

泥石流堆积物质释光退火机制研究进展

魏明建¹, 葛永刚^{2 3 4}, 刘兆文¹, 蔡茂堂¹, 王均平¹, 潘宝林¹

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京, 100037; 2. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都, 610041;

3. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都, 610041; 4. 宝鸡文理学院地理科学与环境工程系, 陕西 宝鸡 721013)

摘要: 采集云南东川蒋家沟泥石流源区、流通区、堆积区泥石流堆积物, 利用热释光技术测定泥石流物质的残积热释光剂量, 进行泥石流物质的释光退火机制研究。研究表明: 泥石流物质释光本底值依源区、流通区、堆积区明显降低, 其在运动过程中发生了明显的退火现象, 进行泥石流的热释光测年是可行的, 尤其对于低频泥石流堆积, 释光测年的准确性更高。但泥石流物质的退火并不充分, 需要进行本底值的矫正, 相关机制需要进一步研究。

关键词: 泥石流; 热释光; 退火

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

泥石流是一种重要的地貌演化形式, 其沉积物记载了古泥石流发育、形成的环境条件和山地环境演化的过程与规律, 记录了丰富的古环境变化信息, 是泥石流形成机理、演化规律及其与环境相互作用机制研究的重要信息载体。受泥石流沉积的复杂性及泥石流断代技术和方法的影响, 目前对古泥石流研究开展较少, 系统性的研究更为缺乏, 已有的研究主要围绕古泥石流发育环境、沉积特征的研究^[1-9], 集中于晚更新世以来的古泥石流沉积。我国古泥石流研究表明第四纪泥石流从古到今划分为7个活动期, 最早的泥石流活动在第四纪早期约2.0~1.5 Ma^[10-11], 全新世泥石流活动分为三期。古泥石流多发育在第四纪间冰期或间冰阶, 尤其是在从冷到热的气候转型期泥石流比较活跃^[12], 泥石流活动与第四纪气候的周期性变化与转型关系紧密。目前古泥石流沉积研究中年代数据多通过ESR^[13-14]、¹⁴C^[13-15]、地层比对^[16-17]、树木年轮^[18-20]、热释光(TL)^[15]、放射性同位素¹⁰Be^[21]等方法获得, 近来光释光法(OSL)^[22-23]、宇生放射性同位素³H e^[24]也用来测定古泥石流沉积年龄。这些方法各具特点, 各

有其不同的年龄测年范围, 且在泥石流测年中还存在机理不清、方法不成熟、准确性低等问题, 尤其是更新世泥石流沉积年代问题较为突出。释光测年技术是第四纪沉积物年龄测定的有效方法, 其已在泥石流沉积研究开始应用, 随着光释光、选频释光技术的发展, 释光测年的可靠性、准确性进一步提高, 有望成为古泥石流研究年代测定主要方法。泥石流沉积物的释光退火机制是泥石流释光断代机理研究的关键问题, 目前还没有清楚的认识, 文章通过测定蒋家沟现代泥石流沉积物的释光特点, 研究泥石流沉积物的释光退火机制, 为进行准确的泥石流释光测年研究提供理论基础与依据。

1 研究区概况

蒋家沟位于云南省东川市, 为小江右岸的一级支流, 是小江流域最具代表性的一条泥石流沟。流域面积48.6 km², 主沟长13.9 km, 海拔1042~3269 m, 包括四级支沟, 一级支沟包括门前沟、多照沟、查菁沟、大凹子沟、老蒋家沟等。蒋家沟流域位

收稿日期(Received date): 2007-12-25; 改回日期(Accepted): 2008-05-05.

基金项目(Foundation item): 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室开放基金和北京市教委科技发展基金重点项目联合资助。[Joint Supported by Open Foundation of Key Laboratory of Mountain Hazards and Land Surface Processes, CAS and Key Program of Technology Development Foundation of Beijing Municipal Education Commission(KC200810028015).]

作者简介(Biography): 魏明建(1957-), 男, 陕西安康人, 教授, 主要从事自然地理、全球变化及释光断代研究。[Wei Mingjian(1957-), male born in Ankang, Shaanxi. Professor mainly engaged in physical geography, global environment change and luminescence dating.] E-mail: weim@mail.cnlu.edu.cn

于康滇地轴东缘的小江断裂带内, 由于老构造错综复杂, 新构造运动强烈, 加之人类不合理的经济活动导致流域内植被稀少, 崩塌、滑坡发育, 固体松散物质储量极丰, 为泥石流发育提供了必要的物源。区内地形陡峻, 年降雨量 700~ 1 200 mm, 集中于雨季 (6~ 9月) 且多暴雨, 造成泥石流频发, 年均发生泥石流 15场左右, 最多达 28场, 是泥石流观测与研究的理想地区。

2 研究方法及结果

分别在蒋家沟泥石流物源区、流通区、堆积区采集样品, 采样点见表 1, 密封保存, 用于泥石流物质释光测定。样品测试在首都师范大学光断代实验室, 利用中国防化研究院生产的 RGD- 3B型热释光仪进行测试。测试样品为大凹子沟物源区的 1、2、3号样; 蒋家沟泥石流流通区的样品的上、中、下三部分, 编号为分别为 4、5、6号样; 堆积区的表土分

层样, 编号从上到下 为 7~ 18号样。实验中用水沉法制作测试样片, 每个样品的测试样片 (约 26~ 30片不等), 首先测定每个样片的自然积存光, 从中选取读数比较均匀的 13个样片, 再用人工剂量累加法对所选 13个样片分别用 β 源照射一定剂量 (β 放射源的辐照时间依次为 5 m in、10 m in、15 m in、20 m in、25 m in、30 m in、35 m in), 测定各样片 7个不同辐照剂量的热释光 (TL) 曲线, 记录其峰值及其左右 20℃范围的面积积分值。每个样品等效计量通过测定 13个样片的 TL 生长曲线, 分别计算每个样片的等效剂量后, 取平均值获得样品的等效剂量。

以 4号样的等效剂量求取为例, 其自然积存光值为 413 953, 其人工剂量累加的测试数据见表 2, 据表 2数据获取的热释光曲线如图 1, 将 4号样的自然释光量值代入释光曲线公式 $y = 50\ 144x - 57\ 410$, 得到有效辐照时间为 9.40 m in, β 放射源的标准计量为 2.5 Gy/m in, 因此 4号样的释光本底值为 23.5 Gy。

表 1 蒋家沟泥石流释光样品属性

Table 1 Characteristics of luminescence samples of debris flow material in Jiangjiagou Valley

采样点	样品号	所处位置	样品特性
大凹子沟中部	1、2、3	物源区	样品为由基岩及风化物构成的坡积物, 1号为坡顶物质, 2、3号样为中下部
蒋家沟主沟(观测站下)	4、5、6	流通区	样品为泥石流发生 3 d后的沉积物的表层细颗粒物质, 由表层往下分别为 4、5、6号样
蒋家沟、小江交汇处	7~ 18	堆积区	样品为泥石流堆积区残留的表层细颗粒物质, 从表层及往下共分为 12个样品

表 2 4号样 13个样片的自然值、7个人工辐射剂量测得的释光量

Table 2 Natural dose and experimental data of 13 pieces from Sample 4

样品号	自然值	5 m in	10 m in	15 m in	20 m in	25 m in	30 m in	35 m in
1	426 700	186 100	325 800	429 400	541 300	847 000	941 000	1 049 700
2	393 700	175 600	338 300	433 200	567 700	834 000	936 100	1 094 200
3	440 200	282 300	660 400		1 466 300		2 103 500	2 563 800
4	400 400	221 400	415 800	553 800	862 500	1 186 500	1 155 500	1 312 900
5	399 700	192 700	327 600	515 300	674 700	1 117 700		820 500
6	401 200	216 300	520 900	593 100	729 100		1 257 300	1 741 700
7	420 800	211 800	433 900	650 700	1 900 300	1 273 600	1 561 300	3 446 000
8	452 700	321 100	744 600	1 202 800	1 287 000		2 734 400	1 833 700
9	409 600	240 200	479 200	711 200	649 300	136 4200	1 592 200	1 160 300
10	388 000	200 000	322 500	476 600	1 617 100	834 900	1 032 900	3 040 300
11	437 800	334 200	766 700	1 232 700		2 188 700	2 574 200	1 436 200
12	383 400	165 800	256 300	350 800		850 400	1 168 800	1 121 700
13	427 200	197 000	335 200	479 200	494 800	598 500	837 600	

平均值 413 953.8 226 500 455 938.5 635 733.3 980 918.2 1 109 550 1 491 233 1 718 417

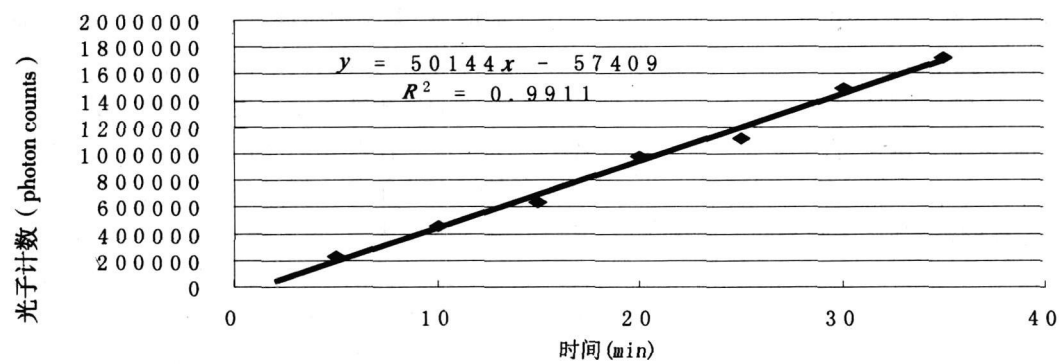


图 1 4号样照射时间与 TL 值的关系图

Fig 1 The correlation of irradiation time with TL

同理测得其他 17 个样品的释光本底值, 如表 3 所示。

3 实验结果分析

实验结果显示, 泥石流源区、流通区、堆积区的天然热释光量即等效剂量明显不同, 总体而言物源区的释光量大于流通区, 流通区大于堆积区。在物源区内, 1 号样品位于堆积物的顶部, 释光量偏大, 2

号和 3 号样位于倒石碓的中部和下部, 其曝光时间相当, 都比 1 号样的曝光时间更长, 因此两者的释光量相近, 只相当于 1 号样的 1/6 左右; 整个物源区 3 个样的残余热释光本底平均值为 84.3 Gy, 是最高的一组样品。流通区的样品是泥石流发生后三天采集, 而其残余热释光本底平均只有 21.9 Gy, 明显小于堆积物的释光量, 应是泥石流在运动过程中, 巨大的动能及泥石流物质之间的相互碰撞摩擦作用, 导致泥石流物质明显退火所致。在泥石流堆积区的

表 3 1~18 号样求取等效剂量的相关数据表

Table 3 Related data of the equivalent dose of Sample 1~18

样品号	自然值	斜率	修正值	相对时间	剂量率	等效剂量
1	824 883. 8	11 095	- 4 012. 9	74. 7	2. 5	186. 8
2	101 174. 2	10 981	- 45 193	13. 3	2. 5	33. 3
3	226 350. 0	11 798	72 168	13. 1	2. 5	32. 7
4	413 953. 8	50 144	- 57 409	9. 4	2. 5	23. 5
5	309 323. 1	63 950	- 138 238	5. 1	2. 5	12. 6
6	204 536. 9	31 204	- 164 320	11. 8	2. 5	29. 6
7	235 082. 6	17 525	- 68 487	17. 3	2. 5	43. 3
8	248 270. 0	17 546	- 26 469	15. 7	2. 5	39. 1
9	245 942. 7	18 079	- 29 116	15. 2	2. 5	38. 0
10	152 923. 8	19 848	- 78 505	11. 7	2. 5	29. 1
11	81 698. 5	302 586	0	0. 27	2. 5	0. 7
12	97 981. 5	31 007	44 824	4. 6	2. 5	11. 5
13	75 619. 2	20 996	0	3. 6	2. 5	9. 0
14	119 223. 1	23 224	38 339	3. 9	2. 5	9. 7
15	92 514. 6	10 751	99 750	1. 7	2. 5	4. 2
16	146 798. 9	6 483	210 263	2. 9	2. 5	7. 2
17	139 090. 0	7 201	186 184	3. 0	2. 5	7. 6
18	200 517. 8	9 110	87 709	12. 4	2. 5	30. 9

7~17号样的等效剂量表现出两组的特征,其中7~10号样的区间为43.3~29.1 Gy,平均值为37.4 Gy;11~17号样的区间为0.7~11.5 Gy,平均值7.1 Gy,说明其可能是两次泥石流事件带来的固体物质堆积所致。11~17号样等效剂量平均值,明显小于7~10号样的平均值,可能是两个原因造成:其一是泥石流发生后经过一段时间的曝光,出现明显的光晒退现象;另一可能的原因是这次泥石流发生于雨季的早期,经过较充分光晒退的固体物质经搬运堆积于此,热释光本底量较低。7~10号样的有效剂量明显大于11~17号样,说明本次泥石流事件搬运的固体物质的热释光本底值较高,且是近期发生,阳光的照射时间不长的缘故。11号样的等效剂量仅有0.7 Gy,对于其他样品来说可以忽略,说明泥石流固体物质堆积后,其表层经过一段时间太阳照射后,退火现象很明显,构成释光测年基础,利用这一层堆积物质,能测得更为准确的泥石流堆积年龄。所有样品都还具有一定的残余热释光本底值,尽管各样品送去测年剂量的结果还没有出来,但按常规估计即使是本底值较低的一组样11~17号样,其残余热释光的本底也相当1~3 ka的年龄。因此,进行释光退火机制的深入研究,确定合理的本底矫正值就成为提高释光测年数据准确性、可靠性的关键。

分析说明,泥石流在运动过程中有明显的退火现象发生,下游堆积区物质由于搬运距离长、沉积相对稳定,光照时间长,泥石流运动引起的退火与光晒退效应明显,因此其等效剂量远小于其他区域。蒋家沟是一条高频率的泥石流沟,无论其物源区、流通区及堆积区,固体物质均没有足够的时间暴露于阳光下,因此光晒退效应受到较多限制。但测试结果显示,堆积区的退火效应已很明显,在控制好测年条件的情况下,有可能准确定年。相对于高频泥石流沟而言,低频、超低频泥石流源区、流通区、堆积区的表层物质在泥石流暴发后,会经过较长时间的阳光照射,光晒退现象更明显,其残余热释光可接近归零,进行热释光测年具有更充分的物质条件与技术条件。

4 讨论与结论

研究表明,泥石流堆积物在运动过程中有明显的退火效应,在其堆积区泥石流堆积物质光晒退效

应明显,表层物质退火效应更加显著,个别样品接近归零,能作为泥石流释光测年的物质。基于高频泥石流沟堆积物揭示的这一规律,说明释光技术可作为古泥石流堆积测年的有效手段,有可能获得准确的泥石流年龄。但就研究涉及的近20个样品的热释光本底来看,还需进一步深入研究泥石流运动引起的退火机制,确定光照对泥石流物质的热释光信号晒退程度,并在热释光测年中实施本底矫正,才能获得真正可靠的热释光年龄数据。当前以热释光为基础上发展起来的光释光与选频释光法成为释光测年的新领域,与热释光法相比,矿物的光释光信号较之热释光信号的晒退速度及效率要大很多,其作为古泥石流堆积物测年手段可能更准确。因此,今后的工作方向应该包括:开展泥石流运动过程中矿物的退火机理研究,揭示泥石流运动特征与矿物退火的关系;进行泥石流物质光晒退实验,找出泥石流堆积物质与光照射的响应关系;对泥石流物质分别作光释光与选频光释光的残余等效剂量测定,比较三种方法的测试结果,从而优化释光测年技术,确定泥石流堆积物测年的最优方案。

最后本文可得出如下明确的结论:

1. 泥石流运动过程对泥石流物质有明显的退火作用,特别是泥石流堆积的表积层退火作用最明显,可用于测年。
2. 自然状态的泥石流堆积物退火都不彻底,残余本底不容忽视,必须进行本底矫正才能获得可靠的释光测年数据。
3. 目前需继续开展泥石流物质光晒退实验,并分别作光释光与选频光释光的残余等效剂量测定,比较三种方法的测试结果,从而优化释光测年技术,确定泥石流堆积物释光测年的最优方案。

参考文献 (References)

- [1] Xiong Heqiang, Cui Zhijiu. Discussion on sedimentary environment and debris flow deposits [J]. *Mountain Research*, 1991, 9(1): 7~13 [熊黑钢, 崔之久. 论泥石流沉积与环境 [J]. 山地研究(现山地学报), 1991, 9(1): 7~13]
- [2] Shi Zhengtao, Zhang Linyuan. The Quaternary debris flow and its developing environment in Xiaojiang basin, Yunnan [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1992, 6(4): 14~22 [史正涛, 张林源. 云南小江流域第四纪泥石流及发育环境. 水土保持学报, 1992, 6(4): 14~22]
- [3] Liu Gengnian, Cui Zhijiu, Wang Xiaohui. Sedimentary macrostructures of debris flows and their formation mechanism [J]. *Geological Review*, 1995, 41(2): 159~165 [刘耕年, 崔之久, 王晓辉. 泥

- 石流的宏观沉积构造与形成机理. 地质论评, 1995, 41(2): 159~165]
- [4] Cui Zhijiu, Feng Jinliang. Combination features of depositional sub-facies of debris-flow on the Jiangjiagou Valley, Yunnan Province [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2001, 8(2): 10~15 [崔之久, 冯金良. 东川蒋家沟泥石流沉积亚相组合特征 [J]. 水土保持研究, 2001, 8(2): 10~15]
- [5] Zhang Wei, Cui Zhijiu, Yang Jianqiang. Regional Characteristics of glacier and debris flow development in Dongchuan Yunan Province [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(3): 40~45 [张威, 崔之久, 杨建强. 云南东川末次冰期冰川与泥石流发育的区域性特征 [J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 40~45]
- [6] Brown D. J., Bell B. R. Debris flow deposits with in the Palaeogene lava fields of NW Scotland: evidence for mass wasting of the volcanic landscape during emplacement of the Ardnamurchan Central Complex [J]. *Bulletin of Volcanology*, 2007, 69(8): 847~868
- [7] Bamard P. L., Owen L. A., Finkel R. C. Quaternary fans and terraces in the Khumbu Himal south of Mount Everest: their characteristics, age and formation [J]. *Journal of the Geological Society*, 2006, 163: 383~399
- [8] May C. L., Gresswell R. E. Spatial and temporal patterns of debris-flow deposition in the Oregon Coast Range, USA [J]. *Geomorphology*, 2004, 57: 135~149
- [9] Oguchi T., Oguchi C. T. Late Quaternary rapid talus dissection and debris flow deposition on an alluvial fan in Syria [J]. *Catena*, 2004, 55: 125~140
- [10] Li Yonghua, Zhang Xiaoyong, Cui Zhijiu, et al. Periodic coupling of debris flow active periods and climate period during Quaternary [J]. *Quaternary Sciences*, 2002, 22(4): 340~348 [李永化, 张小咏, 崔之久, 等. 第四纪泥石流活动期与气候期的阶段性耦合过程 [J]. 第四纪研究, 2002, 22(4): 340~348]
- [11] Li Yonghua, Zhang Xiaoyong, Cui Zhijiu. Coupling of debris flow, climate period and tectonic period in the mountainous area of Longnan [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(2): 96~100. [李永化, 张小咏, 崔之久. 陇南山地泥石流期、气候期与构造期的耦合 [J]. 水土保持研究, 2003, 10(2): 96~100]
- [12] Wang Jianli, Wang Yong, Shi Yue. A preliminary study on debris flow and environmental evolution in Holocene at the Bailongjiang River Valley [J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science)*, 2000, 25(4): 452~456 [王建力, 王勇, 师玉娥. 白龙江流域全新世泥石流与环境演变的初步研究 [J]. 西南师范大学学报, 2000, 25(4): 452~456]
- [13] Ye Y. G., Diao S. B., Jie H., et al. ESR dating studies of palaeo-debris-flow deposits in Dongchuan, Yunnan Province, China [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1998, 17(11): 1073~1076
- [14] Lei Xiangyi, Li Zhao-shu. Primary study on age and genesis of debris flow deposits in Jiangjia Ravine, Yunnan Province [J]. *Mountain Research*, 1993, 11(3): 149~155 [雷祥义, 李昭淑. 蒋家沟泥石流堆积物的时代及成因 [J]. 山地研究 (现山地学报), 1993, 11(3): 149~155]
- [15] Li Yonghua, Zhao Jun, Cui Zhijiu, et al. The study of debris flow's movement regulation and reasons in late Cenozoic Era in the eastern fringe of Tibetan Plateau and the nearby regions [J]. *Geographical Research*, 2002, 21(5): 561~568 [李永化, 赵军, 崔之久, 等. 青藏高原东缘和邻区晚新生代泥石流活动规律及其成因 [J]. 地理研究, 2002, 21(5): 561~568]
- [16] Wien K., Illing M. K., Schulz H. D. Age models for the Cape Blanc Debris Flow and the Mauritania Slide Complex in the Atlantic Ocean off NW Africa [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2007, 26: 2558~2573
- [17] Lebens J., Schaetzl R. J. Relative-age relationships of debris flow deposits in the Southern Blue Ridge, North Carolina [J]. *Geomorphology*, 1997, 21(1): 53~67
- [18] Strunk H. Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods [J]. *Catena*, 1997, 31(1-2): 137~151
- [19] Palacios D., Parrilla G., Zamorano J. J. Paraglacial and postglacial debris flows on a Little Ice Age terminal moraine, Jamapa Glacier, Pico de Orizaba (Mexico) [J]. *Geomorphology*, 1999, 28(1-2): 95~118
- [20] Ballantyne C. K. The Beinn Alligin rock avalanche, NW Scotland: cosmogenic ^{10}Be dating, interpretation and significance [J]. *The Holocene*, 2004, 14(3): 448~453
- [21] Santilli M., Manuela P. Dendrogeomorphology and dating of debris flows in the Valle del Gallo, Central Alps, Italy [J]. *Dendrochronologia*, 2002, 20(3): 269~284
- [22] Pope R. J. J., Wilkinson K. N., Millington A. C. Human and climatic impact on Late Quaternary deposition in the Sparta Basin: piedmont evidence from alluvial fan systems [J]. *Georachaeology: An International Journal*, 2003, 18(7): 685~724
- [23] Pope R., Wilkinson K., Skourtos E., et al. Clarifying stages of alluvial fan evolution along the Sfakian piedmont, southern Crete: New evidence from analysis of post-incisive soils and OSL dating [J]. *Geomorphology* (2007), doi: 10.1016/j.geomorph/2007.05.007
- [24] Marchetti D. W., Cerling Thure E. Cosmogenic ^3He exposure ages of Pleistocene debris flows and desert pavements in Capitol Reef National Park, Utah [J]. *Geomorphology*, 2005, 67: 423~435

Study on the Mechanism of Thermoluminescence Attenuation of Debris Flow Deposit

WEI Mingjian¹, GE Yonggang^{2,3,4}, LU Zhaowen¹, CAI Miao¹, WANG Junping¹, PAN Baolin¹

(1. College of Resources Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100037, China;

2. Key Laboratory of Mountain Hazards and Land Surface Processes, CAS, Chengdu Sichuan 610041, China;

3. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu Sichuan 610041, China;

4. Department of Geographical Science and Environmental Engineering, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji Shaanxi 721013, China)

Abstract The work discusses the mechanism of thermoluminescence attenuation of debris flow deposition by testing the thermoluminescence dose of the samples from source area, drainage area and deposition area. It is proved that thermoluminescence attenuation occurred in the process of debris flow movement and the thermoluminescence dose decreased in order from source area, drainage area to deposition area. Thermoluminescence attenuation by sunlight leads to the low thermoluminescence dose in deposition areas and even to 0.7 Gy. The Thermoluminescence dating is an effective method for debris flow deposition, especially the valley with the low frequent debris flow. However, it is necessary to further study the mechanism of thermoluminescence attenuation.

Key words debris flow; Thermoluminescence; attenuation

更正启事二则

1. 刊登于《山地学报》2008年第3期的“黑方台黄土滑坡类型与发育规律研究”一文, 图中黄土泥流滑坡群 4konos影像特征中比例尺存在偏差, 整图幅实际为 1920 × 885 m, 以此为准。

(许 领)

2. 刊登于《山地学报》2008年第2期的“北方农牧交错带生态系统服务价值测算及变化”一文第149~150页, 4.1.2价值的水平分布一节中, “3 000元”修改为“300 000元”; “6 000元”修改为“600 000元”; “10 000元”修改为“1 000 000元”。其他数据全部准确。

(刘军会)