

NCTU 高中數理資優研習課程第二次生物作業

關於選用可在自然界降解的環保物質，試回答下列問題：

1.何謂生物可分解塑膠？

回答：

生物可分解塑膠是可以在自然界降解的塑膠材質。在有足夠的濕度、氧氣與適當

微生物存在的自然掩埋或堆肥環境中，可被微生物所代謝分解產生水和二氧化碳或甲

烷，對環境危害較小。

生物可分解塑膠又可稱為生物高分子聚合物、綠色塑膠。

定義：

- (A) 由可不斷重複取得的天然資源，如微生物、植物、動物，所製成的一種聚合物。
- (B) 具生物可分解的能力，生產時無毒害產生。
- (C) 可替代以石油為基質的傳統塑膠，可利用傳統塑膠的生產機器加工。
- (D) 以 ISO14855 檢測，並取得可堆肥化的標準，為環境最友善的熱可塑性塑膠材料。

優點：

- (A) 材料天然、無毒。
- (B) 使用任何廢棄物處理方式（如焚化、掩埋、回收、堆肥）皆不致對環境造成任何衝擊。
- (C) 具有類似傳統塑膠製品之物性，使用方法相同。
- (D) 丟棄後，經由堆肥或掩埋即可完全分解。

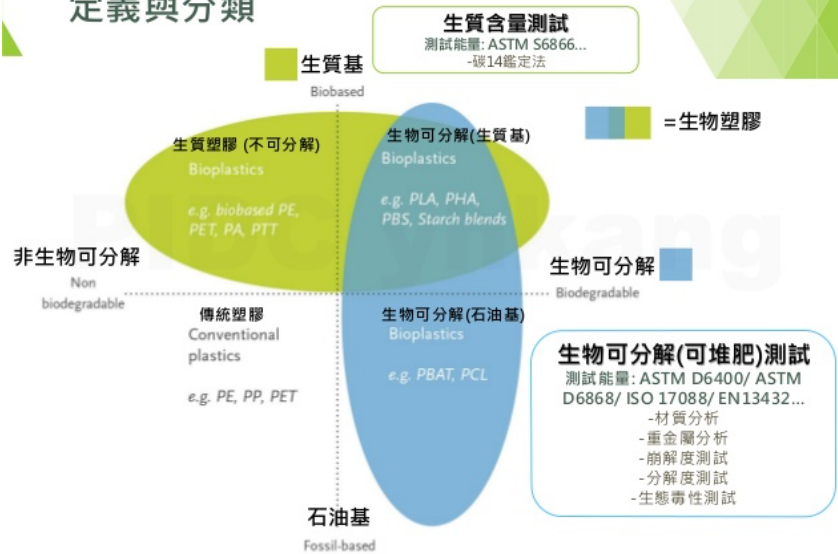
分類：

一、聚酯：

脂肪族-芳香烴聚酯的異量分子聚合物、脂肪族聚酯、聚乳酸-脂肪族聚酯的異量分子聚合物、聚己內酯、聚烴基羧酸酯、聚乳酸

二、澱粉合膠

定義與分類



圖片來源: Bioplastic European

4

認證:

組織名稱	德國 DIN CERTCO IBAW	比利時 AIB Vincotte	美國 生物可分解機構及 美國堆肥協會
標章			
化學測試/堆肥測試	DIN V 54900	EN 13432	ASTM 6400
完全生物可分解測試	DIN V 54900	EN 13432 ISO 14851 ISO 14852 ISO 14855	ASTM 6400-99 ASTM D5271 ASTM D5338 ASTM D6002
細節規範	DIN V 54900-1, 第5.6 及7段	DIN EN 13432, 第4.2.2段及附件A.1	ASTM D 6400, 第6.4.1段 40 cfr 503.13
檢測主體	超過1%濃度成份 (最高3%可未檢測)	超過1%濃度成份 (最高5%可未檢測)	所有成份皆必須要鑑別
最長期間	6個月	6個月	6個月
分解程度	60% (單體) 或90% (摻合分子)	90%適當參照數值	60% (單體) 或90% (摻合分子)
組織名稱	芬蘭 Jatelaito syhdistys	日本 生物可分解塑膠協會	台灣 中華民國環保生物 可分解材料協會
標章			
化學測試/堆肥測試	EN 13432	GreenPla 認證制度	ASTM 6400
完全生物可分解測試	EN 13432、 ISO 14851、 ISO 14852、 ISO 14855	OECD 301C、 JIS K 6950 JIS K 6951 JIS K 6953	CNS14432 CNS14433 CNS14478
細節規範			同美國BPI規範
檢測主體		超過1%濃度成份 (最高5%可未檢測)	所有成份皆必須要鑑別
最長期間		未詳細規範	6個月
分解程度		60%適當參照數值	60% (單體) 或90% (摻合分子)

2.生物可分解塑膠如何分解（包含原理與過程）？

回答：

一、生物分解原理：

生物可分解塑膠可於多氧環境下，在土壤中由好氧微生物、水及氧等作用分解成

二氧化碳及水，在少氧環境下，由厭氧微生物及 H_2O 等作用分解成二氧化碳及甲烷。

聚乳酸由澱粉發酵成的乳酸為原料，因為是來自於植物，所以石化資源減少許多。

生物分解方式可分成兩種：氧化式可生物分解與水合式可生物分解。兩者都是先

化學分解，前者透過氧化，後者透過水解。再來才進行生物分解。兩者分解都會釋放

二氧化碳，但水合式生物分解還會產生甲烷，只有氧化式生物分解可以循環回收，再

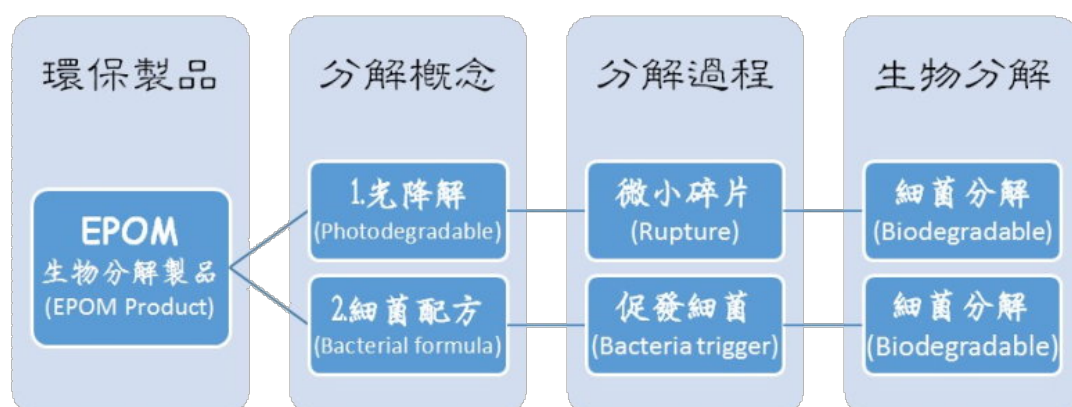
者則是水合式比氧化式昂貴許多。

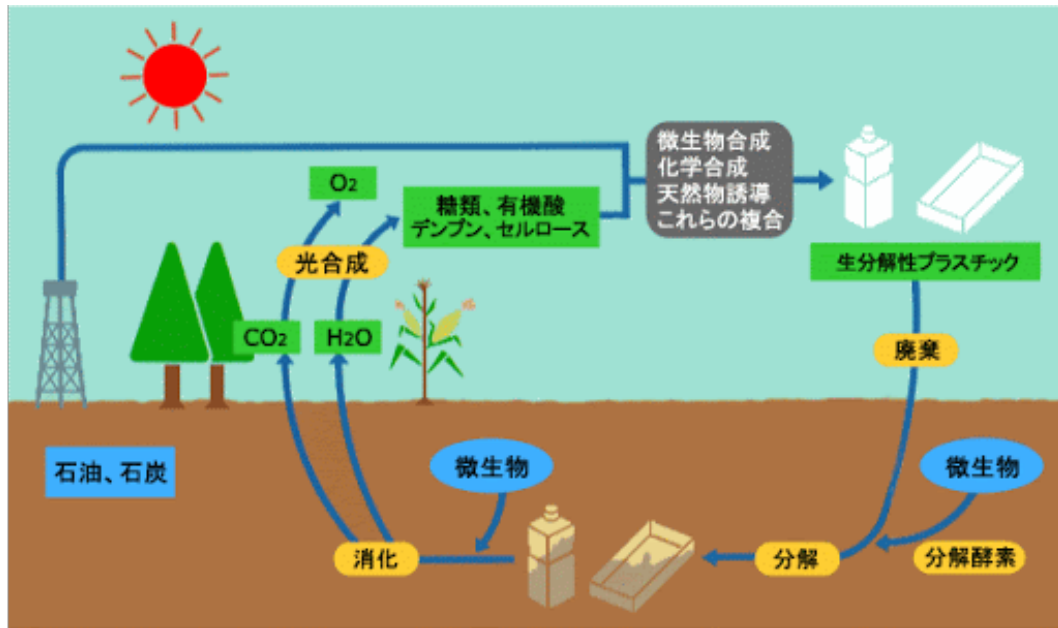
介紹氧化式可分解塑膠：

原理：在製造塑料過程中，加入一些能幫助分解的添加物，藉以改變塑料的特性，當產品失去效用貨不被需要時，即設定產品的使用週期結束時（由添加劑控制），降解便開始運作。

這種塑料不只是斷裂為小碎片，而是由添加物將塑料從分子結構層次分解為特定的小單元，從而讓微生物（細菌和真菌）進入攝取碳和氮並且進一步分解，這就是「生物可降解」。這樣的過程會持續進行，直到材料被分解為二氧化碳、水、腐植質，而且不會殘留有幾聚合物於土壤當中。

二、生物分解過程：





補充：

一、光催化降解：

定義：

是指利用輻射、光催化劑在反應體系中產生的活性極強的自由基，再通過自由基與有機化合物之間的加合、取代、電子轉移等過程將污染物全部降解為無機物的過程。

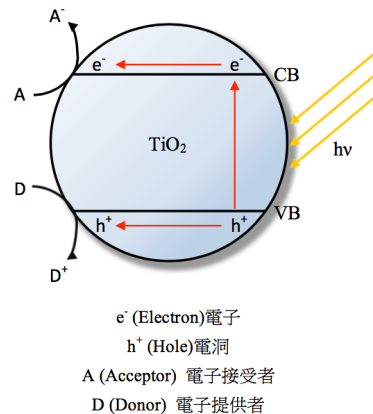
常用光觸媒： 氧化鋅、二氧化錫、硫化鎘、二氧化鈦

原理：

氣相中，光觸媒的受光照產生的電子會與氧分子生成氧離子，電洞則與水分子生成氫氧自由基，此兩者皆為不穩定物質，會將氣相中的有機物降解成二氧化碳和水，反應如下：

還原反應： $O_2^- + e^- \rightarrow \cdot O_2^-$

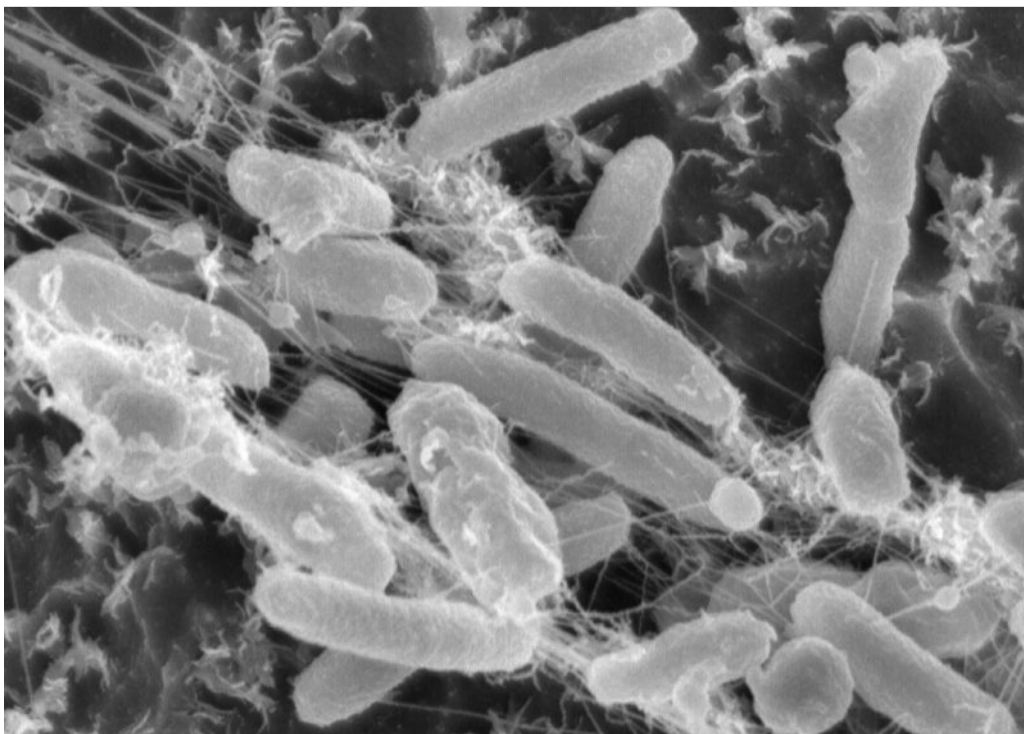
氧化反應： $H_2O + h^+ \rightarrow \cdot OH + H^+$



光觸媒的運用： 清淨水質、潔淨空氣、抗菌、防污清潔

二、可分解塑膠的細菌：

一種新細菌，是叢毛單胞菌科、艾德昂菌屬（*Ideonella*）底下的新菌種。他們決定將這株「愛吃」PET 塑膠的細菌叫做 *Ideonella Sakaiensis*。*I. Sakaiensis* 菌好氧，是格蘭氏陰性菌；養在 PET 塑膠薄膜上的時候，在培養溫度 30°C 下，大概六個禮拜的時間，*I. Sakaiensis* 就能夠將 PET 塑膠薄膜幾乎分解地乾乾淨淨。*I. Sakaiensis* 的脂肪酶重組蛋白，在 30°C 的反應溫度下，能夠將 PET 塑膠聚合物分解成中間產物 MHET 的單體。研究人員決定把這個脂肪酶命名為「PET 水解酶」。對 *I. Sakaiensis* 來說，PET 塑膠的聚合物太龐大。比 *I. Sakaiensis* 菌體還要龐大的 PET 聚合物，讓 *I. Sakaiensis* 沒有辦法直接把 PET 「吞」進去。但在 PET 聚合物被 PET 水解酶分解為分子比較小的 MHET 之後，*I. Sakaiensis* 就可以吸收 MHET 到細胞內。MHET 利用它特有的 MHET 水解酶（MHETase），分解為乙二醇（Ethylene glycol）和對苯二甲酸（Terephthalic acid），產生的能量就能夠用做菌體生長所需。而 PET 水解酶分解 PET 塑膠的能力，是 Tfh 的四百倍！



3.簡述生物可分解塑膠的發展前景與困境？

回答：

供不應求的現狀與未來發展：

針對全球市場的研究估計，到 2023 年全球生物可分解塑膠的需求將達到 55 萬噸。相比之下，中國大陸的預測更為大膽，有研究估計中國大陸的可分解塑膠需求量將在 2025 年達到 238 萬噸，僅 PBAT 類產品一年的替代需求將達到 64 萬噸。根據中國清華大學溫宗國教授的估算，若消費成長趨勢不變，並使用生物可分解塑膠替代限塑法規的禁限品項，中國大陸在未來五年內的累計需求量將達到 2200 萬噸，是目前全球全部產能的 10 倍。

一、成本和生物原料：

生物可分解塑膠的成本比傳統石化塑膠至少高一倍，價格相較於傳統石化塑膠卻沒有優勢，尤其近年原油價格持續走低，帶動著石化塑膠價格一路下跌，也拉大了生物塑膠和石化塑膠的價差。降低成本的技術壁壘仍然存在，因此生物可分解塑膠無法被下游市場廣泛接受。而現在，生物質原料仍以玉米、木薯和蔗糖等糧食作物為主。在大規模使用糧食作物作為工業原料之下，如何保證原料供給不與糧食供給發生衝突，如何保證企業在追求低成本的同时確保供應鏈的永續性，都是一直存在的問題。

二、性能和化學添加劑：

現階段的生物可分解塑膠產品機械性能（例如強度低、彈性差）仍然無法滿足後端產品多樣化的需求。為達到所需的性能，除了混合使用不同種類的生物可分解塑膠，使用多種化學添加劑是常見做法。添加的化學品為何、這些化學品會不會有負面的健康和環境影響、含有化學品的生物可分解塑膠是否還能稱之「綠色環保」——這些問題是生物可分解塑膠產業的第二個挑戰。

三、分解性和垃圾處理設施：

雖然稱為「生物可分解」，但生物可分解塑膠的完全分解沒有那麼簡單。市場上的生物可分解塑膠定義不清楚、標識不統一、消費者不認識、產品宣傳不實。這些因素致使生物可分解塑膠的品質參差不齊，市場監管困難，更不用談大規模推廣。且生物可分解塑膠的實際分解需要確實的垃圾清運和垃圾處理系統，這在多數國家或地區並不完善。沒有垃圾系統的支援，「生物可分解」塑膠並無法解決日益嚴峻的塑膠污染問題。

原料的永續性：

環境方面：

主要關注原料種植的土地使用所帶來的一系列環境影響，包括原料產地是否存在區域性的耕地緊缺，與是否因大面積推廣可用於生物塑膠的農作物造成耕地佔用、土地挪用，是否會導致森林砍伐，是否

造成當地的其他物種棲息地被破壞而導致生物多樣性流失；種植活動是否加重了水資源匱乏、是否因施用農藥造成了當地水土和環境污染的問題。原料種植若佔用森林等碳含量很高的土地，會大大增加生物塑膠製品的碳足跡。

社會方面：

討論圍繞著糧食安全和土地使用。擔憂原料的工業使用會與糧食供給競爭，推動糧食價格上漲，對糧食安全，尤其是貧困人群的糧食獲取帶來負面影響。在土地使用方面，雖然生物資源的開發可能為小型生產者創造收入，但大規模工業化種植更具經濟性；企業是否會為了降低成本採用大規模種植，而忽略了大規模種植帶來的勞工權益、土地污染，以及伴隨大規模土地開發而來的許多社會不平等問題。

經濟方面：

生物質原料的生產加工若想達到經濟永續性，仍需投資研發以推動生產效率，降低成本。在塑膠生產中，目前生物質原料的價格與石化原料相較並沒有優勢，現階段若沒有政策干預和政府補貼，生物原料的使用很難實現經濟永續性。

關於運用科技修復環境部分，試回答下列問題：

1.何謂生物修復？

回答：

以生物性處理方法來補救某些已發生的問題，尤其指環境污染方面。生物修復通常是指受污染土壤的修復，土壤污染可分為有機污染和無機污染，對於有機污染的土壤修復，主要是利用微生物將污染物分解，其原理是藉由改善土壤的環境，如添加營養鹽及供應氧氣等方法，以促進微生物的生長，進而增進微生物分解污染物的效率，另亦可植種經馴養或篩選適當菌種（生物製劑），以加速污染物之分解速率；對於無機污染則是利用一些能吸收重金屬植物的栽種，而將重金屬從土壤中移除，達到土壤修復的目的。

補充：

生物修復技術一般可被分為「原地」和「異地」。原地生物修復在現場處理污染材料，而異地生物修復則把污染材料帶往其他地方處理。與生物修復相關的技術還包括植物修復、生物通風、生物濾化、土地耕耘、生物反應器、堆肥、生物強化、根濾作用和生物刺激。

生物修復可能自己發生（自然衰減或固有生物修復），也有可能只在添加肥料或氧等強化介質內吃污染微生物生長的物質（生物刺激）時有效。

真菌修復：

意指以真菌來降解環境中的污染物。真菌可分泌酵素到環境中，將許多有機污染物分解成小分子。有些真菌同時還是超富集生物，可吸收環境中的重金屬離子並儲存在子實體中，有移除環境中的污染物與重金屬的功效。

植物修復：

植物修復，也稱為微生物和植物輔助的生物修復，是一套基於植物和微生物的使用，以去除，限制或減少地表或地下水，污泥和土壤中污染物質毒性的生物技術。在植物修復過程中，可能會發生污染物的降解，提取和/或穩定化（生物利用度降低）。這些過程取決於植物和生活在其根部附近的微生物之間的相互作用。

土地耕種：

這種被稱為“土地耕種”的生物技術包括將受污染的物質（泥漿或沉積物）與大面積未污染的前 30 厘米土壤混合。在最初的幾厘米土壤中，由於其通氣和混合，有利於降解污染物質。這些任務使用農機，例如犁耕機。耕作的主要缺點是它必然需要大片土地，可用於糧食生產。

生物反應器：

生物反應器是相當大的容器，其允許在水性培養基中維持非常受控的物理化學條件，目的是促進感興趣的生物過程。

細菌微生物和真菌可以在實驗室生物反應器中進行大規模培養，然後應用於生物強化過程原地。為了獲得其污染物降解酶，還可以培養微生物。生物反應器用於生物修復過程異地通過將受污染的底物與微生物培養基混合，有利於污染物的降解。在生物反應器中生長的微生物甚至可以是厭氧的，在這種情況下，水性培養基必須不含溶解氧。

堆肥：

堆肥包括將受污染的材料與未污染的土壤混合，並添加動植物育種劑和養分。這種混合物形成彼此分開的高達 3 m 高的圓錐體。錐體的下層的氧合作用必須通過定期用機械從一個位置移到另一個位置來控制。還必須保持濕度，溫度，pH 值，營養素等的最佳條件。

生物強化：

由於增加了實驗室中生長的接種物，生物強化涉及增加目標微生物（最好是自生的）的數量。以後，一旦接種了感興趣的微生物原位因此，必須優化物理化學條件（例如生物刺激）以促進微生物的降解活性。

生物刺激：

生物刺激包括刺激原位其中已經存在於被污染環境中的那些微生物（自生微生物）中，有能力對污染物質進行生物修復。生物刺激原位它是通過優化所需發生的理化條件來實現的，即： pH 值，氧氣，濕度，溫度等，並添加必要的營養素。

2.對於下列兩項嚴重影響生態環境的物質，試簡述如何應用生物修復技術修復

(a) 土壤中的重金屬

回答：

一、微生物對重金屬的溶解與沉澱：

在土壤環境中，微生物能夠利用有效的營養和能源，在土壤濾滲過程中通過分泌有機酸絡合併溶解重金屬。微生物對土壤重金屬離子的溶解方式主要是通過各種代謝活動直接或間接地進行，其代謝作用能產生多種低分子量的有機酸，如甲酸、乙酸、丙酸等。微生物對重金屬離子生物吸附和富集。土壤微生物可以通過帶電荷的細胞表面吸附重金屬或通過攝取必要的營養元素主動吸收重金屬離子，並將重金屬離子吸附在細胞表面或內部。

二、微生物對重金屬的氧化還原：

土壤中的一些重金屬元素可以多種價位形態存在，它們以高價離子化合物存在時溶解度通常較小，不易發生遷移，而呈低價離子化合物存在時溶解度較大，較易發生遷移。微生物的氧化作用能使這些重金屬元素的活性降低。

三、菌根真菌與土壤重金屬的生物有效性影響：

真菌侵染植物根系後形成共生體—菌根。菌根真菌與植物根系共生能促進植物對營養養分的吸收和植物生長。菌根真菌不僅能藉助有機酸的分泌對土壤中某些重金屬離子進行活化，而且能以其他形式如離子交換、分泌有機配體、激素等間接作用影響植物對重金屬的吸收。

補充：微生物修復污染的土壤必須具備的兩方面條件：

條件一、土壤中存在著多種多樣的微生物，這些微生物能夠適應變化了的環境，具有或產生酶，具備代謝功能，能夠轉化或降解土壤中難降解的有機化合物，能夠轉化或固定土壤中的重金屬。

條件二、進入土壤的有機化合物大部分具有可生物降解性，即在微生物的作用下由大分子化合物轉變為簡單小分子化合物的可能性，進入土壤的重金屬具有微生物轉化或固定的可能性。

(b) 有機化合物

回答：

地下水有機污染修復技術由其工作原理歸納為四大類，即物理法修復技術、化學法修復技術、生物法修復技術和復合法修復技術。其中，生物修復技術投資小，維護簡單，修復率較高，並且當使用植物修復時可以美化環境。生物修復技術通常是利用植物、微生物和原生動物等，將有毒污染物降解為無毒物質的處理過程，概括為微生物修復和植物修復兩種。

微生物修復：

利用天然存在或特別培養的微生物對受污染水體的污染物進行微生物降解，如生物反應器法，其要點是將受污染水體提升至地面后，利用地面建成的生物反應器對其進行好氧降解，在降解過程中要不斷補充微生物生存所必需的營養物和氧氣。處理后的地下水通過滲渠系統回灌到土壤內，在回灌過程中加入營養物質、氧氣以及已馴化的微生物，使生物降解在地下水層中得到加強。

植物修復：

主要去除對象是受污染水體中的重金屬、有機物等污染物質，主要用到的植物包括美人蕉、變葉木、仙丹花、孔雀草等。其涉及到的主要修復方式包括植物的固定作用、植物的揮發作用和植物的修復作用。不過，生物修復法也有其局限性，主要表現為對降解的污染物有針對性，因而修復過程中或許不能完全去除污染水體中的污染物。根據相關文獻，該法還會受到介質滲透作用的影響，可能有二次污染的風險。

3.現今生物修復技術已有廣泛應用，你最想投入哪一個生物修復技術議題作深

入探究，原因為何？

回答：

我最想投入的生物修復技術議題在於地下水污染的植物修復技術。因為如同上述所說的，根據相關文獻，植物修復方法可能會受到介質滲透作用的影響，可能有二次污染的風險，相對於其他生物修復方法，植物修復這道方法的進步與發展的空間還尚需加強，若能夠深入探究於其對於地下水修復上的缺點，該如何去改進，去面對如此的問題，若能夠順利克服，那麼相信對於未來環境議題上會是個極大的幫助。