

涇河流域土壤侵蝕現象及其演變

朱顯謨 張相麟 雷文進

(中國科學院土壤研究所)

涇河係黃河的一大支流，其對於黃河全年流量與輸砂量的影響至大且巨，因此黃河本流的除害興利工作，勢不能與涇河的除害興利措施以及涇河流域的水土保持工作相分割。1954年春爲了有系統的了解該流域的自然環境、目前土地利用情況、水土流失情況與其發展規律等，以便擬定合理開發計劃起見，特組織綜合性的勘查隊進行上述工作，我們曾參與其事，並擔負有關土壤工作，今僅先就有關土壤侵蝕方面的部分資料整理報導於後，藉供參考。

一. 土壤侵蝕現象

本流域內所見水土流失的主要方式雖有地面土壤的侵蝕作用和溝道的發展兩種類型，但其侵蝕現象不外 (1) 片狀侵蝕；(2) 細溝侵蝕；(3) 切溝侵蝕；(4) 崩塌侵蝕；(5) 洞穴侵蝕；(6) 瀉溜侵蝕。今將分述於後：

1. 片狀侵蝕

片狀侵蝕係地面及溝壁土壤表面呈薄層狀剝蝕的現象。此種侵蝕常爲其他侵蝕現象發生的基本來源。其爲害性因其爲土表比較均勻的剝蝕，故不易察覺，而常爲我們所忽視。其實對於農業上的影響將遠遠超過其他侵蝕現象，更因其面積特廣，因此其水土流失亦甚巨大，試觀任何溝壁不論其植被情況若何，本流域中尙缺乏明確的實例足以證明無片狀侵蝕的進行。舉凡溝壁坡地所見土壤均係新近風化的幼年土，每年由於生物作用所形成肥沃的表土常被沖失而竟毫無機會給予足夠的時間，任其到達一足以反映當地自然情況之較爲明顯的土壤剖面。塬地土壤，溯自墾殖以來，雖在 3° 以內的斜坡上，倘由土壤剖面的厚度推之，則其被蝕深度可達1米以上。古老樹根，甚或多年青草根常裸露於地表，不足百年的墓葬常高出地表達數10厘米至1米左右。即在子午嶺某些地區植被比較良好之處，平緩斜坡底部的灌木叢(約3-6年)中，尙見有淤積(淤土高約10—30厘米)現

象。本流域中片狀侵蝕對於水土流失的影響由此可見。

2. 細溝侵蝕

雨後農田中常見有呈枝狀的小溝(圖版 I, 圖 1), 此種小溝係地面逕流相集流行, 將地面刻劃割切所成, 地面薄層土壤循此道而流失, 因其下切深度不大, 故一經耕鋤後, 地表復趨平整而溝痕消失, 此種侵蝕, 主要見於 5° 以上的坡地, 通常以農地中最為常見; 溝壁塬面集水槽二壁以及紅土或黃土的滑場面上, 亦常見及。本流域中, 以華亭境內由黃土、淡棕色砂頁岩風化而成的土壤最為習見。其溝的寬度有達 30—40 厘米以上, 其深可達心土, 溝道密度每米有時竟達 12 條以上, 溝寬可佔地面 50% 以上, 每畝每 1 毫米雨量所流失土壤達 $\frac{1}{10}$ 公方以上(圖版 I, 圖 2)。

細溝侵蝕的另一方式係見於荒坡草地, 因有植物的生長, 故地面逕流常在生草較疏或草叢間禿露的地表流行, 漸將流道刻劃成細溝, 此種溝痕常呈網狀密佈於地面而不呈枝狀; 放牧過度的草坡, 由於牲口的殘踏而呈稜狀; 雨後放牧亦常致整塊草叢向下溜滑而使局部地面禿露, 亦可演成以後逕流的通道, 不論其細溝形成的原因如何, 此種侵蝕常使草坡割裂而呈鱗狀, 故我人曾名之曰鱗片狀侵蝕(圖版 I, 圖 3)。

3. 切溝侵蝕

不論荒坡地農地由於地面逕流的割切而形成的侵蝕溝, 其溝痕雖在耕鋤之後, 仍甚明顯, 或其寬在 50 厘米以上, 其深已切入心土內者, 都可以叫做切溝。本流域中所見的切溝侵蝕, 因其切溝的形狀不同可分為: 枝狀、放射狀、楔狀(頭大尾小)、柵狀等。柵狀溝常見於坡面比較平整之處, 溝間距離相差略呈平行狀, 故亦可稱平行溝, 但因多數見於有地埂的農地或丟荒地, 由於地埂的直交恰呈柵狀故有這個名稱。高差較大, 地埂常被上部集流刻成一半圓筒狀的直立溝道, 暫稱它是跌溝。更因溝道的寬度而又別為細切溝(溝寬 1 米左右)、中切溝(溝寬 2—10 米)和大切溝(溝寬 10 米以上)等三種(圖版 I, 圖 4—5)。

4. 崩塌侵蝕

溝壁陡坡, 土體失去平衡而整體或大塊向下倒塌的現象, 都叫做崩塌侵蝕, 促成崩塌侵蝕的主要原因, 乃在溝底的下切, 溝壁陡坡土體收縮而裂開與其側壓作用以及土層中排水情況的上下不同, 而形成水分停滯與滑面的生成等。由於後一原因所促成的崩塌作用, 常見於紅土及黃土與紅土相間的斜坡上, 整個土體常

順坡而下，流至溝底而後止。故叫做滑場侵蝕（圖版 I，圖 6）。崩塌侵蝕係本流域中水土流失極為重要的侵蝕現象。黃土溝溝壩的向源侵蝕與其溝壁向旁擴展等均賴此種現象（圖版 I，圖 7）。崩塌下墜的土體有時可達數十萬公方以上，對於河流中含砂量的增加，作用甚大，有時亦可坍塌成天然土堤而形成湫潭。

5. 洞穴侵蝕

地面逕流或水分向地下穿入或滲透的結果，常將地面坡壁或地底穿流成穴而使水土流失者，均可叫做洞穴侵蝕，我們常因其形狀不同大別為跌穴、階穴、陷穴、或連珠陷穴等（圖版 I，圖 8；圖版 II，圖 9—11）。

跌穴大部見於地埂及坡面轉折之處，由於上部逕流集中下流，穿鑿割切所成，有時常為柵狀溝，或其他切溝的溝壩，或每一地埂壁上內凹而呈半圓柱狀洞穴。階穴係農地或丟荒地每上下幾個跌穴聯合的稱謂。陷穴乃係地面水分向下滲透於土體裂隙或孔隙中合併成流，溶蝕土體，使地下先形成穴，然後洞穴漸大，終於地面土體下墜形成地面上的洞穴，或因逕流於斜坡上穿入地面，形成暗流所成的洞穴，故叫做陷穴。在同一斜坡上，同一水流將坡面洞穿數個陷穴者，此種陷穴常被稱為連珠陷穴。

6. 瀉溜侵蝕

紅土滑場面及其他陡坡生長植物稀少的，地表土體常因風吹雨打，膨脹收縮等的影響，漸形剝離成碎塊或粉末狀，由於重力的關係，常不能停留於原處，而不斷向下溜瀉。發生此種現象的斜坡，其坡度常在 35° 以上，坡麓土堆的安息角約為 $35—40^\circ$ 。通常係土表比較均勻的剝蝕，但日久之後土體下溜，亦能在坡面上刻劃成溝。

二. 侵蝕原因

引起與控制土壤侵蝕的主要原因，可大別為自然因素與人為因素二類：前者以植被情況、土壤性質、氣候、地面情況等最為主要；後者以廣種薄收而破壞林木、括草皮、挖草根等為害最烈。惟上述各種因素對於侵蝕影響常為綜合的結果，而非單獨的作用，因此在某一具體事實中，每一因素，雖各有其應有的影響，但其作用，并非固定不變，而常受其他因素與各因素間的相互關係所支配。例如：疏鬆深厚的農地表土，在普通強度降雨下，不易發生逕流，而基本上沒有水土流失。但在降雨強度超過一定限度時，則因其比較疏鬆而易被逕流所攜帶，泥沙的冲刷

量反比堅硬地面的農田為大。一般地面坡度愈大者，土壤侵蝕愈劇。但在堅硬的光板地上，常因坡度較大，地面逕流迅速下流，因此在降雨時間不長，水分不及下透，而使地面土層濕潤分散，在這種情況之下，其對於土壤沖刷的作用反不如地面比較平緩地區的強烈。今將各種因素與土壤侵蝕關係略述於後，藉供參考。

(一) 自然因素

1. 氣候：本流域中，土壤侵蝕的氣候因素，計有風、溫度及雨量，而以後者最為主要，溫度僅為間接影響。根據現有氣象資料及訪問比較的結果。本流域中，冬長夏短，植物生長季節較短，溫度較低，更加夏季常旱，因此植物的生長，不甚旺盛，所以土壤腐植質甚難增加；又因缺乏良好的團粒結構，故土壤侵蝕嚴重。北部一帶，春季多風，自磚城子以北即見有顯著的風蝕現象，北至山城梁豐台一帶，更為嚴重。惟風蝕範圍一般僅限於風口、農田的迎風面，風蝕較劇的地帶，常寸草不生，溝紋滿地，有時亦可見深約 1 米以上的溝槽。在農地中，常於一次大風後，將耕作層吹走大半，種子肥料盡被蕩捲而去。本區雨量約在 300—600 毫米間，南部山區可能在 700 毫米左右，大部地區的蒸發量超出年雨量約在 2—3 倍，氣候比較乾燥，更加其分佈不勻，有效雨量更少，因此植物的生長較差，間接影響地面抗蝕性能而助長土壤的侵蝕。在通常降雨的情況下，除耕墾嚴重而無梯田或無田埂的坡地外，地表常不易發生逕流，因此土壤侵蝕僅限於溝壁道路之處，無奈本流域的雨量分佈極不平均，非但暴雨多，亦且來得猛並時常雜有冰雹，地面易被碰擊粉碎，又因黃土紅土等易於分散，缺乏良好的團粒結構，因此雨水不及下滲而形成逕流，引起土壤侵蝕，今就各重點區根據訪問及測得地面水土流失量與雨量的關係，列表記後：

表 1 降雨情況與地面水土流失量的關係

地 點	年雨量* 毫米	暴雨佔年雨量百分比*	暴雨帶電頻率	5° 坡地農地地面流失土量 m ³ /m ² /年
華 亭	500	50%	100%	0.0300
瓦 亭	350	50—60%	30%	0.0170
三 岔	350	50%	35%	0.0270
元 城	320	40%	15%	0.0145
八 里 舖	250	40%	—	0.0195
賈 家 溝 圈	450	30%	20%	0.0180

雨量係根據氣象情況中的等雨線而來。八里舖數字可能偏小，華亭與瓦亭的暴雨佔年雨量的百分數，係參考多雨季節雨量佔全年百分數並參考其附近地區情況估計得來。

由上表可以看出以下的情况：(1)年雨量大，流失量亦大；(2)暴雨佔年雨量百分比大，流失量亦大；(3)暴雨帶電頻率大，流失量大。但是這些僅屬一般趨勢，不能作為定論，因尚有其他主要因素如土壤性質等，並未一致。不過我們應該着重指出暴雨的強度，應該是突出的控制因素。事實證明黃土溝的發展、梯田的坍塌、地面切溝、細溝的形成等，常年不易覺察，而在暴雨後所形成或在較劇暴雨以後才有驚人的毀滅性的現象發生。

2. 地形：地形對於土壤侵蝕影響有二種，一種是間接的，就是由於地形的不同，影響了植物的生長與分佈情况，土壤的種類與利用情况等，因此間接的或多或少地影響了土壤侵蝕情况，這點我們暫置勿論。第二是直接影響，其中最主要的是溝道分佈、地面的起伏、坡度與坡長等，它們對於土壤侵蝕現象的發展過程與程度等，都有密切的關係。溝道的發展是土壤侵蝕結果，但是溝道又反過來助長了土壤侵蝕，最顯明的是地面被溝道割切破壞，非但能變平地為丘陵，同時也大大地增加了侵蝕面積。逕流的發生一方面由於降雨量超過了土壤的透水量，另一方面由於地面的不平，因此高處的水向低處集中成流，流速與破壞力的大小是與斜面成正相關，因此地面的起伏是促成逕流和水土流失的主要因素。根據我們這次瞭解的情况，片狀侵蝕，在極平緩的地面上也會發生，本流域中一般較大的塬地的地面，雖然起伏不平，但是大部比較開濶平坦的地方，它的坡度常在 3° 以內，可以說自從開墾到現在，因片狀侵蝕的進行，而被沖失的土層，平均約達50厘米左右，厚者竟達1米以上，或已把原有的土壤全部沖失，黃土母質業已禿露地表。塬地地面，在 3° 左右的分水嶺脊與長坡下部臨接集水槽或溝壁附近之處，沖刷最烈。地面坡度大多在 5° 以上，始見有細溝溝紋的出現，一般坡度愈小，溝紋曲折愈多而分叉也多，坡度愈大，溝紋常較平直，下切深而分叉少。超過 15° 以後地面常易凸起而形成較大的集水槽，日後漸變為切溝。倘其原先坡面面積較大，而大體平整者，易成柵狀切溝，原先坡面向內凹入者，易成枝狀切溝等。跌穴及切溝常見於地面坡度突然轉陡之處，溝壁陡坡超過 36° 的，常易發生崩塌及滑塌等侵蝕現象。陡坡的坡面上所生的陷穴，係坡面逕流沖蝕而成，緩坡（大都臨近溝壁）或平地陷穴，係由水分下透經過溶蝕暗流等過程，日漸淘刷而成。

根據野外瞭解與實測結果，地面土壤沖刷總量或細溝的侵蝕量，在任何地區與任何種類的地形下，與地面坡度常成正相關。

3. 植被：地面植物的生長除個別現象（如塬地黃土溝岸近旁的大樹有時可促成溝壁崩塌與陷穴的發生等）外，均有防止水土流失的作用，蓋其地上部分能將地面被覆，阻緩或防止風雨的侵襲；地下根系能將土粒固結，增加土壤抗蝕性能，而能減少或免於水土流失，亦可改良土壤性狀，增加其透水性能，直接減少地面的逕流。因此水土流失與植物種類，生長情況，地面被覆等，有密切的關係，一般而言地面的植物被覆愈佳者，水土流失愈見輕微，森林對於水土流失防止的作用最大，草類次之，農田最差，今將此次在工作中收集及測驗結果整理分述於後：

同係農地，當其改植不需翻耕與被覆較好的苜蓿以後，地面侵蝕即形減緩或有淤積，如西峯候官寨西集水槽中，在種植苜蓿 8 年，溝槽非但免於切深，而反淤積泥土厚，約 2 尺以上，涇川王家溝 30° 的坡地，在種莊稼二年中，地面侵蝕總量為 0.058 m³/m²/年，而在改種苜蓿後的 8 年中，地面侵蝕總量僅為 0.00626 m³/m²/年，減少了 8 倍；根據各地所得的結果，又可綜合成下表。

表 2 地面有無被覆與侵蝕量(m³/m²/年)比較

類 別 \ 坡 度	5°	10°	15°	20°	25°
無被覆地面侵蝕總量	0.009	0.013	0.018	0.023	0.008
有被覆地面侵蝕總量	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010

我們在華亭和賈家溝圈，用人工降雨法測得結果，得出被覆度和被覆種類與侵蝕總量的關係為：

(1) 一般短小的草類所組成的被覆，其阻緩雨水降落速度與碰擊地面的力量雖然不大，但是一面由於地面被草根固結，一面由於草叢的關係，阻緩了逕流的速度和加強了土壤的抗蝕能力，因此亦可減少地面的冲刷。

(2) 小灌木或生長茂密高大的草類，它更能阻緩雨水的打擊地面的力量和延長降雨時間，有效地降低降雨強度，增加土壤透水時間，因此它們對於水土流失的減緩作用更大。

(3) 試驗證明在同樣情況下，有被覆地面的逕流，比沒有被覆的地面之逕流少，而且被覆密度愈大，逕流量愈小，結果見下表：

我們又從土體在靜水中和流水中的分散速度與分散量的測驗中，得到一般土壤母質，不論黃土或紅土，在靜水中，3—6 分鐘內即可全部分散，但是一經生長

表 3 逕流係數與被覆密度關係

被 覆 密 度	85%	80%	25%	0%
逕 流 係 數	7.0%	13.6%	20.1%	34.2%

植物，不論草、木、或苔蘚等類低等植物後，在靜水中就很不容易分散，有些甚至於不分散，從這裏我們可以看出土壤母質和經過生物作用以後，所生成土壤的侵蝕情況，是有本質上的不同了。我們可從下表中看出各種植物根系的固土能力。

表 4 不同植物根系附近土壤的沖失率*

土號	採 集 地 點	植 物 種 類	沖失率%	備 註
1	子午嶺見水坡	農地，玉米	100	5 分鐘內被流水沖完
2	子午嶺見水坡	農地，糜子	100	5 分鐘內被流水沖完
3	子午嶺見水坡	草地羽茅小叢	100	20分鐘內沖完
4	子午嶺見水坡	馬連叢	33.3	在流水內沖洗一小時
5	子午嶺見水坡	草地羽茅成片分佈	19.6	在流水內沖洗一小時
6	子午嶺見水坡	草地旋風草成叢	23.6	在流水內沖洗一小時
7	子午嶺見水坡	草地小片分佈	27.8	在流水內沖洗一小時
8	子午嶺見水坡	春草	31.7	在流水內沖洗一小時
9	子午嶺見水坡	百草成片蓋滿地面	9.7	在流水內沖洗一小時
10	子午嶺見水坡	林地白楊疏林有落葉層	15.1	在流水內沖洗一小時
11	子午嶺見水坡	林地白楊密林	9.35	在流水內沖洗一小時
12	子午嶺見水坡	草地黃芎草	64.6	在流水內沖洗一小時
13	子午嶺見水坡	草地馬芽草	90	在流水內沖洗一小時
14	子午嶺見水坡	有少量根物系的紅土塊	100	13分鐘後全部沖失
15	子午嶺見水坡	草地倒生草	100	40分鐘後全部沖失

* 試驗在小河中進行，土塊放在木板上，木板斜面為 10° ，水流厚度為 3 厘米，土塊約為 $3 \times 4 \times 4$ (厘米)³大小。

從表上我們不難看出，林木的固土能力最強，草類次之，農作物最低，因為羽茅和白草生長的情況不同而影響了它們根系的固土能力，小河中的流水速度超過一般雨後地面逕流的速度，因此可以推想植物對於水土保持的功効了。

本流域內大部分地區均為裸露的黃土母質或幼年土，植被極壞，農地邊緣更乏保土設施，無怪乎侵蝕劇烈與水流中含砂量特高。

4. 土壤：土壤係侵蝕的主體，因此土壤性態直接影響侵蝕現象與質量，惟土壤係各種自然環境綜合作用下的產物，因此其性態常因自然環境的不同而有變異，且其對於侵蝕的影響，常為土壤本身與外界環境的綜合結果。試觀本流域內的主

要成土母質，除各別地區外均為由黃土紅土與紅色砂頁岩等風化而來的鬆散，易於分散的物質，其本身抗蝕力均極低微，初風化的物體，即在靜水中亦甚易分散，一般約在 3—6 分鐘以內全部分散，其中尤以黃土為甚，有時甚至不足 1 分鐘即已全部分成單粒；但其經受植物作用時間較長並有根系保護者即甚難分散，因此亦難侵蝕。但若土表被冲刷後，新近禿露的母質則其侵蝕更劇，此種現象尤以黃土為著，蓋因其地層深厚，疏鬆易散，並富含孔隙，水分進入較易並含有多量石灰質常被帶有碳酸氣的水分所溶蝕。此外我們常於黃土溝頭的溝壁部分，在離地表數十厘米以下見有內凹的現象（圖版II，圖 12），此亦由於乾燥的土體與地表土壤抗蝕性能有不同的表現，但其發展結果，溝壁愈淘愈深入，上部土壤即行懸空，因其本身重量及流水運行時的壓力而坍塌，溝頭即形前進。土體易於分散與抗蝕力的不同與其吸水後膨脹的大小有關，一般吸水後膨脹愈大者，愈易分散；膨脹較小者，不易分散或其流失量亦較少。其詳情見下表：

表 5 土壤膨脹系數與分散速度及侵蝕的關係

標本收集地點	利用或植被情況	膨脹係數	靜水中分散速度 (全部分散)	流 水 中 流 失 率 %
子午嶺賈家溝壩	黃土母質	19.8	2 分 30 秒	—
慶陽城北	黃土母質	31.3	2 分 1 秒	—
子午嶺三關橋	農地表土	13.9	不分散(被根固結)	100% 5 分鐘沖完
子午嶺三關橋	草地(白草)表土	17.6	不分散	9.7% 沖一小時
子午嶺三關橋	白楊林(疏)表土	1.22	不分散	15.2% 沖一小時
子午嶺三關橋	白楊林(密林)	0.77	不分散	9.35% 沖一小時

由上表可知土體先行分散，後始利於逕流的攜帶，但土體的分散必先吸水，更因吸水而引起膨脹，使土體中土粒膠結的性能減弱而易被分散，但疏鬆多孔的土壤母質與發育的土壤相反，因無植物根系與腐植質等的固結，故其空隙率大，進水愈快者，分散愈速，密實的土體其膨脹係數雖大，但因水分進入內部土塊不易起分散作用在短時間內僅為表面的剝離，有時反因土表吸水膨脹附着於土塊的四週阻止水分入內，而更阻緩其分散，此或即為黃土母質的分散遠較紅土為速的原因。又比較濕潤的土塊，於靜水中常不易分散，此種現象又以紅土為著，此當亦可證明水分進入土體後，由於土體自身的膨脹與一部分空氣不易放出，使體內壓力即行增加，更利於土體的崩裂，而濕潤的土塊其膨脹較小吸水速度較緩，內部空氣壓力較小而土體崩裂較緩或較難的。

土壤的透水性能，亦係影響侵蝕的主要原因，而透水性能又係土壤團粒、地

質空隙疏鬆度等性態的綜合現象。一般透水愈速則逕流愈少侵蝕亦愈微，但是這種現象受其他三種因素所控制，即降雨強度、土層厚度及其底部土層或母質的透水性能以及地面被覆等。降雨量在未超過土層的蓄水總量時，則土壤透水速度愈快，侵蝕愈輕，否則發生滑塌而將整個地面沖失或因土質比較疏鬆，反而加劇片狀，細溝侵蝕等，此種現象在降雨強度增加時更為顯著。土層深厚或其心土透水較速者，常較土層淺薄或其心土透水滯緩者的水土流失較少，此點適足以說明華亭魯子溝一帶水土流失特別嚴重與瓦亭一帶水土流失較輕的現象。疏鬆深厚的土壤，倘無植物的保護則其流失量甚大，如在華亭安口窰西約 8 里的丘坡灌木林中（坡度 34° ），其一部已於上半年種植穀子，林中不見侵蝕現象，但谷地中細溝甚多且很深陷，平均每米有細溝 2.5 條，溝寬佔全地面寬 41.56%，溝蝕率（ $\text{m}^3/\text{雨量}$ （毫米）/萬米²）為 1.530。可見陡坡土壤侵蝕的控制因素並不全係土壤本身的性質，而與植物保護，亦有不可分割的關係。

（二） 人爲因素

促使與加劇本流域中水土流失的人爲因素，不外由於往昔掠奪式農業經營的後果輪墾陡坡濫伐林木、括草皮、挖根系與其他不合理的農業措施等。

1. 掠奪式農業經營的後果：本流域內一般農地土壤大部原為肥力較高的暗栗鈣土，栗鈣土與森林栗鈣土、森林黑鈣土甚至黑鈣土等，由於長期掠奪式農業經營的結果，促使土壤肥力漸減，生產低落。地力減退的原因首在連年耕種後缺乏合理輪作與足量有機肥料的施加，土壤肥分被作物吸取後未能及時補償更加土壤有機質分解與土壤團粒結構破壞。根據此次測實結果，一般農地耕作層的有效團粒常在 5% 以下，且大部接近或等於零，但鄰近山區，耕植年代較短或人口較少，歇地倒茬者，其有效團粒常在 20—50% 之間，塬地埋藏土其古土壤表層的團粒結構，雖久埋於地下而漸消失，但迄目前為止尚遠遠高出其上的耕作層。例如環縣大批溝、四川掌一帶，碎塬地表團粒為 21.2% 左右，古土壤灰色層為 63.3%；慶陽北塬農地表土為 0%，古土壤灰色層為 18.4%，其填土動物穴中灰色土塊的團粒為 46.6%；長武塬農地表土為 3.41%，古土壤灰色層為 19.4%；合水安集農地為 28%，古土壤灰色層為 51.6%；西峯王家均苜蓿地表土 0.36%，古土壤灰色層 41.1% 等，均足以證明耕墾後土壤團粒結構含量即行下降的事實。農地土壤團粒結構乃係肥力的來源，因此種構造的破壞與含量的低降，即能直接引起農產的低落；同時耕地土壤失去團粒性狀後易於分散，透水保水等性能亦漸失去，因而引起和不斷加劇

的侵蝕，農業生產更形低落，結果農民漸漸擴展其耕地面積，以補償其減產損失。久而久之，演成擴種薄收的習慣而愈加劇土壤侵蝕，二者互為因果，愈演愈劇以致形成今日的後果。

2. 陡坡墾殖與濫伐林木：這樣，非但直接引起坡地土壤侵蝕，而更由於擴大面積，植被破壞，引起了某些自然條件的惡化，輕者致使農產減落，重者常形成災害；位於其附近的良好農地常為洪水沖毀或泥砂所掩蓋，非但變良田為瘠砂，並且將其分割破碎加劇土壤侵蝕。本流域北部一帶更因地面被覆破壞而引起風蝕，並已有向南擴展的趨勢。

3. 缺乏燃料，挖盡草根：本流域內燃料均感缺乏，而尤以乾山苦水爛石頭的北部為最，農家一般均以牲口糞為燃料，並盡力括草挖根以補其燃料的缺乏。結果非但加劇侵蝕而更影響植物的生長發育，引起飼料與燃料的更形貧乏，因此收割更形加劇，範圍亦漸擴大，本流域西部山區北部居民常常行數十里至南部山區採樵或至20里外放牧，放牧過度的草地常蹄痕滿地引起嚴重的細溝，鱗片狀，與片狀侵蝕等，有時亦常演成切溝侵蝕，母岩或底土禿露地面漸將淪為不毛之區了（圖版II，圖13）。

4. 此外如挖隔楞（地埂），土糞配合中土量過高的耕種方法等均與土壤侵蝕有或多或少的關係，挖隔楞雖然能夠阻緩坡面逕流速度變緩坡度，但其促成地埂移動，增加地面浮土暴雨時，此種土粒非但易於分散而流失，亦且填充土壤空隙阻緩水分的下滲，因此更形加劇土壤侵蝕，我們瞭解到挖隔楞農地的地面侵蝕總量要比不挖隔楞的大得多，今將結果列表如下藉供參考。

表6 農地地面土壤流失量與挖掘隔楞的關係（涇川，王家溝）

坡 長	坡 度	(甲) × 總流失量 $m^3/m^2/年$	(乙) 挖隔楞引起的流水量 $m^3/m^2/年$	[乙]/[甲] × 100 (%)
9 米	1°, 4°	0.044	0.0167	38.0
8 米	2°, 8°	0.074	0.0327	44.2
10 米	3°	0.072	0.0393	54.5
7 米	6°	0.06	0.0292	43.6
4 米	9°	0.062	0.0358	57.7
5 米	6°	0.072	0.0425	55.8

由上表可知挖隔楞後地面土壤的流失量，要增加38%以上，這個數字是非常可觀的，因此挖隔楞這個辦法實在是挖肉補瘡，得不償失。

土糞是農家主要肥料，亦即是農家惟一的堆置廐肥的方法，土與糞的比例一般

為 7:3, 牲口少廐肥少的農家, 土的比例還要增加, 堆糞用的土都是黃土母質, 因此其對於農地所起的作用, 可以說是和挖隔楞的土壤差不多, 其次更由於採土場地的關係, 弄得適當可以當作澇池, 利於積蓄地面逕流而阻緩水土流失, 但是大多隨便亂挖, 因此把地面弄得稀爛增加了水土流失。

5. 山地挖掘藥材和最近普遍地挖甘草, 對於土壤侵蝕也起了直接和間接的影響, 其中尤以最近挖甘草的現象, 最易令人注意。在鄉間我們到處可以看到挖掘的洞穴, 非但將地面翻得稀爛不堪, 同時將土埂、溝岸多挖壞了, 將來對於侵蝕的影響真是無法估計。就是拿直接被挖塌挖鬆的土方來計算, 平均每枝甘草挖土約 0.4 公方, 每枝甘草約合 2 斤, 每斤甘草就要挖土 2 公方, 僅就慶陽縣迎鳳區合作社 9 月份收進甘草 61,827 斤, 其挖土合計 123,654 公方, 來看這個數字非常可觀, 它對於侵蝕總量的影響雖然不能估計出一個正確的數字, 但是將來一定會大大地增加土壤侵蝕, 這一點是已經肯定的了。

總上所述本流域中, 侵蝕的嚴重, 實由於長久的歷史性的各種人工破壞與地面割裂坡度起伏大, 溝深坡陡, 雨量分佈不勻, 旱害頻繁, 暴雨多, 雹多, 北部氣候更形乾寒, 植被恢復不易, 以及黃土性質易於分散, 含膠粒少, 團聚不易等因素的綜合結果。

三. 各種主要侵蝕現象的演變

土壤侵蝕起源於地面逕流的發生, 各地逕流均向地面低處集中而成較大的水流, 各地水流相繼匯合後, 流量更大, 流速愈增, 終將地面割切成槽, 而後發展成溝道, 溝道前進與他地溝道匯合後, 漸將形成江河大川, 溝尾後退將集流地面割切破碎, 其分叉亦漸將增加。地面逕流絕非純水, 而必溶有地面可溶性鹽類與攜帶土壤中易於分散的微粒部分, 此種現象即為片狀侵蝕。倘其流速愈小則其攜帶的土粒愈微, 數量亦愈小, 但流速愈大則其夾帶的顆粒較大, 流失的土粒甚至土團與小土塊等數量亦愈多, 逕流流速與流量的大小, 復與土壤透水性能、地面粗糙度、地面坡度、坡長、降雨強度以及地面被覆等有關。今將此次所見各主要侵蝕現象的演變過程介紹於後:

1. 片狀侵蝕

本流域內由於土壤透水性能較差, 黃土易於分散, 植被破壞較劇, 因此除個別地區由於植被較好, 而其侵蝕迄至目前為止仍為正常的片狀侵蝕外, 其他倘其

地面超過 5° 者，因逕流流速的增加，而均已下切成細溝，即在塬地地面集水槽附近，坡度轉陡與塬畔斜坡較大處，亦見有細溝溝紋的分佈。

2. 細溝侵蝕

細溝溝紋常呈枝狀，通常在下端漸形合併而形成大細溝，此時溝紋較寬，溝深亦較深而漸形成切溝侵蝕度。坡地無地埂者常與切溝相聯無明顯的分界。斜坡梯田或有地埂的荒坡，細溝流至地埂畔後即行消失，地埂等高且其高度足以攬蓄坡面的逕流時，則地埂附近即有顯著泥砂淤積，此種現象與逕流通過地邊草帶，通入草地與林區等相若，但倘地埂高度不大或並非等高，則其上部逕流常集中一處或數處，突破地埂而溢入下部坡地或梯田，此時水流少的除將地埂刻劃一缺口外，並將下端地面滴成洞穴，稱為跌穴；地埂高的地埂常被逕流刻劃，而漸向跌溝侵蝕的形成，上下各地埂均見有跌穴的形成，相聯合稱為階穴，逕流量較多者，除形成跌穴外，並將地面刻劃成溝，倘其坡度在 10° 度以上的，每易向柵狀溝侵蝕現象過渡；地埂高者地埂常被逕流刻劃而向滴溝侵蝕過度。細溝溝紋在農地中常因耕鋤的關係，而將其痕跡消滅荒坡草地，倘無人工牲畜的破壞則待植被恢復後，即漸消失，但多數荒坡常因放牧過度而侵蝕愈形加劇，結果倘其坡面整平的，常漸向柵狀溝侵蝕的形成，倘其坡面凸起或凹入的常過渡向枝狀切溝的形成；倘其所長草類呈叢生或小片者，則常過渡向鱗片狀侵蝕，此種現象見於陡坡及紅土滑場面上的更為顯著。

3. 柵狀溝侵蝕

柵狀溝侵蝕係黃土坡有隔楞農地中的主要侵蝕現象。此種現象已如上述，乃係由片狀侵蝕，跌穴、階穴等侵蝕過渡而來。發育最規則與最完整的柵狀溝，常見於比較平整廣寬與坡度約在 $15-35^{\circ}$ 之間的坡面，但其並非停止不前，而常因每一柵狀溝的坡面由於片狀侵蝕、細溝侵蝕(逕流均向柵狀溝集中)的進行，使坡面凸起成瓦背狀，柵狀溝則因本身下切作用的不斷前進，而愈形深入地面，結果倘其集流面積不變，則坡面漸成溝壁，溝形愈大，終至二相臨溝壁相遇，然後局部溝壁斷落下陷，漸向大切溝過渡(圖版II, 圖 14)，並且將平整的坡面，割切得支離破碎凹凸不平，倘其瓦背式坡面漸向不平衡狀態發展，則常因集流面積的變換而逕流漸趨不平均，則個體柵狀溝的發展，亦形失去平衡，漸相匯合而向枝狀切溝過渡，終將平整的坡面變成向內凹入的坡面，而將成為黃土溝的溝壑附近地帶。倘其原先坡面並非平整的，則坡面向內凹者，更易過渡向枝狀切溝侵蝕的形成。

坡面凸起者，則易向放射狀溝侵蝕過渡，此種現象以見於圓頂丘陵地帶最為普遍。柵狀溝的形成，既係農墾坡地的產物，則農墾愈頻繁的，其發展愈速；否則相反。倘其丟棄荒廢，則常因植被的恢復而後溝底漸形平緩，地埂附近漸將淤澱而溝痕亦將消失，此種現象，尤以由草地漸向灌木叢過渡期間最為明確，通常在溝痕中首先生長灌木叢，然後溝痕的消失亦即形加速，終至於不易認辨。此種現象在子午嶺林原地帶最為常見（圖版II，圖 15）。

4. 陷穴侵蝕

此係黃土地區特有的侵蝕現象，其形成的位置有三，即斜坡、塬畔黃土溝頭，與塬地中部低窪集水處（坳地中央）後者是以溶蝕為主，但為最不易見的現象，塬畔及黃土溝頭乃以由地面下滲的水流於土體裂隙裏集中，將黃土母質分散侵蝕，然後上下失去均衡下坍而成。此種現象常見於多雨與暴雨季節，地下集中的暗流常沿裂縫方向而流行，因此陷穴內被侵蝕物質的出口，並非完全直通溝道，有時常與黃土溝壁平行相當距離後再行插入黃土溝中，其發展結果為黃土溝頭的前進與溝壁的擴展。坡面或坡地梯田中所見的陷穴，乃係逕流集中下切，分散土體與逕流水頭沖擊等作用的綜合結果（圖版II，圖 16），因此這種陷穴在同一坡上常為數個上下相聯，最下端的一個常與黃土溝相接，陷穴漸形加多，擴大後漸向切溝過渡，進一步再形發展成黃土溝的叉溝，但因其係由陷穴發展而來，故其溝道間常多天然橋的殘留。

5. 大切溝

此係由片狀侵蝕發展成細溝侵蝕演變而成的，並亦可由柵狀溝、滴溝與陷穴等演變而成，待溝道不斷擴張發展後，溝坡漸形平緩，因此溝壁上更可和一般坡面一樣地發生侵蝕，並亦相繼發展而最後又可生成大切溝。一般大切溝上端常直達分水嶺或塬面，底部直通黃土溝或其他較大的溝道，因此大切溝溝底下切與其發展的結果即漸過渡向黃土溝的形成，此時已由一般地面的侵蝕現象，變成溝道的侵蝕了。

6. 溝道岸壁上可見的水土流失現象與一般坡面相似，但是岸壁的崩塌和滑塌的結果，一方面促使溝道加寬；另一方面促使溝壁坡度平緩而漸趨平衡，水土流失即行減緩，但因溝道的下切作用而使河床附近溝坡變陡，因此又將促使一系列的滑塌現象，結果溝道更形擴張，由於這二個作用的相繼進行和溝壁上其他侵蝕現象的發生和發展，結果漸將大小塬地變為梁峁，而梁峁又復淪為溝道部分。

四. 結 尾

涇河流域的土壤侵蝕現象，種類繁多，其中尤其以各種洞穴侵蝕、柵狀溝侵蝕、楔溝侵蝕和黃土溝壁的滑塌侵蝕等最為突出，同時它們在各種因素的綜合作用下常沿一定的規律發展和演變。各種侵蝕現象的組合情況和其侵蝕程度，雖然因地而異，但是總的情況是極為嚴重，非但農地直接遭受毀滅性的破壞（詳情將於另文中討論），且泥流滾滾，間接影響黃河的治理工作。

誘起和加劇土壤侵蝕的因素，雖然不外黃土性質疏鬆，易於分散；雨量過於集中，降雨強度大且常帶雹；坡陡溝深，植被較差等自然因素，但人力的破壞和土地利用的不合理，實為控制的因素。故其治本之道，首在解決燃料問題，適當退耕坡地，保塬固掌，提高單位面積產量，因地制宜地確立農林牧土地的合理利用制度，並相應地建築有關水土保持與水利工程。

圖 版 說 明

圖 版 I

- 圖 1 細溝侵蝕農地，緩坡，溝呈枝狀，上細下粗。甘肅涇川王家溝。
- 圖 2 陡坡新墾地細溝侵蝕。此為半小時暴雨後所形成的細溝，溝紋大半直上直下，枝狀者少，大溝平底，約為 50×15 厘米，坡度上部 10° ，下部陡處為 28° ，附近灌木叢中不見侵蝕現象。甘肅平涼潘家灣。
- 圖 3 塬畔丘陵地帶的侵蝕現象。底部陡坡荒地為鱗片狀侵蝕；梯田間為切溝侵蝕，溝壁並有滑塌。甘肅慶陽孝子川。
- 圖 4 黃土坡地農田柵狀溝侵蝕。溝寬 $50-100$ 厘米，深 $15-30$ 厘米，溝距 10 米上下至 20 米。呈條狀突起者為地埂。甘肅固原草廟子。
- 圖 5 塬畔澗狀溝侵蝕溝頭大，溝身狹而深，由塬邊直下梯田底部與黃土溝的支溝相接。甘肅涇川王家溝。
- 圖 6 黃土溝壁的滑塌侵蝕。右面為最近下溜的土體，左面滑塌面上又復發生瀉溜現象，中央黑白交接處有一湫潭。甘肅慶陽侯家峴。
- 圖 7 黃土溝壁的崩塌現象。左邊為新近的崩塌，中上部業已生成裂縫。西峰易家咀塬地。
- 圖 8 黃土丘陵區的侵蝕現象，坡上黑點即為跌穴，大部跌穴已相連或擴大而成切溝，切溝已成大切溝，溝壁復見有跌穴的形成。甘肅環縣高家瓜子。

圖 版 II

- 圖 9 “梁”地的侵蝕情況，坡面以柵狀溝為主，溝中黑點為跌穴，數排跌穴，合稱為階穴，柵狀溝下部已向大切溝過渡。甘肅環縣八里舖。
- 圖 10 塬畔陷穴侵蝕距黃土溝約 50 餘米，一排共 5 個相建成直線，底部相通，穴徑 10 餘米，深 40 餘米。西峰雷家胡同。
- 圖 11 陷穴內部，洞壁底部有洞與它洞相通。西峰雷家胡同。
- 圖 12 黃土溝壘土體內凹之現象。甘肅環縣湯家掌。
- 圖 13 山區破壞後的侵蝕現象，土層薄，植物生長差，放牧過度，草地已起強度鱗片狀侵蝕，集流處已下切成深溝，岩面禿露，有時亦見有細溝溝紋，陡坡常見滑塌現象。甘肅固原瓦亭。
- 圖 14 柵狀溝向大切溝過渡的情況。甘肅環縣城西塬畔。
- 圖 15 柵狀溝漸將消失的情況。甘肅，合水子午嶺見水坡。
- 圖 16 溝壁底部的陷穴，此陷穴純係水頭衝擊所成。西峰雷家胡同。