

土壤流失方程在山区耕地可持续利用适宜性评价与土地利用规划中的应用^{*}

杨子生

(云南大学地球科学系 昆明 650091)

提 要 应用已建立的土壤流失方程进行了滇东北山区基于可持续利用的耕地适宜性评价,以土壤抗蚀年限为主要指标,将山区耕地适宜性和可持续性程度分为高度适宜(高度持续)、中度适宜(中度持续)、低度适宜(低度持续)、有条件适宜(有条件持续)、不适宜(不可持续)5个等级。研究结果表明,土壤流失方程在山区耕地适宜性与可持续性评价以及土地利用规划工作中具有较大的应用价值。

关键词 土壤流失方程 耕地适宜性 可持续利用 评价 土地利用规划

分类号 《中图法》F301.21, F301.24, S157.2

1 山区耕地适宜性与可持续利用评价的内涵

土地适宜性评价和可持续利用研究是现代土地利用规划的重要依据。尤其对水土流失严重的山区,在开展土地适宜性和可持续利用评价基础上,科学地制定土地合理利用规划方案,并按规划确定的土地用途对农地和非农地实施严格用途管制,是促进山区水土保持与土地可持续利用的重大措施^[1]。

传统的土地适宜性评价一般系选取地形坡度、水热条件、土层厚度等相对稳定的指标来综合评定土地对某种用途的适宜与否及其适宜程度^[2]。当然,正如联合国粮农组织(FAO)^[3](1976)对土地适宜性所作的规定,“适宜性指的是确立在长期持续基础上的用途”,并将此作为土地适宜性评价的基本原则之一。按这一原则,有些土地利用方式在短期内很能获利,但可能导致水土流失、土地质量退化或使河流下游发生不利的变化,这类后果会超过短期的获利能力,因而在适宜性分类上应列为“不适宜”类。可见,以往的土地适宜性评价在很大程度上已考虑了土地可持续利用问题,因而与当今随着世界各国对可持续发展问题的日益重视而兴起的土地可持续利用研究具有很大的—致性或相应性。联合国粮农组织(1993)^[4]在《持续土地管理评价大纲》中提出持续土地利用管理的评价标准是:1. 保持和提高土地的生产力;2. 降低生产风险(主要是减少水土流失等自然灾害);3. 保护资源,避免资源质量退化;4. 经济上具有可行性;5. 为社会所接受。这5条标准虽与以往的土地适宜性评价指标不完全相同,但两者的内涵相近,目标亦相似,都是为了确保合理、持续地利用土地。

滇东北山区是长江上游著名的水土流失灾害区,也是“长江上游水土保持重点防治工程”治理计划的重点区域,本区严重的水土流失主要发生在坡耕地上^[5],这是长期以来不断毁林开荒、陡坡垦殖的必然结果(多数贫困山区均如此),因而耕地适宜性程度和可持续利用程度在很大程度上取决于水土流失程度(soil erosion degree)。可以认为,对于坡耕地而言,上述5条持续土地利用的评价标准集中体现在水土流失程度上。这是因为:1. 保持和提高坡耕地生产力需要以控制坡耕地土壤侵蚀、减少坡耕地“三跑”(即跑土、跑水、跑肥)为基本前提和基础;2. 降低坡耕地生产风险主要取决于能否防治水土流失灾

^{*}国家自然科学基金资助项目(编号49461007)。

收稿日期:1999—03—25。

害; 3. 能否保护坡耕地资源、避免坡耕地资源质量退化, 也主要取决于坡耕地水土流失的治理; 4. 坡耕地利用效益的高低, 很大程度上也取决于其水土流失状况, 一般, 水土流失严重的坡耕地因跑土、跑水、跑肥而使土壤肥力下降、洪旱灾害加剧, 其生产率和经济效益必然低下; 5. 从社会接受性来看, 陡坡耕地的退耕问题为社会各界所接受, 但对于坡度虽 $< 25^{\circ}$ 、水土流失却较严重的广大坡耕地, 山区群众和政府为了解决“温饱”问题, 只能维持耕地用途而不可能“退耕”, 然而任其发展下去, 将使土层越冲越薄, 可持续性程度越来越低, 最终难以长期持续利用。上述表明, 水土流失问题是山区坡耕地可持续利用的基本制约因素。另一方面, 由于水土流失程度已综合考虑了以往土地适宜性评价中常用的地形坡度、土层厚度、土壤质地等多种指标, 因而水土流失程度从根本上决定着山区坡耕地的适宜性, 即坡耕地水土流失越严重, 其适宜性程度越低, 甚至不适宜耕作; 相反, 若坡耕地水土流失轻微, 其适宜性程度则高, 单产水平一般也较高。

可见, 山区耕地的适宜性、可持续性与水土流失程度是显著相关的。鉴于山区耕地适宜性与可持续性的一致性或相应性, 本文将此二者结合起来考虑, 称之为“基于可持续利用的山区耕地适宜性”, 并试图用水土流失程度来分析这种适宜性, 将其基本内涵确定为: 水土流失轻微或能够通过采取治理改造措施控制水土流失, 可长期保持足够的有效土层满足农作物生长需要, 从而维持适宜耕作的性能和长期的持续利用, 单产水平得以保持并可有所提高。

2 山区耕地适宜性和可持续性等级划分与评价指标

2.1 山区耕地适宜性和可持续性等级的划分

传统的适宜性评价一般将适宜性程度等级分为高度适宜、中度适宜、低度适宜(又称勉强适宜或临界适宜)、不适宜 4 级。与此相适应, 土地利用的可持续性程度等级亦可分为高度持续、中度持续、低度持续和不可持续 4 级。鉴于滇东北山区坡耕地水土流失的严重性以及坡耕地对解决本区温饱问题的重要性, 从合理利用、保护和改造坡耕地资源的目标出发, 这里增设 1 个等级, 即“有条件适宜”和“有条件持续”, 系指目前水土流失已较为严重, 但只要在一定期限(本文确定为 10 a~30 a)内实施“坡改梯”等有效水土保持措施即可维持一定厚度的有效土层, 确保适宜耕作的性能和可持续利用。因此, 本文的评价等级系统共分 5 级, 其含义见表 1。

表 1 滇东北山区耕地适宜性与可持续性等级系统及其含义

Table 1 The system of cultivated land suitability and sustainability classes and theirs meaning in the northeast mountain region of Yunnan province

耕 地 适宜性等级	耕地利用 可持续性等级	含 义
I、高度适宜	I、高度持续	无明显水土流失, 耕地质量好, 在生产上无限制或仅轻微限制, 产量较高; 在正常利用下, 不会对当地或邻近地区产生不良后果, 不会发生土地退化, 能长期持续利用。
II、中度适宜	II、中度持续	有轻度水土流失, 侵蚀速度大于土壤形成速度, 若不加以治理改造, 有加剧侵蚀之危险。需要采取一定的改造或保护措施, 以免产生土地退化、影响可持续利用。单产一般为中等水平。
III、低度适宜	III、低度持续	有中度、强度甚至极强度水土流失, 对土壤危害较大, 表土冲刷日趋加剧, 土壤生产力下降。需要较快采取大力改造和保护措施, 否则易发生土地退化以至难以长期持续利用。
IV、有条件适宜	IV、有条件持续	有强度、极强度甚至极剧烈水土流失, 对土壤危害大, 表土冲刷严重, 并日益危及 B 层, 土壤生产力显著下降甚至丧失生产能力。需尽快采取“坡改梯”等有效水土保持措施, 否则一定期限(10~30 年)后难以再保持农作物生长所需要的有效土层, 从而丧失耕作性能。
V、不适宜	V、不可持续	有剧烈甚至极剧烈水土流失, 对土壤危害极大, 土层越冲越薄(一般不足 20 cm)甚至已无土层, 需要尽快退耕还林还牧, 否则不久之后将演化成不能再利用的砂石地或石质荒坡地。

2.2 评价指标

如上分析, 评价山区耕地适宜性与可持续性的主要指标应是水土流失程度。一般, 表征水土流失程度所采用的是土壤侵蚀强度(soil erosion intensity)和土壤侵蚀潜在危险程度(potential danger degree of soil erosion)2 个指标。我国土壤侵蚀强度根据平均侵蚀模数($t/km^2 \cdot a$)和年均侵蚀深度(mm/a)分为微度侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀、极强度侵蚀和剧烈侵蚀 6 个级别^[6](见表 2)。土壤侵蚀潜在危险程度可根据土壤的抗蚀年限(erosion-resistant age)划分为无险型、危险型、极险型、毁坏型 5 个级别。抗蚀年限系指有效土层厚度与年均侵蚀深度之比值, 它可反映出土壤在保持当前侵蚀强度下所能供农业利用的年限, 亦即可持续性程度大小。因此, 我们选取土壤抗蚀年限和侵蚀强度这 2 个既密切联系又有区别的水土流失程度指标作为山区耕地适宜性与可持续性评价的主要指标。其中, 抗蚀年限为第一位指标, 其计算方法是:

$$Ae = 10 Ta / De, De = \frac{A - T}{10 \cdot Bd}$$

(1)

式中 Ae 代表土壤的抗蚀年限(a), De 代表年均侵蚀深度(mm), Ta 代表有效土层厚度(cm), A 为单位面积多年平均土壤流失量($t/hm^2 \cdot a$), 亦即土壤侵蚀模数, T 为土壤允许流失量($t/hm^2 \cdot a$), B_d 为土壤容重(g/cm^3 或 t/m^3)。应指出, 我国过去在计算土壤抗蚀年限时, 大多未考虑土壤允许流失量值, 这显然欠妥。土壤允许流失量(soil loss tolerance)是指在长时期内保持土壤肥力(包括土层厚度)不下降、维持高水平生产力的前提下所允许的最大土壤流失量($t/hm^2 \cdot a$)^[6], 可简称 T 值。土壤受到侵蚀又保证肥力不下降, 必须在侵蚀的同时生成同等的物质质量, 以抵偿流失掉的土壤, 亦即成土过程必须与侵蚀过程基本保持平衡。美国学者贝内特(Bennett H H, 1939)推算, 在无外界破坏的自然条件下, 约 300 a 可形成 2.5 cm 的土壤层, 但在人为耕作条件下, 大约 30 a 即可形成同样厚度的土壤。

据此计算, 农耕地每年允许流失的土层厚度约为 0.8 mm。美国官方机构确定耕地的 T 值为 $12.5 t/hm^2 \cdot a$, 原苏联定为 $3.4 t/hm^2 \cdot a \sim 10.9 t/hm^2 \cdot a$ ^[7]; 我国水利部 1984 年颁布的土壤侵蚀强度分级规定中, 根据区域特点, 将无明显侵蚀或微度侵蚀的流失量(即 T 值)确定为 2.0、5.0 和 $10.0 t/hm^2 \cdot a$ 3 个等级, 云南定为 $5.0 t/hm^2 \cdot a$ (见表 2); 史德明^[8](1987)在南方红壤地区采用的 T 值标准亦为 $5.0 t/hm^2 \cdot a$ 。我们考虑到滇东北山区坡耕地

表 2 我国土壤侵蚀强度分级标准^{1, 2)}

Table 2 Classification indexes of soil erosion intensity in our country

级 别	平均侵蚀模数 ($t/hm^2 \cdot a$)	年均侵蚀深度 (mm/a)
I、微度侵蚀(无明显侵蚀)	< 200, 500, 1000	< 0.16, 0.4, 0.8
II、轻度侵蚀	(200, 500, 1000) ~ 2500	(0.16, 0.4, 0.8) ~ 2
III、中度侵蚀	2500 ~ 5000	2 ~ 4
IV、强度侵蚀	5000 ~ 8000	4 ~ 6
V、极强度侵蚀	8000 ~ 15000	4 ~ 12
VI、剧烈侵蚀	> 15000	> 12

1) 水电部. 关于土壤侵蚀类型划分和强度分级标准的规定, 1984
2) 云南省采用的微度侵蚀标准为: 平均侵蚀模数 < 500 $t/km^2 \cdot a$, 年均侵蚀深度 < 0.4 mm/a ; 轻度侵蚀标准为: 平均侵蚀模数 500 $t/km^2 \cdot a \sim 2500 t/km^2 \cdot a$, 年均侵蚀深度 0.4 ~ 2 mm/a 。见: 水利电力部天津勘测设计院、云南省水利水电路厅. 应用遥感技术调查云南省土壤侵蚀报告, 1998

土层较薄、透水性能大多较差, 侵蚀强度又很严重, 故将 T 值定为 $2.5 t/hm^2 \cdot a \sim 5.0 t/hm^2 \cdot a$ (约 0.2 $mm/a \sim 0.4 mm/a$)^[9]。正由于各类土壤均有一定的 T 值, 在计算土壤抗蚀年限、评价可持续利用程度时, 需要同时考虑实际流失量(A)和允许流失量(T)2 个方面, 才可得出正确的结论。

考虑到滇东北山区坡耕地土壤侵蚀的严重性, 侵蚀强度等级在表 2 基础上再增设 1 个等级, 即“极剧烈侵蚀”, 其划分标准是平均侵蚀模数 > 22 000 $t/km^2 \cdot a$ 。表 2 中“剧烈侵蚀”的划分标准改为: 平均侵蚀模数 15 000 $t/km^2 \cdot a \sim 22 000 t/km^2 \cdot a$ 。

此外, 在耕地适宜性和可持续利用评价中, 常常将年粮食单产量($t/hm^2 \cdot a$)作为必要的参考指标。由于高寒山区海拔过高, 热量条件较差, 作物大多只能一年一熟, 从滇东北山区来看, 少部分海拔过高、一般耐寒作物难以正常生长的高寒耕地并不适宜于耕作, 需要退耕。水源状况虽与水土流失程度有较大的相关性, 但一些山区尤其干热河谷山地天然降水少, 呈严重干旱缺水, 这部分无水源保证、一定期限

内又不能建设水源工程的零星坡耕地亦不适宜耕作。鉴此, 这里进一步选取年粮食单产量($t/hm^2 \cdot a$)、作物熟制(热量条件)和水源保证程度作为滇东北山区耕地适宜性和可持续性评价的 3 个辅助指标。各指标分级标准见表 3。

表 3 滇东北山区耕地适宜性和可持续利用评价指标
Table 3 The indexes of cultivated land suitability and sustainable use evaluation in the northeast mountain region of Yunnan province

耕 地 适宜性等级	耕地利用 可持续性等级	主 要 评 价 指 标		辅 助 指 标		
		土壤抗蚀年限 (a)	土壤侵蚀强度	年粮食单产量 ($t/hm^2 \cdot a$)	作物熟制 (热量条件)	水源保证 程 度
I、高度适宜	I、高度持续	> 1000	微蚀~轻度	> 7.5(高产)	一年二熟或三熟	高
II、中度适宜	II、中度持续	1000~100	轻度~中度	7.5~4.5(中产)	一年二熟	中等
III、低度适宜	III、低度持续	100~30	强度~剧烈	< 4.5(低产)	一年一熟或二熟	较低
IV、有条件适宜	IV、有条件持续	30~10	极强度~极强烈	< 4.5(低产)	一年一熟或二熟	较低
V、不适宜	V、不可持续	< 10	剧烈~极剧烈	< 1.5(单产极低)	耐寒作物不稳	无保证

3 应用土壤流失方程评价山区耕地适宜性与可持续性的方法

上述表明, 计算山区耕地适宜性与可持续性评价的主要指标——抗蚀年限(A_e)的关键是测算单位面积多年平均土壤流失量(即 A 值), 滇东北山区坡耕地土壤流失方程^[9]正是为此而研制的, 它能较方便地测算该区域任一地块的 A 值。

3.1 土壤流失方程简介

滇东北山区坡耕地土壤流失方程系以美国“通用土壤流失方程”(USLE)^[10]为基础, 通过建立 32 个试验小区并进行连续 3 年的观测试验, 分析确定各项侵蚀因子指标, 从而建立起适合滇东北山区的土壤流失预测预报方程。方程的基本形式为

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \tag{2}$$

式中 A 为单位面积多年平均土壤流失量($t/hm^2 \cdot a$); P 为降雨侵蚀力(J/m^2); K 为土壤可蚀性因子($t/hm^2 \cdot a$); LS 为地形因子, 其中 L 为坡长(m), S 为坡度($^\circ$); C 为作物经营因子; P 为水土保持措施因子。各因子的计算和确定方法详见文献[9]和[11~15]。

3.2 评价方法与步骤

3.2.1 测算各地块的 A 值

以图 1 中的 21 号地块为例, 测算 A 值的过程分 6 步进行: (1)根据已绘制的滇东北山区降雨侵蚀力等值线图^[11]查得其 R 值为 $269.4 J/m^2$; (2)根据该地块的土壤机械组成、有机质含量、土壤结构等参数按修正诺模方程^[12]计算得其 K 值为 $0.302 t/hm^2 \cdot a$; (3)根据该地块的平均地形坡度(18°)和坡长(16.8 m), 按 LS 计算公式^[13]得到其 LS 值为 5.20; (4)按地块种植作物情况分析其 C 值^[14], 该地块约为 0.35; (5)按地块的水土保持措施类型确定其 P 值^[15], 该地块为顺坡耕作, 无任何水土保持措施, 故其 P 值为 1.00; (6)根据式(3)计算得该地块的 A 值为 $148.0 t/hm^2 \cdot a$ 。

3.2.2 计算各地块的 A_e 值

根据式(1), 在计算地块的 A_e 值时, 尚需确定其 T 、 B_d 和 Ta 3 个参数值。

T 值的确定: 一般, 侵蚀越严重的土壤, 被确定的 T 值越低^[9]。我们已综合分析确定出滇东北山区耕地土壤的 T 取值范围为 $2.5 \sim 5.0 t/hm^2 \cdot a$ ^[9]。图 1 中的 21 号地块 T 值确定为 $4.0 t/hm^2 \cdot a$ 。

B_d 值的确定: 一般可取平均值 $1.25 g/cm^3$ 。根据典型实测结果, 可由耕作土壤松紧度大致评定其稳定容重值(见表 4)。

表 4 耕作土壤松紧度与稳定容重值
Table 4 Tightness degree and stable bulk density of cultivated soil

松紧状况	稳定容重值 (g/cm^2)
过 松	< 1.00
适 宜	1.00~1.10
稍 紧	1.25左右
过 紧	1.30~1.40
甚紧、或有结壳	> 1.40

表 5 图 1 中各坡耕地单元的土壤流失量计算与适宜性和可持续性评价表
Table 5 The calculation of soil loss amount of every sloping cultivated land unit and its suitability and sustainability evaluation in figure 1

地块 编号	地块 类型	平均 坡度	地 块 基 本 性 状		土壤流失量计算因子指标					计算结果		主要评价指标		辅助指标		评价结果	
			有效土层 厚度(cm)	R	K	LS	C	P	A	T	抗蚀年限 (a)	侵蚀强度 级别	粮食单产量 (t/hm ² ·a)	作物熟制 (熟/a)	水源保证 程 度	适宜性 等 级	可持续性 等 级
1	坡旱地	10°	38	232.4	0.360	2.78	0.35	1.00	81.4	3.2	60.7	极强度	1.5~4.5	2~3	较低	Ⅲ	Ⅲ
2	坡旱地	20°	红壤	233.2	0.362	5.82	0.35	1.00	172.0	3.0	24.6	剧烈	1.5~3.0	2~3	较低	Ⅳ	Ⅳ
3	坡旱地	18°	红壤	235.4	0.360	4.26	0.35	1.00	126.4	3.0	35.5	极强度	1.5~4.5	2~3	较低	Ⅲ	Ⅲ
4	坡旱地	16°	红壤	239.8	0.358	4.15	0.35	1.00	124.7	3.5	36.1	极强度	1.5~4.5	2~3	较低	Ⅲ	Ⅲ
5	坡旱地	26°	红壤	239.5	0.358	7.83	0.35	1.00	235.0	3.0	9.7	极剧烈	<2.5	2~3	较低	V	V
6	坡旱地	20°	红壤	240.0	0.356	5.94	0.25	0.032	4.1	3.0	5113.6	微度	4.5~7.5	2~3	中等	Ⅱ	Ⅱ
7	灌溉梯田	18°	水稻土	235.2	0.214	4.20	0.20	0.032	1.4	4.0	永久	微度	4.5~7.5	2~3	高	Ⅱ	Ⅱ
8	坡旱地	15°	红壤	235.0	0.362	4.22	0.35	1.00	125.6	3.0	35.7	极强度	1.5~4.5	2~3	较低	Ⅲ	Ⅲ
9	坡旱地	18°	红壤	235.6	0.360	4.18	0.35	1.00	124.1	3.0	41.3	极强度	1.5~4.5	2~3	较低	Ⅲ	Ⅲ
10	梯旱地	12°	红壤	235.8	0.360	3.32	0.35	0.032	3.2	3.0	34375.0	微度	1.5~4.5	2~3	较低	Ⅲ	Ⅲ
11	灌溉梯田	12°	水稻土	236.0	0.214	2.95	0.20	0.032	1.0	4.0	永久	微度	4.5~7.5	2~3	高	Ⅱ	Ⅱ
12	坡旱地	15°	红壤	244.5	0.362	4.32	0.35	1.00	133.8	3.0	38.2	极强度	1.5~4.5	2~3	较低	Ⅲ	Ⅲ
13	灌溉梯田	12°	水稻土	244.0	0.212	2.78	0.20	0.032	0.9	4.0	永久	微度	4.5~7.5	2~3	高	Ⅱ	Ⅱ
14	坡旱地	15°	红壤	242.0	0.364	3.96	0.35	1.00	122.1	3.0	39.9	极强度	1.5~4.5	2~3	较低	Ⅲ	Ⅲ
15	坡旱地	22°	红壤	248.5	0.360	7.10	0.35	1.00	222.3	3.0	18.2	极剧烈	1.5~3.0	2	中等	Ⅱ	Ⅱ
16	坡旱地	15°	红壤	255.6	0.362	4.76	0.25	0.032	3.5	3.0	7164.2	微度	4.5~6.0	2	中等	Ⅱ	Ⅱ
17	坡旱地	21°	红壤	252.4	0.365	7.05	0.35	1.00	227.3	3.0	21.7	极剧烈	1.5~3.0	2	较低	Ⅳ	Ⅳ
18	轮歇地	28°	红壤	258.4	0.366	8.04	0.35	1.00	266.1	3.0	9.5	极剧烈	<1.5	1~2	无保证	V	V
19	轮歇地	25°	红壤	252.5	0.366	8.40	0.35	1.00	271.7	3.0	9.3	极剧烈	<1.5	1~2	无保证	V	V
20	坡旱地	15°	紫色土	268.4	0.412	5.02	0.35	1.00	194.3	2.5	18.8	剧烈	1.5~4.5	2	较低	Ⅳ	Ⅳ
21	坡旱地	18°	黄棕壤	269.4	0.302	5.20	0.35	1.00	148.0	4.0	30.4	极强度	1.5~4.5	2	较低	Ⅳ	Ⅳ
22	坡旱地	22°	黄棕壤	265.6	0.362	6.95	0.25	0.032	5.3	3.0	2131.5	微度	4.5~7.5	2	中等	Ⅱ	Ⅱ
23	梯旱地	18°	黄棕壤	280.2	0.298	5.42	0.35	0.032	5.1	4.0	5263.1	微度	4.5~7.5	1~2	中等	Ⅱ	Ⅱ
24	坡旱地	24°	黄棕壤	285.6	0.298	6.62	0.35	1.00	197.2	4.0	16.2	剧烈	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅳ	Ⅳ
25	坡旱地	18°	黄棕壤	284.5	0.296	6.12	0.35	1.00	180.4	4.0	24.8	剧烈	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅳ	Ⅳ
26	梯旱地	22°	黄棕壤	295.0	0.300	6.23	0.35	0.032	6.2	4.0	2298.7	微度	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅲ	Ⅲ
27	坡旱地	20°	黄棕壤	298.5	0.302	8.12	0.35	1.00	256.2	4.0	9.9	极剧烈	<1.5	1~2	较低	V	V
28	坡旱地	22°	黄棕壤	295.4	0.298	6.52	0.35	1.00	200.9	4.0	15.9	剧烈	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅳ	Ⅳ
29	坡旱地	18°	黄棕壤	286.5	0.298	6.15	0.35	1.00	183.8	4.0	20.9	剧烈	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅳ	Ⅳ
30	梯旱地	22°	黄棕壤	275.4	0.299	6.48	0.25	0.032	4.3	4.0	16666.7	微度	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅲ	Ⅲ
31	坡旱地	26°	黄棕壤	269.5	0.296	7.98	0.35	1.00	222.8	4.0	9.1	极剧烈	<2.0	1~2	较低	V	V
32	坡旱地	22°	黄棕壤	270.8	0.300	6.85	0.35	1.00	194.8	4.0	14.4	剧烈	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅳ	Ⅳ

续表 5

地块 编号	地块基本性状			土壤流失量计算因子指标				计算结果		主要评价指标		辅助指标		评价指标				
	地类	平均 坡度	土壤 类型	有效土层 厚度(cm)	R (J/m ²)	K (t/hm ² ·a)	LS (a)	C	P	A (t/hm ² ·a)	T (t/hm ² ·a)	抗蚀年限 (a)	侵蚀强度 级别	粮食单产量 (t/hm ² ·a)	作物熟制 (熟/a)	水土保持 程度	适宜性 等级	可持续性 等级
33	坡旱地	24°	黄棕壤	20	272.4	0.302	7.68	0.35	1.00	221.1	4.0	11.5	极剧烈	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅳ	Ⅳ
34	坡旱地	22°	紫色土	20	264.5	0.410	6.72	0.25	1.00	182.2	2.5	13.9	剧烈	1.5~4.5	2	较低	Ⅳ	Ⅳ
35	轮歇地	25°	红壤	18	263.4	0.364	7.45	0.35	1.00	250.0	3.0	9.1	极剧烈	<1.5	2	无保证	Ⅴ	Ⅴ
36	坡旱地	18°	紫色土	25	260.2	0.414	5.78	0.35	1.00	217.9	2.5	14.5	剧烈	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅳ	Ⅳ
37	坡旱地	25°	石灰土	18	256.4	0.218	7.84	0.35	1.00	153.4	3.5	15.0	剧烈	<1.5	1~2	无保证	Ⅴ	Ⅴ
38	坡旱地	22°	黄棕壤	25	275.0	0.298	7.20	0.35	1.00	206.5	4.0	15.4	剧烈	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅳ	Ⅳ
39	坡旱地	18°	新积土	30	232.5	0.314	5.62	0.35	1.00	143.6	3.0	26.7	极强度	1.5~4.5	2~3	较低	Ⅳ	Ⅳ
40	坡旱地	20°	红壤	35	232.2	0.365	5.95	0.35	1.00	176.5	3.0	25.2	剧烈	1.5~4.5	2~3	较低	Ⅳ	Ⅳ
41	坡旱地	28°	红壤	20	237.5	0.366	9.12	0.35	1.00	277.5	3.0	9.1	极剧烈	<2.5	1~2	无保证	Ⅴ	Ⅴ
42	坡旱地	15°	红壤	36	246.2	0.362	4.75	0.35	1.00	148.2	3.0	31.0	极强度	2.5~4.5	2	较低	Ⅲ	Ⅲ
43	梯旱地	12°	红壤	40	248.6	0.362	3.08	0.35	0.032	3.1	3.0	50000.0	微度	4.5~7.5	2	中等	Ⅱ	Ⅱ
44	坡旱地	20°	红壤	30	248.2	0.360	6.40	0.35	1.00	200.1	3.0	19.0	剧烈	1.5~4.5	2	较低	Ⅳ	Ⅳ
45	坡旱地	25°	红壤	20	240.5	0.362	8.32	0.35	1.00	253.5	3.0	9.9	极剧烈	<2.5	2	较低	Ⅴ	Ⅴ
46	轮歇地	25°	红壤	20	248.8	0.362	8.36	0.35	1.00	263.5	3.0	9.6	极剧烈	<1.5	1~2	无保证	Ⅴ	Ⅴ
47	坡旱地	22°	紫色土	25	247.6	0.415	7.12	0.35	1.00	256.1	2.5	12.3	极剧烈	1.5~4.5	2	较低	Ⅳ	Ⅳ
48	灌溉梯田	15°	水稻土	60	231.4	0.213	4.23	0.20	0.032	1.3	4.0	永久	微度	4.5~7.5	2~3	高	Ⅱ	Ⅱ
49	灌溉梯田	12°	水稻土	60	230.2	0.213	3.62	0.20	0.032	1.1	4.0	永久	微度	>7.5	2~3	高	Ⅰ	Ⅰ
50	坡旱地	18°	紫色土	30	253.4	0.416	5.32	0.35	1.00	196.3	2.5	19.4	剧烈	1.5~4.5	2	较低	Ⅳ	Ⅳ
51	坡旱地	15°	红壤	35	263.2	0.362	4.75	0.35	1.00	158.4	3.0	28.2	剧烈	1.5~4.5	2	较低	Ⅳ	Ⅳ
52	坡旱地	15°	红壤	30	256.8	0.362	4.68	0.35	1.00	152.3	3.0	24.0	剧烈	1.5~4.5	2	较低	Ⅳ	Ⅳ
53	梯旱地	15°	红壤	35	255.4	0.364	4.40	0.35	0.032	4.6	3.0	2734.4	微度	2.5~4.5	2	较低	Ⅲ	Ⅲ
54	坡旱地	20°	红壤	38	255.6	0.360	6.85	0.35	1.00	220.6	3.0	21.8	极剧烈	1.5~4.5	2	较低	Ⅳ	Ⅳ
55	坡旱地	8°	红壤	40	264.5	0.362	1.82	0.35	1.00	61.0	3.0	86.2	强度	1.5~4.5	2	较低	Ⅲ	Ⅲ
56	坡旱地	25°	红壤	20	267.4	0.362	8.42	0.35	1.00	285.3	3.0	8.9	极剧烈	<1.5	1~2	较低	Ⅴ	Ⅴ
57	坡旱地	25°	黄棕壤	18	268.5	0.300	8.47	0.35	1.00	238.8	4.0	9.6	极剧烈	<1.5	1~2	较低	Ⅴ	Ⅴ
58	坡旱地	20°	红壤	30	265.4	0.360	7.25	0.35	1.00	242.4	3.0	15.7	极剧烈	1.5~4.5	2	较低	Ⅳ	Ⅳ
59	梯旱地	15°	黄棕壤	45	269.2	0.302	4.85	0.35	0.032	4.4	4.0	14062.5	微度	1.5~4.5	2	较低	Ⅲ	Ⅲ
60	坡旱地	22°	黄棕壤	35	270.0	0.302	7.42	0.35	1.00	211.8	4.0	21.1	剧烈	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅳ	Ⅳ
61	坡旱地	20°	黄棕壤	40	284.2	0.301	7.45	0.25	1.00	139.3	4.0	32.0	剧烈	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅲ	Ⅲ
62	坡旱地	15°	黄棕壤	40	276.7	0.300	4.72	0.35	1.00	137.1	4.0	37.6	极强度	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅲ	Ⅲ
63	轮歇地	27°	黄棕壤	20	270.0	0.300	9.16	0.35	1.00	259.7	4.0	9.8	极剧烈	<1.5	1~2	较低	Ⅴ	Ⅴ
64	轮歇地	25°	黄棕壤	20	290.6	0.300	8.42	0.35	1.00	256.9	4.0	9.9	极剧烈	<1.5	1~2	较低	Ⅴ	Ⅴ
65	坡旱地	24°	黄棕壤	25	284.6	0.300	8.12	0.35	1.00	242.6	4.0	13.1	极剧烈	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅳ	Ⅳ
66	坡旱地	22°	黄棕壤	30	270.5	0.300	7.56	0.35	1.00	214.7	4.0	17.8	极剧烈	1.5~4.5	1~2	较低	Ⅳ	Ⅳ
67	轮歇地	25°	红壤	20	265.6	0.365	8.42	0.35	1.00	285.7	3.0	8.8	极剧烈	<1.5	1~2	无保证	Ⅴ	Ⅴ
68	坡旱地	22°	红壤	35	264.2	0.360	7.60	0.35	1.00	253.0	3.0	17.5	极剧烈	1.5~4.5	2	较低	Ⅳ	Ⅳ

473 350.0 hm², 占 57.11%, 主要是坡度 10°~20° 之间的顺坡耕地; 有条件适宜耕地 201 680.0 hm², 占 24.33%, 基本上是坡度 15°~25° 之间的顺坡耕地, 这部分耕地因水土流失强烈、土层越冲越薄, 抗蚀年限只有 10 a~30 a, 必须尽快采取“坡改梯”等有效水土保持型农业措施, 否则不能持续利用, 从而变为不宜耕作地。

在不宜耕作地面积中, 因水土流失极强烈(多属剧烈侵蚀甚至极剧烈侵蚀)、土层较薄、抗蚀年限一般低于 10 a 而不可持续(或不适宜)的耕地达 155 782.7 hm², 此即当前坡度>25° 的顺坡耕地面积(包括陡坡旱地 132 267.0 hm² 和陡坡轮歇地 23 515.7 hm²)^[17], 占不宜耕作地面积的 94.73%; 因海拔过高、热量条件差以及严重干旱缺水、水源无保证而不适宜耕作的面积 8664.5 hm², 占不宜耕作地的 5.27%。

表 6 滇东北山区耕地适宜性评价表(hm²)

Table 6 Cultivated land suitability evaluation in the northeast mountain region of Yunnan province(hm²)

地、县(市)	详查耕地 总面积	宜耕地 面积	其 中				不宜耕作地 面 积
			高度适宜	中度适宜	勉强适宜	有条件适宜	
昭通地区合计	659793.5	525300.0	30215.0	50465.7	330367.5	114251.8	134493.5
其中: 昭通市	79335.0	73685.0	5958.8	10523.9	45398.7	11803.6	5650.0
鲁甸县	53808.8	45800.0	2407.6	3446.4	31312.0	8634.0	8008.8
巧家县	74885.4	65760.0	3491.0	4677.3	39114.7	18477.0	9125.4
盐津县	49935.1	32090.0	2046.4	4000.5	20807.3	5235.8	17845.1
大关县	36485.7	29990.0	1324.2	2277.1	18383.5	8005.2	6495.7
永善县	63840.9	43825.0	1625.1	3015.6	30777.1	8407.2	20015.9
绥江县	19263.4	14830.0	1504.7	2892.5	9468.8	964.0	4433.4
镇雄县	142973.9	124030.0	4333.6	8062.2	82086.0	29548.2	18943.9
彝良县	80300.8	67820.0	2708.5	4692.6	42130.1	18288.8	12480.8
威信县	48160.7	20710.0	3310.4	5046.6	8394.6	3958.4	27450.7
水富县	10803.8	6760.0	1504.7	1831.0	2494.7	929.6	4043.8
东川市	39161.7	36860.0	2840.2	4328.0	14673.4	15018.4	2301.7
宣威市	150753.6	139610.0	3686.0	31814.0	74310.0	29800.0	11143.6
会泽县	143538.4	127030.0	3258.8	27162.3	53999.1	42609.8	16508.4
滇东北合计	993247.2	828800.0	40000.0	113770.0	473350.0	201680.0	164447.2

5 评价成果在土地利用规划中的应用

土地利用规划是合理组织土地利用的重大战略措施, 是土地管理工作的“龙头”。上述应用土壤流失方程进行基于可持续利用的耕地适宜性评价成果已在云南省级土地利用总体规划和东川等地方土地利用总体规划中得到了不同程度的应用, 应用的前景和范围主要有以下 3 个方面: 1. 应用于耕地总量动态平衡规划方案中, 详见文献[18]; 2. 应用于基本农田保护区规划中, 详见文献[19]; 3. 应用于土地利用结构调整与退耕规划中, 详见文献[20]。

参 考 文 献

1 杨子生 贺梅. 促进滇东北山区水土保持与土地可持续利用的土地用途管制. 山地学报 1999, 17(增刊)84~92;
2 谢应齐 杨子生. 土地资源学. 昆明: 云南大学出版社, 1994. 168~235
3 FAO. A Framework for Land Evaluation. FAO Soil Bulletin No. 32, Rome, 1976. 1~24
4 FAO. FESLM: An International Framework for Evaluating Sustainable Land Management. World Soil Resources Report No. 73, Rome, 1993. 1~20
5 杨子生 谢应齐. 滇东北坡耕地水土流失分析. 中国农业资源与区划, 1997, (2): 17~23
6 中国农业百科全书总编辑委员会土壤卷编辑委员会. 中国农业百科全书·土壤卷. 北京: 农业出版社, 1996. 342~345 511
7 王万忠 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1~19
8 史德明. 我国红壤区侵蚀土壤的退化与防治. 中国水土保持, 1987, (12): 12~15

- 9 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究. 水土保持通报, 1999, 19(1): 1~9
- 10 Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses——a guide to conservation planning. Agriculture handbook, No. 537, USDA, 1978 12~72
- 11 杨子生. 滇东北山区坡耕地降雨侵蚀力研究. 地理科学 1999 19(3)(待出版)
- 12 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤可蚀性因子. 山地学报 1999 17(增刊): 10~15
- 13 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤侵蚀的地形因子. 山地学报, 1999, 17(增刊): 16~18
- 14 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤侵蚀的作物经营因子. 山地学报 1999 17(增刊): 19~21
- 15 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤侵蚀的水土保持措施因子. 山地学报, 1999, 17(增刊): 22~24
- 16 谢应齐, 杨子生. 云南省农业自然灾害区划. 北京: 中国农业出版社, 1995. 170~252
- 17 杨子生. 滇东北山区坡耕地分类及基本特征. 山地学报 1999 17(2): 131~135
- 18 杨子生. 基于可持续发展的滇东北山区耕地总量动态平衡战略. 山地学报, 1999 17(增刊): 53~59
- 19 杨子生, 贺梅. 滇东北山区基本农田保护. 山地学报, 1999, 17(增刊): 60~64
- 20 杨子生. 滇东北山区土地垦殖指数与退耕还林规划. 山地学报, 1999, 17(增刊): 45~48

THE APPLICATION OF SOIL LOSS EQUATION IN CULTIVATED LAND SUITABILITY EVALUATION BASED ON SUSTAINABLE USE AND LAND USE PLANNING IN THE NORTHEAST MOUNTAIN REGION OF YUNNAN PROVINCE

YANG Zisheng

(*Department of Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091*)

Abstract The author in this paper try to apply soil loss equation developed in the northeast mountain region of Yunnan province to the evaluation of cultivated land suitability based on sustainable use. The way of this study expounds as follows: first of all, using soil loss equation, the author calculated the annual average soil loss amount of unit area of every sloping cultivated land unit. Subsequently, on the basis of analysing the indexes of soil loss tolerance and available soil horizon thickness, the author calculated the erosion-resistant age of soil of every unit. Using this value as leading index, and considering three supplementary indexes (i. e. annual grain yield of unit area, temperature condition, and water resources condition), cultivated land suitability and sustainability degree in mountain region was divided into five grades: highly suitable (highly sustainable), middlingly suitable (middlingly sustainable), lowly suitable (lowly sustainable), conditionally suitable (conditionally sustainable), insuitable (insustainable).

The study shows that soil loss equation is of great value in application to the cultivated land suitability and sustainability evaluation as well as land use planning in mountain region, it is a useful technical tool for mapping out the rational use planning and countermeasures of mountain land.

Key Words the northeast mountain region of Yunnan province, soil loss equation, cultivated land suitability, sustainable use, evaluation, land use planning