

应用数值分析试论黄土丘陵区侵蚀土壤的发展规律

——以固原县为例*

史德明 杨艳生

(中国科学院南京土壤研究所)

侵蚀土壤是水土流失历史过程中的一面镜子,在一定程度上,它反映过去的流失程度,也反映目前土壤的肥力水平。我国黄土丘陵区侵蚀土壤分布之广,侵蚀程度之烈,是世界上罕见的。研究侵蚀土壤的发展规律及其与侵蚀因子间的相互关系,对合理利用土地、制定保土措施有一定的指导意义。本文以宁夏固原县侵蚀土壤调查资料为例,并应用数值分析的结果,探讨黄土丘陵区侵蚀土壤的发展规律,为防治水土流失提供科学理论依据。

一、侵蚀土壤的发展

在我国黄土丘陵区,随着水土流失的发展,形成大面积的侵蚀土壤,目前在丘陵坡地上,已难找到完整的自然土壤剖面,昔日的土壤景观,遭到严重破坏^[4,8]。就宁夏固原县而言,侵蚀土壤的发展也达到相当严重的程度。根据该县侵蚀土壤图(1/10万)和彭阳公社海巴大队侵蚀土壤图(1/5千)量算,全县强度侵蚀和剧烈侵蚀土壤面积占土地总面积52.6%,占坡耕地面积61.8%;海巴大队该两种类型的侵蚀土壤占总面积39.0%,占坡耕地面积的70.6%;全部失去A层的中度侵蚀以上的土壤(包括强度和剧烈侵蚀土壤),则分别占县、海巴大队坡耕地面积的79.9%和92.8%。

侵蚀土壤形成的主要特点,是土体构型的不断演变,土壤剖面自上而下逐渐被剥蚀,从具有A、B、C层和谐排列的完整剖面,变成失去A层甚至失去A和B层的侵蚀土壤。由表1^[3]可以看出从无明显侵蚀黑垆土发展到剧烈侵蚀黑垆土土体构型的变化情况。如果根据土壤发生层的消失计算流失土体的厚度,在强度和剧烈侵蚀土壤分布区,至少流失掉1.5米至2米以上的土层,因而,侵蚀土壤的土体构型发生变异时,加大了地面破碎度和劣地面积,地貌上也相应发生显著变化。

侵蚀土壤的发展,伴随着土壤生态平衡的破坏。侵蚀土壤较自然土壤具有更大的物质迁移,即由流失带走的物质大大高于进入土壤中的数量,使物质循环得不偿失。据测定,固原县年侵蚀模数每平方公里达3000—7000吨,有的高达每平方公里10000吨,而流

* 本工作和本文编写得到席承藩教授的指导;参加固原县土壤调查的还有金厚玉、姚玉成、贾义、仇继才、李仲林、曹锦铎等同志;部分分析项目由本所土壤地理分析室进行,一并敬致谢意。

失坡地的施肥量,一般仅 300—1000 斤/亩土粪肥,远不能补偿年流失量,即使成土速度以 1660 斤/亩计算^[7,11],而侵蚀速度仍为其 2.4 至 5.6 倍,甚至 12 倍。因此,随着侵蚀土壤程度的加大,土壤肥力逐步降低,理化性质日益变劣(表 2)。从图 1 也可看出,不同侵蚀程度及土体构型变化与养分消失的相互关系。

表 1 侵蚀黑垆土的分级(固原县)

Table 1 The classification of eroded "Heilutu" (Dark loessial soil)

分 级 Classification	A, B 层侵蚀情况 Eroded condition of horizon A, B	A + B 层残留厚度 (cm)* Thickness of remained horizon A + B
无明显侵蚀 Soil without apparent erosion	不 明 显 Not apparent	180
轻度侵蚀 Slightly eroded soil	$< \frac{A}{2}$	> 130
中度侵蚀 Moderately eroded soil	$> \frac{A}{2}$ 或全部 A $> \frac{A}{2}$ or all horizon A	130—80
强度侵蚀 Severely eroded soil	A + 部分 B 或 $> \frac{B}{2}$ A and part of B, or $> \frac{B}{2}$	80— < 40
剧烈侵蚀 Very severely eroded soil	A + B 全部侵蚀 All horizons of A + B	0

* 以 A 层厚 100 厘米, B 层 80 厘米计算。Horizon A—100cm, horizon B—80cm.

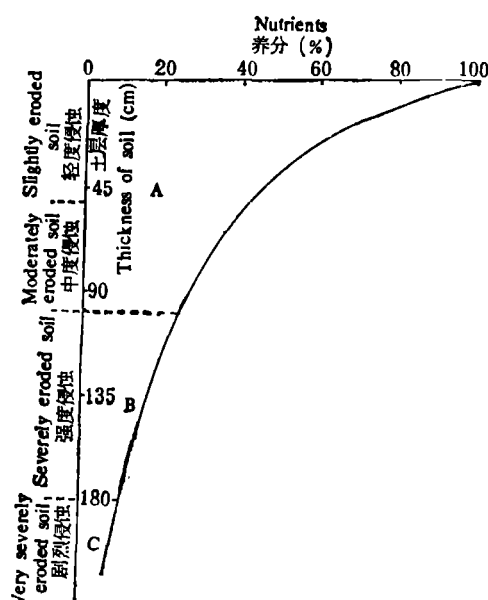


图 1 侵蚀程度、土体构型变化与养分总量的关系 (A, B, C 为土壤发生层代号)

Fig. 1 The relationship between erodibility, patterns of soil solum and total content of nutrients in soil

表 2 不同侵蚀黑垆土养分含量情况

Table 2 The nutrient content of different eroded "Heiluyu" (Dark loessial soil)

剖面号码, 地点 No. of soil, locality	土 壤 Soil	采土深度 (cm) Sampling depth	有机质(%) Organic matter	全氮(%) Total nitrogen	全磷(%) Total P ₂ O ₅	全钾(%) Total K ₂ O	水解氮(%) Hydrolyzable nitrogen	有效磷(ppm) Available P	有效钾 (毫克/100克土) Available K
76-固-1, 古城公社, 古城 大队 76-Guyuan-1 Gucheng Commune	无明显侵蚀黑垆土 Without apparent erosion "Heiluyu"	0—30	1.40	0.078	0.19	2.53	0.005	11.0	33.0
		30—80	1.69	0.097	—	—	0.005	5.3	—
		80—100	1.47	0.073	—	—	—	—	—
		100—120	1.68	0.081	—	—	0.003	12.0	—
		175—200	0.96	0.051	—	—	—	—	—
77-固-14, 彭阳公社, 海 巴大队 77-Guyuan-14, Pengyang Commune	中度侵蚀黑垆土 Moderately eroded "Heiluyu"	0—20	1.10	0.078	0.144	1.83	0.005	13.0	14.8
		30—40	1.38	0.091	0.143	2.42	0.004	5.0	9.8
		55—65	0.80	0.057	0.128	2.14	0.003	3.3	8.2
		130—140	0.48	0.035	0.125	1.85	0.003	1.5	8.0
76-固-2, 古城公社, 任河 大队 76-Guyuan-2, Gucheng Commune	剧烈侵蚀黑垆土 Very severely eroded "Heiluyu"	0—20	0.88	0.049	0.130	2.16	0.002	7.3	10.4
		20—53	0.50	0.027	0.120	2.15	0.003	痕迹	7.2
		53—80	0.37	0.025	0.120	2.14	0.003	—	—

因此,侵蚀土壤不断发展,最终导致土壤退化,严重影响农、林、牧生产的发展。

二、侵蚀因子的分析与评价

侵蚀土壤为水土流失的直接结果,同样受到自然因素和人为因素的综合影响。侵蚀速率(包括侵蚀土壤发展速度),是气候、地形、植被、土壤及人为活动条件的函数^[2]。长期以来,由于侵蚀因子极为复杂,有些非人力所能控制,有些虽然能控制而目前仍无条件实施之,所以对于土壤侵蚀或侵蚀土壤发展过程多限于定性说明。为了在土壤侵蚀研究中,逐步走向定量阶段,笔者对固原县和海巴大队侵蚀土壤与侵蚀因子间的关系,应用数值分析方法进行了研究,并对不同条件下侵蚀土壤与主要侵蚀因子间的关系予以评价,进一步从理论上阐明侵蚀土壤发展分布规律。

固原县和海巴大队的具体条件不同,因此影响侵蚀土壤的因子各有异同。在海巴大队范围内气候因子几无差异,本底土壤同为黑垆土,土壤性质差异不大,故气候、土壤类型两因子未予考虑,选择坡度、坡长、利用干扰强度和保土措施作为主要侵蚀因子。在固原县范围内,地形复杂,土壤类型多,利用状况也各异,选择土壤可蚀性、地面坡度、利用状况、利用干扰强度等作为主要侵蚀因子。六盘山区植被较好,土壤有机质含量高,水稳性结构好,土壤可蚀性较小;就耕种土壤而言,熟化度愈高,土壤结构也愈好,抗蚀能力就强,反之,则可蚀性增大。因而,土壤可蚀性可反映不同土壤类型(或类型组合)抗御侵蚀能力的差异。坡度在很大程度上决定着侵蚀动能的大小,通常侵蚀量随着地面坡度的增大而增加。利用状况包括土壤利用方式和土地类型等,在固原县利用状况有林地、草地、荒地和坡耕地等区别。利用干扰强度表示人为活动对土壤的不合理干扰或破坏程度,在固原县境内,不合理利用干扰强度决定于土壤的耕垦年限和利用指数,耕垦年限久或利用指数高,则侵蚀较重,反之,则侵蚀较轻。

不同侵蚀因子对侵蚀土壤影响的强度固有不同,同一侵蚀因子也因其强度不同,对土壤侵蚀程度的影响也不相同。为了表示它们影响程度的差异,在评价侵蚀因子的过程中,根据它们影响的大小进行强度分级,对不同级别分别给以相应的数码值,影响大的给予较大的数码值,反之则小^[3]。

在野外对各观测土壤取得各侵蚀因子强度值,并应用对应分析、主成分分析和判别分析等方法,在 709 电子计算机上进行数值分析处理,具体方法见另文^{[5],1)}。

海巴大队主要侵蚀因子对应分析结果显示(表 3),相应于第一特征值的特征向量有正负差异,侵蚀因子和保土因子截然分开,特征向量中绝对值较大的有三个,即堆积因子为 2.730,坡长和利用强度同为 -0.751,从而表明,在该大队范围内,坡长增长和地面坡度加大以及土壤利用强度加强,都是引起侵蚀土壤发展的重要因素,而有良好的保土措施和耕种堆积(施土粪),则是防止侵蚀土壤发展的有力因素。第一特征值的方差贡献为 87.43%;第二特征向量表明,坡长、利用强度和堆积因子均为正值,说明侵蚀轻的土壤类型(川地、台地上的土壤)主要受坡长、利用强度和堆积因子影响,而侵蚀严重的土壤类型

1) 杨艳生、史德明:逐步判别分析在侵蚀土壤分类中的应用。(待刊稿)

表 3 海巴大队主要侵蚀因子对应分析结果

Table 3 The results of corresponding analysis of principal erosion factors in Haiba Brigade

特 征 值		1	2	3	4
Eigenvalues		0.507	0.038	0.023	0.012
累计方差贡献(%) Percentage of variance		87.43	94.04	97.95	100
主要侵蚀因子 Principal erosion factors	特 征 向 量 Eigenvectors				
	地面坡度 Slope	-0.145	-0.823	0.748	-1.058
	坡 长 Length of slope	-0.751	1.173	-1.408	-0.858
	利用强度 Intensity of utilization	-0.751	1.045	1.284	1.143
	保土措施 Control measures	0.083	-1.038	-0.881	1.119
	堆 积 Accumulation	2.730	0.971	0.123	-0.100

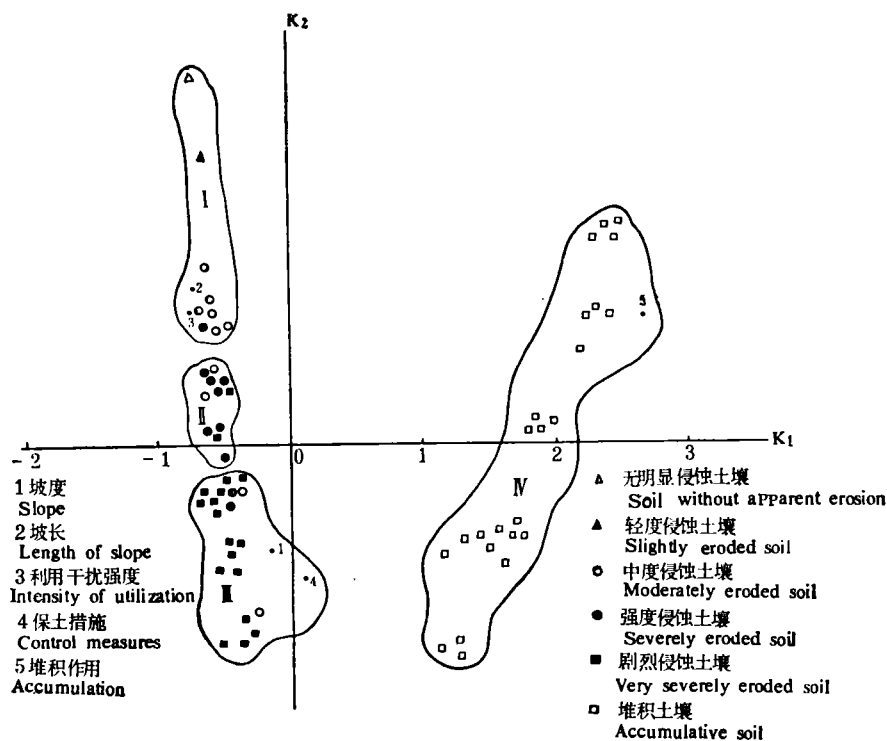


图 2 侵蚀土壤类型与各侵蚀因子间的关系

Fig. 2 The relationship between eroded soil types and erosion factors

主要受坡度和保土措施因子的影响,相应于这一特征值的方差贡献率为 6.61%,上述两个特征值代表了总方差贡献的 94.04%。

图 2 进一步说明,分布于 K_2 轴左边的侵蚀土壤,侵蚀程度由上而下增强,在 I 范围内为无明显侵蚀至中度侵蚀土壤,这里的土地类型为塬地或台地,坡长虽大,利用强度亦高,由于地面坡度不大,保土措施好,故侵蚀程度不高。第 III 部分大部为剧烈侵蚀土壤,已如表 3 所示,它们与坡度和保土措施的关系更密切;第 II 部分交错分布中度、强度和剧烈侵蚀土壤,它们较均匀地受到坡度、坡长、利用强度和保土措施四个因子的影响。第 IV 部分表明分布于 K_2 轴右边的都为堆积土壤,受到耕种堆积的巨大影响,而且以 K_1 轴为基线,表现出向上堆积增厚,向下堆积减薄的规律。

固原县范围内侵蚀因子评价曾应用主成分分析法。根据该方法求得的特征值和相应的特征向量表明^[5],第一、第二主成分的累计方差贡献为 75%,第一、第三主成分的累计方差贡献为 65%。第一主成分反映侵蚀土壤与各侵蚀因子间总的关系,即固原县境内侵蚀土壤受蚀程度随着任何一个侵蚀因子强度增加而加剧,其中利用状况和利用干扰强度的特征向量分别为 0.622 和 0.505,土壤可蚀性和地面坡度则分别为 0.493 和 0.341,表明前二者对侵蚀土壤具有更显著的影响。第二、第三主成分分别反映山地土壤和耕种土壤的侵蚀程度与侵蚀因子间的相互关系,即山地土壤其侵蚀主要受地面坡度所控制,但在侵蚀程度相同时,坡度较大的地段又常因有较好的植被,使其可蚀性减小。耕种土壤的侵蚀主要决定于利用干扰强度,但在川、台、塬地上,利用干扰强度虽高,而其土地类型、利用状况强度等级很低,多分布无明显侵蚀和轻度侵蚀土壤。

综观上述侵蚀土壤与侵蚀因子间的关系,可以认为,任何侵蚀土壤的发展,同时受到主要侵蚀因子的影响,但不同侵蚀因子影响的强度并不相同。在不同侵蚀土壤类型或其类型组合条件下,有不同主要侵蚀因子的组合。在较小范围内侵蚀土壤的受蚀程度,与地面坡度的关系最密切,即在无保土措施条件下,在黄土丘陵坡地上耕垦时,坡度愈大,侵蚀土壤的受蚀程度也愈高,反之,在平缓的耕地上,虽然利用强度很高,但侵蚀程度仍然很低。在一个县范围内的主要侵蚀因子中,土壤利用方式和利用干扰强度对侵蚀土壤的发展及分布的影响,比土壤可蚀性和地面坡度来得大,即人为不合理的利用土地,对侵蚀土壤的影响比自然因素更大,占有主导地位。这在黄土丘陵的侵蚀土壤分布区,具有普遍意义。

为了对预控侵蚀土壤发展提供科学依据,应用了判别分析方法对固原县侵蚀因子进行了研究,并确立了判别方程^[5]。判别分析结果表明,在固原县范围内或其它类似的黄土丘陵区,在一定条件下,降低利用状况、利用干扰强度和地面坡度的强度值,是减小侵蚀程度最有效的办法。例如,在主要侵蚀因子组合中,当土壤可蚀性、地面坡度、利用状况和利用干扰强度等强度值分别为 10, 10, 5, 5, 通过判别方程计算,求得 f_i 值,确定其为强度侵蚀土壤;如果其它侵蚀因子强度值不变, x_1 由 10 降至 1, 由同样方法求得 f_i 值,并确定为中度侵蚀土壤;而降低坡度 x_2 由 10 降至 1, 则为轻度侵蚀土壤;降低利用状况强度值 x_3 由 5 变为 1, 同样可得中度侵蚀土壤,但 x_4 由 5 变为 1, 则相应得到轻度侵蚀土壤(表 4)。因此,根据判别方程,可以推算侵蚀因子的强度值和确定需要采取的保土措施,以使某一侵蚀土壤受蚀程度,控制在相应的范围内。

表 4 侵蚀因子强度值改变时侵蚀强度的相应变化

Table 4 The relative variation of erosion intensity with the change of coded value of intensity of erosion factors

侵蚀因子 Erosion factors	强 度 值 Coded value of intensity				由 f_i 值判定的 侵蚀程度指标值 Discriminated index value of erosion intensity from f_i	侵蚀程度 Erosion intensity
	x_1 土壤可蚀性 Erodibility	x_2 地面坡度 Slope	x_3 土壤利用状况 Land utilization	x_4 土壤 利用干扰强度 Damage from unreasonable land utilization		
原计分值 Original calculated value	10	10	5	5	4	强 Severe
x_1 由 10 变为 1 x_1 from 10 to 1	1	10	5	5	3	中 Moderate
x_2 由 10 变为 1 x_2 from 10 to 1	10	1	5	5	2	轻 Slight
x_3 由 5 变为 1 x_3 from 5 to 1	10	10	1	5	3	中 Moderate
x_4 由 5 变为 1 x_4 from 5 to 1	10	10	5	1	2	轻 Slight

三、水土保持问题

根据侵蚀土壤发展规律和侵蚀因子分析评价研究结果,我们认为,黄土丘陵区侵蚀土壤面广量大,程度严重,主要是由于人们对土壤资源不合理利用引起的,为了保护黄土地区土壤资源,防止水土流失进一步进展,提出下列几点意见。

1. 合理利用土地,减少人为干扰强度 在黄土丘陵区,严重的侵蚀土壤大部分分布在利用干扰强度大而又缺乏保土措施的坡耕地上,其利用状况或利用干扰强度的强度值较高,因此,改变利用状况,降低利用干扰强度,如防止滥垦滥牧,陡坡开垦,广种薄收和顺坡耕作等,以求合理利用土地,是最为重要的。改变单一的农业经营方式,把黄土高原建成牧业和林业基地,减少对土壤的不合理干扰和破坏,是完全符合自然客观规律的^[6]。目前,人们虽尚难完全控制或改变气候、地形、土壤等因子,但能动地调整土地利用方式,降低利用干扰强度,是完全可能的。做好深入细致的调查研究,搞好总体区划和区域规划,才能因地制宜合理利用土壤资源。

2. 搞好基本农田建设,减少坡度的影响 根据侵蚀土壤的发展和分布规律,降低坡度的强度值是减少流失的重要因素,因此,坡度太大的土地,不宜用作粮食用地;必须开垦利用的坡耕地,应做好基本农田的建设,变缓地面坡度,防止土壤侵蚀。在黄土丘陵人口稠密的严重流失区,保留一定面积的农田很有必要,特别在缺少川、台、塬地的丘陵区,利用缓坡地开辟农地是可能的,但应根据具体地形条件,小于 15° (或 20°) 的缓坡地可作为农耕地的上限;大于 15° (或 20°) 的坡地则作为宜林宜牧地;尚未退耕的坡地,必须修建好梯田,防止冲刷,保障农业生产顺利进行。

3. 因地制宜,综合治理 从侵蚀土壤受到诸侵蚀因子的综合影响来看,防治流失也必须考虑综合措施。但在不同条件下,必须消除或减轻主要侵蚀因子的影响,解决主要矛

盾。如在县一级范围内,土地利用状况和利用干扰强度为主要侵蚀因子,因而根据全县自然经济条件,制定合理的农、林、牧用地规划,是防治侵蚀土壤发展的关键;而在不同的流失地段,针对不同侵蚀因子,因地制宜采用多种手段,就地拦蓄降水、增加渗透并保护地面防止水和风的破坏,则是非常重要的。在治理措施中,坚持生物措施与工程措施相结合、治坡与治沟相结合、乔、灌、草相结合的原则,是符合综合治理要求的。但应该强调指出,在黄土丘陵区,由于生态环境的恶化,土壤贫瘠易旱,增加了植树造林的难度,采用适当保水改土措施,促进林、草生长,也是黄土区综合治理的重要组成部分。

4. 改良土壤,提高抗蚀性能 土壤是侵蚀的对象,为了改善侵蚀土壤的生态平衡,减轻水土流失,必须在降低其它侵蚀因子强度的同时,提高土壤的抗蚀性。因此,牧业发展必须做好草场改良和人工饲料基地的建设,严禁滥牧和铲草皮,减少对草场土壤的破坏。耕地土壤必须解决好用土、养土、改土的关系,实行牧草轮作、带状间作、合理密植和少耕法等,以减少流失量,维持土壤持久的生产力。山区土壤抗蚀性虽然较高,但必须杜绝滥砍、滥伐现象,坚持采、育结合、永续利用的方针,才能保持和提高土壤抗蚀性,以减轻和预防土壤侵蚀的发生。

四、结 束 语

侵蚀土壤在黄土丘陵区的广泛分布,构成农、林、牧发展的严重障碍。固原县的调查资料和数值分析结果表明,侵蚀土壤的发展,导致土体构型的剧烈变化,改变了成土过程中物质循环的特征,从而使土壤退化和肥力降低。在黄土丘陵区,土地利用方式和利用干扰强度以及地面坡度对侵蚀土壤的发展,具有更为广泛和深刻的影响。土地利用方式和利用干扰强度随着区域范围的扩大影响更为显著,而地面坡度在较小范围内影响最显著。人为因素对侵蚀土壤的影响,比自然因素更大,它占有主导地位。

黄土丘陵区的水土保持,必须以合理利用土地为前提,建立牧业和林业基地,增加地面覆盖;搞好基本农田建设,降低地面坡度;改良土壤,提高其抗蚀性能,才是正确的途径。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所宁夏队, 1979: 我国黄土地区耕种土壤的发生分类问题。《土壤分类及土壤地理论文集》, 浙江科学技术出版社。
- [2] 毛寿彭, 1979: 水土保持。华冈出版有限公司。
- [3] 史德明, 1979: 研究侵蚀土壤发生分类的理论和实践意义。《土壤分类及土壤地理论文集》, 浙江科学技术出版社。
- [4] 朱显谟, 1956: 黄土区土壤侵蚀的分类, 土壤学报, 第4卷2期, 102—103页。
- [5] 杨艳生、史德明, 1982: 宁夏固原县侵蚀土壤的数值分析研究。土壤学报, 第19卷1期, 71—73页。
- [6] 童大林、鲍彤, 1978: 关于西北黄土高原的建设方针问题。光明日报, 12月29日。
- [7] Norman Hudson, 1973: Soil Conservation, Cornell University Press Ithaca, New York.
- [8] Розанов, А. Н., 1959: Старопашотные почвы лёссовой провинции в бассейне р. Хуанхэ. Почвоведение, No. 5, 1—12.

DISCUSSION ON THE DEVELOPMENT OF ERODED SOILS IN THE LOESSIAL HILLY REGION BY MEANS OF NUMERICAL ANALYSIS

Shi Deming and Yang Yansheng

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Summary

The eroded soils are widely distributed in the Loessial hilly region of China, which is the direct result of water and wind erosion. As the result of development of the eroded soil, the surface layer of a soil became thin, infertile, and even barren finally. Therefore, it is greatly harmful to agricultural production.

The eroded soils are generally classified by the thickness of eroded soil or that of soil layers remained.

The principal components and stepwise discriminatory analysis are based on the data from the field observation and numerical coding. In this study, four important factors (erodibility, slope, intensity of land utilization and damage from unreasonable land utilization) which influenced soil erosion were used as variable for calculation.

The study on eroded soils by means of numerical analysis reveals the relationship between eroded soil types and principal factors of erosion. It is clear that the development of eroded soils is depended upon gradient of slope in a smaller region, but it is closely depended upon status of land utilization and intensity of damage from unreasonable land utilization in a large region such as a county.

On the basis of the study, some reasonable land use patterns and soil conservation measures are suggested.