

中国红壤丘陵区水土流失规律与土壤允许侵蚀量的研究

水建国¹, 叶元林², 王建红¹, 柳茶茶¹

(¹浙江省农业科学院土壤肥料研究所, 杭州 310021; ²中国水稻研究所, 杭州 310006)

摘要: 在 8°~15° 的红壤坡地上, 对水土流失做了 14 年的定位观察。结果表明, 水土流失与土壤坡度和植被覆盖度密切相关。红壤坡地一经开发利用, 径流量就成倍地减少, 而侵蚀量在开始的头 2 年成倍增加, 第 3 年后趋于稳定。土壤侵蚀量与坡度呈极显著的对数正相关, 坡度每增加 1°, 年土壤侵蚀量递增约 120 t·km⁻²。土壤侵蚀量与植被覆盖度呈显著的负指数相关, 当植被覆盖度 > 60% 时, 每年土壤侵蚀量在 200 t·km⁻² 以下; 土壤侵蚀量与耕种方式密切相关, 等高耕种的侵蚀量仅为顺坡耕种的 1/6。应用土壤肥力平衡观点, 首次提出了 Q₂ 红色粘土母质发育的红壤年土壤侵蚀允许指标为 < 300 t·km⁻²。

关键词: 水土流失; 径流系数; 植被覆盖度; 土壤允许侵蚀量; 红壤丘陵区

Regularity of Erosion and Soil Loss Tolerance in Hilly Red-Earth Region of China

SHUI Jian-guo¹, YE Yuan-lin², WANG Jian-hong, LIU Cha-cha¹

(¹Institute of Soil and Fertilizers, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021;

²Rice Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310006)

Abstracts: Fixed-site observations for 14-yr long-term investigation on the soil-water losses in the sloping red-earth (slope 8° - 15°) showed that soil-water losses were closely correlated with land slope and vegetative coverage. Runoff rate in sloping red-earth could be reduced duplicately by exploitation, while the soil erosion was enhanced duplicately during the first 2 years after exploitation. Subsequently, it tended to be stable. Soil erosion was highly positively correlated with land slope, i.e. soil erosion was increased by 120 t·km⁻² per year with a slope increase of 1°. On the contrary, soil erosion was highly negatively correlated with vegetative coverage, i.e. soil erosion was limited to below 200 t·km⁻² per year as the vegetative coverage exceeded 60%. Furthermore, soil erosion was highly related with planting patterns, i.e. soil erosion in contour cropping pattern would be one sixth of that in straight cropping. Based on the view of soil nutrient balance and test data, it was suggested that soil loss tolerance in Q₂ red clay derived red-earth should be lower than 300 t·km⁻² per year.

Key words: Soil-water losses; Runoff coefficient; Vegetative coverage; Soil loss tolerance; Hilly red-earth region

浙江省地貌“七山一水二分田”, 丘陵山地占总面积的 70.4%, 其中绝大多数分布在海拔 400 m 以下。红壤是丘陵山区的主要土种, 其面积约占省土地面积的 40% 以上。丘陵是“山-丘-谷”的过渡地貌, 人畜活动相对频繁, 是浙江省的生态较脆弱地区。浙江省是我国人口与耕地矛盾最为突出的省份

之一。自 1980 年以来, 经济林上山发展迅速, 全省果园面积由 1980 年的 6 × 10⁴ ha 扩展到 2000 年的 24.5 × 10⁴ ha, 翻了两番。许多地方只重视开发, 不重视保护, 造成较为严重的水土流失, 受害面积已达到全省土地面积的 26.1%, 已直接制约该地区农业生产的发展。针对这一问题, 为研究简单、实用、高

效的水土保持技术,笔者自 1986 年以来,开展了红壤坡地水土流失规律的长期定位观察和研究。本文主要报道 14 年的研究结果。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区位于浙江省兰溪市,北纬 $30^{\circ}19'$,东经 $119^{\circ}24'$,海拔 45~70 m,坡度在 6° ~ 15° 之间,年降水量 1 676.7 mm,年蒸发量(E601) 838.6 mm,年平均温度 17.7°C ,属典型的亚热带季风气候。土壤是第四季红色粘土发育的 Q_2 红土,土壤 $pH(H_2O)$ 为 4.5~5.3,土壤全 N $0.19\sim 0.45\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; P_2O_5 $0.3\sim 0.6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; K_2O $8.8\sim 25.1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;交换性 Al $2.7\sim$

$8.7\text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$,坡地侵蚀严重,属于高酸度低肥力的退化红壤。

1.2 试验设计

试验根据原地形坡度与坡向,分别建立了 20 个观察小区。每个小区四周边缘用砖块水泥筑隔墙,隔墙深入地下 80 cm,高出地面 30 cm,墙顶呈 45° 刀棱形分水界。小区内的耕种方式为自然坡度下横坡种植。种植密度:林木 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$,果木 $4(3.5)\text{ m}\times 3\text{ m}$,茶树 $1.4\text{ m}\times 0.3\text{ m}$,农地分为顺坡种植和等高种植 2 种,自然荒坡长有稀疏的马尾松。各处理的种植均于 1986 年 11 月以前完成,1987 年 1 月 1 日起开始观察试验。各小区的处理见表 1。

表 1 试验小区的设计和处理¹⁾

Table 1 Design and treatment of experimental plots

利用模式 Use mode	坡度($^{\circ}$) Slope	坡向 Aspect	坡长(m) Slope length	坡宽(m) Slope width	面积(m^2) Area	植物种类 Plant species	种植时间 Plant time
农地顺坡 Farm land SC	15	NS	20.7	10	200	作物 Cereals	1986,11
农地等高 Farm land CC	15	NS	20.7	10	200	作物 Cereals	1986,11
园地顺坡 Fruit garden SC	15	EW	25.9	16	400	柑橘 Citrus	1986,11
林地顺坡 Wood land SC	15	EW	25.9	16	400	杉木 Chinese fir	1985,2
茶地顺坡 Tea garden SC	8	EW	132	80	1 120	茶 Tea	1986,3
自然坡地 Nature slope	8	EW	175	100	1 220	稀马尾松 Scattered pine	自然
裸露坡地 Waste slope	13	EW	200	5	100	无 None	自然 Nature

¹⁾ SC = straight cropping; CC = contour cropping. The same as below

1.3 径流观察场

试验定位每个小区下面各自建造观察室,室内建有底部连通的沉沙池 2 个,池的容量根据本地 50 年一遇的降雨量设计,池出口处安装一个“V”形薄壁三角堰,并配套 SW40 型日记水位计和搪瓷水准标尺。观察记载以 1 次降水过程为单位,逐次测定降水量、降水强度、径流量和地面覆盖度^[1]。

1.4 取样与分析

每次降雨停止后,先搅拌内连通池水,取水样 1 000 ml,供测定悬移质含量与营养元素分析,然后放干池水。在外连通池中采取泥沙样品 3 份,供测定推移质干重与元素分析,最后清池称取湿泥沙总重量。记录方法、土样和水样元素分析均按中国国家林业局《森林土壤分析方法》,LY/T1210-1275-

1999。

2 结果与分析

2.1 地表径流量和土壤侵蚀量随年限的变化

2.1.1 地表径流量随年限的变化 根据红壤坡地 14 年的定位观察表明,相同条件下,地表水的径流量大小与地表的粗糙度密切相关。经开发利用的土壤地表径流系数均大为降低,第 1 年约为自然状况的 $1/2$,第 2 年减为自然状况的 $1/3$ 以下,第 3 年后降低到自然状况的 $1/8$ 左右。从总体上来看,红壤坡地不同生态模式的地表径流量除刚开发的前 2 年较高以外,第 3 年后趋向稳定。年径流系数分别为:农区顺坡耕种 5% 左右,等高耕种 2% 左右;园地 2% 以下;林地 2% 左右;茶地 4% 左右;自然坡地 23%

左右,裸露坡地 33%左右(图 1)。

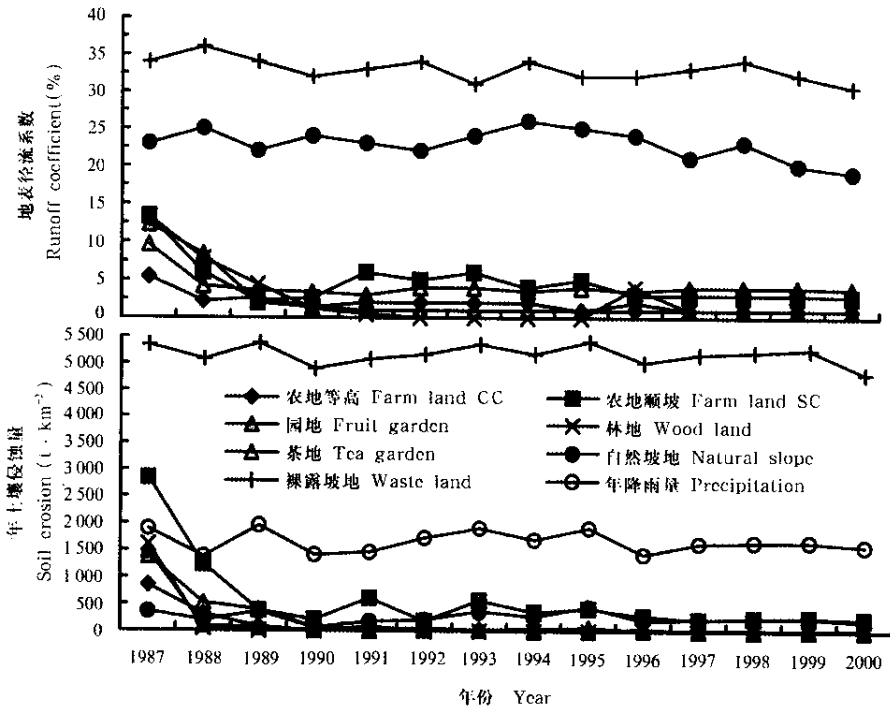


图 1 红壤坡地不同生态模式的降雨量、地表径流系数、土壤侵蚀量随时间的变化

Fig. 1 Annual dynamic of precipitation, surface runoff coefficient and soil erosion for different ecological modes in sloping red-earth

2.1.2 土壤侵蚀量随年限的变化 土壤退化类型很多,但最主要的、最为严重的,也是分布最广的则是由于水土流失所引起的土壤侵蚀退化。从图 1 可以看出,红壤坡地一经开发利用,其水土流失量就成倍增长,并依不同生态模式出现较大的差异^[1]。第 1 年土壤侵蚀量很大,达到 $1\ 380\ t \cdot km^{-2} \sim 2\ 841\ t \cdot km^{-2}$;第 2 年根据不同的生态模式出现了显著的差异,农区最高,达 $1\ 234\ t \cdot km^{-2}$,园区为 $519\ t \cdot km^{-2}$,而林、茶区不足 $100\ t \cdot km^{-2}$;第 3 年时农、园区降至 $377 \sim 395\ t \cdot km^{-2}$,林、茶区不到 $50\ t \cdot km^{-2}$;第 4 年后除农区保持 $300\ t \cdot km^{-2}$ 左右,林、茶、园区均为 $50\ t \cdot km^{-2}$ 以下。综合 14 年的测定结果可以看出,在红壤坡地的开发利用中,以第 1 年的水土流失最大,第 2 年依据不同的生态模式表现出明显的差异,第 3 年后除农区模式保持较高的年土壤侵蚀量 $300 \sim 600\ t \cdot km^{-2}$ 以外,其它生态模式均在 $50\ t \cdot km^{-2}$ 左右,而自然坡地的年土壤侵蚀量一直维持在 $256\ t \cdot km^{-2}$ 左右,裸露荒坡地的年土壤侵蚀量最大,平均达 $5\ 193\ t \cdot km^{-2}$ 。值得指出的是,只要采取等高耕种,其年土壤侵蚀量就可成倍地降低。例如试验中的农区等高耕种模式,防治坡地水土流失的效果与种植经济林果相近。

2.2 植被覆盖度与土壤侵蚀的关系

地面植被的覆盖可以减弱降雨冲刷的强度,截滞雨水,促进水分入渗。因此,红壤坡地上的植被覆盖度对土壤侵蚀有明显的影 响。综合 14 年的定位研究结果表明,红壤坡地植被覆盖度每增加 10%,可以成倍地递减土壤侵蚀量,当植被覆盖度达 60% 以上时,全年土壤侵蚀可控制在 $200\ t \cdot km^{-2}$ 以下,二者之间呈极显著的负指数相关(图 2)。试验中顺坡耕种植被年平均覆盖度为 35.1%、48.3%、60.9%、69.2% 和 83.1%,其相应的全年土壤侵蚀量分别为 927.8 、 587.2 、 207.6 、 103.2 和 $32.0\ t \cdot km^{-2}$,而在等高耕种中,植被年覆盖度为 35.2%、38.6%、56.1% 和 70.4% 时,相应的全年土壤侵蚀量分别为 110.5 、 103.4 、 25.8 和 $18.4\ t \cdot km^{-2}$ 。不难看出,等高耕种可以大大减少土壤侵蚀,效果是顺坡耕种的 6 倍以上。植被的覆盖度在水土保持中起着关键作用。显而易见,等高耕种可以大大减少土壤侵蚀,其效果是顺坡耕种的 6 倍以上。植被的覆盖度在水土保持中起着关键作用。

2.3 坡度与土壤侵蚀的关系

当降雨量和植被覆盖度一定时,坡度是决定土壤侵蚀量的最主要因子。水在土壤坡面上,由于受

重力的作用,既有流动性,又有渗透性。在其它条件基本等同情况下,当坡度大时,水的流动占主导地位,当坡度较小时,水的渗透占主导,水土流失就少。多年的统计资料表明,红壤坡度每递增 1° ,对应的土壤侵蚀量年递增 $120\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 左右,二者之间呈极显著正相关(图3)。

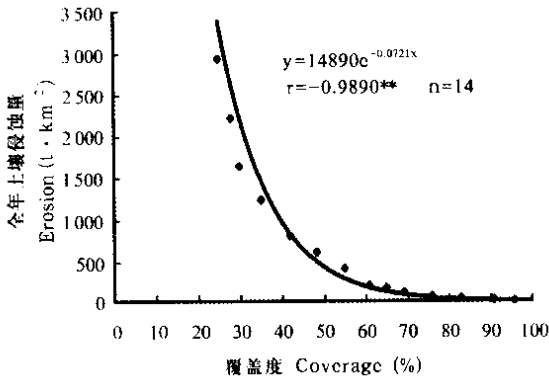


图2 红壤坡地土壤侵蚀量与植被覆盖度之间的关系

Fig. 2 Relationship between soil erosion and vegetative coverage in sloping red-soil

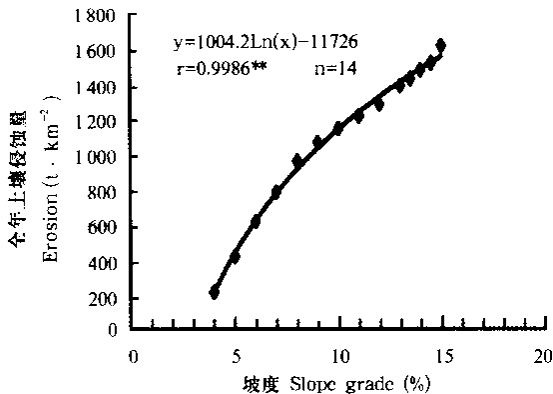


图3 红壤坡地土壤侵蚀量与坡度之间的关系

Fig. 3 Relationship between soil erosion and land slope red-earth

2.4 土壤允许侵蚀量的确定

土壤允许侵蚀量是指在长时期内能保持土壤肥力和维持土地生产力所允许的最大土壤侵蚀强度。当土壤侵蚀量超过这一指标时,土地生产力将明显下降,必须采取水土保持进行治理。土壤允许侵蚀量是划分有害侵蚀和无害侵蚀的临界线,它的确定必须科学、合理。标准过高,将导致水保工程过大而耗费巨资,标准过低,则会导致水土流失,地力下降,增加生产成本。国际上土壤允许侵蚀量研究主要依

据成土速度提出,如美国每年 $2.2\sim 11.2\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$,印度每年 $4.5\sim 11.2\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$,前苏联每年 $3.4\sim 10.9\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 。我国在参考美国标准后,水利部于1997年颁布了“土壤侵蚀类型划分和强度分级标准”,将土壤允许侵蚀指标定为:黄土高原区 $1000\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$,北方黑土和土石山区 $200\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$,南方丘陵区 $500\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 。在南方红壤地区,福建省阮伏水根据花岗岩风化速率提出了花岗岩母质发育的红壤允许侵蚀量为 $<200\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 。

世界上对制定土壤允许侵蚀量较为公认的三大因素是:成土速度、土壤肥力和作物生产力。目前,普遍出现由水土流失引起表土养分损失,导致土地生产力下降,而科技进步往往掩盖了土壤流失对土地生产力的严重危害^[4,5]。土壤肥力平衡是农业可持续发展的基础,而氮素是土壤肥力中的最重要因子^[6,7]。根据史德明^[8]对中国南方侵蚀土壤退化指标体系研究,选取化学退化主导指标N元素,并以花岗岩母质发育的红壤恢复生态时土壤N $1.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为临界,进行红壤坡地土壤允许流失量的研究。经过长期对降水和各种生态模式中水土流失养分N素的分析,可以看出,红壤水土流失的养分富集系数为2左右,表明土壤养分流失不是简单的机械搬运,而是具有明显的富集性,这是因为径流泥沙中细颗粒较多,而细颗粒泥沙一般具有很强的吸附作用,携带走的营养元素也会很多。据研究,每流失 1 mm 表土,土壤有机质减少 $1/2$,玉米产量减少 $1/4$ ^[7]。若单从降雨养分输入与水土流失养分输出平衡时考虑,红壤坡地的土壤侵蚀量每年可达 $997\sim 1828\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 。但从土壤肥力逐步提高,恢复到红壤未退化N素水平时,土壤允许侵蚀量只有 $213\sim 387\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$,平均为 $303\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 。本试验中红壤自然荒地的土壤侵蚀量为每年 $256\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$,超过恢复生态下的土壤允许侵蚀量 $213\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 的20%,说明目前自然条件下的红壤还处在退化之中。综合土壤N素分析,要保持人工生态土壤肥力平衡中稳定,促使土壤获得最大的永久经济效益,在现阶段的科技水平和生产条件下,笔者提出 Q_2 母质发育的红壤允许侵蚀量每年为 $<300\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ (表2)。

3 结论

(1)红壤坡地不同生态模式的年均径流系数:裸露荒地达33%,自然坡地23%,茶地和农地4%,等高农地和园地为2%左右。年均侵蚀模数:裸露荒地 $5193\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$,自然坡地 $256\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$,林、茶、

表 2 红壤坡地土壤养分输入和输出平衡情况¹⁾

Table 2 The balance of input and output of soil N in the sloping red-earth

处理 Treatment	年均降雨 养分 N ^① Precipitation (kg·ha ⁻¹)	土壤养分 ^② Soil N (g·kg ⁻¹)	水土流失 养分 N ^③ Erosion (kg·t ⁻¹)	恢复生态 养分 N ^④ Ecological restoration (g·kg ⁻¹)	水土流失养分 富集率 ^⑤ Enrichment coefficient	恢复生态养分 系数 ^⑥ Ecological restoration coefficient	全年土壤侵蚀量 Erosion (t·km ⁻²)	
							平衡时 ^⑦ Balance	恢复生态 ^⑧ Restoration
荒地 Waste land	17.55	0.41	0.96	> 1.5	2.34	3.66	1 828	213
林地 Wood land	17.55	0.72	1.26	> 1.5	1.75	2.08	1 392	382
竹地 Bamboo land	17.55	0.75	1.32	> 1.5	1.76	2.00	1 330	377
园地 Fruit garden	17.55	0.82	1.68	> 1.5	2.04	1.83	1 044	280
茶地 Tea garden	17.55	0.85	1.72	> 1.5	2.02	1.76	1 020	287
农地 Farm land	17.55	0.86	1.76	> 1.5	2.04	1.74	997	281
平均 Average	17.55	0.735	1.45	> 1.5	1.99	2.17	1 268	303

¹⁾ 水土流失养分含量为荒地、林地、园地、竹地、茶地和农地的历年平均值 N output by soil-water losses were estimated by the average values for waste land, wood land, bamboo garden, fruit garden, tea garden and farm land

⑤ = ③ ÷ ② ; ⑥ = ④ ÷ ② ; ⑦ = ① ÷ ③ × 100 ; ⑧ = ⑦ ÷ ⑤ ÷ ⑥

园地 157 t·km⁻², 农区等高 107 t·km⁻² 和农区顺坡 591 t·km⁻²。红壤资源采纳“开发中保护”的方法要优于自然生态变化。

(2) 根据 14 年定位的降雨量和水土流失的元素分析, 从土壤肥力平衡观点出发, 以恢复生态为目标, 将 Q₂ 母质发育红壤的年土壤侵蚀允许指标定为 < 300 t·km⁻², 以达到维持土壤永久持续利用的经济效益。

(3) 红壤坡地的水土流失与土壤坡度和植被覆盖度密切相关。土壤坡度每增加 1°, 全年土壤侵蚀量递增约 120 t·km⁻²; 而植被覆盖度每增加 10%, 土壤侵蚀量可成倍地递减, 当植被覆盖度达 60% 以上时, 全年土壤侵蚀可控制在 200 t·km⁻² 以下。因此, 应确保雨季植被覆盖度达 60% 以上。

(4) 在红壤水土流失防治措施中, 以等高耕种和等高植物篱方法最佳, 该方法技术简单、实用, 效果显著, 值得首推。

References

- [1] 水建国, 孔繁根, 郑俊臣. 红壤坡地不同耕作影响水土流失的试验. 水土保持学报, 1989, 3(1): 84-90.
Shui J G, Kong F G, Zheng J C. Effects of different uses of red soil slopes on soil and water loss. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1989, 3(1): 84-90. (in Chinese)
- [2] 陈奇伯, 齐实, 孙立达. 土壤允许流失量研究的进展与趋势. 水土保持通报, 2000, 14(3): 9-13.

- Chen Q B, Qi S, Sun L D. Progress and trend of soil loss tolerance research. *Bulletion of Soil and Water Conservation*, 2000, 20(1): 9-13. (in Chinese)
- [3] 阮伏水, 吴雄海, 施悦忠, 许建金. 福建省花岗岩地区土壤允许侵蚀量的确定. 福建水土保持研究, 1995(2): 26-31.
Ruan F S, Wu X H, Shi Y Z, Xu J J. Study on permissible soil erosion in Granite area of Fujian Province. *Soil and Water Conservation in Fujian*, 1995(2): 26-31. (in Chinese)
- [4] Scherz D L. The basis for soil loss tolerance. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1983, 38(1): 10-14.
- [5] Williams J R. Soil erosion effects on soil productivity: A research perspective. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1981, 36(2): 82-90.
- [6] 何电源. 农业生态系统的养分平衡是可持续农业的重要条件. 农业现代化研究, 1999, 20(4): 241-243.
He D Y. Nutrient balance of agro-ecosystem is the important condition for sustainable agriculture. *Research of Agricultural Modernization*, 1999, 20(4): 241-243. (in Chinese)
- [7] 彭廷柏, 黄道友, 陈惠萍, 陈焱国. 建立水土协调机制确保农业可持续发展. 生态农业研究, 1999, 7(1): 36-39.
Peng T B, Huang D Y, Chen H P, Chen Y G. Establishment of the harmonious mechanism of water and soil to ensure the sustainable development of agriculture. *Eco-agriculture Research*, 1999, 7(1): 36-39. (in Chinese)
- [8] 史德明, 韦启潘, 梁音, 杨艳生, 吕喜奎. 中国南方侵蚀土壤退化指标体系研究. 水土保持学报, 2000, 14(3): 1-9.
Shi D M, Wei Q P, Liang Y, Yang Y S, Lü X X. Study on degradation index system of eroded soils in Southern China. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(3): 1-9. (in Chinese)

(责任编辑 卞海军)