

## 109 年公務人員高等考試試題

類 科：農業技術  
科 目：土壤學

一、請說明土壤污染物可能透過那些暴露途徑(exposure pathways)而危害人體健康?(20 分)

1. 《考題難易》：★★★★★
2. 《解題關鍵》：
  - \*考題屬靈活應用型
  - \*了解土壤污染的來源
  - \*了解土壤污染對人體健康的暴露途徑
3. 《命中特區》：出於 109 土壤學講義 A2-PP. 127-128(土壤污染)。

### 【擬答】

(一)水、空氣、廢棄物及農業生產資材，為土壤污染物質來源之主要媒介。一般由於水污染而引起之土壤污染之情形最為普遍，其次為經由空氣污染落塵引起之土壤污染，再其次則為由廢棄物或農業生產資材之處置或施用不當而引起之土壤污染。台灣地區因廢污水導致之土壤污染約占 80%。因空氣污染物降落造成之土壤污染約占 13%。其餘為一般廢棄物、有害廢棄物、農藥、肥料、酸雨等之污染。

(二)上述的污壤主因為工業之急速發展，人口增加迅速，工業廢水、廢氣、廢棄物以及都市污水、廢棄物等之處置不當，使得其中所含之汙染物進入土壤，而汙染了土壤。汙染之土壤會造成作物或水體之汙染。土壤汙染物很容易進入作物，而影響整個生態食物鏈，如重金屬經農作物的吸收進入作物體內，最後人吃了汙染之作物而危害人體的健康。此外，受汙染的土壤會將汙染物重新釋入水中或空氣中，而形成多次的汙染。土壤中汙染物經雨水瀝洗或重力傳輸會影響到地下水或地面水的水質，間接可能造成飲用水的汙染。作物或水體之汙染再進入人或牲畜，最後人喝了汙染之水體或作物而危害人體的健康，土壤汙染來源與及危害人體健康的暴露途徑(exposure pathways)如圖 1 所示。

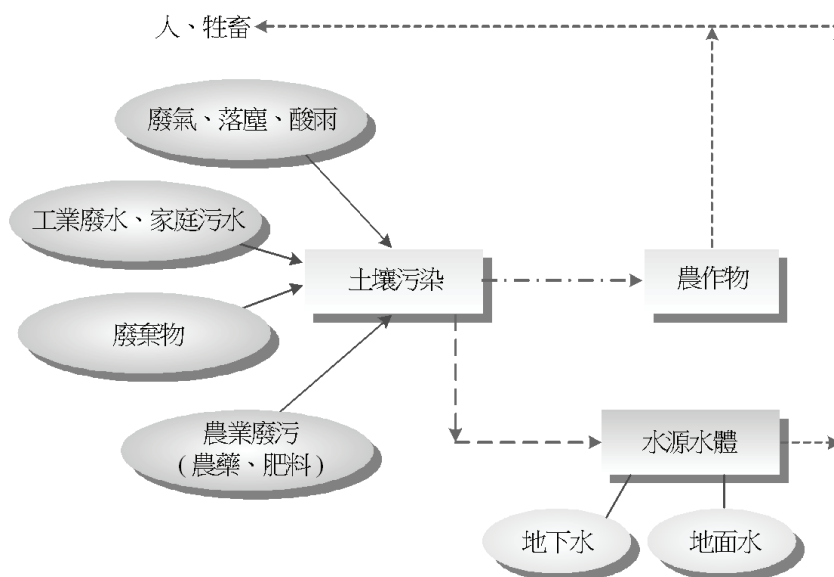


圖 1 土壤污染來源與及危害人體健康的暴露途徑(exposure pathways)

## 公職王歷屆試題 (109 高考三級)

二、在臺灣可能的土壤生成環境下，請說明黏粒、有機質、鐵及鋁在土壤剖面中移動聚集，可能會產生那些化育層 (horizons) ? (20 分)

1. 《考題難易》：★★★★

2. 《解題關鍵》：

\*考題屬靈活應用型

\*了解診斷表育層 (epipedon) 或診斷化育層

\*了解診斷表育層 (epipedon) 或診斷化育層之分類

3. 《命中特區》：解答出於 109 土壤學講義 A1-PP. 51-52(岩石風化與土壤生成過程中之重要化育作用)。

### 【擬答】

在臺灣可能的土壤生成環境下，可能產生的化育層 (horizons) 說明如下：

(一)依土壤生成過程可能產生的化育層 (horizons) 有診斷表育層 (epipedon) 與診斷化育層 (horizons)。

1. 診斷表育層：以土壤表層主要特色辨識，如黑沃土表育層 (A)、黑瘠表育層 (A)、淡色表育層 (A)、烏黑表育層 (A)、有機質層 (O)、人為擾動層及人為廢積層。

2. 診斷化育層：以土壤表層副層特性或非表土層特色辨識，黏聚層 (Bt)、鈉聚層、淋澱層 (Bhs)、變育層 (Bw)、耕犁層 (Ap)、氧化物層 (Bo)、漂白層 (E)、硬磐、脆磐、碳酸鈣層、石膏層、鹽分聚積層、高嶺層、薄膠層、硫酸鹽層、有機質聚積層。

(二)黏粒、有機質、鐵及鋁在土壤剖面中移動聚集，可能產生的化育層 (horizons) 說明如下：

1. 黏粒可能產生：

(1)黏聚層(Argillic horizons)：一般稱為 B 層，黏粒含量至少是其上面若干層次含量的 1.2 倍，常見有黏粒膜 (clay accumulation：coatings, bridges, shiny skins)。

(2)鈉聚層(Natric horizons)：此層次可滿足一黏聚層之必要條件，但亦有稜柱狀或柱狀構造，陽離子交換能量中有 15%鈉飽和(clay accumulation plus 15% ESP)。

(3)耕育層 Agric horizons：-黏粒與腐植質聚積-暗灰色佔土壤容積至少 15%之程度。

2. 有機質可能產生的化育層 (horizons) 說明如下：

(1)黑沃土表育層(Mollic epipedon) (A 層)：土層厚，暗黑色常在草地下形成，鹽基飽和度 >50% (dark color, thick, soft, usually developed under grass)。

(2)黑瘠表育層(Umbric) (A 層)：類似黑沃土表育層，鹽基飽和度 <50%(similar to mollic, low base saturation, high rainfall area, parent material has lower Ca, Mg)。

(3)有機質層(Histic) (O 層)：含有 20-30%之有機物含量，形成在較濕的地方，黑色或棕黑色巨低密度(OM overlying mineral soil, formed in wet areas, black to dark brown peat or muck with low bulk density)。

3. 鐵及鋁氧化物可能產生化育層 (horizons)：

(1)氧化物層(Oxic horizon)：高度風化，含豐富的鐵及鋁氧化物 (highly weathered, high in Fe, Al oxides, kaolinite; not sticky even though it contains clay)。

(2)高嶺層(Kandic horizon)：含鐵及鋁氧化物，且為低活性黏土(Fe, Al oxides and low activity silicate clays)。

(3)灰白層(Albic horizon)：顏色淡，且黏土少之鐵及鋁氧化物(light colored; low in clay and Al, Fe oxides)。

三、就一個沒有黑沃表育層(Mollic epipedon)與黑瘠表育層(Umbric)epipedon)的礦質土壤(mineral soil)來說，試申論該土壤從新成土(Entisols)逐漸轉變成極育土(Ultisols)的過程中，黏土礦物類

1. 《考題難易》：★★★★

2. 《解題關鍵》：

\*考題屬靈活應用型

\*了解新成土與極育土的特性

\*了解新成土與極育土黏土礦物類別與土壤表面電荷特性的關係

3. 《命中特區》：解答出於 109 土壤學講義 A1-PP. 57-58 及 PP. 61(岩石風化與土壤生成過程中之重要化育作用)與 109 土壤學講義 A2-PP. 6-7 及 PP. 9(土壤化學)。

【擬答】

(一)新成土與極育土的特性如下：

1. 新成土(Entisols)：新成土的造字元素來自於 Recent 的字尾，是由母質化育生成的最年輕的土壤。三角洲河口、瀉湖陸化、沖積扇頂堆積層等地形區；或是由新近形成的陡坡、河灘地、表層被沖刷之未固結沉積物所形成的土壤。其特徵是土齡年輕化育層次不明顯的淺層土壤，以 A 層及 C 層土壤層次組合，土體下部或有深厚的風化層。新成土常生成於人類活動最頻繁的洪積臺地邊緣及新開發之海埔新生地上，受土壤改良影響，許多新成土具有人造土層（如客土層）。新成土網約佔世界陸地之 16.2%，臺灣地區平原及海埔地上有許多土壤是屬於新成土網，也是重要的農業生產基地。

2. 極育土(Ultisols)網：極育土生成於暖濕的熱帶及副熱帶，且大部份季節降水量 > 蒸發散量的氣候環境，一般分布於較老的地層區（如紅土礫石臺地），或位於中低海拔之山區平坦地（地質穩定區）。具有強酸性、高度風化作用的土壤形態，Bt 層也具有黏膜，呈黃紅、紅色。極育土較為貧瘠，需要投入多量肥料供農業生產。其面積佔全世界陸地的 8.5%，卻養活全世界 18% 的人口。臺灣之丘陵、臺地上的紅色土壤大多屬此種土網。

(二)土壤從新成土(Entisols)逐漸轉變成極育土(Ultisols)的過程中黏土礦物類別與土壤表面電荷特性的關係說明如下：

不同土網中新成土(Entisols)與極育土(Ultisols)之風化與化育的程度如圖 2 所示，由圖可知從新成土(Entisols)逐漸轉變成極育土(Ultisols)的過程需較高之風化與化育的程度，其環境為多雨及較高溫的熱帶及副熱帶氣候環境，且發展成較酸性的黏土礦物且含有豐富的鐵及鋁氧化物。以下對新成土(Entisols)與極育土(Ultisols)之黏土礦物類別與土壤表面電荷特性的關係說明之

1. 新成土(Entisols)：

新成土(Entisols)是由母質化育生成的最年輕的土壤。其特徵是土齡年輕化育層次不明顯的淺層土壤，以 A 層及 C 層土壤層次組合，因此土壤之生成化育的時間短，成土作用過程中的各種作用因子，包括：風化作用、淋溶作用、洗入作用、洗出作用都不明顯，故黏土礦物形成較少與不明顯。也因黏土礦物較少其土壤表面電荷特性亦不明顯。

2. 極育土(Ultisols)：

極育土生成於暖濕的熱帶及副熱帶，且大部份季節降水量 > 蒸發散量的氣候環境。由於高溫的現象，使有機質分解容易，故土壤有機質的含量很少。低價的鐵化合物( $\text{Fe}^{2+}$ )氧化為高價鐵化合物( $\text{Fe}^{3+}$ )而多雨的現象使土壤中的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^{+}$ 、 $\text{Na}^{+}$  等鹽類被淋溶掉，而留下鐵與鋁的氧化物。因氧化鐵多而使土壤呈現紅色。極育土其黏土礦物屬於水合氧化鐵與氧化鋁礦物（非矽酸鹽類）：岩石中本含大量鐵、鋁化合物、風化後成為土壤礦物、由於其解離能力甚弱（幾不溶於水、較不易隨淋溶水份而去），故鐵、鋁氧化物皆為強烈風化下的產物。其為 pH-依賴電荷(pH-dependent charge)，發生於黏粒之邊緣面(edge faces) 或水合鐵鋁氧化物之表面---可能為正電荷或負電荷，其電荷之大小或正負決定於溶液之 pH。一般認為是由於晶體表層之  $\text{OH}^{-}$  基中的  $\text{H}^{+}$  在鹼性條件下解離所致。可變負電荷受 pH 值的影響很大，如



高嶺土在土壤 pH 值 $>5$  時， $\text{OH}^-$  基解離出  $\text{H}^+$ ，使膠體帶負電荷；在土壤 pH 值 $<5$  時， $\text{OH}^-$  基解離出，使膠體帶正電荷。

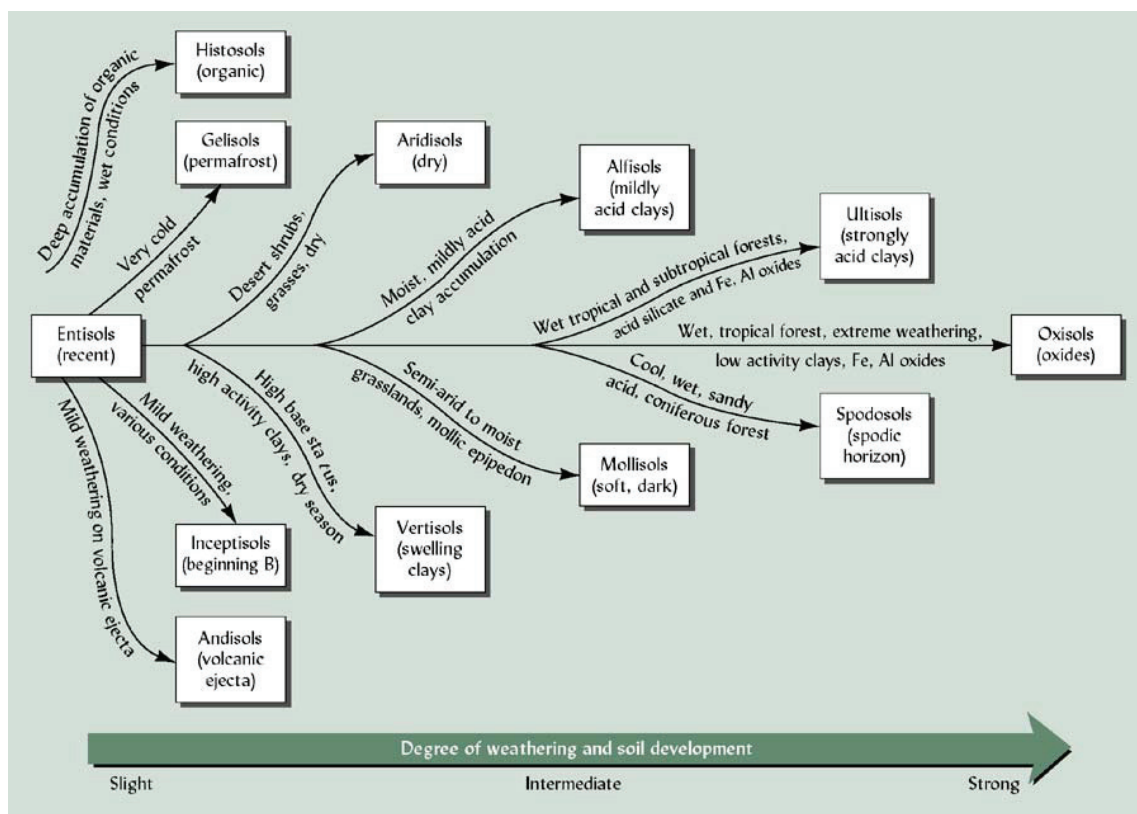


圖 2 說明不同土綱中新成土(Entisols)與極育土(Ultisols)之風化與化育的程度

四、請說明有那些化學原理的分析方法可以得知土壤鹽度(soil salinity)? (20 分)

1. 《考題難易》：★★★★
2. 《解題關鍵》：
  - \*考題屬靈活應用型
  - \*了解土壤鹽度
  - \*了解土壤鹽度分類之依據
3. 《命中特區》：109 土壤學講義 A1-PP.149-150 (土壤物理)。109 土壤學講義 A2-PP. 34-35 (土壤化學)。

【擬答】

- (一)土壤溶液中鹽類成份影響作物生長，溶液中的鹽份來自土壤本身所含鹽類之溶解及肥料以及灌溉水所帶入之鹽基成份。由於土壤溶液成份濃度亦受土壤水份含量高低影響，一般試驗室以土壤飽和水的電導度(CEc)來評估土壤鹽度及對作物的影響。CEc 之單位傳統上使用 mmhos/cm(millimho per centimeter)，世界統一標準單位用 s/m(siemen per meter)。1mmho/cm=lds/m。
- (二)一般鹽分地分類之依據是依下列化學分析方法結果分類之：
  1. 酸鹼度(pH 值)：常以 pH 表之。pH 為氫離子濃度的負對數， $\text{pH}=-\log[\text{H}^+]$ ， $\text{pH}=7$  中性， $\text{pH}<7$  酸性( $\text{H}^+$  之濃度大)， $\text{pH}>7$  鹼性。pH 值常以 pH 計量測而得之。
  2. 電導度(EC)：溶於水中的無機鹽類，解離成離子而導引電流的容量稱為「電容」。電導度 (electrical conductivity，簡寫成 E.C.) = 單位距離 (通常設定為 1cm) 的導電強度；導電強度 = 比電阻的倒數 (電阻之單位：歐姆， $\Omega$ )。電導度可由土壤電導度計量測而得之。
  3. 鈉飽和度 (exchangeable sodium percentage，簡稱 ESP) 是指土壤溶液中鈉離子佔總陽離子

## 公職王歷屆試題 (109 高考三級)

之當量濃度的百分比。土壤中鈉飽和度愈大，愈易使土壤趨向於鹼性反應。主要原因乃是  $\text{Na}^+$  具有比  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$  等鹼金族與鹼土族離子（呈強鹼反應）高的離子置換能力，取代將這離子的化合位置，進而使些離子呈解離狀態，助長土壤溶液的鹼性強度，當鈉飽和度大於 15 就可視為鹼土。需量測總陽離子與鈉離子量的方法。

(三)依據此三種分析方法可以得知土壤鹽度的分類如下表：

鹽分地之分類：

1. 鹽土(saline soil)：可溶性鹽含量高，交換性鈉低，妨礙作物生長。
2. 鹼土(alkali soil)：可溶性鹽含量低，交換性鈉高，妨礙作物生長。
3. 鹽鹼土(alkali soil)：可溶性鹽含量高，交換性鈉高，妨礙作物生長。

soil group	EC(mmho/cm)	ESP(%)	pH
鹽土(saline)	>4	<15	<8.5
鹽鹼土(saline-alkali)	>4	>15	<8.5
鹼土(alkali)	<4	>15	>8.5
正常土(normal)	<4	<15	

五、請說明銨態氮 ((ammonium-N)與硝酸態氮 (nitrate-N) 在參與土壤中營養循環作用時氮化學形式(chemical form)的異同之處。(20 分)

1. 《考題難易》：★★★★

2. 《解題關鍵》：

\*考題屬靈活應用型

\*銨態氮 ((ammonium-N)與硝酸態氮 (nitrate-N) 的形成與化學形式

\*氮在生態系統中之轉換

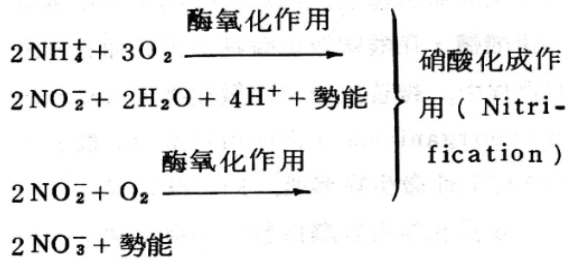
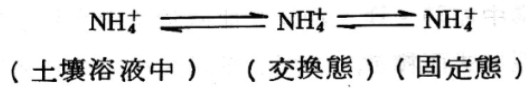
3. 《命中特區》：109 土壤學講義 A1-PP.80-81 (土壤生物及土壤有機質)。109 土壤學講義 A2-PP.54-56 (土壤與植物營養)。

【擬答】

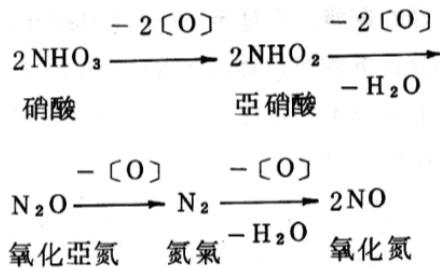
(一)大氣中氮素含量最高， $\text{N}_2$  植物不能直接利用(因有三鍵不易打破)，化學肥料作的主要來源為空氣中之氮素。植物可以吸收主要有兩種型態，分別為硝酸態氮  $\text{NO}_3^-$  及銨態氮  $\text{NH}_4^+$ 。

1. 氮化作用：指腐生菌或真菌等把土壤中的含氮有機物（如蛋白質等）氧化分解產生氮  $\text{NH}_3$  的過程，反應式為： $\text{蛋白質} \rightarrow \text{胺基酸} + \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{ATP}$ ，反應過程中所產生的氮  $\text{NH}_3$  溶於水成為銨離子(Ammonium,  $\text{NH}_4^+$ )，即銨態氮。此為礦質化過程(Mineralization)如下圖 3 氮循環過程中之一部分。

2. 「硝化作用」(nitrification)係指「由氨或銨態氮轉化成硝酸的作用」（第一步亞硝酸鹽化： $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$ ；第二步硝酸鹽化： $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ ）如下方程式所示。硝化細菌為嚴格的好氣性細菌，故盛行於排水與通氣良好的土壤。硝酸在土壤中如遇鹽基離子（鹼金族及鹼土族離子），即形成硝酸鹽。硝酸或硝酸鹽中之氮，特稱為硝酸態氮 (Nitrate nitrogen,  $\text{NO}_3^- \text{N}$ )，能供作物吸收，故亦屬於「有效性氮」。如下圖 3 氮循環過程中之一部分(nitrification)。



(二)「脫氮作用」(或稱「反硝化作用」)為與硝化作用相反的微生物(細菌及真菌)轉變作用,把硝酸化合物還原成為  $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{NO}$  等氣體而揮發出去如下方程式所示。由於脫氮作用是無氧或缺氧條件下進行,這一過程通常是透過較差的土壤中進行的,故容易在排水不良或浸水的底土層中進行。如下圖 3 氮循環過程中之一部分(denitrification)。



(三)氮循環：

氮在生態系統中之轉換如下圖,銨態氮((ammonium-N)與硝酸態氮(nitrate-N)在參與土壤中營養循環作用時氮化學形式(chemical form)的相同之處為此兩種化學形式皆可被植物吸收利用。但其差異性為施用硝酸態氮易因淋洗而損失,施用銨態氮有效期雖可較長,但高濃度易導致氮的為害。

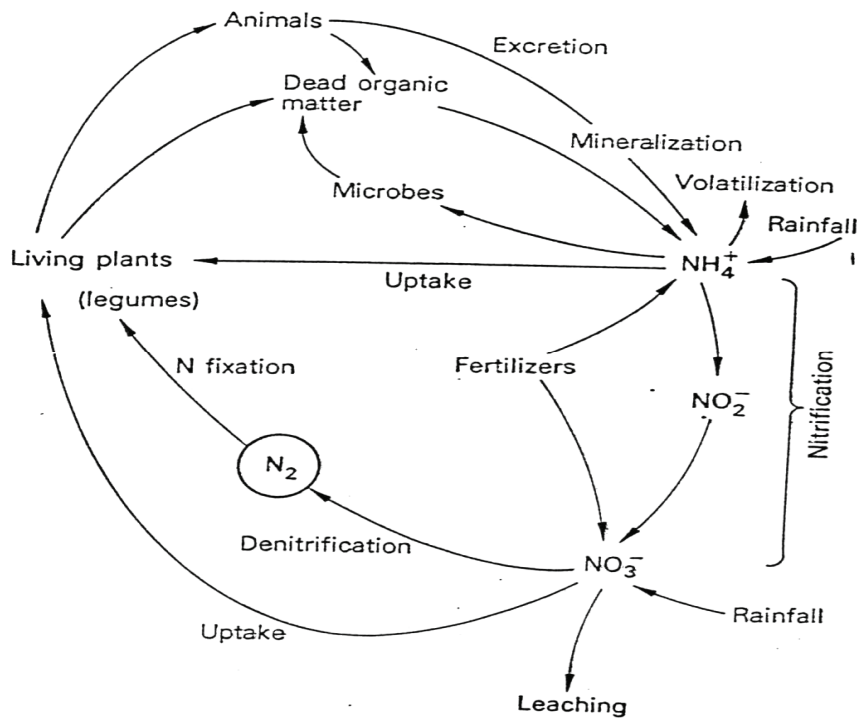


圖 3 氮在生態系統中之轉換(氮循環)