

渭北高原水土流失对土壤肥力与 生产力影响的初步研究

刘秉正 吴发啟 陈继明

(西北林学院水保系, 陕西杨陵)

摘 要

水土流失降低生产力的研究已为世界所关注。本文在野外调查、室内分析和实验的基础上, 阐明侵蚀造成土壤肥力降低的三个主要方面, 并估算出渭北黄土高原小麦因土壤流失减产10%和区域侵蚀与粮食产量的数量关系。最后探讨了允许土壤流失量、土地平整和农用地坡度控制问题。

关键词: 水土流失 土壤肥力退化 生产力

前 言

水土流失的最大危害是降低土壤肥力与生产力, 从而有可能危及人类的生存, 为世界各国所关注。据联合国环境规划署估计^[1], 由于水土流失, 全世界每年丧失耕地 500~700万ha, 到本世纪末可能上升到1 000万ha。我国黄土高原每年流失土壤 16亿t, 使土壤肥力降低、土地遭受破坏。据研究^[2,3], 黑垆土有机质含量已从 1.41%~2.37% 降低到0.5%~1.0%, 高原沟壑区每平方公里年损失耕地 1 亩。加之人口膨胀、工矿交通城镇的兴建, 使可耕土地资源日趋减少。仅陕西省从1949年到1986年耕地 减少1 000万亩, 减少15.3%; 同期人口增加131.1%。人们最基本的生活资料主要来自土地, 保护土地资源, 提高其生产力, 自然成为人们十分关心的问题。

从本世纪30年代起, 一些国家和地区就从不同学科出发研究土壤侵蚀对生产力的影响, 近来美国已建立预测生产力的数学模型^[4]。我国水土保持研究一开始就注意了这方面的工作, 近10年有了较大进展。

本文通过对淳化、乾县和合阳三县坡耕地水土流失、地形坡度、小麦产量的调查及分层采集土样, 分析其养分含量, 同时开展试验, 并利用已获得的成果, 初步估算渭北高原农地水土流失降低土壤肥力与生产力的情况, 及探讨有关问题。

鉴于影响生产力的因素很多, 各地生产状况又十分复杂, 调查中尽力作到前茬、品种、耕作水平等基本一致, 土壤肥力则分为高、中、低三个水平, 取其平均值。水土流失调查是从有明显拦蓄淤积量中得到, 且调查局限于本区中部和东部。因之, 不免有粗浅、遗漏和错误之处, 仅作为生产部门和进一步深入研究的参考。

1 研究区域自然概况

研究所涉范围: 包括延安地区南部, 宝鸡、咸阳、渭南和铜川四个地(市), 渭河以

北塬区的29个县。其中有洛川塬、长武塬等黄土塬,总面积 45 600km², 人口 625万, 盛产小麦、油菜, 号称“陕西第二粮仓”, 粮食总产占全省1/4~1/5。

区内地势由南向北、自东而西逐渐上升,从海拔800m到1 200m, 沟谷最低 400m, 山岭最高1 700m以上。高原中有陇山、子午岭、黄龙山等低山分布, 并有汗河、泾河、洛河及其支流穿行, 塬面平坦, 沟谷深切, 显示出黄土高原沟壑的地貌景观。其地形坡度及组成见表 1。

表 1 渭北高原土地及农地坡度分级组成*

项 目	坡度 分级		2°~5°		5°~15°		15°~25°		>25°		总 计 (万亩)
	<2°		2°~5°		5°~15°		15°~25°		>25°		
	面积 (万亩)	占总计 (%)	面积 (万亩)	占总计 (%)	面积 (万亩)	占总计 (%)	面 积 (万亩)	占总计 (%)	面 积 (万亩)	占总计 (%)	
土 地	2218.1	32.4	651.2	9.5	828.8	12.1	1064.7	15.6	2081.6	30.4	6 844.4
农 地	1135.5	45.4	469.7	18.8	499.1	20.0	269.5	10.8	124.8	5.0	2 498.6
农地占地(%)	51.19		72.13		60.22		25.31		6.00		36.50
地貌位置	塬 面					塬 坡			沟 坡		

* 数据选自“陕西省水土保持局资料汇编”

本区气候温和, 属暖温带半湿润气候, 但对农业生产有明显的季节干旱。年平均气温9~13℃, 全年无霜期180~220天, 大于等于10℃的活动积温2 400~4 400℃, 多年平均降水量500~700mm, 年内分配不均, 有60%多集中在7、8、9三个月, 常伴以暴雨, 产生水土流失。冬春两季雨雪稀少, 盛夏气温高、蒸发大, 时有春旱和伏旱发生。

土壤以黑垆土、黄壤土为主, 质地较轻, 疏松多孔, 通透性好, 蓄水保墒性能高, 2m土层可蓄水500~600mm, 耕性好, 生产潜力大。据计算在现有降水条件下, 小麦亩产可达400kg^[5]。

全区水土流失面积占75%, 侵蚀模数1 000~3 000t/km², 有的超过5 000t/km², 属中度侵蚀。

由于上述原因, 加上生产投入和管理等问题, 粮食总产徘徊在20亿kg上下, 其中小麦极少突破15亿kg, 亩产100kg左右。

2 农地水土流失

农地水土流失既受自然因素影响, 又受人为因素影响。在未治理情况下, 人为活动常常加剧水土流失的发生和发展, 使肥沃表土流失, 地表起伏加大, 直至破坏或弃耕。

调查表明, 塬区农地水土流失以面蚀和浅沟侵蚀为主。暴雨雨滴击溅和径流侵蚀地表, 留下片状剥蚀痕迹, 尤其指状细沟十分明显。随地面坡度和坡长加大, 细沟侵蚀亦加重, 多切至犁底层, 密度达4~5m/m²。唐克丽在陕北测定10°以上坡耕地中细沟侵蚀量占总侵蚀量50%以上^[6]。随径流汇集, 浅沟侵蚀常冲毁庄稼和田间工程, 有的切入犁底层以下, 密度多在3~4km/km²。无论上述何种侵蚀, 它与耕作管理的交替进行, 均使土壤耕作层减薄, 土壤退化。

由表 1 知, 该区农地多集中于塬面, 坡度较平缓, 除了人工修建的梯田、埝地外, 全为坡耕地。鉴于作物种植不同, 耕作管理不同, 流失强度也不同。以下用淳化径流小区资料来说明, 见表 2。

表 2 渭北高原淳化农地径流小区 (5m×20m) 观测成果
(单位: 径流m³/km²; 泥沙t/km²)

径流小区 设 置	处 理	坡度	观测 项目	观测年份降雨量 (mm)			平 均 降雨量 (492.2mm)	备 注
				1987 (432.2)	1988 (718.7)	1989 (325.7)		
水平梯田	无拦蓄埂 种秋作物	0°	径流 泥沙	587.0 8.17	4 076.1 33.19	80.0 7.09	1 581.0 16.15	
小麦地	收割后浅耕 (或不耕留茬)	2°31′	径流 泥沙	2 060.0 57.80	4 990.0 94.86	2 037.0 26.90	3 029.0 59.75	1987年休闲, 1988 年收后浅耕, 1989 年收后留茬。
缓坡小麦①	收割后浅耕 (或不耕留茬)	4°14′	径流 泥沙	10 790.0 1 196.50	16 736.3 187.36	5 037.0 34.32	10 854.4 472.73	同 上
缓坡小麦②	收割后浅耕 (或不耕留茬)	7°20′	径流 泥沙	12 531.0 1 774.70	21 081.8 1 211.21	20 230.0 213.56	17 947.6 1 066.49	同 上
缓坡秋田	种玉米或 豆子作物	5°23′	径流 泥沙	2 482.5 126.70	7 382.2 170.39	16 208.5 577.57	8 691.1 291.55	1989年休闲
休闲地	裸露人工锄草	6°18′	径流 泥沙	14 817.0 3 354.60	32 093.2 465.63	19 290.0 2 038.50	22 066.7 1 952.91	

括号内为 5~10月降雨量。

由表 2 知, 农地水土流失量随坡度增大而增加的现象十分明显。以土壤流失为例, 2°上下的农地, 年流失土壤不超过 100t/km², 2°~8°时, 年流失土壤从几百吨到 2 000 t/km² 以上。除坡度外, 降雨量及其性质, 秋田与夏休地、小麦收割后翻耕与留茬不翻耕等, 使土壤侵蚀均有差异。

为了阐明农地多年平均水土流失状况, 集中反映对降低土壤肥力与生产力的作用, 我们收集本区已有试验资料 (陕西省水土保持局编 “1954~1976年陕西省水土保持径流测验资料”, 1976年11月), 结合实地调查, 经回归统计得出农地水土流失量 M_s 与 坡度 S 有如下关系:

$$M_s = 30S^{1.6} \qquad (S \leq 20^\circ) \qquad (1)$$

$$r = 0.899, \qquad s = 0.396$$

$$M_w = 1\,955S^{1.1} \qquad (S < 20^\circ) \qquad (2)$$

$$r = 0.807, \qquad s = 0.345$$

式中: M_s 、 M_w 分别为农地土壤侵蚀模数 (t/km²) 和径流模数 (m³/km²), S 为坡度 (°)。

3 农地土壤肥力及生产力的降低

3.1 土壤肥力的降低。土壤肥力是指土壤具有供给和调节作物所需的水分、养分和其它生长条件的能力, 为一综合概念。本文主要指土壤养分、水分等状况。农地水土

流失的直接结果是降低土壤肥力,群众称之为“三跑田”,即跑土、跑肥、跑水。具体表现在以下方面:

3.1.1 耕作层及养分损失。耕作层是历经多年培肥的熟土层,作物根系多集中于此。由于加剧侵蚀的不断进行必然逐渐减薄熟土层,带走大量营养成分。黄土高原70%的土壤有机质都在1%以下,大面积黄绵土的出现^[2]就是佐证。

我们对三县的77块麦田924组土样分析表明(表3),淳化县农地平均有机质含量为0.789%、全氮含量0.046%、全磷含量0.061%(耕作层),乾县与合阳较好,但与肥力较高的土地相比差距甚大,仅相当于陕西土壤肥力等级中的五六级以下水平。

表3 渭北高原淳化等三县土壤与对照土壤养分对比表*

调查与对照样地名		采样深度 (cm)	养分含量(%)			小麦产量 (kg/亩)	备 注
			有机质	全氮	全磷		
调 查	淳 化 (1988年)	0~25	0.789	0.046	0.061	150.0	有侵蚀旱地
		25~50	—	—	—		
		平 均	—	—	—		
	乾 县 (1988~1989年)	0~25	0.731	0.068	0.073	168.6	有侵蚀旱地
		25~50	0.583	0.049	0.055		
		平 均	0.657	0.058	0.064		
	合 阳 (1989年)	0~25	0.826	0.077	0.064	162.5	有侵蚀旱地
		25~50	0.619	0.047	0.051		
		平 均	0.723	0.062	0.058		
对 照	杨陵杜家坡 (1978年)	0~25	1.249	0.093	0.220	509.5	无侵蚀水浇地
		25~50	1.021	0.076	0.218		
		平 均	1.135	0.085	0.219		
	杨陵西农 (1981年)	0~25	1.234	0.092	0.198	265.0	无侵蚀旱地
		25~50	—	—	—		

* 有机质分析用重铬酸钾容量法,全氮用开氏法,全磷用酸溶—钼锑抗比色法测定;

** 对照资料引自《土壤》1980年6期李鸿恩文和西北农业大学“渭北旱塬小麦增产技术综合研究文集”(1985年)。

对比分析农地耕作层和流失的泥沙(表4)可知,有机质和全氮的含量,流失泥沙高于耕作层1.4倍和1.5倍,全磷含量两者基本相当。

由于流失泥沙含有丰富的养分,所以土壤流失愈大农地愈贫瘠。坡度大的农地流失量大,而且多分布于塬边、“坡咀”的边远地方,投入肥料少,长期处于瘠薄状态。

3.1.2 土壤质地变粗,团粒结构遭到破坏。农地水土流失方式决定了以流失表土细颗粒和比重小的颗粒为主(主要是有结构的团粒),残留原地的为少团粒结构的粗颗粒或塬石。表4中流失土样的粘粒(<0.001mm)含量62.22%,远高于耕作层土壤粘粒含量,在淤积部位可看到清晰的团粒结构,而耕作层并非全部如此。这种现象与上述养分

损失情况是一致的。

表4 农地耕作层(0~20cm)与流失泥沙养分分析表*

分析项目 时间 及样品		有机质 (%)	全 氮 (%)	全 磷 (%)	<0.001mm (%)	备 注
1987年	农地耕层	0.933	0.088	0.043	11.59	
	流失泥沙	1.380	0.129	0.048	62.22	
1989年	农地耕层	0.984	0.071	0.093	—	
	流失泥沙	1.410	0.141	0.093	—	
1987、1989年 流失径流		—	2.54ppm	2.06ppm	—	平均值

* 分析由陕西省农科院测试中心提供。

细土粒的流失在河道洪水中也有反映。陕西省水科所分析渭河洪水泥沙颗粒组成,发现小于0.05mm颗粒占90%以上,其中小于0.005mm颗粒含量为53.5%(西北水利科学研究所:“高含沙浑水淤灌技术及渠道规划设计”,1982年1月),要比该流域同级颗粒平均含量的22.44%高出一倍^[7]。

侵蚀的进一步发展,农地土壤细颗粒逐渐减少,结果出现堰石遍地无法耕种。在一些陡坡或梁顶可见这些弃耕地或“石渣地”,正是侵蚀的结果。

3.1.3 土壤水分降低。渭北塬区是有名的“旱腰带”,除了降水少变率大和蒸发损失大而外,水土流失常常加剧了干旱的发生和发展。当然,不同肥力土壤的抗旱保墒能力也有差异。但缺水还是明显的,于是地膜覆盖、中耕锄草、适时耙松等一系列蓄水保墒技术措施得以普遍推广。

水土流失降低农地土壤含水量,坡度愈大愈明显。用中子水分测定仪分五层测0~200cm三种不同坡度土壤含水量的动态变化,水平梯田土壤平均含水量高于5°33'和7°20'坡地的1.09%和1.33%。

本区6~9月正是秋作物生长和备用的小麦地底墒蓄存季节,气温高蒸发大,此期间即使暴雨也对缓解旱情、增加土壤含水量有重要意义。而水土流失的发生,使其蓄墒作用大减,尤其陡坡地常因表土含水量低而导致作物枯萎或小麦出苗不全。

进一步研究表明^[8],土壤肥力不同,作物耗水系数不同。肥力高的土壤,作物耗水系数低;肥力低的土壤,同一作物耗水系数高。这就使本来的“旱塬”因流失加剧了“旱”、“薄”,降低了土壤水分的有效作用。

此外,流失的地表径流中还含有少量营养元素(表4),流失水也流失了肥。

根据上述肥力的降低与土壤侵蚀调查,可以分级估算出渭北高原淳化等三县土壤肥力损失状况,如表5。

由表5看出,在当前生产力水平下,渭北高原农地因水土流失每亩损失氮素0.018~0.811kg,损失磷素0.011~0.917kg(径流带出未计在内)。折合硫酸铵化肥(平均含氮素20%)0.09~4.06kg/亩和过磷酸钙化肥(平均含P₂O₅ 16%)0.07~5.73kg/亩。养分

表5 渭北高原农地土壤耕作层主要养分含量及水土流失调查计算表*

调查县名 及样本数	肥力 等级	小麦生 产力水平 (kg/亩)	养分含量(%)		平均土 壤流失 量 (t/亩)	养分丧失 (kg/亩)		丧失养分折化肥 (kg/亩)	
			N	P ₂ O ₅		N	P ₂ O ₅	硫酸铵 (含N 20%)	过磷酸钙 (含P ₂ O ₅ 16%)
淳注1 化 (n=44)	6	200~250	0.048	0.147	0.025	0.018	0.037	0.09	0.23
	7	150~200	0.048	0.099	0.247	0.178	0.245	0.89	1.53
	8	100~150	0.041	0.081	0.605	0.372	0.490	1.86	3.06
	9	50~100	0.043	0.078	1.175	0.758	0.917	3.79	5.73
乾注2 县 (n=25)	5	250~300	0.130	0.099	0.011	0.022	0.011	0.11	0.07
	6	200~250	0.075	0.080	0.116	0.131	0.093	0.66	0.58
	7	150~200	0.057	0.074	0.368	0.315	0.272	1.58	1.70
	8	100~150	0.048	0.068	0.630	0.454	0.428	2.27	2.66
	9	50~100	0.048	0.051	1.126	0.811	0.574	4.06	3.59
合注3 阳 (n=15)	5	250~300	0.120	0.143	0.012	0.022	0.017	0.11	0.11
	6	200~250	0.080	0.065	0.080	0.096	0.052	0.48	0.33
	7	150~200	0.061	0.069	0.378	0.346	0.261	1.73	1.63
	8~9	50~150	0.038	0.065	1.000	0.570	0.650	2.85	4.06

* N丧失量 = 土壤N含量 × 土壤流失量 × 1.5; P₂O₅丧失量 = 土壤P₂O₅含量 × 土壤流失量。

注1 调查地: 甘沟、排子、浴坊、引安、辛留、东庄、五合、高家岭、润镇、张家, 涉及8个乡10个村。

注2 调查地: 城关、黑豹峪、瓦吴、九龙桥、薛家、梁山等, 涉及5个乡6个村。

注3 调查地: 同堤坊、甘井、雷家洼, 涉及2个乡8个村。

损失的大小取决于土壤肥力的高低和流失土壤量的大小两个方面。从生产出发, 在其它生产环节一致情况下, 不断提高土壤肥力而不改变流失状况, 诚然可获得较高产量, 但付出的代价也很大; 相反, 减少水土流失不增加生产投入 (主要指肥料投入) 固然损失少且可实现稳产, 却不能高产。看来两者需要兼顾, 方能达到经济的、持续的、稳定高产。表5中还反映出, 肥力高的土壤养分因流失损失小, 肥力低的土壤损失大。这除了肥力影响流失之外, 与坡度大流失强烈是一致的, 并再一次证明水土流失是导致土壤贫瘠的主要原因之一。

3.2 生产力的降低。生产力是指土壤或土地能够生产一定量作物的能力, 在一定的、光、热、气和生产技术 (品种、耕作管理等) 条件下, 它与土壤肥力成正相关。高肥力的土壤具有较高生产力, 干旱贫瘠的土壤生产力低下。渭北地区水土流失降低生产力多少? 我们作了以下的试验研究。

3.2.1 关于降低生产力的试验研究。为分析水和土流失对生产力影响, 我们作了以下试验工作:

(1) 人工模拟侵蚀试验。在多年未施肥的平缓耕地上 (< 2°), 人为除去土壤耕作层10cm、30cm和增加10cm与保持原耕作层四个处理; 在前茬、耕耘均相同情况下播种小麦 (当地常用品种), 不施肥, 两次重复。适逢该生育期降水高于多年平均值31.8% (达792.0mm), 即土壤水分较好。结果见表6。

由表6看出, ①本区农地在不施肥、基本无流失和干旱情况下, 小麦亩产70kg以上。换言之, 现在亩产50~100kg的农地, 投入的肥料与流失的养分大体相当; ②流失

表 6 1988~1989年人工模拟侵蚀土壤养分及小麦产量表

试验处理	0~20cm土层养分含量(%)			千粒重 (g)	亩产 (kg)	与ck比较 (%)	备 注
	有机质	全 氮	全 磷				
加10cm表土	1.020	0.076	0.093	35.53	112.49	+53.11	生产期降水 792.0mm
保持原状(ck)	0.822	0.074	0.093	33.93	73.47	—	
减10cm表土	0.658	0.055	0.079	32.09	44.72	-39.13	
减30cm表土	0.587	0.054	0.083	26.83	22.71	-69.09	

降低生产力,愈近土壤表层降低愈明显。在不施肥情况下,平均侵蚀1cm土壤,小麦亩产降低2.9~1.7kg,减少4.0%~2.3%;相反增加熟土层,平均增加1cm,小麦亩产增加3.9kg,提高5.3%。这与土壤肥力垂直分布是一致的。熟化层流失殆尽,耕翻黄土母质,仍可取得20kg/亩多的产量;③小麦千粒重的变化,表明水土流失还影响作物籽粒质量。由此推知,施肥情况下水土流失所造成的损失会更大。

(2) 土壤水分降低试验。在肥力一致、前茬均为小麦的坡耕地上,设2°31′、4°14′和7°20′三种处理、两个重复的试验区,种植情况均相同,播前施复合肥111.1kg/亩。结果见表7。

表 7 不同坡度1988年产流量和1989年小麦产量对比表

试验处理	径流模数 (m ³ /km ²)	千粒重 (g)	产 量 (kg/亩)	备 注
2°31′小麦	4 990.0	43.40	353.2	生产期降雨多未显旱
4°14′小麦	5 647.8	43.17	355.7	
7°20′小麦	21 081.8	41.82	315.8	

应该说明,本试验受降水多的影响,结果并不典型,但仍看出播前水土流失量不同,造成小麦底墒亏缺带来产量高低的差异。2°31′与4°17′两种坡度,播前径流流失在5 000 m³/km²上下,亩产量为353.2~355.7kg;7°20′坡地小麦播前径流模数21 081.9 m³/km²,大于前者,亩产降低37.4~39.9kg。即损失1mm降水,小麦亩产降低2.3~2.6kg。

3.2.2 渭北高原小麦生产降低估算。根据农业研究(西北农业大学渭北小麦研究组:“渭北旱塬小麦增产技术综合研究文集”,1986年),作物不能全部吸收利用土壤中的营养元素,通常小麦对氮素的利用率为25%~50%,对磷素的利用率为6%~26%。每生产100kg小麦需从土壤中吸收氮素3.0kg,磷素(P₂O₅)1.25kg。土壤水分的影响,在无灌溉的旱作条件下,土壤肥力不同,供水能力不同。肥力高则供水能力大,作物产量高,耗水系数小。反之,耗水系数大。根据其土壤肥力,可知耗水系数并计算出产量。

我们依据上述方法和水土流失量,分级估算出渭北调查的三县小麦产量损失,见表8。

由表8可知,①在当前生产水平下,渭北地区因水土流失小麦减产1.27~150kg/亩,占0.46%~19.99%;②肥力高的农地减产少,肥力低的减产多。若水土流失量相

同而肥力不同时, 会出现相反的结果; ③就水土流失降低生产力而言, 以土壤流失降低

表 8 渭北高原农地水土流失对降低小麦生产量的估算* (单位: kg/亩)

县 名	生产 力水 平 (kg/亩)	土壤养分丧失降低		径流损失降低		径流养分流失降低		降低产量总计		平均降 低产量	平均 降低 (%)	备 注
		以N计	以P ₂ O ₅ 计	径流深 (mm)	降低产量	以N计	以P ₂ O ₅ 计	以N计	以P ₂ O ₅ 计			
淳 化	200~250	0.228	0.474	5.3	2.208	0.108	0.093	2.544	2.775	2.66	1.18	其中径流损 失占83%; 其中径流损 失占50%; 其中径流损 失占38%; 其中径流损 失占25%。
	150~200	2.255	3.136	10.4	2.889	0.211	0.183	5.355	6.208	5.77	3.30	
	100~150	4.712	6.272	16.4	3.565	0.333	0.288	8.610	10.125	9.37	7.49	
	50~100	9.601	11.738	28.7	3.776	0.583	0.505	13.960	16.019	14.99	19.99	
乾 县	250~300	0.279	0.141	2.0	1.020	0.041	0.035	1.340	1.196	1.27	0.46	
	200~250	1.659	1.190	5.3	2.208	0.108	0.093	3.975	3.491	3.73	1.66	
	150~200	3.990	3.481	10.4	2.889	0.211	0.183	7.090	6.553	6.82	3.90	
	100~150	5.751	5.478	16.4	3.565	0.333	0.288	9.649	9.331	9.49	7.59	
合 阳	50~100	10.273	7.347	28.7	3.776	0.583	0.505	14.632	11.628	13.13	17.51	
	250~300	0.279	0.220	2.0	1.020	0.041	0.035	1.340	1.275	1.31	0.48	
	200~250	1.216	0.866	5.3	2.208	0.108	0.093	3.522	2.967	3.52	1.44	
	150~200	4.383	3.341	10.4	2.889	0.211	0.183	7.483	6.413	6.95	3.97	
	50~150	7.220	8.320	22.6	3.705	0.458	0.397	11.383	12.422	11.90	11.90	

* 计算式: N损失降低 = N损失量 × 0.38 + 3 × 100; P₂O₅损失降低 = P₂O₅损失量 × 0.16 + 1.25 × 100。

最大, 其次为径流影响土壤含水量的降低, 径流挟带养分的降低生产力最小。从相对比较来看, 肥力高的农地径流损失降低生产力高(有的高达83%), 而肥力低的农地土壤流失降低生产力要高。换句话说, “肥”地主要矛盾是“水”, “薄”地主要矛盾是“肥”。

将估算结果与前述试验作比较, 调查土壤流失深最大为0.83mm, 减产10 kg/亩以上, 显然高于人工模拟侵蚀试验结果。径流流失深最小为2.0mm, 减产1 kg/亩多, 低于水分影响产量试验。这主要是由于前一试验在未施肥条件下进行的, 后一试验又是在较高肥力下进行的缘故。

调查表明, 肥力五、六级水平的农地坡度多在2°上下, 七级农地已在2°以上, 有的达5°多, 八、九级肥力农地坡度在5°~15°, 大于15°的农地肥力等级更低。据此, 参照表1农地坡度组成, 概算出渭北高原因水土流失小麦(以60%种植面积计)每年损失约13.05万t, 相当于1980~1985年本区平均小麦总产132.83万t的9.8%。可见, 水土流失是影响本区农业生产发展的主要因素之一。

3.2.3 区域侵蚀与生产力的关系。为了进一步阐明水土流失对粮食生产的影响, 我们分析了渭北高原各县(市)和部分小流域土壤侵蚀与其粮食单产的关系。

分析资料引自1980~1981年农业区划成果, 粮食产量用现有的1949年、1965年、1975年和1979年4年的平均产量。经回归分析得:

$$Y_L = aMs^{-b} \quad (300 < Ms < 400) \quad (3)$$

式中: Y_L 为区域粮食单产(kg/亩); Ms 为该区域侵蚀模数(t/km²); a, b 为区域常数。渭北高原北部延安地区各县及低山丘陵麟游县, $a=415.5$, $b=0.212$, 相关系数 $r=-0.899$, 标准差 $S=1.4$; 南部其它地区, $a=4116.7$, $b=0.433$, $r=-0.847$, $S=$

1.8. 经F检验, 均在0.01水平上显著。

式(3)为一双曲线, 曲线上端接近该区降水生产潜势, 曲线下端趋向黄土母质上耕种的生产力。由式(3)计算, 在当前生产水平下, 大于微度侵蚀($1\,000\text{t}/\text{km}^2$)的农地。每增加 $1\,000\text{t}/\text{km}^2$ 侵蚀量, 生产力从 $51.0\text{kg}/\text{亩}$ 降低到 $14.2\text{kg}/\text{亩}$, 平均降低18.3%。若将微度侵蚀以上的农地侵蚀减少一半, 并使土壤达到相应的肥力水平, 平均亩产增产达 40kg 以上。

进一步分析区域的地形坡度与粮食单产关系如下:

$$Y_L = 169.5T^{-0.225} \quad (1.5^\circ < T < 18^\circ) \quad (4)$$

$$r = -0.737, S = 1.85$$

式中: Y_L 符号同前; T 为区域农地加权平均坡度($^\circ$)。该式受作物品种、施肥、耕作管理等技术影响, 相关系数较低, 但坡度对生产力的影响还是明显的。

4 初步结论及讨论

从当前生产实际出发, 我们研究了水土流失对生产的影响, 从中得出以下几点认识:

4.1 农地水土流失以面蚀、细沟和浅沟侵蚀为主, 主要发生在耕作层, 尤其近表层。水土流失导致土壤肥力降低, 以养分、水分降低、质地结构变坏为最明显, 从而降低了生产力。

4.2 以小麦为例, 在采用现有的品种和生产技术条件下, 渭北高原水土流失减产约10%。设想, 若仅增加农地投肥而不改变流失状况, 产量无疑要提高, 相应流失减产数量将会增大; 若在提高土壤肥力的同时又控制水土流失, 开展农田治理, 产量将有大幅度的提高。

4.3 建设基本农田, 平整土地, 是控制农地水土流失的根本措施, 又是培肥地力提高其生产力的基础, 这已被多年实践证明, 应不懈地坚持下去。

4.4 有关问题讨论:

4.4.1 关于允许土壤流失量的问题。允许土壤流失量是指为保持土壤肥力, 能经济地持续地获得高产所允许的多年平均最大土壤流失量。目前, 从理论上还难以得出, 多从不同生产要求出发, 经讨论确定。美国确定农地允许土壤流失量最大值为 $11.2\text{t}/\text{ha}\cdot\text{a}^{-1}$ 。我们从影响粮食产量方面, 扼要讨论如下:

农业专家认为, 当前渭北高原小麦亩产 $200\sim 250\text{kg}$ 是可能的, 人口的发展和对商品粮的需要也如此。由表5知, 该产量的侵蚀量为每亩 $0.025\sim 0.116\text{t}$, 平均为 $111\text{t}/\text{km}^2$, 最大是 $174\text{t}/\text{km}^2$ 。考虑到今后生产技术的提高和生产条件的改善, 尤其新品种、新技术推广和肥料投入逐年加大, 农地允许流失量宜控制在 $300\text{t}/\text{km}^2$ 以下, 即每亩土壤流失不超过 0.2t 。

用式(3)反算到区域或小流域, 侵蚀模数为 $558\sim 922\text{t}/\text{km}^2$ 。鉴于黄土高原产沙来源主要是沟谷, 确定为 $1\,000\text{t}/\text{km}^2$, 以水电部颁布的微度侵蚀作为该区土壤允许流失量较适宜, 也与国际上大多采用的数值接近。

4.4.2 关于平整土地问题。平整土地、修建水平梯田无疑是十分重要的。从允许

土壤流失量的概念出发, 即侵蚀模数在 $174\text{t}/\text{km}^2$ 以下的农地可暂缓平整, 以实施沟垄种植、水平种植等耕作措施保持水土, 集中力量治理侵蚀较严重的农地, 这会加快治理速度和取得明显效益。

用式(1)计算, 具这样侵蚀模数的农地坡度在 $2^\circ\sim 3^\circ$ 之间。南京土壤研究所刘多森从地形均夷平衡概念出发^[9], 也得出相同的结论。《中国自然地理》(地貌)中写到“……坡度在 3° 左右一般无显著侵蚀现象。因为这些地方, 地势平坦, 耕松后的黄土渗水能力又相当强”^[10], 也提出这个坡度。可见, 3° 以下农地的治理方向值得研究。由表1可知, 渭北高原50%以上农地属此类, 对剩余不足一半的农地实施平整, 会使粮食大幅度提高, 又能收到减水减沙明显效果。当然绝不是放弃对 3° 以下农地治理, 只是“暂缓”治理。在人多地少地区不在此列, 尤其坡长很大的耕地, 还要采取软埝或其它措施, 截断拦蓄径流, 以免发生“链锁反应”, 冲毁下游工程。

4.4.3 关于农地坡度控制问题。土壤侵蚀与地形坡度成幂函数关系, 已为大家所公认。虽有“侵蚀转折坡度”临界值存在^[11], 坡度已达 $25^\circ\sim 28.5^\circ$ 。从侵蚀降低生产力和经济观点来看, 20° 以上农地, 目前生产水平多在 $50\text{kg}/\text{亩}$ 左右。由调查资料知, 减产20%以上, 其流失氮素和磷素折合化肥为 $20\text{kg}/\text{亩}$, 相当于陕西省1986年平均亩施化肥 26.9kg 的74.3%, 产投比约为1:1, 宜应加以限制。但在地少人多地地区, 或已具梯田锥形的坡地, 则另当别论。由表1知, 本区 20° 以上农地约200万亩, 人均0.5亩以下, 若用于发展经济林、种草发展养殖业, 实施简易的水土保持治理, 投资少效益快, 还控制了水土流失是可以考虑的。

鉴于上述问题涉及面广, 又相当复杂, 某些问题还与政策有关, 我们仅从粮食生产一个方面给予讨论, 作为进一步研究参考。

*本系毕业生耿养惠、金松等收集外业资料, 蒋德麒、赵师忞教授, 张锡梅副研究员热情指导, 谨表谢意。

参 考 文 献

- [1] 《北京科技报》, 1986年4月28日
- [2] 余存祖: “黄土高原土壤有机质水平及提高途径”, 《山西农业科学》, 1983年第2期
- [3] 朱显谟: “黄土高原综合治理”, 《土壤通报》, 1980年2期
- [4] 陈敏才译: “侵蚀对土壤生产力影响的国际比较”, 《水土保持科技情报》, 1987年2期
- [5] 王立祥: “西北黄土高原农田降水生产潜势及开发的研究”, 《西北农学院学报》, 1982年第2期
- [6] 唐克丽: “黄土高原坡耕地土壤侵蚀”, 《第四次国际河流泥沙学术会议论文集》, 第一卷(英文), 1989年7月
- [7] 水利部西北水利所: 《西北黄土的性质》, 陕西人民出版社, 1960年
- [8] 李玉山: “渭北农田水分条件评价和提高旱地水分生产率的途径”, 《陕西农业科学》, 1983年5期
- [9] 刘多森等: 《土壤和环境研究中的数学方法与建模》, 农业出版社, 1987年10月
- [10] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会: 《中国自然地理》(地貌), 科学出版社, 1981年
- [11] 陈永宗: “黄河中游黄土丘陵地区坡地的侵蚀发育”, 《地理集刊》, 第10期, 1976年12月