

喀斯特峰丛洼地农业生产活动的景观效应初探

张凤太^{1,2}, 张军以^{1,2}, 苏维词^{3,4}

(1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210093; 2. 贵州师范学院 资源环境与灾害研究所, 贵阳 550018; 3. 贵州科学院 山地资源研究所, 贵阳 550001; 4. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 400047)

摘要:为探讨峰丛洼地农业生产活动对景观的影响,从农业生产活动对峰丛洼地水文、植被及土壤的影响及其对景观格局演变的作用等方面入手,重点分析了农业生产与景观演变的相关性,结果表明:农业生产对峰丛洼地景观格局的影响,主要是由对原始植被的破坏导致表层岩溶水循环途径的阻断及表层岩溶带产流模式的改变造成的,即地下径流转化为地表径流。农业生产活动对喀斯特峰丛洼地景观变化的作用主要是破坏了地表植被系统的稳定性,造成景观破碎,使景观均质性减弱,造成景观的逆向演替乃至出现石漠化。

关键词:峰丛洼地; 农业生产; 景观格局

中图分类号:P642.25

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0191-05

Preliminary Research for the Influence of Agricultural Production Activities on the Landscape in Karst Peak-cluster

ZHANG Feng-tai^{1,2}, ZHANG Jun-yi^{1,2}, SU Wei-ci^{3,4}

(1. School of Geographic & Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Institute of Environment, Resources and Disaster, Guizhou Normal College, Guiyang 550018,

China; 3. Institute of Mountain Resource, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China;

4. Geography and Tourism Department, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract: To explore the landscape change effects resulted from agricultural activities in peak-cluster depression area, the effects of agricultural activities on hydrology, vegetation and soil were analyzed. And then, the correlation between agricultural activities and the landscape changes were discussed. The results showed that the influence of agricultural activities on landscape pattern were main attribution to the changes on runoff model and the cycling way blocking effect of karst surface water resulted from the destruction of the original vegetation. In addition, agricultural activities also destroyed the stability of land surface vegetation that induced a fragmented landscape and reduced its uniformity, even induced in a reverse succession of landscape and karst rocky desertification.

Key words: peak-cluster depression; agricultural production; landscape pattern

人类活动导致的喀斯特景观退化,为研究喀斯特生态系统稳定性的恢复和抵抗力的演化机制提供了机会^[1-2]。生态系统内循环的改变往往伴随着景观格局的演化,景观格局的形成反映了不同的景观生态过程,同时景观格局在一定程度上影响着景观的演变过程^[3]。当前土地利用结构与土壤水分、养分、水土流失等生态过程相关性的研究、农业生产活动的生态效

应及对景观格局演变的影响^[3-4],已成为目前景观格局与生态过程研究的重要方面。峰丛洼地作为亚热带、热带喀斯特地区最重要的一种地貌景观类型,是喀斯特地区特有的地貌组合形态,由陡峭、相对高度不等的峰丛和大小形态各异的洼地组成的特殊地貌结构单元^[5]。峰丛洼地特殊的地貌结构,使物质能量循环相对封闭,脆弱性强,生态系统稳定性差,易出现

收稿日期:2011-12-08

修回日期:2012-02-16

资助项目:贵州省科学技术基金项目“基于农户视角的喀斯特峰丛洼地生态恢复替代性生计模式选择研究”(黔科合J字[2012]2294);贵州省优秀科技教育人才省长专项资金项目(黔省专合字[2007]89);国家科技支撑计划子项目“喀斯特山区生态环境动态监测关键技术集成与应用示范”(2007BAD53B001);贵州省科技攻关项目“黔南典型喀斯特峰丛洼地生态修复技术与示范”(黔科合SY[2010]3015);贵州师范学院环境科学特色重点学科专项基金

作者简介:张凤太(1979—),男,山东沂南人,博士研究生,主要研究方向为生态环境与水文、景观生态。E-mail:zhfthero@126.com

与人类活动密切相关的石漠化、水土流失等生态问题。本文以贵州典型峰丛洼地地区为例,初步探讨农业生产活动对喀斯特峰丛洼地景观空间格局的影响,并初步分析其相关性,为峰丛洼地生态系统恢复与管理提供一定的参考。

1 研究区概况

贵州是世界上峰丛洼地的密集分布区之一,分布面积大。贵州喀斯特面积达 13 万 km²,占全省国土面积的 73.8%以上,全省 90%的县(市)有喀斯特分布,其中喀斯特面积占所在县土地面积 50%以上者占全省县(市)的 75%^[6],且为全国唯一没有平原支撑的农业大省。地貌类型主要分为:黔中—黔西南喀斯特峰林区;黔南—黔西北喀斯特峰丛区;黔北—黔东北喀斯特丘丛—峰丛区 3 大片区。据国土资源航空物探遥感中心(2002 年)的调查资料显示,中国峰丛洼地的面积达 67 491.95 km²,其中峰丛洼地的石漠化面积约为 45 716.31 km²^[5],主要分布在以贵州为中心的西南地区。喀斯特峰丛洼地地区人类活动以农业生产为主,形成了自然景观与农业景观的共存类型。

2 峰丛洼地农业生产的生态效应

峰丛洼地由于其特殊的地貌环境,生态环境的稳

定性较差,脆弱性较强。土地利用方式及植被类型对土壤性质的影响最为显著^[7],过度开垦和乱砍滥伐导致森林生态系统退化,造成严重的水土流失乃至土地荒漠化。人类通过农业生产将森林景观干扰为农业景观和居住景观^[8],农业生产活动不仅改变了自然景观,而且影响景观中的物质循环和能量流动、土壤水分、养分和土壤特性、侵蚀过程等生态过程的演进机制及时空分布。

黔南喀斯特峰丛洼地在景观空间表现上相互独立,少有贯通型出现,生态环境封闭,土壤剖面过渡层稳定性差,易受侵蚀。海拔多在 1 000~1 200 m,西部可达 1 700 m 以上。峰坡坡度多在 35°以上,有的达 60°~70°,洼地比重较小,约 10%~30%,底部较平坦,坡度 2°~5°,洼地面积多在 6.7 hm² 以下,面积较大的 13.3~20 hm²^[9]。峰丛洼地中的农业生产活动多为一户或几户占据一个洼地,由于环境的封闭性和相对较小的面积,单个农户的农业生产活动就可对整个峰丛洼地的景观格局产生决定性的影响。农田的分布一般以洼地的几何中心为圆心,依次向外成环带分布,逐渐过渡到不能利用的峰丛中下部的原始植被下缘,使林地多集中于地势更高的地貌部位且斑块面积相对较大,沿峰丛向上土壤盖度下降,植被覆盖度增加(表 1)。

表 1 峰丛洼地不同部位土壤—植被空间分布格局及利用方式

地点	调查地点	坡度/(°)	地貌部位	土壤覆盖度/%	土地利用类型
凌云县四渡	样点 1	4	洼地	100	水田
	样点 2	15	峰丛基座斜坡	75	旱坡地
	样点 3	25	峰丛基座陡坡	55	林地(竹林群落)
	样点 4	37	峰丛锥峰急斜坡	30	林地(灌丛群落)
	样点 5	63	峰丛锥峰急斜坡	20	林地(灌草景观)
荔波县凉水井	样点 1	3	洼地	100	水田
	样点 2	10	峰丛基座斜坡	80	水田
	样点 3	20	峰丛基座斜坡	30	林地(森林群落)
	样点 4	35	峰丛锥峰急斜坡	15	林地(森林群落)
	样点 5	55	峰丛锥峰急斜坡	6	林地(森林群落)
	样点 6		峰丛顶部	3	林地(森林群落)

注:据参考文献[13]整理。

2.1 农业生产活动的景观效应

农业生产的同心圆式分布格局,对喀斯特表层岩溶水文循环产生了重要的影响。首先,峰丛部位农业生产的出现,完全破坏了原生境植被。植被的生长依赖于生境条件,生态环境的良性演化依赖于植被的恢复^[10],在景观水平上,随着人类活动强度的降低,景观的破碎化程度降低^[11],贵州省人口密度在 1950 年、1970 年分别为 80,187 人/km²,人均耕地面积 0.123

hm²/人,同时期水土流失面积由 1950 年的 2.5 万 km² 增加到 1960 年的 3.5 万 km²,导致大量林地、草地被破坏^[12],造成生境斑块破碎与分离。此外,碳酸盐岩本身富钙偏碱,对植物有强烈的选择性,植被遭到破坏后极难恢复,造成水土流失乃至石漠化。

2.2 农业生产活动的水文生态效应

农业景观在“垂直”方向不适宜的匹配(如陡坡垦殖)和在“水平”方向不合理的空间布局,是构成岩溶

山区景观退化的主要原因^[13-14]。农业生产的环状分布模式阻断了峰丛洼地表层岩溶水循环路径,对峰丛坡面的径流,尤其是壤中流及地下径流在流经农业生产带时,由于植被破坏和人类耕作活动的影响,土壤厚度下降及层次改变,大部分壤中流和地下径流出露为地表径流,加之缺少植被的截留,同一降水农业生产带的地表径流量显著增加,从而加剧了水土流失。地表径流的变化对岩溶速率有重要影响,在温度相近的情况下,云、贵喀斯特地貌平均溶蚀量分别为43.13,56.17 mm/ka,贵州比云南高30.2%,主要因贵州的年均雨量比云南高25.2%^[15]。森林覆盖下表层岩溶带的水文动态比灌木林稳定,具有较连续的土壤盖层的表层岩溶带具有较稳定的水文动态变化过程^[16],表明农业生产对土壤的扰动及植被的破坏使表层岩溶带的水文动态平衡被打破,扰乱了表层岩溶水循环的耦合系统。峰丛中下部农田流失的土壤不断沉积于洼地,洼地土层加厚或土壤由洼地中的落水洞、裂隙进入深层地下水循环系统而流失,造成峰丛的贫瘠化,农民为获得更多的土地来满足生产需要,沿峰丛向上开垦新的土地或转移到未开发的峰丛洼地,最后耕地仅集中于洼地底部,峰丛土壤流失使洼地底部的耕作土层变厚,可耕作性转好。如峰丛洼地区峰丛土壤厚度多为10~20 cm,仅在裂隙和洼地较低处才可达1 m以上,洼地土层一般较厚,为40~60 cm,个别可达到100 cm以上^[9]。峰丛植被及表层水循环系统受到破坏,使洼地农业生产稳定性及抵抗自然灾害的能力极度恶化,极易发生干旱与洪涝灾害,造成减产或绝产。据统计,贵州的峰丛洼地区,西部的兴义、兴仁等春旱极为严重,年发生频率达70%以上,重旱频率可达30%。1951—1980年30 a中平均发生中、重春旱10~17次。中部的织金、镇宁等地的峰洼区,30 a发生中、重春旱6~10次,其中重春旱1~2次。东部的荔波、独山等峰洼区的春旱较弱,但次数亦在10次左右^[9]。

3 峰丛洼地农业生产的景观效应

喀斯特峰丛洼地区,植被的空间分布格局直接影响着区域土壤生产力的高低和生态环境演化的途径和方向。土地利用使土壤理化性质产生变化,影响了岩溶作用的方向和强度。在宏观尺度范围内,岩性地貌组合与景观格局间存在着必然联系^[17]。在微观尺度上,人类活动对景观格局的构建起着决定性作用。在生态演替及人类活动干扰的共同作用下,景观生态过程极为活跃,景观格局的变化速率快^[18],如贵州云洞湾村2001年的森林覆盖率由1990年的7.3%提高

到91%,区内60%的水土流失得以控制,80%的土地石漠化得到了有效防治。土壤的肥力性质决定了岩溶生态系统的脆弱性,由于岩溶作用,土壤中阳离子交换量和有机质含量较高,但缺乏Mn、Fe、P等元素,肥力低,加之土层薄、岩体裂隙发育等导致干旱及土壤结构的上松下紧两种质态界面稳定性降低,对环境脆弱起放大作用^[19],已有数据^[20]表明非碳酸盐岩的微量元素含量为10.894 2 mg/kg,而碳酸岩区仅为3.532 27 mg/kg。

3.1 植被系统的景观响应

峰丛洼地系统中,地貌地形在一定程度上决定了土壤的空间分布,土壤的分布又与峰丛洼地表层水循环系统密切相关,土壤分布与表层水循环的空间异质性决定了地表植被群落的分布格局。喀斯特地区植被生长速度慢,生物生产力比全国其他湿润亚热带地区明显偏低^[21],研究表明喀斯特森林群落正向演替可极显著增加群落地上生物量;从石生草本群落的4.76 t/hm²到土壤顶级群落的144.66 t/hm²^[22]。在外界干扰下,植被—土壤—表层水循环系统易失去平衡,系统结构发生变化并形成路径障碍,造成破坏性波动或恶性循环导致系统退化^[23]。植被破坏后难以恢复,贵州西北部海拔2 200 m的高原面和中部、东部海拔1 700 m以上的中山顶部,在森林破坏以后,由于气候恶劣,人工造林难以成功,只能发育成山地草甸或灌木林^[24],甚至使景观走向以石漠化为主要特征的演化趋势。

3.2 土壤系统的景观响应

土壤系统的景观演变在有植被覆盖的情况下相对稳定。农业耕作导致喀斯特土壤流失、退化^[25],地表植被抵御短期强降水侵蚀土壤的效果明显,耕地土壤的平均侵蚀量可达到原始草坡的15倍左右^[26],利用¹³⁷Cs取样研究表明草地平均侵蚀速率为112.5 t/(km²·a),缓坡耕地平均侵蚀速率为565.5 t/(km²·a),陡坡耕地的平均侵蚀速率为2 264.8 t/(km²·a)^[27]。喀斯特土地景观主要可分为三种类型:一是水土匹配条件极差、坡度大、土被薄的不适合耕种且缺少植被覆盖的天然裸露地。二是水土匹配条件适中的望天田。三是有植被覆盖的天然(灌丛)森林或草被。植被为土壤提供有机物,土壤有机碳是土壤CO₂的主要来源,土壤CO₂为岩溶泉HCO₃⁻不容忽视的重要来源,土壤有机质对岩溶作用具有明显的促进作用^[28]。研究表明,贵州岩溶速度为0.036~0.076 mm/a;云南岩溶速度为0.031 7~0.515 mm/a,失去土壤覆盖的岩溶生态系统成土速率更慢。其次是土壤湿度,土壤湿度通过影响土壤粘结力而影响地表生

态系统的稳定性^[29],岩溶山地土壤持水性能与有机质含量、大于 0.25 mm 水稳性团聚体有关。农业生产的分布格局对元素/物质迁移、土壤养分的动态稳定具有一定的影响,土地由草地变为林地、旱地变为林地、旱地变为水田时,总体养分增多^[30]。

3.3 农业生产活动的景观效应

农业生产带是一个扩散干扰源。农业生产的耕作使地表—地下水过渡带下移甚至阻断过渡带,使地下水位下降,影响地表植被的生长甚至存活。农业生产导致动植物生境破碎化、植被类型减少和动植物多样性变化^[30]。峰丛洼地系统的物质运动,具有明显的向心性(表 2)。

表 2 峰丛洼地土壤分布空间特征

	峰顶	峰腰(上)	峰腰(下)	洼地边缘	洼地底部
厚度/cm	0	3	10	36	58
质地	壤质	壤质	壤质, 有碎屑	黏壤, 碎屑较多	粘质, 碎屑较大

注:据参考文献[31]整理。

人类农业生产活动使生态系统大致沿着森林植被→藤刺灌丛或石漠→石漠化路径演替,使景观的动态变化速率及变化幅度,远高于自然状态下的演替速率。如贵州镇宁县安庄乡张家寨子(位于洼地区),20 世纪 60 年代以来对峰丛进行开发利用,造成水土流失不断加剧,石漠化面积由原来的 41% 增加至现在的 80% 左右^[31],表明人类活动对景观结构、功能具有重要的影响,是土地利用变化的重要原因^[32]。农业生产对景观变化的影响具体表现在以下方面。(1) 景观组合多样化。农业生产带自身作为一类特殊的景观单元进入到自然景观系统中,势必将导致原始景观系统中部分景观斑块的消失或面积变化,增加了景观斑块的多样性及破碎度。(2) 损坏了原始景观的系统性。峰丛洼地在自然状态下,峰丛与洼地之间通过一定的物质流、能量流保持着景观系统的整体性与完整性。农业生产活动尤其是农业生产带使洼地景观系统和峰丛景观系统在系统循环过程中路径的完整性遭到破坏,景观的演变失去协同性,演化方向趋于随机性,景观异质性提高。(3) 景观稳定性下降。景观系统要保持稳定,景观自身必须具有相对完善的物质能量循环结构,表现在景观系统的抗逆性必须以一定的面积为基础。一般情况下,景观破碎度越高,稳定性越差,其抗逆能力越弱,越易受到外界的干扰。(4) 景观均质性减弱。农业生产使峰丛洼地表层水循环受到破坏及植被景观之间的廊道变窄以致消失,景观均质性下降,易受相邻景观的入侵,景观斑块缩小甚至被优势景观取代。

4 峰丛洼地农业生产与景观变化相关性成因

景观形状复杂程度及景观斑块的密度受人口数量、人类活动强度等多种因素的影响^[33]。2010 年贵州人口密度为 197 人/km²,高出全国平均水平约 40 人/km²,人均 GDP 为 13 221 元,仅为全国平均水平的 44%。人类对喀斯特生态系统的作用主要基于四种效应:干扰效应、阻断效应、累积效应和破碎效应^[34]。在未受到人类活动影响的峰丛洼地中,峰丛坡底一般是植被覆盖最好的区域,喀斯特地区降水丰富,在峰丛覆盖土壤下部一般是不透水的碳酸盐基岩,薄土层遇到降水时极易在土壤底部与碳酸盐基岩上部形成地下径流,地下径流沿碳酸盐基岩表面在势能的作用下汇集到峰丛坡底,同时溶于水的营养元素也在坡底汇集,使坡底生境相对优越,利于植被生长。当喀斯特流域土地利用/覆被产生变化,将导致流域的蒸散发、截留、下渗等特性发生变化,改变了流域产汇流过程^[35],进而影响植被的生长。农业生产活动首先破坏峰丛坡底的植被,峰丛坡底土壤不断流失,土被薄化,产生于峰丛的地下径流在坡底出露为地表径流,由于失去坡底含水土壤的顶托作用,造成峰丛坡地土壤失水加快,使原有植被不断向后退却。在人类活动干扰强度相对不变的情况下,表层水循环系统重新达到平衡,在洼地与植被之间形成宽度不一的缓冲过渡带,峰丛洼地表层水循环系统的覆盖范围缩小。若人类活动的干扰强度不断增大,峰丛洼地表层水循环系统的覆盖区域不断缩小,当缩小到一定面积时,将不足以形成完善的植被—土壤系统的水循环,造成植被缺水退化,斑块发生异质性改变,植被系统逐渐沿着负演替方向发展,最终使生态系统脆弱性增强,系统恶化。

景观变化取决于斑块动态,即斑块的出现、持续和消失,而以景观破碎化最为典型。景观变化增加了斑块的数量,减少了生物物种内部生境的面积,相应增加了开放边缘的容量^[36],对秦巴山地农业景观空间格局及其动态的研究亦表明水资源、地形等自然环境因素对景观空间格局动态有一定的影响^[37]。人类活动作用的结果使景观组分的原始自然特性不断降低,不同类型的景观组分代表着不同的人为活动或开发利用强度特征,根据景观组分及变化的特征,可以构建人为影响指数,用于描述一定区域内景观受人为活动的影响强度^[30]。

5 结论

喀斯特峰丛洼地地区的农业生产对景观变化起着

重要的作用,农业生产活动形成的耕地—植被过渡带,造成景观破碎化,脆弱性增强,水土流失及土壤侵蚀程度加剧,易造成石漠化。在外界干扰下喀斯特生境的景观连续性受到破坏,农业生产过渡带对喀斯特峰丛洼地植被及表层水循环路径造成了重要的影响,使土壤—植被系统的稳定性下降,使环境易发生负向演替。农业生产对喀斯特生态景观格局具有重要的影响,了解并掌握农业生产对喀斯特生态景观格局演化的影响机制及驱动耦合机理,对有效防治生态环境退化,土地石漠化均具有重要的意义。构建农业生产与喀斯特生态景观动态变化的耦合机制框架是今后工作的重点之一。

参考文献:

- [1] Gillieson D, Wallbrink P, Cochrane A. Vegetation change, erosion risk and land management on the Nullarbor Plain, Australia[J]. *Environmental Geology*, 1996, 28(3): 145-153.
- [2] 李阳兵,白晓永,周国富,等. 中国典型石漠化地区土地利用与石漠化的关系[J]. *地理学报*, 2006, 61(6): 624-632.
- [3] 胡巍巍,王根绪,邓伟. 景观格局与生态过程相互关系研究进展[J]. *地理科学进展*, 2008, 27(1): 18-24.
- [4] 王仰麟. 农业景观格局与过程研究进展[J]. *环境科学进展*, 1998, 6(4): 29-34.
- [5] 邓新辉,吴孔运,蒋忠诚,等. 西南喀斯特峰丛洼地生态环境效应及其危害[J]. *广西农业科学*, 2009, 40(7): 857-863.
- [6] 苏孝良. 贵州喀斯特石漠化与生态环境治理[J]. *地球与环境*, 2005, 33(4): 20-28.
- [7] 曹建华,蒋忠诚,杨德生,等. 贵州省岩溶区水土流失、石漠化受岩溶环境制约[J]. *中国水土保持*, 2009(1): 20-23.
- [8] 付梅臣,胡振琪,吴淦国,等. 农田景观格局演变规律分析[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(6): 54-58.
- [9] 周国富. 贵州喀斯特峰丛洼地农业自然灾害及对策初步研究[J]. *贵州师范大学学报:自然科学版*, 1997, 15(4): 25-30.
- [10] 李阳兵,王世杰,谢德体,等. 西南岩溶山区景观生态特征与景观生态建设[J]. *生态环境*, 2004, 13(4): 702-706.
- [11] 张笑楠,王克林,张明阳. 人类活动影响下喀斯特区域景观格局梯度分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(12): 1187-1192.
- [12] 岳跃民,王克林,张伟,等. 基于典范对应分析的喀斯特峰丛洼地土壤—环境关系研究[J]. *环境科学*, 2008, 29(5): 243-249.
- [13] 但文红,张聪,宋江,等. 峰丛洼地石漠化景观演化与土地利用模式[J]. *地理研究*, 2009, 28(6): 1615-1624.
- [14] 张惠远,王仰麟. 山地景观生态规划:以西南喀斯特地区为例[J]. *山地学报*, 2000, 18(5): 445-452.
- [15] 杨明德,梁虹. 峰丛洼地形成动力过程与水资源开发利用[J]. *中国岩溶*, 2000, 19(1): 44-51.
- [16] 姜光辉,郭芳. 我国西南岩溶区表层岩溶带的水文动态分析[J]. *水文地质工程地质*, 2009(5): 89-93.
- [17] 邵景安,李阳兵,王世杰,等. 岩溶山区不同岩性和地貌类型下景观斑块分布与多样性分析[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(3): 478-485.
- [18] 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.
- [19] 任海. 喀斯特山地生态系统石漠化过程及其恢复研究综述[J]. *热带地理*, 2005, 25(3): 195-200.
- [20] 任明强,张家德,卢正艳. 贵州喀斯特与非喀斯特农业生态地质环境质量对比研究[J]. *中国岩溶*, 2009, 28(4): 397-401.
- [21] 苏维词. 贵州喀斯特山区生态环境脆弱性及其生态整治[J]. *中国环境科学*, 2000, 20(6): 547-551.
- [22] 夏焕柏. 茂兰喀斯特植被不同演替阶段的生物量和净初级生产力估算[J]. *贵州林业科技*, 2010, 38(2): 1-7.
- [23] 邵景安,李阳兵. 西南岩溶山地乡村景观格局与石漠化调控展望[J]. *地理科学进展*, 2008, 27(1): 25-31.
- [24] 李阳兵,谭秋,王世杰. 喀斯特石漠化研究现状、问题分析与基本构架[J]. *中国水土保持科学*, 2005, 3(3): 27-34.
- [25] 张伟,陈洪松,王克林,等. 喀斯特峰丛洼地土壤养分空间分异特征及影响因子分析[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(9): 1828-1835.
- [26] 张素红,李森,李红兵,等. 粤北石漠化地区土壤侵蚀初步研究[J]. *中国岩溶*, 2006, 25(4): 280-284.
- [27] 何永彬,张信宝,文安邦. 西南喀斯特山地的土壤侵蚀研究探讨[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(6): 2393-2398.
- [28] 潘根兴,孙玉华,滕永忠,等. 湿润亚热带峰丛洼地岩溶土壤系统中碳分布及其转移[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(1): 69-72.
- [29] 苏维词. 喀斯特流域生态系统稳定性结构模型初探[J]. *贵州科学*, 2002, 30(1): 14-20.
- [30] 张保华,谷艳芳,丁圣彦,等. 农业景观格局演变及其生态效应研究进展[J]. *地理科学进展*, 2007, 26(1): 114-122.
- [31] 周国富. 喀斯特峰丛洼地系统土地利用与人口聚落分布:以贵州为例[J]. *中国岩溶*, 1995, 14(2): 195-199.
- [32] 葛方龙,李伟峰,陈求稳. 景观格局演变及其生态效应研究进展[J]. *生态环境*, 2008, 17(6): 2511-2519.
- [33] 张笑楠,王克林,张明阳. 人类活动影响下喀斯特区域景观格局梯度分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(12): 1187-1192.
- [34] 张军以,苏维词,苏凯. 喀斯特地区土地石漠化风险及评价指标体系[J]. *水土保持通报*, 2011, 31(2): 172-176.
- [35] 蒙海花,王腊春. 岩溶地区土地利用变化的水文响应研究:以贵州后寨河流域为例[J]. *中国岩溶*, 2009, 28(3): 227-234.
- [36] 肖笃宁,李秀珍,高峻,等. 景观生态学[M]. 北京:科学出版社, 2003: 76-78.
- [37] 张艳芳,任志远. 陕西秦巴山地农业景观空间格局与动态研究:以柞水县下梁镇为例[J]. *陕西师范大学学报:自然科学版*, 2000, 28(4): 115-119.