

增加土壤渗透，减少水土流失

田积莹 黄义端 雍绍平

(中国科学院西北水土保持研究所)

提 要

黄河会不会变清，什么时候能变清，关键就在于降雨能否渗入土层，渗入多少，何时实现。研究表明，黄河水流的透明度，与黄土层的入渗率成正相关。增加土壤渗透力的措施，主要有改变土壤质地，减小土壤容重，改良土壤结构和提高地面覆被率，特别是种植豆科牧草，效果更好。各种水土保持措施，旨在增加土壤渗透力，最大限度地减少水土流失，使全部地面径流变为涓涓沟泉，则黄河清澈见底。

目前，在治理黄土高原、改良当地土壤工作中，提高土层的渗透力，是一项非常重要的工作，因为土层的渗透力与水土保持密切相关。如果降雨能大部或全部渗入土壤，不发生表面径流，那么土壤侵蚀即水土流失现象就可以减少或完全避免，黄河中的泥沙自然不会象今天这样严重。须知，降水都变成地下潜流，以沟泉水的形式从土壤中流出，成为很好的清水及人畜饮水，黄河也就不可能含有大量泥沙，也不会象历史上所记述的那样：华北平原内，黄河有1,500余次的河道变迁^[1]，两岸河堤也不会象今日这样因河床严重淤积而逐年加高。黄河会不会变清，有没有这种可能性，关键就在于降雨能否渗入土层。黄河水流的透明度，与土层的入渗度成正相关。

我们认为，黄河泥沙的形成有两个方面的原因：一是降雨强度及其降雨量；二是土壤表面的情况及其接受雨量的渗透能力。降雨强度及降雨量这个自然因素目前人类尚无法干预，然而土壤的表面情况通过人们的生产活动是可以改善的。提高土壤渗透能力，是降低表面径流及防治土壤侵蚀的关键措施，也是减少河流泥沙的根本措施。

一、黄土高原土壤渗透的有利与不利因素

1、有利自然因素。黄土高原土层深厚达30—150米，有利于接纳大量降水；土壤疏松，粗粉粒（粒径0.05—0.01毫米）含量达40—60%之多，占土壤总重量半数以上，使土壤有足够的孔隙（即水库容量），有利于土壤水分向下渗透；黄土高原大部处于干旱及半干旱气候区，降水量250—400毫米，土壤自然含水量至少在4—15%之间，土壤田间持水量可达20%左右。实际含水量与土壤可能持水量两者之间相差悬殊。相对说来，土壤水库容量大，实际容水量少，吸收降水的土壤孔隙水库回旋余地大；加之土壤干燥，土壤吸持水势能强。近年来，大搞基本农田建设，平整土地，修筑梯田及其它水土保持措施，造林种草面积逐年扩大，从经营农业逐步转到以发展畜牧业为主。所有上述这些因素，均有利于降低或减少土壤表面的径流及冲刷。

2、不利自然因素。黄土高原大部分地区为丘陵沟壑区，地形地貌复杂，梁坡地占很大面积，

台平地面积较少；土壤粘粒含量少，仅10—30%，有机质含量低，在1.0%以下，土壤结构不好，而且水稳性差，见水易分散崩解；同时降雨量集中，6—9四个月降雨量可达全年降水量的60—70%，并且夏秋季多暴雨，不但历时短，而且强度大。陕北绥德韭园沟1964年7月5日发生一场历时8分钟的暴雨，其中最大强度1.1毫米/分。山西省梅洞沟一次历时5分钟的特大暴雨，降雨量达53.1毫米，强度超过10毫米/分^[2]。对天水、榆林等地10年（1959—1969年）降雨分析，降雨平均强度0.48毫米/分，最大值0.98毫米/分，其中10分钟最大降雨量平均为25.2毫米，最大为28毫米。由此可见，黄土高原的暴雨强度，一般最大在1.0毫米/分左右，其强度超过2.0毫米或特大强度10.0毫米/分以上者，那是个别罕见的情况。所有上述这些因素，均加剧了土壤表面径流，助长了土壤侵蚀。

二、提高土壤渗透的措施

土壤渗透一般利用达西（Darcy）定律计算，公式如下：

$$K = \frac{Q}{A_{(s)}} \times \frac{1}{t_n} \times \frac{L}{(H+L)} \times 10$$

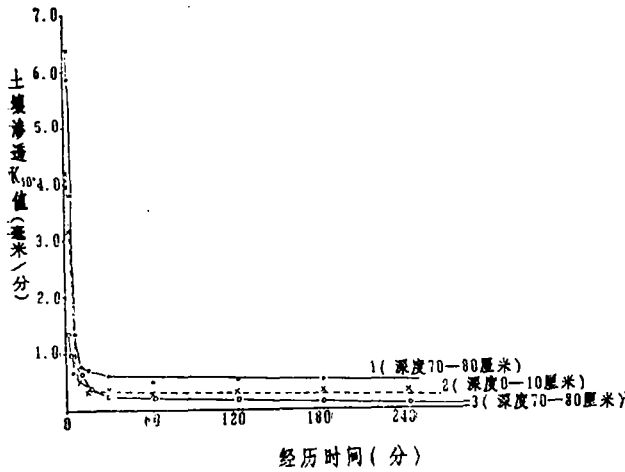
式中： K—渗透系数（毫米/分）；
Q—间隔时间内可渗入水的总量（毫升）；
L—铁筒（或渗筒）土柱厚度或插入土中的深度（厘米）；
H—试验时所保持的水层厚度（厘米）；
A_(s)—渗筒横断面积（平方厘米）；
t_n—间隔时间（分）。

土壤渗透（温度对渗透的影响比较大，为便于比较，故均换算成K_{10°}值，即10℃渗透）有外部因素及内部因素：外部因素除植物被覆外，尚有地形地貌因素，即土壤所处的地理位置，是陡坡地还是缓坡地，或是平地等；内部因素有土壤结构状况，土壤机械组成（即土壤质地），土壤容重，孔隙状况，土壤有机质含量和植物根系在土体内穿插及分布状况，以及土层排列等等因素。

1、改变土壤质地，提高土壤渗透力。土壤质地是土壤中大小不同的颗粒，按一定比例所组成。其间组成的比例变化，对土壤物理化学性质有极显著的影响，如土壤结构、容重、孔隙状况及耕作性能和土壤胶体吸附性能都受其影响。土壤质地为砂土，不保水不保肥，吸附性能弱，但其耕性、通气性及透水性良好；土壤质地为粘土，保水保肥性能高，吸附性能强，然其耕性、通气性及透水性不良。介于砂土及粘土之间的壤土则兼得二者的优点，是作物生长所要求的理想土壤的物理环境。这就是我国西北地区土壤所具有的特性。然而这种土壤也有它的缺点，就是土壤中有有机质含量低，土壤中粘粒少，土壤结构不稳固，见水易松散，容易发生土壤侵蚀现象。

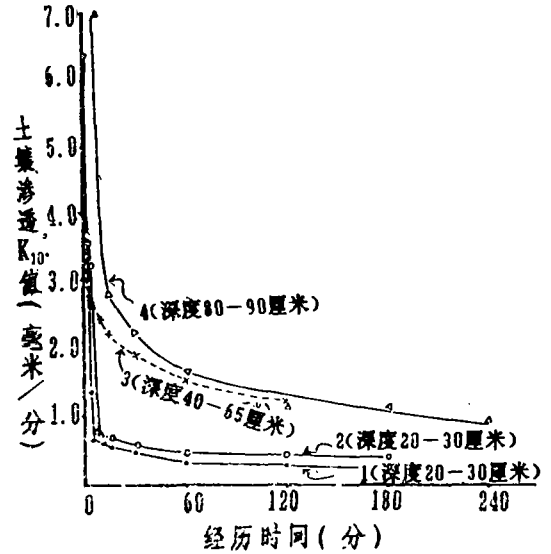
从宁夏南部灰钙土地区的清水河岸泛滥沉积的土壤可以看出，土壤的渗透与土壤质地有明显的相关性（如图1所示）。例如，粗质地土壤，渗透从始到终快（即K_{10°}值大），粘土则渗透慢（K_{10°}值小）。当渗透时间延长到30分钟之后，土壤质地对渗透的影响更为明显，更具有规律性，随着测定时间延长，渗透愈来愈慢。这是由于土壤胶体矿物在其吸水过程中，体积逐渐膨胀，使透水空隙缩小，阻滞水流通过之故。在30分钟到240分钟渗透时段内，K_{10°}值：轻壤土偏砂为0.51—0.60毫米/分；中壤土为0.22—0.43毫米/分；重壤土则为0.10—0.33毫米/分。灰钙土地区不同质地的土壤，仅在开始5分钟时间内，渗透可达每分钟1毫米以上，即在1—6毫米/分之间，这是

由于土壤为不饱和土壤，含水量低，土壤吸水能力强。大约在120分钟以后，土壤渗透即保持相对稳定，这时，轻壤土偏砂渗透 K_{10}° 值为0.51—0.53毫米/分；中壤土 K_{10}° 值为0.32—0.34毫米/分，或0.20—0.27毫米/分；重壤土为0.10—0.15毫米/分。陕西北部黄绵土及黑垆土以及关中塬土在5—10分钟之后（如图2所示），土壤质地对土壤渗透影响的规律性就表现出来，60分钟后就达到稳定渗透阶段。绥德辛店沟黄绵土渗透 K_{10}° 为0.27—0.33毫米/分；延安枣园黄绵土渗透 K_{10}° 为0.42—0.44毫米/分；洛川黑垆土（红鸡粪土）则为1.22—1.55毫米/分；关中杨陵塬土（红层为轻粘土）渗透 K_{10}° 为1.13—1.59毫米/分。土壤渗透恰巧呈现出与土壤质地相反的关系。按理黄绵土为轻壤土渗透应大，黑垆土中的红鸡粪土层为重壤土，塬土红层为轻粘土，渗透应小；但实测结果恰相反。这与土壤结构及土壤物理性质良好有关，亦与非毛管孔隙度较多有



- 1—轻壤偏沙（坟拐子）；
- 2—中壤土（南滩）；
- 3—重壤土（北滩）。

图1 灰钙土区土壤质地对渗透的影响



- 1—轻壤土（绥德辛店沟黄绵土）；
- 2—轻壤土（延安枣园黄绵土）；
- 3—重壤土（洛川城关乡黑垆土）；
- 4—轻粘土（杨陵头道塬塬土红层）。

图2 塬土、黑垆土及黄绵土的渗透

关。例如：绥德黄绵土系轻壤土，容重为1.34克/毫升，总孔隙度为50.7%，非毛管孔隙度为1.8%，故渗透慢；洛川黑垆土（红鸡粪土）系重壤土，为腐殖质层，容重为1.26克/毫升，总孔隙度为53.7%，非毛管孔隙度为8.1%，故渗透快而大；塬土红层为轻粘土，容重为1.50克/毫升，总孔隙度为44.9%，非毛管孔隙度为4.8%，该层团粒含量较其它层均高，为38%，故渗透亦快而大。黄绵土在起初3分钟，土壤渗透每分钟达到1毫米以上，而黑垆土（红鸡粪土）即使在很长时间（180分钟）内仍然以每分钟1毫米以上的速度渗透着，这显然是与土壤结构良好，大孔隙多有关。塬土（红层）渗透似黑垆土，由于红层结构特征为棱柱状，故渗透更快。

2.减小土壤容重，改良土壤结构，提高土壤渗透力。土壤容重是土壤在单位体积内排列松紧的程度。黄土地区的土层在剖面中所处的位置不同，容重有较大的变异，一般表土容重约在1.00—1.20克/毫升之间。在子午岭地区，表土容重可小到0.80—0.90之间；在土壤剖面下部，由于长期受很厚土层的压力，容重可达到1.30—1.45之间；古土壤红土层容重更大，可达到1.50—1.60以上。土壤容重的变化代表着土壤孔隙度的变化，容重愈小土壤总孔隙度及大孔隙量（即非毛管

孔隙)相应更多更大;容重愈大,则恰巧相反。据黄土地区灰钙土、黄绵土及黑垆土测定,土壤渗透与土壤容重有密切的相关性,各地均可观察到。如表1所示,在黄绵土及黑垆土区,土壤渗透在15—120分钟时段内,当土壤容重为1.37克/毫升时,土壤渗透 K_{10° 值为0.05—0.13毫米/分;容重为1.35,渗透为0.16—0.36毫米/分;容重为1.31,渗透为0.26—0.44毫米/分;容重1.19,渗透为0.40—0.70毫米/分;而在容重为1.25时,渗透 K_{10° 值更大,为1.09—1.84毫米/分。后者这种例外情况表明,土壤渗透不只是受着容重的影响,而且也受着土壤结构的影响,因而表现出土壤渗透异常大的情况。

但在灰钙土区,容重对土壤渗透的影响,其规律性仅表现在稳定渗透时段内。例如在60—300分钟之间,土壤容重为1.38克/毫升时,土壤渗透 K_{10° 值为0.08—0.22毫米/分;容重为1.34时,渗透 K_{10° 值为0.21—0.28毫米/分;容重为1.29时, K_{10° 值为0.37—0.59毫米/分(见表1)。

表1 容重对土壤渗透的影响(K_{10° 值毫米/分)

土壤容重 (克/毫升)	不同时间末土壤渗透(时间为分)						
	15'	30'	60'	120'	180'	240'	300'
黑垆土区及黄绵土区							
1.19	0.70	0.63	0.45	0.40	—	—	—
1.25*	1.84	1.50	1.30	1.09	—	—	—
1.31	0.44	0.39	0.30	0.26	—	—	—
1.35	0.36	0.20	0.21	0.16	0.10	0.13	—
1.37**	0.13	0.08	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05
灰 钙 土 区							
1.29	1.06	0.67	0.59	0.50	0.41	0.39	0.37
1.34	0.20	0.20	0.26	0.23	0.27	0.27	0.21
1.38***	0.39	0.31	0.22	0.15	0.11	0.10	0.08

*腐殖质层有结构的重壤土

**母质层系老黄土

***重壤土层

3、增加地面植被,特别是广种豆科牧草,提高土壤渗透力。森林和草地由于枯枝落叶可形成大量有机质,同时由于根系的穿插活动,可使土壤团聚固结成团块;亦由于很多生物活动,如蚂蚁类、蚯蚓以及其它鼠类等动物的活动,使土壤变为疏松。林草地的土壤,上层土壤物理性质得到极大的改善,不但因有机质能吸收和保持大量水分,同时由于林冠截留可以降低暴雨强度,使得雨滴打击地面的动能变弱,因而水分有充分的时间可以向土壤深处渗透,从而可以减缓地表径流,有利于防止土壤侵蚀。黄土高原植被一旦得到大面积的恢复,则水土流失现象相应会得到极大的改善,从而可降低泥沙流失量,有可能使黄河水变清,就可以减轻对下游的危害。这是今天治理黄河所要达到的战略目的。现以苜蓿和沙打旺为例进行研究。

苜蓿对土壤渗透的影响。1961年6月,我们在山西离石水土保持站试验场,对不同措施试验地块进行了渗透试验。试验结果,苜蓿对土壤的改良效果非常显著,主要是增加土壤有机质,改良土壤结构,同时其根系穿插能力很强,根系深度可达到7米以上,致使土壤渗透 K_{10° 值在试验测定过程30分钟以前,如图3所示,每分钟达2—10毫米;而在30分钟以后,每分钟 K_{10° 值

波动在1.0毫米左右。30分钟以前,渗透测定值较梯田黄土及坡地红土的渗透 K_{10}° 值高出约4—5倍,而30分钟以后高出约2—3倍。这说明,苜蓿对增强土壤的渗透有显著效果,值得重视和今后推广。红色粘土的渗透值类似梯田黄土渗透值,红土及黄土均是在渗透试验测定5分钟前,每分钟的渗透 K_{10}° 值均超过1.0毫米,而在5分钟以后,显著低于1.0毫米。梯田切土部位,土壤渗透 K_{10}° 值为0.38—0.73毫米/分;梯田填土部位渗透 K_{10}° 值则为0.41—0.88毫米/分。表示出梯田填土部位大于切土部位渗透值,这与实际情况相符合。红色粘土渗透 K_{10}° 值则为0.48—0.64毫米/分,接近梯田填土部位渗透值。而苜蓿地在渗透试验测定30分钟以前,每分钟渗透 K_{10}° 值为2.06—9.73毫米;而在30分钟以后,每分钟渗透 K_{10}° 值则为0.79—1.47毫米。如果以渗透性能大小来判断抗暴雨能力的大小或抗侵蚀性能的强度,则以苜蓿地抗侵蚀性能最强,而以梯田切土部位黄土抗侵蚀性能最弱,即最易发生径流及产生侵蚀现象。这说明种植苜蓿可以极大地改善土壤入渗性能,从而降低土壤侵蚀量或防止土壤侵蚀现象发生。

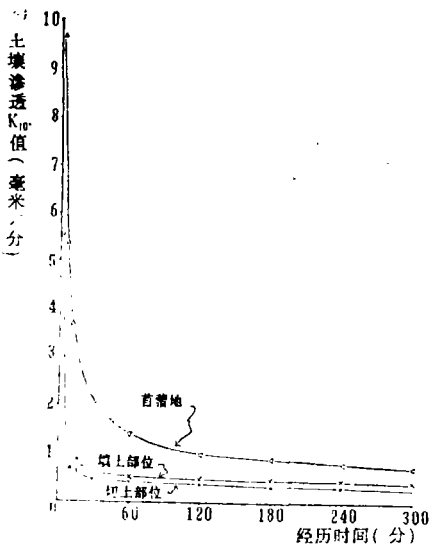


图3 苜蓿地及梯田切土和填土部位土壤渗透(山西高石水保站试验场)

沙打旺草地对黄绵土渗透的影响。陕北吴旗的黄绵土地区,在同一地区由于不同土地利用,土壤透水性大不相同。农地及6年生沙打旺草地,均分布在 23° 的坡地上,两者相距仅20米左右,同为东南坡向,仅是利用不同,土壤剖面2米深度物理性粘粒(粒径 <0.01 毫米)含量约在23%左右,系轻壤土,细砂粒(粒径 $0.25-0.05$ 毫米)含量约为17%左右,粗粉粒(粒径 $0.05-0.01$ 毫米)含量约为60%左右,粘粒(粒径 <0.001 毫米)含量约为13%左右。剖面上下层土壤质地非常均一。农地土壤容重为1.29克/毫升,草地容重为1.23克/毫升,前者比后者大。这就证明了,由于多年生沙打旺牧草地根系的穿插活动,致使草地变为疏松,故使土壤在30分钟以后的稳渗率比农地稳渗率约大1倍左右。例如,在30—60分钟时段内,由于黄绵土不同利用,致使6年生沙打旺草地渗透 K_{10}° 值为0.59—0.78毫米/分,而农地 K_{10}° 值则为0.32—0.49毫米/分,前者比后者的渗透约高出1倍左右(见表2)。这说明,草地有增强土壤渗透性的功能,同时因

草地长期受植物被覆保护能阻截暴雨直接打击,同时地面残落物又可吸收大量水分,使大量水分渗入剖面深层,预示着黄土高原今后若发展畜牧业,增加草场面积,一定会显著改善土壤侵蚀程度,有利于降低土壤坡面径流,相应地会使泥沙含量减少,会显著地防治水土流失。

表2 沙打旺牧草对黄绵土渗透的影响* (K_{10}° 值毫米/分) (陕西吴旗新寨,坡度 23° ,东南向坡)

土壤深度 (厘米)	利用情况	容重 克/毫升	不同时间末土壤渗透(时间为分)							
			15'	30'	60'	120'	180'	240'	300'	360'
20—30	农地	1.29	0.65	0.49	0.35	0.30	0.30	0.33	0.32	0.32
30—40	6年生沙打旺	1.23	0.76	0.78	0.60	0.65	0.59	0.59	0.56	0.59

*1985年8月24日测定

三、结 语

在农业用地方面应着重减少坡耕地及陡坡地种植，特别是应放弃 30° 以上坡耕地，改种林草；同时一些农耕坡地也应逐步实行草田轮作，增施有机肥料，提高单位面积产量，总之使作物生育期枝叶茂密，有利于阻截暴雨直接打击地面，以免造成严重水土流失。

从子午岭林区不同植被利用下土壤性质的改变，如土壤容重变小，土壤水稳性团粒结构量增加^{〔4〕}，土壤有机质含量提高及植物根系的穿插较多等，大大提高并改善了土壤渗透率，使得今日的子午岭林区山清水秀。这说明，当前在黄土高原推广大面积造林种草的治理措施，是有效的根本措施。

通过很多试验证明，沙打旺及苜蓿草地^{〔3〕}，有改善土壤结构，特别明显增强土壤渗透的功能^{〔3〕}。团粒结构是土壤肥力的基础。那么人类从事农业生产活动，就应有意识地改善土壤这方面的性质，草田轮作制就有改善土壤团粒结构的作用。近代由于有机化学高分子合成工业的发展，现在欧美各国均生产和使用人工胶结剂（即物理肥料），以改善土壤结构，增强土壤渗透。1972年我们从兰州化纤厂购回晴纶丝废液，系聚丙烯酸钠溶液，也曾在关中塬土上施用，进行土壤结构改良试验。结果证明，该溶液在形成土壤结构上效果非常显著。在施用时掌握其浓度很重要，因为浓度与形成团粒结构的大小及含量有密切关系。例如关中塬土的耕作层在自然状态下土壤团粒含量（粒径 >0.25 毫米）仅为41.5%，加入人工胶结剂，很短时间即可达到60%以上。我们将胶结剂聚丙烯酸钠溶液配成不同的浓度，其中有0.01%、0.1%及0.5%，加入通过粒径0.25毫米筛的塬土母质层（白塬土）土壤进行试验，结果形成 >0.25 毫米水稳性团粒总量。浓度为0.1%者，形成团粒总量为65—70%，其中 >2 毫米团粒含量为30—38%；浓度为0.5%者，形成团粒总量为75—95%，而 >5 毫米的团粒含量则为61—77%。这表明，胶结剂浓度愈大，所形成的团粒颗粒愈大，含量也愈多；浓度较低，所形成的团粒较小，而且含量也较少。因此用浓度可控制团粒大小和含量。今后只要随着工业发展，土壤物理肥料人工胶结剂一定会象今日化肥一样，得到普遍使用，价格也会更加低廉，那么改善土壤的结构再结合其它水土保持措施，根治黄土高原的水土流失就会早日实现。

参 考 文 献

- 〔1〕熊毅、席承藩等：《华北平原土壤》，第26页，科学出版社，1965。
- 〔2〕朱显谟：“黄土高原地区自然资源的综合开发问题”，《国土研究文集》第1期第4—14页，1934。
- 〔3〕B. K. G. Theng: Soils with Variable Charge, p268, Printed in New Zealand, 1980.
- 〔4〕田积莹、黄义端：“子午岭连家砭地区土壤物理性质与土壤抗侵蚀性能指标的初步研究”，《土壤学报》第12卷第3期286—296页，1964年。
- 〔5〕L. D. Baver: Soil Physics, p159, The fourth edition, 1972.

Increasing the soil permeability to reduce soil loss

Tian Jiying Huang Yiduan Yong Shaoping

(Northwest institute of soil and water conservation, Academia Sinica)

Abstract

Could Yellow River get clear? when? the key to answer the question is that whether the rainfall can permeate into the soil layer or not, the infiltrating amount and the time. The study result shows that the water transparency of Yellow River is positively related to the infiltrating rate. The measures to increase soil permeability are those, i. e., to change soil texture, to decrease soil bulk density, to improve soil structure and increase the cover rate of surface soil, especially the leguminous forage grass planted have better effect. Various kind of soil conservation measures are aimed at increasing soil permeability, decreasing soil loss mostly. When the surface runoff becomes trickling flows Yellow River will be so limpid that you can see to the bottom.

~~~~~

*(Continued from p19)*

an increase of erosion modulus in recent years, having been caused high attention, it must be solved substancially. The lossing curves of increasing erosion are complex, mainly to be the deficiency of knowledge to the control machanisms of the measures and the unwise management is one major reason. It is stressed that the control measures should be performed for the goal to prevent soil erosion, otherwise, the management is in plunder, resulting in being destroyed by selves.