

遥感技术在土壤侵蚀定量评价中的应用

——以泰国巴萨克流域为例

王斌科

提 要

本文以巴萨克流域为例,介绍了应用航空遥感技术和通用土壤流失方程式进行土壤侵蚀潜在危险定量评价的基本方法和步骤,主要包括:1.收集分析前人的基础研究资料;2.应用航片和野外调查方法,判读解译土壤侵蚀特征,确定制图单元;3.以制图单元为基本单位,应用土壤流失方程式,确定诸因子量值,并计算土壤侵蚀量;4.结果分析与方法评价。

利用航空遥感技术和通用土壤流失方程式进行大比例尺土壤侵蚀调查,具有快速、准确、高效、简便易行和节约人力、物力等优点,成为土壤侵蚀研究工作的有效途径。本文结合笔者的工作实践,试对其实施步骤和应用效果作以分析介绍。

一、调查区域概况

工作区位于泰国北部巴萨克流域上游娄姆萨克地区,属萨王那气候,年降雨量1,200毫米,有3个主要季节,5—10月为雨季,平均温度27—28℃,降雨量占全年总降雨量的80%;11—2月为凉干季,气温23—25℃,降雨量仅占全年总降雨量的5%;3—4月为热干季,气温29—30℃。地貌类型主要有低山、丘陵、山麓缓坡和川地。地面组成物质以古生代的砂页岩和火成岩风化物为主。土地利用类型主要有农作物,草荒地和次生林灌丛与裸岩混杂区。作物一年两熟到三熟,耕作粗放,轮作方式单一(见表1)。次生林和灌丛主要生长于山地,尤其是裸岩多,土层薄的陡坡和丘陵陡坡,草地多

表1 巴萨克流域作物的物候期

月份 轮作方式	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	土地类型
豆类—蔬菜—水稻													河川地
玉米—豆类													山前缓坡地
玉米—饲草													丘陵坡地

见于低缓丘陵和山麓地带。

由于降雨分布不均,天然植被较差,土层薄,基岩出露广,加上人为不合理的刀耕火种,滥砍乱伐、过度放牧和陡坡顺坡耕种,土壤侵蚀十分强烈。同时使土壤肥力减低和作物产量下降,迫使农民进行游动农业和刀耕火种。所以,进行土壤侵蚀潜在危险的定量评价和预测,制定合理的水土保持规划是完全必要的。

二、方 法

(一) 土壤侵蚀特征的航片判读。由于许多土壤侵蚀因子的直观性,良好质量、适当比例尺的航片,是侵蚀调查尤其是其因子特征鉴定和制图单元划分的有力工具。它不仅提供了各种土壤侵蚀因子本身特征的信息资料,而且通过通视全区和主体观察,有利于了解宏观空间分布特征和区域差异。从而通过样区调查,建立解译标志,使影象特征与地面实物相符合,并内插外推,勾绘出土壤侵蚀潜在危险的分级界线。然后按要求转绘到精度可靠的底图上,同时进行一定的误差订正,在此基础上进行土壤侵蚀危险的定量评价和预测。

本项工作的样区调查采用 1:15000 象片,全区调查采用 1:50000 象片,以 1:50000 地形图作为转绘底图。勾绘制图单元的基本依据是地貌形态,地面物质组成,植被覆盖和土地利用状况以及土壤和土壤侵蚀特征的差异。土壤侵蚀潜在危险以土壤侵蚀强度(吨/公顷·年)表示。除降雨侵蚀力和土壤抗蚀性指标需要参考有关基础资料外,其它侵蚀因子均可由航片图象解译信息和样区调查资料得出。因此,在分析整流域有关基础资料的基础上,通过航片解译结合通用方程式即可确定区内土壤侵蚀的潜在危险。其分级系统采用 5 级制,由低到高依次为 1 至 5 级。

(二) 土壤侵蚀量预测。通用土壤流失方程式是坡耕地土壤侵蚀量定量预测的有效工具,在国内外都已广泛应用。其基本形式为:

$$A = RKLSCP$$

式中: A—土壤侵蚀量(吨/公顷·年); R—降雨侵蚀力(焦耳/公顷·年); K—土壤可蚀性(吨/焦耳); LS—坡长和坡度因子; C—植被与经营管理方式; P—水土保持措施。

参考前人对此公式的一些修改,我们在确定有关参数时作了一定的处理。诸参数量值的确定方法如下:

1. 降雨侵蚀力(R)。根据威斯奇迈尔的定义,降雨侵蚀力是指暴雨使土壤由裸露地面发生侵蚀的能力或能量。它反映了雨强和总雨量等降雨参数的综合影响。其理论值由下式给出:

$$R = \sum_{i=1}^n E_{i,i} \times P_i \times EI_{30}$$

$$E_{i,i} = a \log I + b$$

式中: I—雨强; $E_{i,i}$ —单位雨量的雨滴动能; P_i —第 i 次降雨的降雨量; EI_{30} —最大 30 分钟雨强; n—一年降雨次数; a、b—与雨型和动能单位制有关的经验参数。

由于工作区缺乏自记雨量资料和有关基础研究,本项工作采用前人(Shrikajon, 1984; Bergsma, 1986)对相似流域的基础研究成果和经验方法,经综合分析得出该区的降雨侵蚀力值(如表 2)。

2. 地形参数(LS)。与土壤侵蚀密切相关的主要地形因子为坡度和坡长,前者以百分数表示,共分为 9 级(如表 3)。在一定范围内,侵蚀量随坡度增大而增加。其坡长定义为从产生地表径流的那一点起到坡度减小到导致淤积的那一点或进入明显水道的

距离。一般情况下, 坡面径流的多少与坡长成正相关。坡长较大时, 发生侵蚀的可能性也较大。但也与雨强和入渗条件有关, 入渗较低或雨强较大时, 径流沿坡面越来越大, 则导致较强的侵蚀, 否则, 侵蚀将随坡长不变或减少。

表2 降雨侵蚀力(R)值的确定

项目	方法	标准方法	近似方法	年降雨量法	综合法
公 式		$R = \sum E_{\text{mm}} \times P_{\text{mm}} \times EI_{30}$	同前, 略去 $I < 1$ 英寸/小时的雨能	$R = 0.5P_{\text{mm}}^*$	$R = 0.1abc^*$
R值(公制)		588	240	600	350
本区采用		川地、丘陵和山麓: $R = 400$; 山地: $R = 500$			

* P_t 为年降雨量; a, b, c 分别为30年一遇24小时最大降雨量, 2年一遇24小时最大降雨量和1小时最大降雨量。

地形参数(LS)值是根据通用土壤流失方程式的标准坡面(坡度9%, 坡长22米), 参考威氏LS公式确定的, 如表3。由表3可见, 当坡度为6—10%, 坡长为12—30米(即标准坡面)时, LS值为1, 量级评分为0; 大于该数值的坡面(即该栏以下以

表3 地形参数(LS)值

LS值和评分 坡度(%)	坡长(米)	极短 12—30	短 30—60	中 60—150	长 150—300
近水平	0—2	0.13 - 3	0.18 - 2.5	0.25 - 2	0.35 - 1.5
微波状	2—4	0.25 - 2	0.35 - 1.5	0.5 - 1	0.7 - 0.5
强波状	4—6	0.5 - 1	0.7 - 0.5	1.0 0	1.4 + 0.5
缓起伏	6—10	1.0 0	1.4 + 0.5	2.0 + 1	2.8 + 1.5
强起伏	10—16	2.0 + 1	2.8 + 1.5	4.0 + 2	5.7 + 2.5
丘 陵	16—25	4.0 + 2	5.7 + 2.5	8.0 + 3	11.3 + 3.5
陡 坡	25—40	+ 3	+ 3.5	+ 4	+ 4.5
极陡坡	40—60	+ 3.5	+ 4	+ 4.5	
非常陡坡	60—120	+ 3.5	+ 4	+ 4.5	

注: 由 $LS = (1/22.1)^{0.5} (65.41 \sin^2\theta + 4.56\sin\theta + 0.065)$ 修订得出。
式中: l 为坡长(米), θ 为坡度。

右), $LS > 1$, 量级评分大于0, 说明相对于标准坡面, 土壤侵蚀增强; 反之, $LS < 1$, 量级评分小于0, 说明土壤侵蚀减弱。该表中, 同一坡长(纵向)条件下, 坡度每增加一级, LS值增加2倍; 同一坡度(横向)条件下, 坡长每增加一级, LS值增加 $\sqrt{2}$ 倍。这也是该表中地形指标的分级依据。

其它地形特征的影响。区外来流,是指制图单元以外较高部位进入该单元的地表径流,以该单元以上至坡顶的连续产流坡长计算,并在估算侵蚀量时附加在L值上。坡面形状通过改变径流在坡面上的再分配,来影响土壤侵蚀类型的演变。凸形坡往往与面蚀类型相对应,而凹形坡则易发生沟蚀。坡向通过对小气候和风化过程的影响作用于侵蚀过程。

3.土壤可蚀性(K)。土壤可蚀性指标表示为单位降雨侵蚀力引起的土壤流失量,是方程中唯一有因次的因子。威氏给出了K值列线图,可根据粉沙(%) + 细沙(%),粗沙(%),有机质(%)和结构性指数等值直接查取。本项工作以一些田间和室内实验资料为基础,参考其它指标综合得出。实验项目包括颗粒成分,水稳性团粒,微小区模拟冲刷,小孔冲刷和崩散等。其量级评分方法如表4。研究表明(Meyerin, 1986): $0.7 > K > 0.02$; 当 $K > 0.7$ 时,可认为土壤已无抗蚀能力,评分为0; $K < 0.04$ 时,量级评分为-5,表明土壤可蚀性极弱,抗蚀性极强。

表4

K值及评分

分级	K 值	对应的K值	量级评分
极强		0.7—0.35	-1
强		0.35—0.17	-2
中		0.17—0.08	-3
弱		0.08—0.04	-4
极弱		<0.04	-5

4.地表径流与现存的土壤侵蚀特征。地表径流是土壤水蚀的直接外营力,其类型与强度直接影响着土壤侵蚀程度与特征。由河顿定律,地表径流可分为5种:

河顿型:超渗产流所成;

延迟河顿型:在粘质土的干裂和膨胀作用条件下所成;

表土饱和型:形成于有相对不透水层或弱透水层的土壤条件下;

无地表径流:高渗透性土壤和低雨强区;

全饱和型:高地下水位地带或下伏基岩的薄层土壤区。

这些地表径流类型常与一定的侵蚀程度相对应,河顿型和表土饱和型往往出现于强烈侵蚀区,后两种一般在弱侵蚀区。现存的土壤侵蚀特征是未来侵蚀危险加剧的标志,其类型主要分为溅蚀、片流、细沟、沟蚀和块体运动(mass movement)等,常与地表径流类型一起在图例符号中反映出来,可作为定量评价的参考指标。

5.土地利用和作物管理因子。地面覆盖包括土地利用类型及其管理状况,是影响土壤侵蚀的可变因素。它通过截留降雨,缓冲雨滴动能,同时增加地面糙度,减弱径流等降低土壤冲蚀。它对土壤的保护作用以C值表示,与土地利用类型及被覆度有关。

1) 农作物。由于作物生长的季节性,作物年C值由其月C值与R值的逐月分配的加权平均值而得。作物生长长期月C值由有关资料(Wischmeier, 1970)得出,休闲季C值结合田间观察统计的覆盖度资料确定(如表5),评分方法如表6。

表5		作物C值												年C值
月C值C _i	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
作物类型														
玉米—豆类		0.5	0.4	0.3	0.3	0.6	0.4	0.48	0.6	0.4	0.3	0.5	0.3	0.45
物候期		玉米						豆类						
豆类—蔬菜—水稻		0.3	0.3	0.3	0.4	0.25	0.25	0.3	0.4	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3
物候期		豆类			蔬菜				水稻					
R值月分配 (∑ _R ¹² %)		1	2.6	3.8	5.9	13	12.8	14.7	16.9	20	8.1	1.1	0.2	100

注: $C = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^{12} C_i R_i$

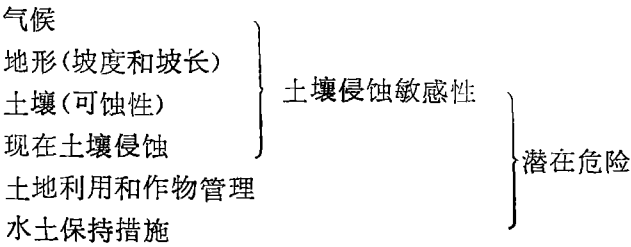
2) 草地和灌丛。其C值主要根据地面覆盖度确定(如表6)。

3) 次生林。树冠能够截留降雨，缓冲雨滴对地面的直接打击。但过高的树冠使叶面下落的水滴对地面仍有较强的击溅作用。考虑到调查区干季明显，土层薄，树干矮小，树冠稀疏，加之具有较好的草灌植被覆盖，其C值由其总覆盖度确定，评分方法同表6。

表6		草荒地C值与评分	
覆盖度(%)		相应C值	量级评分
0—7		1.0	0
7—21		0.7	- 0.5
21—35		0.5	- 1
35—66		0.25	- 2
66—83		0.12	- 3
83—100		0.06	- 4, - 5, - 6

6. 水土保持措施(P)。调查区基本上缺乏典型的水保措施,但研究表明,顺坡耕作与斜向耕作(犁型方向与等高线方向的夹角小于60°)和等高耕作的土壤侵蚀有较大差异(Bergsma, 1985),且这种差异与耕地坡度有关。顺坡耕作在各种坡度下P值均为1,而等高耕作和斜向耕作在坡度为2—7%时最为有效,P值分别为0.5和0.75,相应的评分为- 1和- 0.5。

土壤侵蚀潜在危险及其与上述诸因子的关系可由下图式表示。



其中, 由气候、地形、土壤和现在土壤侵蚀特征等自然因素所引起的土壤侵蚀称为土壤侵蚀敏感性, 是比较难控制的。而土壤侵蚀潜在危险同时包括了土地利用和水保措施等与人类活动密切相关的因素, 可通过合理的人为活动给予影响。由通用土壤流失方程式, 土壤侵蚀敏感性和潜在危险可通过累计诸因子的量级评分或连乘诸因子值而得。尔后应用表7的分级系统即可得出相应的等级。分级采用5级制。

表7

土壤侵蚀强度的分级系统

分级名称	分级指标 (吨/公顷·年)	侵蚀危险(R=500) (吨/公顷·年)	量级评分	侵蚀危险R=400) (吨/公顷·年)	量级评分
微度(VL)	0—5			2	- 6
轻度(L)	5—12	7	- 6	51	- 5
中度(M)	12—25	15	- 5	25	- 4
强度(H)	25—60	30	- 4	50	- 3
极强度(VH)	>60	62	- 8	100	- 2
		125	- 2		
		250	- 1	200	- 1
		500	0	400	0

例如: 估算 M_{115} 单元的侵蚀量, 其侵蚀因子值分别如下:

$$R = 500, K = 0.12(-3), LS = 2(+1), C = 0.38(-1.5), P = 1(0)$$

$$\text{则: 累计评分} = (-3) + (+1) + (-1.5) + 0 = -3.5$$

查表7, $A = 46$ (吨/公顷·年), 属强度(H)级。

$$\text{或: 由 } A = 500 \times 0.12 \times 2 \times 0.38 = 46 \text{ (吨/公顷·年)}$$

查表7, 属强度(H)级。

各制图单元的详细估算结果如表8。

三、结果分析与方法评价

全调查区共12,598.4公顷, 合126平方公里。由上述估算预测, 都具有不同程度的土壤侵蚀危险。由微度到极强度5级, 各级侵蚀程度的面积及其在主要土地类型中所占的比例如表9。由此可见, 本区土壤侵蚀有以下特点:

表9

侵蚀潜在危险预测结果

等级	面积(公顷)	占总面积%	山地		丘陵		山麓		川地	
			占总面积%	占山地%	占总面积%	占丘陵%	占总面积%	占山麓%	占总面积%	占川地%
微度	3,703.9	29.4	1.7	5			18.6	61.6	9.1	100
轻度	1,524.4	12.1	0.5	1.6			11.6	38.4		
中度	1,398.4	11.3	0.2	0.6	11.1	41.4				
强度	1,279.6	10.6	3.4	10	7.2	26.9				
极强	4,674.0	36.6	28.1	82.9	8.5	31.7				
总计	12,598.4	100	33.9	100	26.8	100	100	100	9.1	100

巴萨克流域土壤侵蚀潜在危险评价结果表

表8

制图单元	地貌部位	主要土壤类型 (亚类)	降雨 侵蚀力 (R)	土壤可蚀性及评分 (K)	坡 度 (%)	坡 长 (米)	LS 评分	敏感性等 级和强度 (吨/公顷·年)	土地利用 及C值评分	耕作 措施评分 (/斜向耕 作)	潜在危险 等级与强度 (吨/公顷·年)
M ₁₁₁	平 山 脊	氧化薄层干老成土	500	0.08—3.5	3—5	30	-2	L10	g-0.5		L7
M ₁₁₂	前 坡	石质薄层干老成土	"	0.12—3	50—65	120—150	+4.5	VH750	f-2.5		VH250
M ₁₁₃	背 坡	氧化残存干老成土	"	0.08—3.5	20—25	80—100	+3	VH350	a-1		VH180
M ₁₁₃	背 坡	氧化薄层干老成土	"	0.06—4	30—35	200—300	+4.5	VH600	g-2.5		VH123
M ₁₁₄	麓 坡	氧化残存干老成土	"	0.12—3	5	50—60	-0.5	H45	a-1	/-0.5	M30
M ₁₁₅	川坡复区	典型残存干老成土	"	0.12—3	10—15	25—30	+1	VH125	a-1.5	/05	H46
M ₂₂₁	岭 山 脊	石质薄层干老成土	"	0.08—3.5	30—40	25—30	+3	VH600	g-1.5		VH125
M ₂₂₃	山 坡	石质薄层干老成土	"	0.12—3	20—25	50—100	+3	VH500	f-2		VH125
M ₃₃₅	山脊复区	裸 岩 为 主	"	—	—	—		VL			VL
M ₃₃₄	麓 坡	典型干热带始成土	400	0.06—4	20—25	40—60	+2.5	VH200	a-1		VH92
M ₃₂₃	背 坡	典型薄层干老成土	"	0.12—3	8—10	120—150	+1	VH100	f-1.5		H37
M ₃₂₂	前 坡	石质薄层干老成土	"	0.12—3	35—40	25—30	+3	VH400	f-2.5		VH92
M ₄₄₅	山地复区	氧化薄层干老成土	"	0.12—3	20—25	50—70	+2.5	VH300	a-1	/0	VH150

续表 8

制图单元	地貌部位	主要土壤类型 (亚类)	降雨 侵蚀力 (R)	土壤可蚀性及评分 (K)	坡 度 (%)	坡 长 (米)	LS 评分	敏感性等 级和强度 (吨/公顷·年)	土地利用 及C值评分	耕作 措施评分 (/公顷·年)	潜在危险 等级和强度 (吨/公顷·年)
H ₅₁₅	沙岩低丘	典型薄层干老成土	400	0.08—3.5	5—10	120—150	+1	VH75	a-1		H37
H ₅₈₅	火成岩低丘	石质干热带始成土	"	0.08—3.5	10—15	50—60	+1.5	VH100	t-2		M25
H ₅₅₅	页岩低丘	石质薄层干老成土	"	0.25—2	10—15	120—150	+2	VH500	a-1.5		VH150
H ₅₂₃	丘 背 坡	典型薄层干老成土	"	0.12—3	6—8	25—30	0	H50	a-1	/-0.5	M18
H ₅₂₂	丘 前 坡	石质干热带始成土	400	0.17—2.5	20—25	20—30	+2	VH300	s-1.5		VH100
P ₃₃₅	低 丘	湿润粘化干软土	"	0.04—4.5	10—15	25—30	+1	H87	a-2	/0	L8
P ₆₆₆	堆积缓坡	典型薄层干老成土	"	0.08—3.5	5	20—30	-1	M18	f-1		L8
P ₇₇₆	侵蚀高缓坡	典型薄层干老成土	"	0.08—3.5	2—5	50—60	-1.5	M12	a-1	/-0.5	L8
P ₇₇₇	侵蚀低缓坡	典型薄层干淋溶土	"	0.06—4	2—5	50—60	-1.5	L9	a-1	/-0.5	VL2.5
P ₈₇₈	坡川复区	典型薄层干淋溶土	"	0.06—4	2—5	25—30	-2	L6	a-1.5	/-0.5	VL1.5
V ₈₉₈	川 地	冲积饱和热带始成土	"	0.06—4	1—2	15—30	-3	VL3	a-1.5		VL1

注: M山地、H丘陵、P山麓、V川地、g草地和荒地、f次生林、a农作物、s灌丛。

1) 调查区土壤侵蚀比较严重, 中度到极强度的土壤侵蚀面积达58%以上。

2) 极强度侵蚀主要发生在山地和新开垦的丘陵坡地, 强度和中度侵蚀主要发生在丘陵坡耕地, 山麓地带为微到轻度侵蚀, 川地只有微度侵蚀。

3) 侵蚀强度的地域分布不均, 主要与调查区的地形特征有关, 土地利用类型, 被覆度和土壤性质亦给予很大影响。

总之, 应用航空遥感技术和通用土壤流失方程式进行大比例尺土壤侵蚀调查制图和侵蚀量估算预测, 具有速度快, 精度高, 结果可靠和简单易行等优点。据局部抽样调查和精度估算, 其预测结果在川地和丘陵的精度可达90—95%, 在20°以上的陡坡上可达85%左右。但是, 土壤侵蚀是个比较复杂的过程且具有地区性特点, 用此方法估算侵蚀量仍属尝试, 尤其是在地形起伏较大, 土壤发育较差的条件下, 其估算结果不很理想。许多具体问题还有待进一步探讨, 例如:

1. 应用通用土壤流失方程式的有效坡度范围在22%以下, 对地形坡度较大的地区, 估算结果往往偏大, 如山地的侵蚀强度预测结果与实际有一定出入。

2. 植被因子C值变化范围在0.004—0.8之间, 其大小对估测结果影响敏感, 该值的确定不仅要有较为充实的田间观测数据而且应结合一定的定位实验资料。

3. 可蚀性因子的影响因素复杂, 其测定手段有待于进一步完善。

参 考 文 献

- [1] Bergsma E: Aerial photo interpretation for soil erosion and conservation survey, ITC lecture notes, 1974.
- [2] Bergsma E: Classes of relief susceptibility for surface erosion, 1985.
- [3] Bergsma E: Classification of potential erosion and erosion hazard, ITC lecture notes, 1985.
- [4] Meyerin: Erosion and sediment in catchments, ITC lecture notes, 1983.
- [5] Wischmeier W.H & D.D.Smith: Predicting rainfall erosion loss, USDA. Agr. Handbook No 537, 1978.
- [6] Shrikajon: Application of the USLE for Thailand, 1984.
- [7] Morgan R.P.C.: Soil erosion, 1980.

Application of Remote Sensing Techniques to Quantitative Evaluation of Soil Erosion

—Taking Pasak Watershed, Thailand as an example

Wang Binke

Abstract

In this paper, the method and procedure, by which soil erosion hazard is quantitatively evaluated and predicted with application of aerial remote sensing techniques and USLE, is introduced, including collection of previous base research data, photo interpretation of soil erosion feature together with field survey, and mapping unit delineation, factor quantity, soil loss calculation in a mapping unit using USLE, and then, result analysis and method evaluation.