

麻窝山小流域石漠化景观格局变化特征

陈 昊, 吴 攀, 刘 沛, 顾尚义, 曹振兴

(贵州大学 资源与环境工程学院, 贵阳 550003)

摘 要:针对受自然和经济因素限制,历史资料较为匮乏的贵州省威宁县麻窝山喀斯特岩溶盆地,利用不同时期的遥感影像数据揭示其石漠化景观的发展过程。以多时相多种遥感影像(MSS、ETM+和 AVNIR-2)为主要数据源,借助 GIS 平台和数理统计分析方法,从流域内石漠化的时空分布特点、植被退化特征和土壤侵蚀的角度分析研究区 33 a 来的石漠化动态变化。结果表明,流域内石漠化的形成和发展主要受人为因素的控制,并且其规模呈明显的扩张趋势。其中,在石漠化发展的前期(1977—2002 年)和后期(2002—2010 年),分别表现为迅速扩张和平缓增加的特点,石漠化面积增量分别为 0.42 km² 和 0.12 km²。同时,1980—2009 年间,强烈的人为活动导致了较为严重的土壤侵蚀,侵蚀模数达到 3 983.15 t/(km²·a)。

关键词:麻窝山;岩溶盆地;遥感;GIS;石漠化;侵蚀模数

中图分类号:P901;X171.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0239-05

Landscape Patterns of Rocky Desertification in the Mawoshan Karst Basin of Northwest Guizhou Province

CHEN Hao, WU Pan, LIU Pei, GU Shang-yi, CAO Zhen-xing

(College of Resources and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang 550003, China)

Abstract: As the limit by natural and economic factors and the lack of historical data, remote sensing images collected in different periods were used to reveal the development process of karst rocky desertification landscape in Mawoshan basin of Weining county, Guizhou Province. GIS and statistics analysis methods were used to analyze a karst rocky desertification distribution over the past 33 years based on remote sensing images (MSS, ETM+ and AVNIR-2) obtained in different periods. The temporal and spatial distribution characteristics of rocky desertification, vegetation degradation features and soil erosion were evaluated based on the analysis and previous research achievements. The results showed that, with expanding trend of the scale, the formation and development of rocky desertification of the Mawoshan watershed was greatly controlled by human activities. Early (1977—2002) and late (2002—2010) periods of rocky desertification presented rapid expanding and slow increase, respectively. The increase of rocky desertification areas of these two periods were 0.42 km² and 0.12 km², respectively. From 1980 to 2010, the human controlled erosion modulus reached 3 983.15 t/(km²·a) because of soil erosion resulted from intensive human activities.

Key words: Mawoshan; karst basin; remote sensing; GIS; rocky desertification; erosion modulus

石漠化指在亚热带脆弱的喀斯特环境背景下,受人类不合理社会经济活动的干扰破坏,造成土壤严重侵蚀,自然植被生态系统退化,基岩大面积出露,土地生产力严重下降的一种土地退化过程^[1]。贵州省是中国西南喀斯特地貌的中心,石漠化面积已经达到 50 000 km²^[2],也是西南山石地区石漠化面积最大的

省份。作为继西北地区沙漠化和黄土地区水土流失之后我国的第三大生态问题,石漠化问题已经成为脆弱的西南喀斯特环境的研究热点。虽然许多学者在建立石漠化评价指标体系的问题上的切入角度不同,选择的评价因素不一,指标的量化也存在差异,但石漠化以强烈的人类活动为主导的驱动机制及其对生

收稿日期:2012-01-19

修回日期:2012-02-29

资助项目:国家“973”计划项目课题“碳酸盐岩风化的生物地球化学过程与成土速率”(2006CB403202)

作者简介:陈昊(1987—),女,江西宁都人,硕士,研究方向为环境科学。E-mail:gchenhao1115@gmail.com

通信作者:吴攀(1973—),男,贵州黎平人,博士,教授,博士生导师,主要从事环境地球化学研究工作。E-mail:pwu@gzu.edu.cn

态环境的负面影响,却得到了普遍的接受和认同。与此同时,也存在对石漠化的时空分布规律和发展趋势认识不明确,使得治理过程不能因地制宜,从而影响治理成效和速度的问题^[3]。另外,由于石漠化过程中的土壤侵蚀伴随着有机质、养分的流失,导致土地生产力的下降,从而引发的人地矛盾严重制约当地的经济发展^[4]。因此,石漠化程度越高的地区,由于自然和经济因素的限制,所具备的历史资料越匮乏。遥感技术的应用却能避开地形地貌的限制,通过遥感影像所携带的丰富的地球资源和地貌特征信息有效地弥补这一缺憾。本文通过对多个时期的遥感影像进行分析,辅助野外实地调查,揭示研究区域 33 a 来石漠化的发展特点,并进一步评价人为因素对水土流失的影响。

1 研究区概况

研究区位于黔西北的威宁县麻窝山一相对封闭的小型岩溶盆地($103^{\circ}51'E-103^{\circ}55'E, 27^{\circ}05'N-27^{\circ}10'N$),流域面积 16.29 km^2 ,盆地面积 0.74 km^2 (图 1)。野外踏勘发现,盆地四周山体基岩裸露,植被和土被分布不连续,植被类型较单一,以刺叶高山栎(*Quercus spinosa*)为主,掺杂少量灌木林,盆地中有大量红土堆积,石漠化较严重。主要土地利用类型包括裸地、耕地、居民点、采矿用地、灌木林地、草地、疏林地和有林地等。相关资料显示,研究区年均日照数 $1\,800\text{ h}$,年降水量 850 mm ,70% 的降雨量集中在 6—9 月,年均气温 11.2°C ,1 月均温 3.9°C ,7 月均温 17.0°C ,属亚热带高原季风气候,区内出露地层岩石为泥盆纪(D_3)白云质灰岩。近 50 a 来盆地的生态环境变化及其演变过程详见文献^[5]。

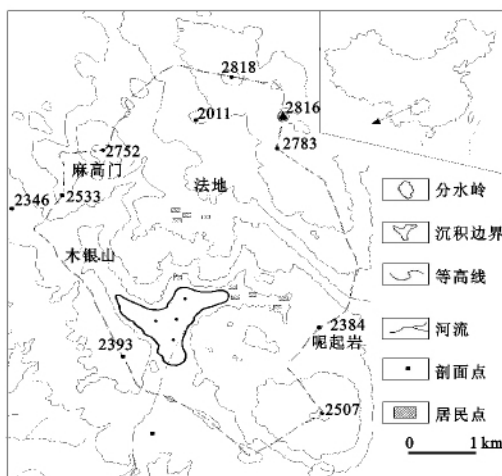


图 1 研究区汇水面积示意图^[6]

2 研究方法

本文的技术路线分为资料采集、影像校正和解译

三个部分。笔者通过野外踏勘和历史资料收集,整理了研究区 1990—1991 年的 1:1 万地形图和水文地质图,以及植被和土被的现状图片和通过对当地年长者的走访所得的视频和音频资料等。遥感数据源采用不同年份非耕作期的 Landsat-2 MSS, Landsat-7 TM 和 ALOS AVNIR-2 影像(表 1)。运用遥感图像处理 and GIS 处理分别在 ENVI 4.2 和 MAPGIS 6.7 中以 1:1 万地形图和地质图为基础对遥感影像进行精校正。为了最大限度地降低数据源和分辨率不统一所导致的误差,采用递进式的校正方法,即均匀选择不少于 30 个特征点和控制点,用 1:1 万的地形图和地质图先对空间分辨率较高的 AVNIR-2 影像进行几何精校正;将 MSS 及 TM 影像与 AVNIR-2 影像统一为相同的投影标准,以精校正后的 AVNIR-2 影像为基础对 MSS 及 TM 影像进行精校正。校正的像元精度控制在 0.3 个像素之内,同时采用一次多项式校正及最近邻域法对影像进行重采样。在建立感兴趣区(AOI)的基础上,以监督分类中的最大似然对影像进行分类处理^[7]。最后,结合植被指数 NDVI 分类结果和地形地质图,对监督分类结果进行调整,降低原始影像资料中阴影和条带的影响,得到最终

表 1 遥感影像数据信息

影像获取 时间	卫星 名称	传感器 名称	轨道号/ 行号	空间分 辨率/m
1977-03-26	Landsat-2	MSS	139/41	60
2002-03-13	Landsat-7	ETM+	129/41	30
2003-03-16	Landsat-7	ETM+	129/41	30
2004-03-18	Landsat-7	ETM+	129/41	30
2007-03-11	Landsat-7	ETM+	129/41	30
2008-03-29	Landsat-7	ETM+	129/41	30
2009-03-19	ALOS	AVNIR-2	—	10
2010-03-03	Landsat-7	ETM+	129/41	30

3 结果与分析

判定石漠化扩张程度的三个关键指示因子分别是:轻度的绿色植被覆盖、非绿色植物覆盖和基岩的裸露^[8]。通过综合自动信息处理、NDVI 分析结果和实地调研资料修正,将研究区内的地类根据基岩裸露率、土壤裸露率和植被覆盖率分为五类(表 2),其中人类活动区包括耕地和居民点。鉴于影像分辨率的限制,1977 年疏林地与有林地界限不明显,为避免严重误差,将其归为一类,统一为林地(图 2)。同时,基岩裸露作为判断石漠化的最为直接的标志之一,本文选择裸地面积指标,辅以土壤裸露和植被覆盖率来分析研究区石漠化的发展进程。

表 2 土地分类标准^[9]

地类名称	植被覆盖率/%	植被高度/m
裸地(石化区)	<10	—
人类活动区	—	—
灌木林地/草地	10~40	<2
疏林地	40~60	>2
有林地	>60	>2

3.1 石漠化景观格局分布

1977—2002 年,研究区具有石化特征的裸地面积呈明显上升趋势。2000 年,裸地面积增加了 0.42 km²,是 1977 年石化面积的 4 倍多,疏林地和有林地的面积之和为 2.88 km²,较 1977 年减少了 2.51 km²,而灌木林地和人类活动区面积分别增加了 0.22 km² 和 1.87 km²(图 2)。斑块呈现由成片分布向零星分布、少成片分布的分异格局,分离度上升^[10],整体分布凌乱程度增加。研究区的石化特征主要发生在盆地周边(图中 A,B,C,D 处)和研究区南部(图 3b 的 E 处)。演变的进程在靠近有林地与人类活动区域的分界线处,1977 年时仍为植被覆盖良好的林地大量发展为裸地,其中 A 处石化扩张最为明显。林地面积的减少,人类活动区域和裸地的增加,表明在无明显气候变化的前提下,人类活动对植被覆盖的影响较大。2002—2010 年间,裸地面积以平均 0.015 km²/a 的速度增长,若以此速度倒退至 1977 年,该年的裸地面积应为 0.13 km²,与实际值(0.09 km²)相差甚远。故推测 1977—2002 年间,流域所承载的人类活动强度远大于 2002—2010 年。据资料显示^[5],70 年代后期至 80 年代初,土地家庭联产承包制的实行导致当地居民对盆地周围山体植被的大幅破坏,直接导致了土壤裸露面积的增加,由于盆地周边坡度较大,导致无植被覆盖区域的表土随降雨大量流失。因

此,1977—2002 年间,由土地家庭联产承包制的实行而引发的植被破坏,在脆弱的地质条件的基础上,最终导致研究区石漠化大范围扩张的可能性较大。

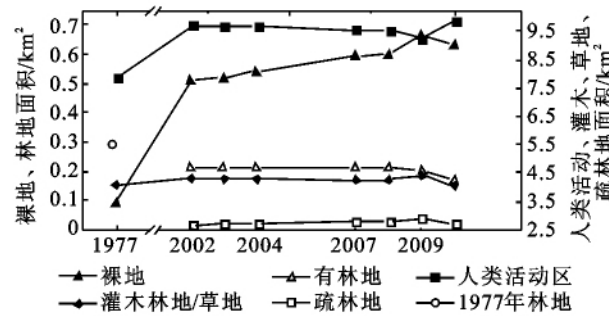


图 2 研究区地类面积变化图

从总体上来说,2002—2010 年期间,研究区石漠化面积以较为平缓的速度增加,增量为 0.12 km²,表明石漠化在经历明显的扩张期后,进入较为缓和的发展期,并在 2009 年达到峰值(0.66 km²)。在其空间分布上,主要表现为向人类活动区域的扩张(图 3c C,D 处)和灌木林地和草地向裸地的发展(图 3c A,B,F 处)。有林地面积呈下降趋势,疏林地和灌木林地以及草地面积的少量增加,说明景观格局向植被覆盖度更低的趋势发展。人为因素控制的耕地和居民点区域以及石化区域在 2009 年出现明显的波动,可能由两个方面引起(图 2)。一是根据 2002—2009 年间,人类活动区面积略微下降和石化面积的稳步增长,说明原来耕作区的土地石化,导致当地居民为保证一定的耕种面积,而转为对灌木林地、草地或者疏林地的开垦(图 3c G 处)。同时,原来石化区域在退耕还林还草政策的保护下,逐渐从裸岩发展为草地或灌木林地。二是由于 AVNIR-2 影像与其他影像在空间分辨率上的差异较大,分类精度的差距所致。

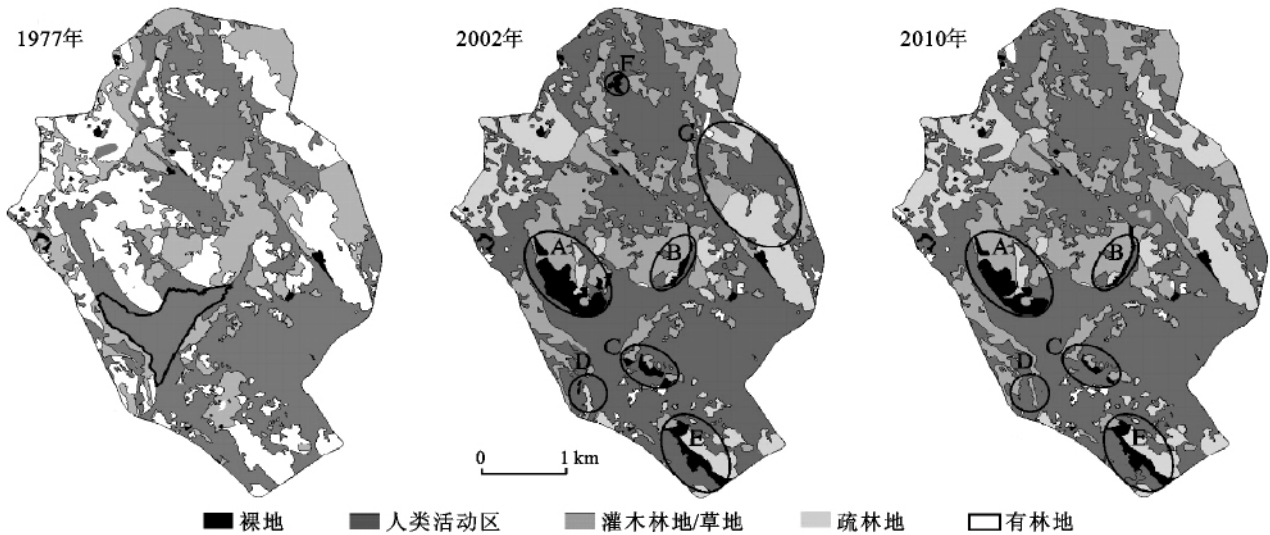


图 3 研究区不同时期景观格局分布

3.2 人为因素引发的土壤沉积量

在喀斯特地区,强烈的人类活动是导致土地石漠化最重要的因素之一^[11],研究区在 1977—2010 年间,具有人类活动特征的居民点和耕作区的规模呈现出较为明显的扩张趋势,其总量增加了 0.54 km²。同时,人为因素的影响,使得植被和土被的覆盖度下降,土壤和基岩裸露面积上升,大量的表土汇入盆地内,成为研究区石漠化进程的最佳记录者。从不同景观格局的定义来看^[9],人类活动区包括耕地和居民点,是人为建筑和种植区域面积的总和,在该景观格局范围内,人类活动是其内部结构变化的主要控制因素。由于空间分辨率的原因,像元对灌木林地和草地的区分能力较低,故灌木林地或草地定义的覆盖度(10%~40%)较广。根据实地调查发现,当地居民的耕种和砍伐行为对灌木林地的破坏程度较高,逐渐将植被密度较高的灌木林格局改造为密度较低的草地格局,从而导致土壤裸露率上升。在灌木丛向草地发展的过程中,人类活动是其内部格局分异的最重要的驱动因素。因此,笔者将主要受人为活动影响的人类活动区和灌木林地或草地区作为人为干扰范围,定义为人为干扰区。同时,人为干扰区范围内,用人为因素引起的土壤侵蚀模数来评价人类活动对土壤流失和石漠化发展的贡献。

已有研究表明,将 1980 年(土地家庭联产承包制)作为盆地水土流失加剧的起点较为合理^[5],结合对遥感影像的分析发现,研究区石漠化大规模发生于 1977—2002 年期间,故选择 1980 年作为人为控制的土壤侵蚀的起点。

因此 1977—1980 年间,盆地内景观格局没有发生明显的变化,那么 1980 年与 1977 年时由人为活动引发的土壤侵蚀区域面积近似相当,其值的计算为^[12]:

$$A_0 = A_e - A_v - A_r \quad (1)$$

式中: A_0 ——1980 年研究区人为干扰区面积; A_e ——自然侵蚀总面积,等于侵蚀流域总面积(16.29 km²)与盆地面积(0.74 km²)值差,即 15.55 km²; A_v ——植被覆盖面积,即有林地、疏林地面积之和为 5.39 km²; A_r ——石化区域面积 0.09 km²。由此,可以计算出研究区 1980 年人为干扰区面积为 15.46 km²。同时,1980—2009 年间,根据此公式,用 A_i 代替 A_0 ,并相应替换各年植被和石化面积参数值,即得到各年人为因素控制的土壤侵蚀区域面积 A_i 。其中,各年的植被和面积参数值用内插法计算得到。

根据修改后的土壤侵蚀模数的定义^[5],人为干扰区的侵蚀模数计算公式为:

$$M_h = (m - 29\rho V_s A_e) / \sum_{i=0}^n A_i \quad (2)$$

式中: M_h ——人为干扰区的侵蚀模数; m ——1980—2009 年间,研究区的侵蚀总量 1 308 002 t; ρ ——土壤平均密度 1.33 g/cm³; V_s ——自然侵蚀速率,取距今 4.69 万年(BP)至 20 世纪 70 年代末间的平均侵蚀速率,即为 0.000 777 cm/a^[13]; A_i 由公式(1)计算得出。由此公式可以计算出研究区 1980—2009 年,人为干扰区内人为因素引发的土壤侵蚀模数约为 3 983.15 t/(km²·a)。

4 讨论

20 世纪 70 年代末期,研究区内的植被覆盖程度较高,具有明显石化特征的区域极少。至 2002 年,区内出现明显的石漠化分布区,耕地面积增加,植被覆盖度下降,验证了当地年长者对 20 世纪 70 年代后期至 80 年代初流域内地貌特征的描述^[5]。与此同时,选择研究区遥感影像数据时,影像需要具备获取时间为非耕种期和影像中研究区位置未被云层覆盖两个条件,故所得到的有效影像数量有限。受数据量的限制,对 1977—2002 年间,具有明显石漠化特征的裸地面积的扩张趋势有可能是逐年增加,也可能是某一年(如 1980 年)剧烈变化,其具体的变化趋势还需进一步的研究。由此认为 2002 年遥感影像所呈现的石漠化范围主要是由于该时间段内无节制的砍伐和前期少量耕种活动累积所导致的结果。

对盆地侵蚀速率的研究表明^[13],区内沉积盆地承载的侵蚀量是人为干扰沉积和自然沉积两者的总和。20 世纪 70 年代至 2009 年,土壤平均沉积速率为 0.22 cm/a,而距今 46.9 ka BP 至 20 世纪 70 年代末间的平均沉积速率为 0.000 777 cm/a,两者相差 3 个数量级。经过计算,人为因素导致的土壤侵蚀总量达到 1 303 985 t,占总侵蚀量的 99.69%,侵蚀模数达 3 983.15 t/(km²·a)。综合区内以石漠化面积增加和植被覆盖等级下降为主的景观格局变化特征,表明由人类活动(砍伐和耕种)所积累的地表扰动直接引发了石漠化的产生与发展。

据此,本研究认为,流域内石漠化的形成和发展以及土壤流失的进程主要受由人为因素的控制。1977—2002 年期间,由于以砍伐为主的人为活动对盆地内及周边植被的破坏,导致区内植被等级以及覆盖度迅速下降,直接导致具有石化特征的裸地面积的剧烈增加以及土壤流失量的大幅上涨。在此期间,研究区石化面积的增量达到 0.42 km²,是 1977 年石化面积(0.09 km²)的 4 倍有余。2002—2010 年间,区

内石漠化进程表现为较为平缓的发展趋势。在此期间,区内石化面积的增量(0.12 km^2)较石漠化发展前期有所下降。但是,植被破坏模式由前期对成材树木的砍伐,转向对低等级的灌木林地、草地或者疏林地的开垦。同时,基于前人的研究成果,计算出1980—2009年间,由人为因素引发的土壤侵蚀量达1303985 t,其侵蚀模数为3983.15 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

另外,可见光波段在信息表达方式上主要集中于色彩和亮度^[14],所以,基于亮度值的DNVI植被归一化指数分类并不能完全解决植被覆盖度的问题。据此,本文采取通过综合自动信息提取、植被指数NDVI分类处理和人机交互解译方法,进行地类的识别和分析,从而达到减少分类误差的目的。为了深入研究区石漠化发展过程,下一步的研究工作应以基岩裸露率、植被和土被覆盖率、平均土厚和植被类型作为判别标准^[15],对流域内石漠化发展过程分等级进行综合评价。

参考文献:

- [1] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J]. 中国岩溶, 2002, 2(2): 101-106.
- [2] Zhang P P, Hu Y M, Xiao D N, et al. Rocky desertification risk zone delineation in karst plateau area: a case study in Puding County, Guizhou Province[J]. Chinese Geographical Science, 2010, 20(1): 84-90.
- [3] 黄秋昊, 蔡运龙, 王秀春. 我国西南部喀斯特地区石漠化研究进展[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(2): 106-111.
- [4] Wang S J, Liu Q M, Zhang D F. Karst rocky desertification in Southwestern China: geomorphology, land use, impact and rehabilitation[J]. Land Degradation Development, 2004, 15(2): 115-121.
- [5] 吴攀, 谢良胜. 论黔西北麻窝山岩溶盆地土壤堆积记录: 兼答张信宝先生[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(6): 83-87.
- [6] 谢良胜, 吴攀, 顾尚义, 等. 盆地型喀斯特流域土壤侵蚀模数的沉积量测量法[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(2): 20-23.
- [7] Dewan A M, Yamaguchi Y. Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: using remote sensing to promote sustainable urbanization[J]. Applied Geography, 2009, 29(3): 390-401.
- [8] Yue Y M, Zhang B, Wang K L, et al. Spectral indices for estimating ecological indicators of karst rocky Desertification[J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(8): 2115-2122.
- [9] Hansen M C, Defries R S, Townshend J R G, et al. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 26(6/7): 1331-1364.
- [10] 李阳兵, 王世杰, 容丽. 不同石漠化程度岩溶峰丛洼地系统景观格局的比较[J]. 地理研究, 2005, 24(3): 371-378.
- [11] 李森, 王金华, 王兮之, 等. 30 a 来粤北山区土地石漠化演变过程及其驱动力: 以英德、阳山、乳源、连州四县(市)为例[J]. 自然资源学报, 2009, 24(5): 816-824.
- [12] 中华人民共和国行业标准. 土壤侵蚀分类分级标准 SL190-96[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997: 2-16.
- [13] 葛佳杰, 顾尚义, 吴攀, 等. 贵州威宁麻窝山地区近五万年来土壤侵蚀速率研究[J]. 地球与环境, 2011, 39(2): 156-160.
- [14] 况顺达. 贵州马别河流域岩溶石漠化遥感评价及其形成机理研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2007.
- [15] 李瑞玲, 王世杰, 熊康宁, 等. 喀斯特石漠化评价指标体系探讨: 以贵州省为例[J]. 热带地理, 2004, 24(2): 145-149.