經由土壤微生物的分解作用，轉變成二氧化碳（或甲烷）逸散至大氣中。大氣中的氮經由土壤中的固氮菌固定後，才能被植物吸收利用，硝酸態氮和銨態氮藉由硝化菌和脫氮菌在

要提高農作物的質和量，維持健康的土壤似乎是唯一的手段。近年來雖然有水耕栽培的農業生產方式，但這種無土栽培仍有一些缺點。



土壤具有淨化水質的功能

土壤中維持著動態平衡。

由於土壤對於環境污染物具有強大的涵容能力，一旦有污染物進入土壤，因緩衝能力的發揮，尚不致對整個生態系造成危害。但污染物濃度超過土壤涵容能力時，便會導致傷害。

提供水資源並淨化水質 土壤在化育過程中會形成許多孔隙，這些孔隙形成的原因包括土壤構造生成的空隙、植物根腐爛後遺留下的根孔、動物的洞穴或活動通道等。孔隙形成土壤中大大小

小綿密的水分儲存空間和流動路徑，當雨水降落地面時，便能進入土壤而達到涵養水源的目的。

地球中的水，在扣除海洋、深層地下水和冰原後，只剩不到百分之一。這些微薄的水量散布在大氣、湖泊、河川和土壤中，其中土壤裡的水就占了33%強。

水分通過土壤時，由於土壤黏粒是帶電荷膠體，可藉由吸附、離子交換等作用去除水中的雜質。雨水經過土壤的過濾進入地下水體系中，地下水也因有了土壤的保護，

才能為大自然保留的重要水資源。

做為工程施工的基地 陸地上的建築物包括房屋、道路、機場等，都必須有穩定扎實的土壤做為基地。例如某些土壤因含有大量膨脹性黏土礦物，很容易因水含量差異而膨脹收縮，導致道路或建築物結構的破壞。砂粒和水分含量都很高的土壤，受到壓力或振動時容易產生液化現象，進而造成地質災害。



土壤是傳統建築的好材料



過度施用化學肥料不僅破壞土壤生態，也會污染飲用水源。

土壤污染的來源

台灣地區地狹人稠，近年來由於工商業快速發展，經濟活動頻繁，各種產業產生的廢氣、廢水和廢棄物直接或間接使土壤因物質、生物或能量的介入而改變品質，造成土壤污染，不但影響正常用途，也會危害國民健康和生活環境。台灣地區土壤污染物的來源有工業廢水、畜牧業廢水、空氣污染、廢棄物處理不當、農藥、肥料、地層下陷、油品洩漏等。

在各種土壤污染物中，以重金屬最受重視。因為重金屬在土壤中具有高累積、低移動和不易被微生物分解的特性，所以土壤中的重金屬污染不容易被移除，且可能藉由農作物的吸收而進入



山坡地超限利用會加速土壤的流失

土壤中的重金屬污染不容易被移除，且可能藉由農作物的吸收而進入食物鏈，再經由生物濃縮作用危害人體健康。



沒有做好水土保持工作，容易造成大規模的土壤沖蝕現象。

食物鏈，再經由生物濃縮作用危害人體健康。

土壤的保育和永續利用

在早期的觀念中，普遍認為良好的土壤品質就是指能夠提供作物充足的養分，使作物有最大的產量。但是這些年來，人類意識到環境保護、生態保育等問題，而對土壤品質的好壞有一個新的思考方向。

現今科學家追求的高品質土壤，已經不只是單純讓農作物產

量提高，也應該注重環境保護和食物安全，以及動物和人類的健康。筆者認為良好的土壤品質必須符合：最小的沖蝕、肥力的維持、維持良好的構造和有機碳貯存量，以及維持良好的水質和溫度。

為了環境資源的永續發展，就要用永續性而非暫時性的方式管理土地。也就是可以隨時評估，能對未來做出模擬和預測，並隨時掌握現有土壤調查資料中的現況，包括發展永續土地管理的評

估標準，建立可長期模擬的模式，作物殘體管理，土壤保持式耕犁，充分運用土壤調查資訊，實施有機農耕法等。

許正一
屏東科技大學環境工程與科學系

蔡呈奇
宜蘭大學自然資源學系

深度閱讀資料

陳昭賢、許正一（2002）台灣的土地，台灣地理百科—12，遠足文化出版社，台北。

森林產業與保育：尋訪里山生態系

2017/01/04 董景生 | 行政院農業委員會林業試驗所植物園組

里山並不是某一特定的地名，而是泛指環繞在村落周圍的郊山。更精確地說，里山是位在高山和平原間，包含社區、森林、農業的混合地景。



阿美族吉哈拉艾部落的梯田蘊含各種民族植物與農法的智慧

里山鑲嵌地景

多年前 NHK 播放過一部非常叫座的紀錄片〈里山 Satoyama〉，內容描述在日本滋賀縣琵琶湖畔的針江聚落，有清澈無污染的湖水環繞，在村落形成湧泉與地下伏流水，供給村民飲水、洗菜、洗滌、灌溉水稻田；家家戶戶也飼養鯉魚以分解廚餘；聚落周邊有蘆葦與雜木林，村民依時進行漁獵與森林採集。這種濕地、農田、森林的混合生態系統，孕育了當地豐富多樣的昆蟲、魚類與生物。在四季更迭中，里山居民的生活與周邊環境息息相關，村民逐漸聚集並從過去的生活經驗重新出

發，在符合生態的原則下永續生活著。

在日本，里山（Satoyama）並不是某一特定的地名，而是泛指環繞在村落（日文稱為里 Sato）周圍的郊山（Yama）。更精確地說，里山是位在高山（奧山 Okuyama）和平原（里地 Satochi）間，包含社區、森林、農業的混合地景。這樣的地景並不是日本所特有，在各國各有其不同的型態與名稱，就像中國的桃花源或台灣的風水林即是，歐洲、非洲國家也有對應的里山環境，以各自獨特的方式存在。

住在里山環境的居民，若能睿智地利用村落邊的山林，就像中國哲學裡的「斧斤以時入山林，材木不可勝用也」，在限制資源使用以及季節生活的條件下，能永續管理周邊的天然資源，不但兼顧了生物多樣性，也可以維持生活所需。這是一種「符合社會生態的生產地景」的概念，強調人類與自然共生的關係，這種生活型態在今日被重新詮釋並推廣。

2010 年聯合國召開的「生物多樣性公約」第十屆締約方大會中，延續先前會議中的「巴黎宣言」，把日本推動的里山倡議法制化。里山倡議主張在促進生物多樣性的原則下，實現社會與自然和諧共生的目標，藉由里山生態系的自然過程維繫人類生活所需（農業或林業）的經濟活動。再透過永續的自然資源管理方式，讓里山居民享受到自然環境提供的生態服務，同時在管理過程中，盡力保持里山環境中的生物多樣性。里山倡議主張從社會與科學的角度，重新檢討人類和自然的關係，也昭告了居民扮演永續管理的角色。

日本里山的著名案例，大多涵蓋以水稻田為主的地景生態系，鑲嵌的地景單元通常包含水田、旱田、草地、農園、溪流、池塘、樹林等多樣化地景。里山環境除可做為農業與林業生產基地外，也是動植物生存的棲地。而里山居民，過著春耕夏耘秋收冬藏的農業生活，隨著節氣時令適量採集各種林產物，在不過度使用的前提下，人在自然環境中扮演著管理調節的角色。人因為農林業而獲利，各種動植物也因不被過度捕獵而得以繁衍。里山倡議重視人對自然環境與生物資源的適當介入，不但能保護環境，也保護了糧食與人類。

德埃薩生態系統

分布在地中海的德埃薩（Dehesa，地中海櫟林）生態系統，也是一種經典的里山環境。這片位於伊比利半島的地中海櫟林，在西班牙中西部（薩拉曼卡省、埃斯特雷馬杜拉自治區）及安達魯西亞自治區北部，是一種林間放牧系統。鑲嵌的植群組成是草生地、灌木林與少數喬木，含數種櫟屬喬木、薔薇科等灌木、豆科菊科草本植物。在這個乾旱地區，草本植物為了抵禦昆蟲，由二次代謝物演化出忌避氣味而成為著名的香草植物。

幾百年來西班牙人在德埃薩生態系統內的林間放牧豬、牛、羊、山羊等動物，且適當地控制其族群數量，灌木的數量與草生地也保持著一定的比例，其中主要組成的櫟屬植物包括冬青櫟、西班牙栓皮櫟和其他櫟屬等。

這些放養的牲畜由於可自由悠哉於廣闊的牧場裡，因此生產了昂貴高價的珍饈——伊比利亞火腿。每年秋季開始，自 10 月到翌年 1 月，伊比利亞豬（600~800 公斤/只）以成熟的橡實為主食，讓肉質添加了細膩的口感與濃郁的香味，也因其大量地取食橡實，抑制了橡樹害蟲的大發生。該地區也盛產季節性的各種菇蕈類，其中最著名的松露採集，則有賴嗅覺靈敏豬隻的協尋。

栓皮櫟在西班牙飲食文化中扮演著重要的角色，因為其樹皮厚而鬆軟，所以數百年來一直是葡萄酒瓶軟木塞材料的來源，但因為過度採集導致栓皮櫟成為紅皮書中的保育物種。乾燥的德埃薩生態系當然也有許多西班牙屬的栓皮櫟，但因這區域禁止過度採集及焚墾，使其得以持續生長。葡萄酒瓶塞近年的發展是，除了新世界葡萄酒國家發展新的環保封瓶蓋外，非政府組織森林管理委員（FSC）也認證了這區域軟木塞的永續收穫。

包括人類為主的整個德埃薩生產生態系統，在引入各種管理手段如：避免灌木過度修剪、健康修剪櫟樹的樹枝、禁用殺蟲劑、不過度放牧也不使用大型機具管理、讓豬隻取食橡實避免害蟲大發生等措施後，達到了整個生態系管理的目標，使生態系服務的功能極大化，包括林間養蜂、香草採集與各種永續利用的行為都在可接受的範圍內。

谷津水稻田

在日本，谷津水稻田是個位於偏遠鄉村的水稻梯田區。斜坡上長短草，草坡上比鄰森林，森林涵養水源。但是樹木遮蔽影響了水稻生長，使得靠近水田的邊坡短草地的農民要持續除草以避免遮光。古早期日本的農民在田埂間種植了美麗的彼岸花（紅花石蒜），意外地吸引各種授粉昆蟲來訪，增加棲地的物種多樣性，整片美麗的梯田景觀也形塑了日本的國民美學。從林緣、草地、水田濕地到河流，保護到不同棲地的伴生物種，在環境保育與農民的社會功能以外，也重視稻作的生產，農林業生產與生物多樣性、人與環境都得以雙贏。

緊鄰台灣的菲律賓，呂宋島北部山區居住著同屬南島語族的伊富高族，其賴以維生的巴拿威梯田歷史悠久，早被聯合國教科文組織納入世界遺產，並被譽為世界八大奇蹟之一。伊富高族約在 2,000~3,000 年前就在山坡上開墾，這些令人讚嘆的梯田高度可達 1,500 公尺，總長度可環繞地球半周。

至今伊富高族仍仰賴有機農法經營梯田，稻米收成後，把稻稈棄置水田中任其分解，除了養分可回歸土地外，也涵養了各種濕地生物。伊富高族的文化與梯田、山林息息相關，在梯田旁的森林中，廣泛採集利用各種民族植物，種植稀有的蘭花當作部落園藝，物種因此保留下來。用陽性速生的赤楊木來雕塑傳統的米神，也做為日常生活的木器，由於定期的採集管理，原住民文化、農作物、原始林與次生林的許多動植物都在這樣的運作中被維繫保留。

台灣也有多個類似里山水田的案例，如貢寮的狸和禾水梯田就是一個以農業活動促成保育與教育的案例，在淺山森林與溪流環繞下，傳統的貢寮水梯田逐漸恢復採納傳統的有機耕作方式，一群有志

者號召了支持者，同時以濕地廊道為目標，記錄各種濕地物種。除了有機稻米的生產與行銷外，社區與支持者也共同參與種稻與濕地物種調查，並記錄到五百種包含稀有水生植物和動物的濕地伴生物種，影響力所及更啟動了許多小農與青年返鄉耕種的風潮。

同樣是水稻田，以往台灣的瀕危物種印度大田鰲因為缺乏野外棲地與族群資料而無法評估，使其無緣列入保育類名單中。但消失多年後，近來在苗栗通霄的淺山，消失的大田鰲伴隨著其他稀有的水生昆蟲竟再現江湖。其棲地位居傳統農作區，也是魚塢、稻田、樹林、丘陵與雜作田的鑲嵌地景。

在發現大田鰲後，隨著關心這地區的年輕人入住，居民建立了更多與生態系物種共存榮的思維。不但行銷生產的田鰲米，也施用更多種友善環境的農法，稀有的印度大田鰲因而逐漸增加。同時這地區記錄到的物種清單也持續加長，石虎、灰面鵲鷹以及各種淺山濕地物種紛紛現身，居民也更有保育意願了。

近代科學 vs. 在地知識

里山倡議的願景是人類社會與自然和諧地共處，採用的方法有：確保生態系統服務的多樣化與多重價值、整合傳統知識和現代科技、建立新型態的共同經營體系。

為了使群組支持組織，里山倡議國際伙伴關係網絡（The International Partnership for the Satoyama Initiative, IPSI, <http://satoyama-initiative.org/en/casestudies/>）建立了推廣教育平台，可以查詢到全球各大洲持續登錄的許多案例。

由於原住民與土地的關係最為緊密，全球有相當多原住民部落的里山案例。在這些案例裡，大多維持著傳統在地的生態知識，經過現代科學的詮釋或改良，在生態與生產被記錄推動與維持的條件下，社區組織共同營造友善環境森林與農業的社會生活。

在台灣的案例中，花蓮阿美族豐南村的吉哈拉艾部落保存著完整的梯田及水圳文化，就是這樣的類型。阿美族是充滿田間智慧的民族，除水梯田的收穫外，也利用鄰近的森林採集各種薪材野菜，長年居住的丘陵坡地與流水的維持與工法，各種民族植物農法的傳統知識，維繫了整個鑲嵌棲地的生態系統。在東華大學的協助和陪伴下，社區組織開啟了傳統智慧與現代科學的對話，找尋操作順暢的文化習慣背後的科學成因，回流的年輕人力也給了當地更多永續的契機。

台灣的里山在哪裡？透過鑲嵌地景生態系，居民有永續管理農林業的共識，生產、生態、生活得以維繫長久。里山不僅是幾個物種保育的案例，也不應該只是特區，更應該是一種活化管理混農林，讓多樣物種可以永續生存的理想與生活態度。

來源：《科學發展》2017年1月，529期，42～46頁



文·圖／蔡呈奇、陳尊賢

引言

臺灣位於環太平洋地震帶，是典型的板塊碰撞下產生之大陸邊緣島嶼。由於菲律賓海板塊五百萬年以來，不斷的擠壓歐亞大陸板塊，臺灣島遂得以誕生並上升作用，造陸運動迄今仍在激烈的進行，因此造就臺灣豐富的地質、氣候、植物、土壤與生物多樣性資源。又因為造山運動使得臺灣高山林立，高度的落差產生了溫差，因此形成複雜的氣候帶（包括亞寒帶、溫帶、亞熱帶及熱帶），這些不同的氣候類型造就臺灣不同型態的植被生態系。臺灣位於季風氣候範圍內，夏季為西南季風，冬季則為東北季風，平均年降雨量為2,515毫米，但是伴隨著季節、位置、標高的不同，降雨量也隨之變化。另外，每年6～9月是颱風季，夏、秋兩季平均都有三到四個颱風侵襲臺灣。颱風為臺灣提供充沛的水分，但由於降雨空間和時間分布十分不均，容易引發洪水與土石流等天然災害。豐富且多變的地質、植被與氣候，培育出臺灣豐富的土壤資源。

土壤生成與分類

一、土壤生成（Pedogenesis）

土壤為地殼表面之自然體，由液體、氣體和固體三相所構成，具有空隙與構造能保持水分及供應空氣之物理性，亦含有植物生長需要養分及陽離子交換之化學性，為自然界中極佳之緩衝體及養分儲存場所。除了以上特性外，土壤尚提供了有機物分解及養分轉換之生物性，為陸地農作物之根基，自然生態平衡之重心。

土壤依組成之不同，可分為礦物質土壤與有機質土壤。有機質土壤主要分布在一些非主要農業生產地區，例如沼澤低窪地區或山區湖泊岸旁，此類型土壤較具生態性功能，對於農業生產則較無影響。礦物質土壤的生成，主要是受到氣候、生物、地形、母岩和時間之作用及影響，而化育生成具不同形態特徵之土壤。

1. 母質（Parent materials）

母質受到風化作用，可在原處化育生成土壤，不同母質可風化生成的土壤也各

不相同。現今存在的土壤中，許多不同之物理、化學特性皆受自母質的影響，目前臺灣地區的母質主要可分為三大類：

(1) 火成岩 (Igneous rocks)

顧名思義，此類母質主要為火山岩漿冷凝而構成，依冷凝速度不同，形成之岩石種類亦不同，臺灣地區主要有花崗岩（金門太武山地區）、安山岩（臺北陽明山地區）、玄武岩（澎湖群島）和火山碎屑（臺東沿岸地區）等火成岩母質，約佔臺灣 10~15% 之母質分布。

(2) 沉積岩 (Sedimentary rocks)

此類型母質主要由風搬運造成之堆積或由水沖蝕搬運所形成，臺灣地區以沉積岩為多，包括有砂岩、頁岩（雲嘉南地區）、石灰岩（彰化與雲林地區）或礫岩（西部沿海區域）等，佔臺灣地區 30~35% 之母質分布。

(3) 變質岩 (Metamorphic rocks)

受高溫、高壓或化學作用影響，改變原來之性質而造成之母質，包括有大理石、片麻岩或礫岩等，主要分布於東部地區，佔臺灣地區約 35~40% 之母質分布。

2. 氣候 (Climate)

氣候因素中，以降雨和溫度對土壤化育生成之影響最大，此兩者將直接影響岩石及礦物風化的速度，有機質與礦物質的分解情形和移動變化，甚至影響到適栽植物及其分布狀況。臺灣地區高山（海拔 2,500 公尺以上）平均溫度皆在 5°C 以下，而平地各地之年均溫，冬季約於 15°C，而夏季則約於 27°C，皆非常適合作物之生長。降雨量方面，臺灣地區西北部通常降雨量高於蒸發散量，故淋洗較為強烈，土壤發育較為快速，而西南部由於蒸發散量較高於降雨量，鹽分通常聚積於土表，土

壤化育較慢。臺灣南部與北部之土壤性質差異和化育之程度明顯不同，此乃降雨量及氣溫不同所造成，而臺灣東北部及高山地區降雨量通常為其蒸發散量之 1.5~5 倍，土壤淋洗作用旺盛，土壤化育作用亦較強烈。

3. 地形 (Topography)

地形因子通常與水的流動有顯著的關係，水的流動對土壤化育又具有強烈的影響，通常坡度、坡向和地形位置（包括海拔、地下水位高低）為影響水分流動的主要地形因子，一般而言，陡坡地土壤表面逕流大，沖蝕明顯，滲流作用慢，土壤化育慢，通常為一些較為淺薄的新成土壤。地勢低平的土壤容易聚積水分，造成排水不良等問題。臺灣地區大致包含有幾種地形，包括中央高山、丘陵、台地、平原和河谷等地形。

4. 生物 (Biology)

主要包括植物 (vegetation) 與動物 (animals)。不同的植被下，土壤生成和性質皆明顯不同，而臺灣地區處於熱帶與亞熱帶之交界處，植物林相複雜，大致包括有冷溫帶山地針葉林、溫暖帶雨林、熱帶雨林和海岸林等林相。針葉林相下之土壤通常化育較不強烈，由於處於冷涼潮濕或地勢較為陡峭的環境下，化育之土壤種類一般包含有母質裸露之新成土，或淋洗些微強烈之淋澆土，甚至是高山水塘或湖泊等溼地旁之有機質土。闊葉林相下的土壤，通常處於溫暖潮濕及季風盛行的環境下，土壤化育較為強烈，一般以弱育土為主，在平坦處亦有極育土等淋洗作用較旺盛土壤之生成。海拔最低的平原及海岸地區之植被下土壤，通常為沖積土或風積而成之土壤，此範圍土壤為農業生產為主之土壤，一般種植水稻、玉米和甘蔗等經濟作物為主。

動物部分，包括有微生物和土壤中之

小動物，微生物將動植物殘骸分解，放出土壤養分供作物吸收，產生肥沃之土壤。另蚯蚓的翻攪土壤作用亦將影響土壤之生成與化育作用。

5. 時間 (Time)

依土壤化育時間長短的不同，土壤生成及土壤之形態特徵就不同，例如臺灣地區之紅土，生成時間通常幾萬年至幾十萬年，由於淋洗作用旺盛，通常僅殘留鐵氧化物與鋁氧化物。臺灣地區西南部之沖積土，生成時間通常不超過一萬年，一般為鹽基含量較高，土壤肥力較佳之弱育土。

二、土壤分類 (Soil Classification)

臺灣農業土壤之分類主要依循美國農部於 1960 年創立之土壤分類系統，經多次修正，於 1975 年改版命名之《土壤分類

學》(Soil Taxonomy)。此分類系統由六個綱目組成（圖 1），分別為土綱、亞綱和大土類等三個高級綱目，此三個高級綱目之區分主要與土壤之生成過程或化育作用有關。另三個低級綱目包括亞類、土族和土系等，綱目間區分主要與土壤基本性質或土壤肥力有關。高級綱目方面，美國土壤分類系統共分成 12 個土綱，而臺灣就包含 11 個土綱，可見土壤環境之多樣性與土壤之多變性。低級綱目方面，臺灣通常分類較細，在土系之後又分有土型（依土層 0~25 公分之質地等級來區分）和土相（依土系所在位置之坡度、含石量來區分）等綱目。

臺灣土壤於美國土壤分類系統 12 個土綱中就佔有 11 個土綱之多（除了冰凍土 (Gelisol) 之外），主要包括淋澆土 (Spodosols)、灰燼土 (Andisols)、氧化物



圖 1 美國新土壤分類系統中的六個綱目等級。

土 (Oxisols)、膨脹土 (Vertisols)、極育土 (Ultisols)、黑沃土 (Mollisols)、淋溶土 (Alfisols) 與弱育土 (Inceptisols) (圖 2)。

1. 氧化物土 (Oxisols)

土壤化育時間長，淋洗強烈，土壤中僅剩鐵鋁等物質。土壤主要特性為具有一氧化層 (oxic horizon)，土壤肥力低，主要分布於桃園埔心鄉、南投埔里鎮和屏東內埔鄉等地區。

2. 淋溶土 (Spodosols)

具有一層明顯有機物與鐵鋁結合之化育層 (淋溶層, spodic horizon)，通常於平坦處且淋洗強烈之冷涼潮濕針葉林環境下生成，例如宜蘭縣太平山、嘉義縣阿里山和桃園市拉拉山等地區皆有此土壤之生成。

3. 極育土 (Ultisols)

土壤性質與氧化物土相似，土壤特性為具有一層黏聚層 (argillic horizon)，通常土壤肥力低，一般稱為紅壤或紅棕壤，多分布於丘陵或台地等地形上，如桃園市林口台地與中壢台地、臺中市大肚山台地、彰化縣八卦山台地等地區。

4. 淋溶土 (Alfisols)

淋洗程度較極育土弱，土壤肥力佳，鹽基含量高，多分布於臺灣西南部沖積年代久遠之農耕地上 (嘉南平原)。

5. 弱育土 (Inceptisols)

由母質輕微化育而來之土壤，土壤特色為具有一變育層 (cambic, Bw)，屬較年輕之土壤，多含有原母質化育而來之鹽基離子，土壤肥力高，為臺灣地區西南部主要農業土壤。

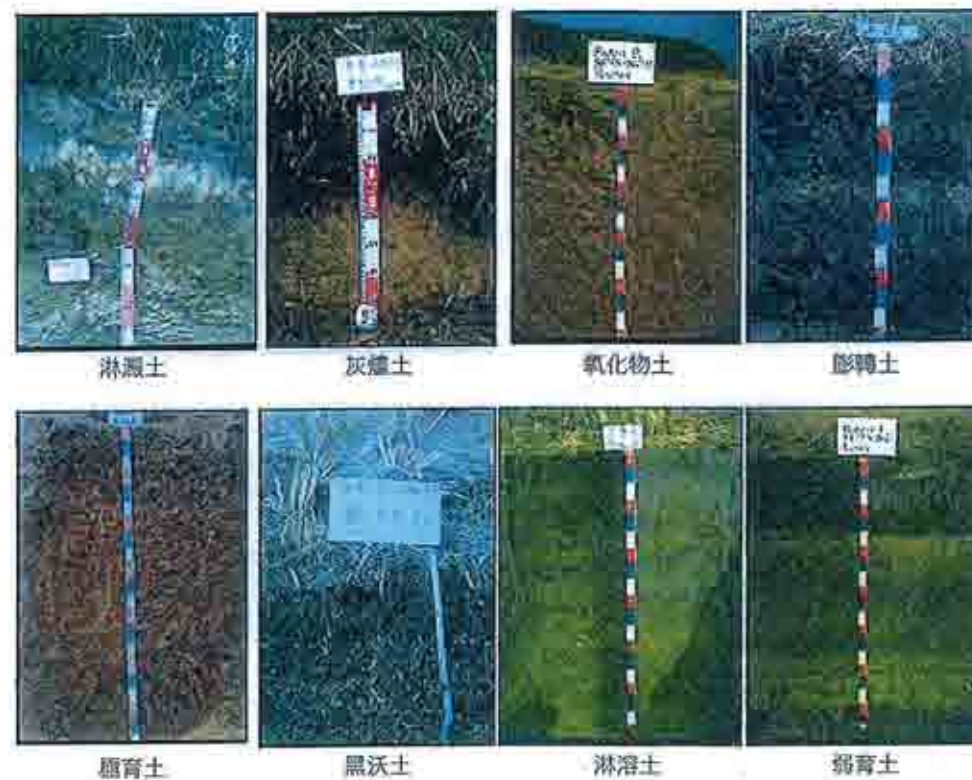


圖 2 臺灣地區常見之土壤剖面及土綱 (Soil Order) 類型。

6. 新成土 (Entisols)

由母質剛化育生成之土壤，土層通常淺薄，含石量高，無任何診斷土層之存在，多分布於河流之新沖積平原上 (如蘭陽平原、屏東平原等地區) (圖 3)。

7. 黑沃土 (Mollisols)

土壤有機質含量高，土壤團粒構造多，富含鹽基離子，土壤肥力極高，特色為具有一層 18 公分厚度以上之黑色且高鹽基之表土層。臺灣地區多分布於東部一帶 (花蓮縣長濱鄉或臺東縣成功鎮等地區)。

8. 有機質土 (Histosols)

有機物質分解緩慢形成有機物質層，累積達 40 公分以上之土壤，主要分布於高山湖泊周圍 (宜蘭縣鸞鸞湖、松蘿湖、神秘湖等地區) (圖 4)。

9. 灰燼土 (Andisols)

土壤具有明顯火山灰性質之土壤，總體密度小 (< 0.9 噸/立方公尺)、無定形鐵與鋁含量高 (> 2%) 和吸持磷能力強 (> 85%) 為其火山灰特性，臺灣地區多分布於陽明山國家公園內。

10. 膨脹土 (Vertisols)

此土壤具膨脹收縮特性，土層一公尺內具有 30% 以上之黏粒含量，土壤特性為乾旱時會龜裂，潮濕時會膨脹突起，大多分布於臺灣東部海岸地區 (臺東縣富里鄉地區)。

11. 旱境土 (Aridisols)

此類土壤在臺灣主要為鹽土，故將臺灣西南沿海之鹽土歸入此土綱中，主要生成原因因為雨量少，蒸發散量大，造成鹽分聚積於土壤表面而形成，此土壤不利於農業生產 (例如臺南市學甲區與七股區等地區)。

總結

臺灣土壤的性質與分布明顯受到不同的地質、氣候、地形、植生與時間之影響，土壤種類繁多。臺灣土壤之分布圖 (如依美國土壤分類系統，以土綱來繪製)，則會出現 11 個土綱之地圖 (Soil Order Maps) (圖 5)，真是非常的寶貴，為 21 世紀臺灣最大的資源之一，值得大家珍惜、研究、利用與推廣。為使臺灣農業能夠永續經營與發展，我們必須注意監測各地區與各代表性土壤之土壤品質的變化，並提出永續性土壤管理的策略，以確保臺灣土壤的高品質。高品質的土壤環境及良好的管理策略與制度，才能讓我們的土壤資源達到永續利用的目標。

蔡呈奇 國立宜蘭大學森林暨自然資源學系教授

陳尊賢 國立臺灣大學農業化學系教授



圖 3 宜蘭縣三星鄉的新成土。



圖 4 宜蘭鸞鸞湖的有機質土。

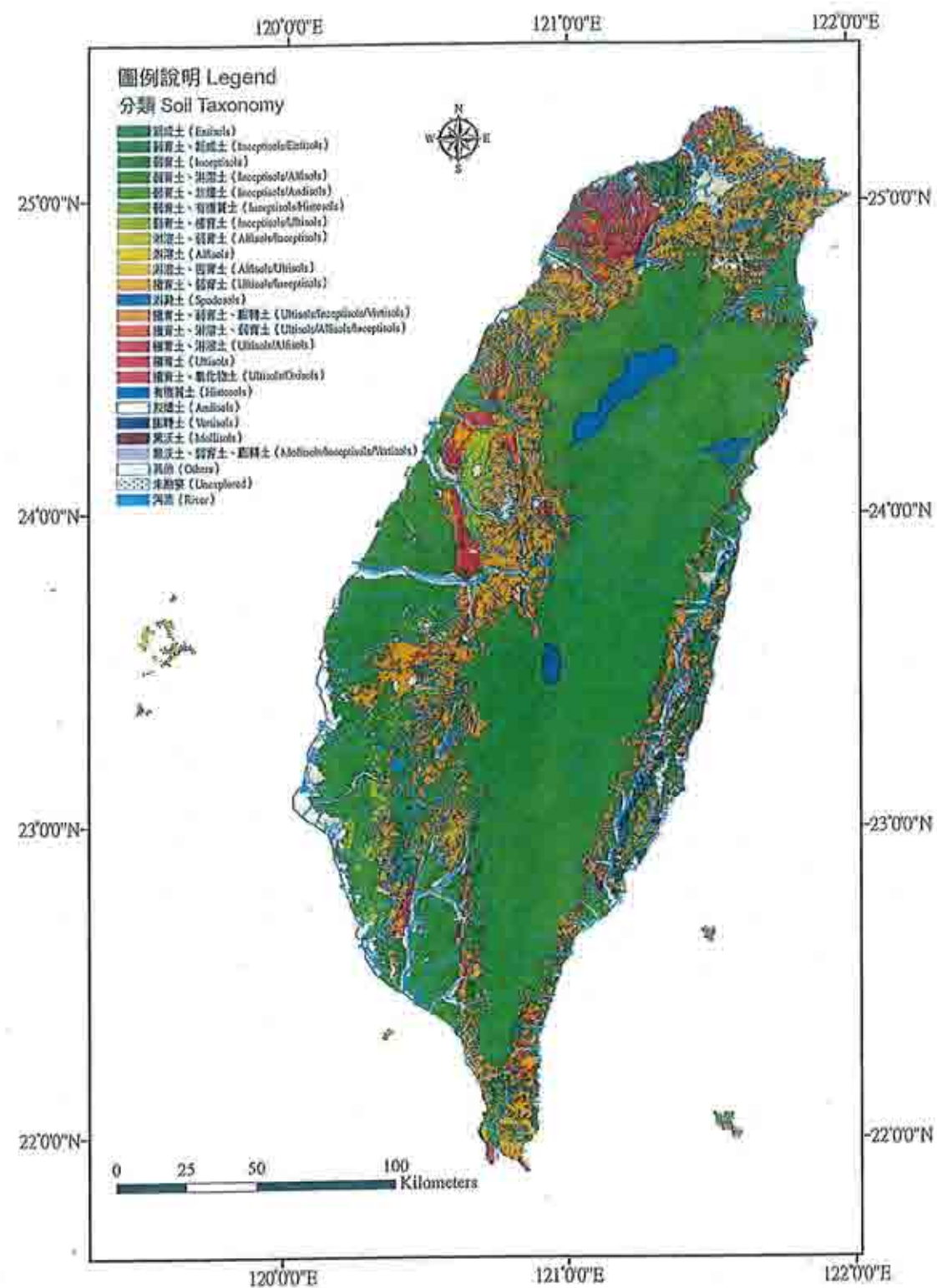


圖 5 臺灣常見土綱類型 (依美國土壤分類系統區分之 11 個土綱) 之分布概圖。