

JINGSHAJIANG GANREHEGU QU
TUDI LIYONG/FUBEI BIANHUA YANJIU

金沙江干热河谷区 土地利用/覆被变化研究

何锦峰 著



金沙江干热河谷区土地利用/ 覆被变化研究

何锦峰 著

四川出版集团
四川科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

金沙江干热河谷区土地利用/覆被变化研究/何锦峰著. - 成都: 四川科学技术出版社, 2009. 6

ISBN 978 - 7 - 5364 - 6854 - 2

I. 金... II. 何... III. 金沙江 - 干谷 - 土地利用 - 研究 IV. F321.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 099246 号

金沙江干热河谷区土地利用/覆被变化研究

著 者 何锦峰
责任编辑 杨晓黎 牛小红
封面设计 张维颖
版式设计 康永光
责任出版 邓一羽
出版发行 四川出版集团·四川科学技术出版社
成都市三洞桥路 12 号 邮政编码 610031
成品尺寸 185mm × 260mm
印张 7.25 字数 170 千
印 刷 成都市辰生印务有限责任公司
版 次 2009 年 6 月成都第一版
印 次 2009 年 6 月成都第一次印刷
定 价 32.00 元
ISBN 978 - 7 - 5364 - 6854 - 2

■ 版权所有·翻印必究 ■

■ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。

■ 如需购本书,请与本社邮购组联系。

地址/成都市三洞桥路 12 号 电话/(028)87734035
邮政编码/610031



序

土地资源为人类生存之本。随着社会的发展,人类土地利用活动对土地覆被的改变以及对环境不断地产生各种影响,土地资源系统本身也处在动态变化之中。土地利用/土地覆被变化是全球环境变化中最显著的方面,它既受自然因素的制约,又受社会、经济、技术和历史等因素的影响,具有很强的综合性和地域性,已经成为全球变化研究最重要的组成部分和研究热点。多国政府、国际组织、学术界相互合作,开展了包括 Lucc 在内的众多全球变化研究项目。

由于金沙江干热河谷区的地理位置与地形条件的缘故,焚风效应明显,气候干热、植被稀疏、水土流失严重,是我国西南地区典型的生态环境脆弱区。加之人类对本已脆弱的生态环境区景观的干扰,土地利用/土地覆被已经或必将发生强烈变化。干热河谷属于社会经济条件较落后、人地矛盾较突出的山地系统。自然生态与社会经济人文因素的多样性十分显著,土地利用/土地覆被在垂直方向上表现出农、林、牧交错的特征,土地利用/土地覆被具有其独特性。开展金沙江干热河谷区土地利用/土地覆被时空演化研究,对了解本区土地利用/土地覆被时空特征及变化、机理,对合理保护与利用土地资源和改善生态环境具有一定意义。

本书选择金沙江干热河谷具有代表性的云南省元谋县为例,以景观生态学、地学信息图谱理论和 3S 技术、全球定位系统、地理信息系统为研究方法,研究干热河谷区土地利用/土地覆被的时间变化和空间格局变化规律。全书共分八章:第一章 研究区概况——对研究区社会经济概况和土地利用历史进行了调查分析;第二章 土地利用/土地覆被变化研究方法——介绍了 3S 技术、信息图谱方法及景观生态学原理等土地利用/土地覆被时空变化研究方法;第三章 土地利用/土地覆被变化监测信息系统(LUCCMIS)开发——阐述土地利用、土地覆被监测信息系统开发、干热河谷 TM 影像解译标志的建立及数据库的建设;第四章 土地利用/土地覆被结构变化及动态——土地利用/土地覆被数量结构变化及动态分析;第五章 单一土地利用/土地覆被要素空间格局变化——土地利用/土地覆被的垂直分异,各要素斑块面积特征,单一景观要素形状特征与空间分布特征等;第六章 土地利用/土地覆被镶嵌体空间格局变化——包括土地利用/土地覆被的异质性特征,土地利用/土地覆被镶嵌结构的分维数与稳定性特征等;第七章 土地利用程度变化驱动力模型的图谱分析——通过 GIS 的空间分析功能,运用图形分析方法,判断影响区域土地利用程度变化的主导因子,建立土地利用程度变化量和各土地利用驱动因子及其变化量之间的回归模型;第八章 土地利用、土地覆被变化模拟与优化思路——利用景观格局分析中经典的马尔柯夫链模型,通过转移格局预测土地利用变化趋势,提出土地利用优化思路。

本书的内容来源于作者在中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所攻读博士



学位的毕业论文。成文过程,得到中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所陈国阶研究员和杨忠研究员的热情鼓励和悉心指导,中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所苏春江研究员、周万村研究员、刘邵权副研究员、马泽忠博士,四川大学艾南山教授,西华师范大学冯明义教授等给予了积极支持和帮助,中国科学院元谋生态实验站在野外工作方面提供了大量支持,在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于土地利用/土地覆被变化涉及众多自然与人文因素,具有显著的区域性且变化机制十分复杂,加之数据来源有限以及受本人的知识背景、水平和学识所限,书中的疏漏和缺陷在所难免,恳请专家和社会各界读者批评指正。

作者

2009年1月于重庆



目 录

第一章 元谋县概况	1
第一节 自然地理特征	1
第二节 社会经济概况	3
第三节 元谋县土地利用历史	4
第二章 土地利用、土地覆被变化研究方法	8
第一节 土地利用、土地覆被信息图谱	8
第二节 3S 技术在 LUCC 研究中的集成	14
第三节 土地利用、土地覆被的景观格局研究	16
第三章 土地利用、土地覆被变化监测信息系统	23
第一节 LUCCMIS 系统设计	23
第二节 LUCCMIS 数据库设计	27
第三节 TM 影像的土地利用、土地覆被解译标志建立	31
第四节 LUCCMIS 数据库建设	36
第四章 土地利用、土地覆被结构变化及动态度	41
第一节 土地利用结构及变化	41
第二节 土地利用、土地覆被变化动态度	45
第五章 单一土地利用、土地覆被要素空间格局变化	48
第一节 土地利用、土地覆被要素垂直分异	48
第二节 土地利用、土地覆被要素斑块基本特征	52
第三节 单一土地利用、土地覆被要素空间分布与形状特征	55
第六章 土地利用、土地覆被镶嵌体空间格局变化	60
第一节 土地利用、土地覆被镶嵌体多样性	60
第二节 土地利用、土地覆被镶嵌体分形结构	65
第三节 土地利用、土地覆被镶嵌结构的稳定性	69
第七章 土地利用程度变化驱动力模型的图谱分析	72
第一节 土地利用变化驱动力系统	72



第二节	干热河谷区土地利用、土地覆被变化的人文驱动力	75
第三节	土地利用程度评价	79
第四节	土地利用程度变化驱动力模型的信息图谱分析	81
第八章	土地利用/土地覆被变化预测与优化思路	85
第一节	LUCC 的马尔柯夫预测模型	85
第二节	元谋县 LUCC 趋势预测	87
第三节	土地利用优化思路	92
第九章	结论与展望	95
主要参考文献		99



第一章 元谋县概况

元谋县位于云南省北部,金沙江下游龙川江河谷盆地内,介于 $101^{\circ}35' \sim 102^{\circ}26'E$, $25^{\circ}23' \sim 26^{\circ}06'N$ 之间,土地总面积 $2\,037.85\text{km}^2$,区内海拔介于 $899 \sim 2\,835\text{m}$ 之间。

第一节 自然地理特征

一、地 质

元谋县地质构造属于康滇背斜中段,可分为两个次一级单元,以东山大断裂为界,东部为元谋中生代台凹,西部为元谋台凸,中部元谋盆地新生代断陷盆地。元谋出露地层为前震旦系昆阳群,主要为石英云母片岩、花岗片麻岩、火成岩、大理岩、白云岩、千枚岩等;中生界的侏罗系下统舍资组和侏罗系中统冯家河组、蛇甸组、妥甸组为紫红色沙泥岩、细砾岩等;白垩系上统马头山组、江底河组、赵家店组为紫红色沙泥岩、泥岩石互层;新生代地层主要为下更新统元谋组、中更新统和上更新统,由松散堆积物组成。

二、地 貌

元谋干热河谷区属高山峡谷地形。区内地貌类型主要为深切河谷、山地、丘陵、河谷盆地、河流阶地等。山地面积 $1\,723.61\text{km}^2$,占总面积的 84.58% ;河谷盆地、平坝、台地、山原面积 314.24km^2 ,占总面积的 15.42% 。元谋地貌区域分异较为明显,中部为元谋盆地,四周为山区。元谋县地貌见图 1-1。

龙川江由南向北纵贯元谋盆地,两岸阶地发育。山区高差大,间有坝子分布。

三、气 候

元谋干热河谷区基带属于低纬度高原季风气候带,加之高山峡谷地貌,形成垂直分异明显的立体气候类型。从河谷到山顶依次出现河谷南亚热带、山地中亚热带、山地北亚热带及山地暖温带—中温带等垂直气候带。

平坝干热河谷区(河谷南亚热带):海拔 $899 \sim 1\,350\text{m}$,气候炎热、干燥,日照充足,降水量少,干湿季分明。据元谋县气象站(海拔 $1\,100\text{m}$)多年观测资料统计,年均温 21.9°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $8\,003^{\circ}\text{C}$,年日照时数 $2\,670.4\text{h}$,最热月(5月)均温 27.1°C ,最冷月(12月)均温 14.9°C ,全年基本无霜;多年平均降水量 613.8mm ,6~10月雨季降水总量占全年降水量的 85% ,多年平均蒸发量 $3\,911.2\text{mm}$,干旱指数 2.8 。

丘陵低山暖热区(山地中亚热带,中亚热带—暖温带):海拔 $1\,300 \sim 1\,700\text{m}$,年均温 $18 \sim 21^{\circ}\text{C}$,最热月均温 $24.1 \sim 25.5^{\circ}\text{C}$,最冷月均温 $9 \sim 11^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $5\,000 \sim 7\,000^{\circ}\text{C}$,年降水量 $660 \sim 740\text{mm}$,年蒸发量 $2\,100\text{mm}$ 左右,为降水量的 3 倍多。

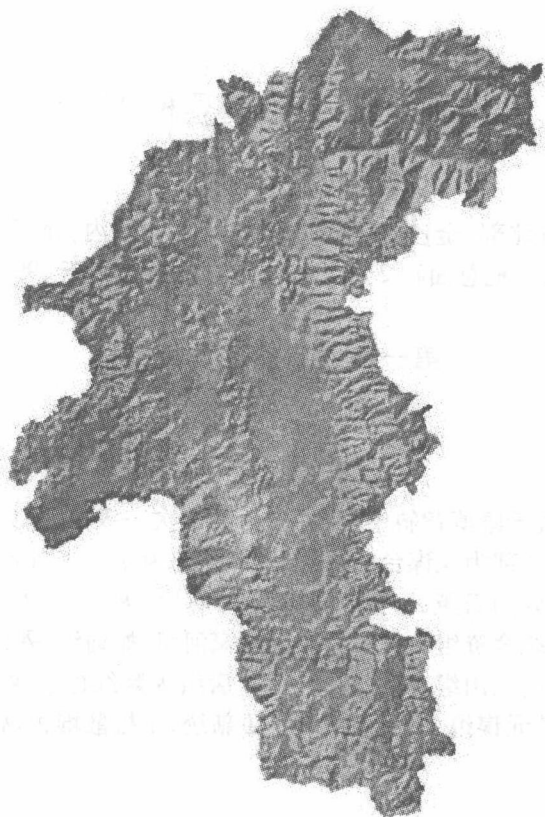


图 1-1 元谋县数字高程模型

中山温暖区(山地北亚热带):分布于境内东、南、北部海拔 1 700 ~ 2 000m 的地区,为元谋盆地与山区的过渡带。气候差异大,年均温 15 ~ 18℃,年降水量 800 ~ 850mm。

高山温凉区(山地暖温带—中温带等垂直气候带,温带):分布于县境内东、南端海拔 2 000 ~ 2 835m 的地区,光热条件不足,水分条件较好,年均温 10 ~ 15℃,年降水量 850mm 以上。

四、土 壤

受东山断裂带及生物气候垂直地带性的影响,发育了多样的土壤类型,垂直地带性也较为明显。海拔 1 300m 以下的龙川江河谷两岸为燥红土,海拔 1 300 ~ 1 600m 为褐红壤,海拔 1 300(1 600) ~ 2 200m 为红壤,海拔 2 200 ~ 2 600m 为黄棕壤,海拔 2 600 ~ 2 838m 为棕壤带。此外,还有紫色土、水稻土等隐域性土壤分布。土壤垂直分布见图 1-2。

五、植 被

元谋植被覆被率较低,垂直分带明显。海拔 1 600m 以下的干热河谷区的自然植被为稀树灌木草丛,它是我国植被中较为独特的类型,因生境炎热干燥,与热带干草原的气候

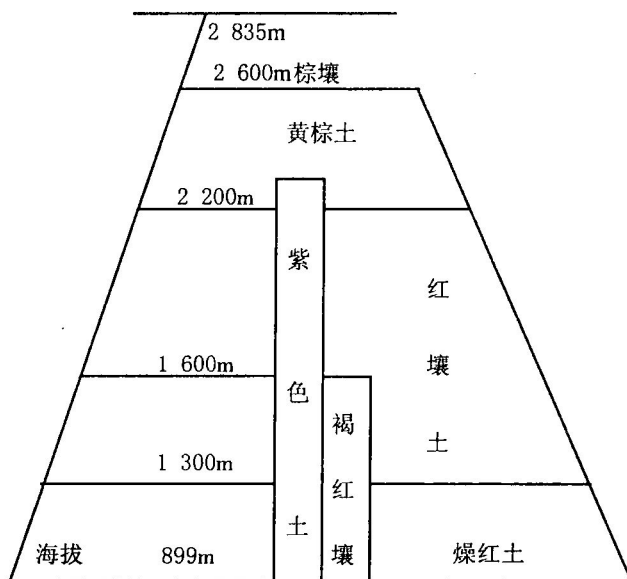


图 1-2 元谋县土壤垂直分布图(据《元谋县县志》,1993)

条件较接近,形成以禾草为主,灌木、乔木零星分布、类似萨瓦那(Savanna)的植被类型。乔木树种主要有山合欢(*Albizia kalkora*)、滇榄仁(*Terminalia franchetii*)、攀枝花(*Bumelia malabaricus*)等。灌木以车桑子(*Dodonaea viscosa*)、华西小石积(*Osteomeles schwerinae*)和清香木(*Pistacia weinmannifolia*)为主,其次有黄荆条(*Vitex negunda*)、余甘子(*Phytanthus emblica*)、南蛇藤(*Acacia pennata*)、西南杭子梢(*Campylotropis delavayi*)、仙人掌(*Poinsettia monacantha*)等。草本植物有扭黄茅(*Heteropogon contortus*)、毛臂形草(*Brachiaria villisa*)等。植物表现出适应旱生的系列特征,如:多毛、多刺、肉质多浆、叶革质、树皮厚等。

海拔 1 600 ~ 2 000m 之间,植物种类主要有云南松(*Pinus yunnanensis*)、思茅松(*Pinus kesiya poyle*)、栎树(*Quercus acutissima* Carr.)等。

海拔 2 000 ~ 2 500m 之间,主要有云南松(*Pinus yunnanensis*)、旱冬瓜(*Alnus nepalensis* D. Don)、马樱花[*Albizia kalkora* (Poxb.) Prain]、山茶(*Camellia irrawadiensis* Baru)等乔、灌木种及一些草本种类。

海拔 2 500m 以上,以云南松(*Pinus yunnanensis*)为主,其次为滇栲[*Castanopsis diversifolia* (Kurz) king ex Hook. F.]、马樱花[*Albizia kalkora* (Poxb.) Prain]、山茶(*Camellia irrawadiensis* Baru)等针阔叶混交中幼林。

第二节 社会经济概况

一、人口与劳动力

2000 年,元谋县辖 10 乡,3 镇,81 个村公所(办事处),769 个村民组,总人口 20.17 万



人,人口密度 99.78 人/km²。元谋县为少数民族聚居县,少数民族人口 6.55 万人,主要有彝、傈僳、回、苗、傣、白、满、蒙古等 19 个民族,以彝、傈僳族人口最多,分别占总人口的 17.3% 和 8.0%。元谋县以农业为主,农业人口 18.35 万,占全县总人口的 90.98%,从事农、林、牧、渔的劳动力占农村劳动力总数的 90.42%。元谋县人口及劳动力构成见表 1-1。

表 1-1 2000 年元谋县人口及劳动力构成

总人口 (万)	农村人口		乡村从业人员构成							
			农、林、牧、渔业		工业		建筑业		交通运输和邮政电信	
	万人	%	万人	%	万人	%	万人	%	万人	%
20.17	18.35	90.98	10.14	95.45	0.15	1.37	0.06	0.58	0.28	2.60

二、经济发展与产业结构

自新中国成立以来,元谋县经济发展较快,2000 年国内生产总值达 6.144 亿元。但产业结构以农业为主。2000 年,第一、二、三产业国内生产总值的比例为 46.12:15.69:38.24,产业结构关系为:第一产业 > 第三产业 > 第二产业。第一产业中,种植业和畜牧业占有重要地位。

1. 种植业

种植业是元谋县农业的支柱。热区光热资源丰富,近年来,随着农田水利设施建设力度的加大,元谋县充分利用各地充足的光热资源,发展反季节蔬菜、甘蔗、烟叶,此三者已成为三大经济支柱产业。自给自足为特征的内向型传统种植业正向为省内外市场需要服务的开放型商品性种植业转变。

2. 畜牧业

2000 年,全县生猪存栏 135 600 头,出栏 131 876 头;大牲畜存栏 84 361 头,出栏 10 079 头,山羊、绵羊存栏 102 878 只,出栏 47 304 只;家禽出栏 190 550 只。肉类总产量 12 095.04t,其中大牲畜产量 834.10t,猪肉产量 1 0787.18t,羊肉产量 759.75t,禽肉产量 296.78t,兔肉产量 6.93t,禽蛋产量 160.99t。畜牧业生产在国民经济结构中比重较高,是仅次于种植业的又一重要农业部门。畜牧业的发展与较高比例的草地为主的土地覆被相适应,但由于干热河谷区草地承载力较低,长期过度放牧对草地环境的压力日益加剧。

第三节 元谋县土地利用历史

LUCC 以及这一变化对全球环境的影响是一个逐步积累的过程。由于土地覆被变化是土地利用直接引起的,而影响土地利用变化的主要因素来自人类驱动力。因此,研究干热河谷 LUCC,必须了解研究区人类活动的历史过程与特点。干热河谷区产业结构以农业为主,农业发展阶段及各阶段土地利用情况是土地利用、土地覆盖变化研究的背景。

根据农业发展特征,可将元谋县农业发展划分为四个阶段:

1. 原始农业阶段(~1645 年)

元谋县设置于元朝至元十六年(1279 年),自 1279 ~ 1954 年的 675 年间,辖境基本固



定,面积约 960km²,皆为今日元谋腹地。在这块以坝子为主,狭小、燥热而偏僻的土地上,居住着傣、彝、傈僳等原著民族;元朝时迁入回族。元朝时,人口以傣族为主。“元谋系摆夷,例不编丁”,因人口不纳入国家编户,无确切数据可查。1290 年,元朝政府于驻防和曲州(辖武定、元谋县)的彝、傣军内,挑出 187 户于当地屯田,耕种土地 249.93hm²。本阶段人口相对较少,人类对土地利用改造率低,耕地和建设用地面积少,土地利用以畜牧业为主。据相关资料考证,至 17 世纪中期,森林覆被率在 30% 左右,期间研究区人类活动主要受制于自然条件,人类活动主要集中于水源条件较好的平坦河谷地区。

2. 传统农业阶段(1646 ~ 1949 年)

自明朝以来,汉族大规模迁入。明朝中期,外来人口还难以适应元谋的环境,到元谋定居的外地人,多为军人及其家属,据今可考的有由江西、金陵、福建等地迁入的人口。由于外地人带来了先进的文化和技术,与当地原著民族一起,共同开发这片土地,促进了当地人口的增长与发展。期间历经明、清、民国的人口涨落。至 1696 年(康熙三十五年),有“村庄百五十七”,“丁八百五十九,口七百八十六,户八百四十二”。842 户系以汉族为主的外来户,若每户以 5 人计,约为 4 210 人。由于元谋物产丰富,商业进一步发展,越来越多的商人定居元谋,加上原有人口增殖,至 1780 年(乾隆四十五年),人口约 2.35 万人,人口密度为 25.7 人/km²。1813 年(嘉庆 18 年),仅马街从事商业活动及依附其生活的非农业人口达 1 250 人,占总人口的 5%。至 1904 年(光绪二十九年),全县人口约 3.7 万人,人口密度 38.54 人/km²。其中汉族 35 610 人,回族 490 人,傣族 30 多户,彝族 220 多户,傈僳族 10 多户。非农业人口 2 800 人,占总人口的 7.4%。外来人口来自各地,因而清朝晚期出现了四川、江南、福建、江西、西湖、陕西等会馆。1922 年,有 7 315 户、3 4793 人、1944 年,人口在 40 303 ~ 41 320 人之间浮动。在区域不变的 50 年间(1904 ~ 1954 年),人口增长情况如表 1-2。

表 1-2 元谋县人口变化历史

年度	人口(人)	相距时间(年)	人口密度(人/km ²)	人口增长率(%)
1904	37 000	—	38.54	—
1944	40 303	40	41.98	0.22 32
1954	56 434	10	58.79	4.00 24

在此期间,元谋县民族构成经历了多民族的交融。随着汉民族的大规模迁入与融合,农耕文化在研究区大规模拓展,种植业与商贸业得以发展;耕地、城镇、乡村居民点用地面积大幅度增加。本阶段土地利用变化驱动力主要为生存压力,表现为居民的基本物质生活条件的需求(食物和能源)以及聚落发展的需要(城镇及居民点建设),阻力主要来自自然条件的限制。为满足生产与生活需求,一些矮林地或灌草丛地被垦殖为耕地,或林地被采伐以提供建设用材或生活燃料,直接造成森林面积的迅速下降。

3. 混合农业阶段(1950 ~ 1997 年)

1955 ~ 1966 年,先后由武定县、大姚县划入部分土地。至 1966 年,元谋辖境固定。1990 年末,元谋共有人口 185 475 人,其中,汉族 127 364 人,彝族 39 416 人,傈僳族 15 910 人,回族 1 311 人,苗族 1 090 人,白族 114 人,傣族 159 人,其他族 111 人。



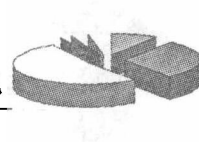
新中国成立以来是元谋县土地利用变化最为显著的阶段,由于人口政策不当,造成人口激增,加之农牧业生产技术的提高,农药、化肥、新品种的引进与使用,农牧业在总量与内部结构上发生了很大变化,主要体现为耕地、城镇、工矿、农村居民点和交通用地面积的大幅增加。而区域建设的需求,如铁路、公路、居民地和水利工程的修建,大面积森林被砍伐。这一时期的驱动力因素不仅有生存压力(不仅包括基本的生存需求,还包括经济发展的压力),还有发展(外部市场需求)压力。这一时期最大阻力来自环境退化带来的生态压力。

4. 生态农业阶段(1998 ~)

干热河谷区作为一个生态脆弱带,社会经济发展和生态环境建设压力大。生态经济建设是实现区域可持续发展的重要途径之一。干热河谷区的生态功能逐渐受到重视,自1998年以来,“天然林保护工程”、“退耕还林(草)工程”等生态工程相继实施。在耕地方面,也由过去的大规模开荒变为陡坡耕地植树种草。林地的功能由提供林木产品向营造林地转变。在市场经济体制下,如何保证将这种长期的、非市场化的生态效应与LUCC协调起来,是一大难题。LUCC的主要动力为生态经济发展的政策因素和技术进步,而生态环境的阻力主要来自人口的生存与发展压力。各时期LUCC特征见表1-3。

表1-3 元谋县各时期LUCC系统特征

历史时期	人口变化特征	产业发展	土地覆被变化	复合生态系统特征	主要驱动力及阻力
原始农业阶段	原著民族自然增长阶段	农业化初期,以畜牧业为主,少量种植业	坝区、河谷的适应性土地逐步开发,耕地挤占林地	人类作为生产者和消费者参与系统内物质能量循环,对生态环境影响较小	驱动力:食物、能源、居所等基本需求;阻力:自然地理条件限制
传统农业阶段	人口迁入激增期,以汉族为主,形成多民族格局	农耕文化拓展,商贸发展	耕地、城乡建设用地面积的扩大,河谷等交通便利的森林、草地被毁	人类开始参与干热河谷区外的物质循环,虽数量不大,但已造成局部地区生态环境退化,耕地对林地、草地的侵占	驱动力:主要为人口压力造成的食物、能源及居住用地需求;阻力:自然条件的限制
混合农业阶段	人口迅速增长,农业生产技术提高,城镇扩张,交通运输业大发展	国民经济各部门均取得快速发展,粮食产量、畜牧业、工业等均有明显增长	耕地面积扩大,大面积森林面积被砍伐,草地被垦殖,城乡建设用地增加	区际间的物质循环程度加深,林草地资源数量下降,水土流失,旱涝灾害频率加快,生态环境进一步恶化	驱动力:除人口压力造成的食物、能源及居住地需求外,还有经济发展的压力。这种经济发展主要与产品的商品化相关,外部时常需求,交通条件改善;阻力:自然地理条件,退化生态环境质量



续表

历史时期	人口变化特征	产业发展	土地覆被变化	复合生态系统特征	主要驱动力及阻力
生态农业阶段	生态恢复与重建大规模开展,生态产业迅速发展	兼顾生态与经济效益的生态经济建设途径	陡坡耕地退耕还林还草,荒山绿化,发展芒果、龙眼等特色水果	干热河谷区脆弱的生态环境日益受到重视	驱动力:生态建设政策,技术进步;阻力:经济增长、生态环境质量退化



第二章 土地利用、土地覆被变化研究方法

将景观生态学、地学信息图谱原理和方法与 3S 技术综合应用于土地利用、土地覆被的时空演化与预测中,为 LUCC 研究提供了新的思路与方法。在人类活动强烈的区域,景观格局变化在很大程度上表现为土地利用格局的变化。越来越多的中外相关研究项目在 LUCC 研究中均结合景观生态学的景观格局与变化分析模型,研究土地利用的空间格局并预测其变化。本文以 3S 技术为工具,以景观生态学和地学信息图谱为研究手段,建立 LUCC 监测信息系统,从图形演算角度,研究土地利用的斑块面积特征,空间格局与稳定性,土地利用、土地覆被驱动力模型以及动态变化模拟等。

第一节 土地利用、土地覆被信息图谱

一、地学信息图谱

在图谱学研究中,“图”主要是指空间信息以图面表现形式的图形,也包括图像、图解等其他图形表现形式。“谱”是众多同类事物或现象的系统排列,是按事物特性所建立的系统或按时间序列所建立的体系,亦称“谱系”。“图谱”是“图”与“谱”的有机结合,兼有“图形”与“谱系”双重特性,即同时反映与揭示事物或现象空间结构特征与时空动态变化规律的图形表现形式和分析研究手段。地球系统是一个复杂的系统,无论是表层的地理过程信息还是深层的地质过程信息,都是时空域中不同时期、不同层次、不同尺度、不同来源、不同表现形式的信息相互交互叠加形成的信息场。地学信息图谱(Geo-informatic Tupu)是由遥感、地图数据库、地理信息系统与数字地球等大量数字信息,经过抽象概括与图形思维,并以计算机多维与动态可视化技术,显示地球系统及各要素和现象空间形态结构与时空变化规律的一种手段与方法。

区域地理事物是地理区域内所有要素及其组合的总称,地理事物与现象首先表现为一种空间系统,是一种事、空、时的动态系统。在某一特定时刻,将地理空间要素之间相互关系的研究,和在空间与过程研究方法上相联系的地理属性(物理、人文属性)操作结合起来,定量研究地理景观这个动态体系内部的物质和能量的转换^[26-28]。为实现地理事物或现象的信息图谱分析,其基本原理包括:

(1)空间意象(Geo-graphic mental images) 空间意象是一种具有自学能力和空间形象感的地理形象化思维模式。它既提供了一种地理信息的组织方式,又为地理信息、知识提供了一种形象化的表达模式。而地理单元是空间意象的基本单元,是进行空间意象思维、组织地理信息、建立地理概念计算模型、理解和认识现实世界地理规律的“基本空间功能单元体”。

(2)地理信息单元(Geo-informatic unit) 地理单元是在一定时空范围或组织水平



上,具有地理环境条件相对一致的空间单元。地理单元是组成区域地学特征的细胞。地理单元又表现为不同的层次性。基于不同的组织水平或不同的研究尺度,地理单元可分成不同的等级,其中“最小地理单元”是最低级、最简单、不可再分的地理实体,它是高级地理单元形成的基础。地理综合体的异质程度随地理单元的等级升高和单元规模扩大而增大,即地理综合体从低级到高级单元,内部相似性逐渐减少,差异性逐渐增大。每一级别的地理单元都可以建立自己的一个分类体系。地学信息单元是地学信息图谱的一种重要的方法论,对地学信息图谱的研究,可以建立在地理信息单元的获取与操作等一系列过程之上。

(3)地学信息图谱单元(Geo-informatic Tupu unit) 地理单元包含多种特征,如空间特征和属性特征,而时间演替序列也是地理单元的重要性质。现代地理学对于地理单元的研究方法——“空间与过程研究”,实质上就是在特定的时空尺度范围内,根据地理过程的变化来研究地理空间分异,即通过地理事件发生的过程来研究地理事物之间规律性的空间关系。目前,地理单元通常是为了认识整个区域的空间差异性而划分出的内部性质相对均一的空间单元,缺乏为了认识时间序列变化这一地理过程的时序差异性而划分的内部事件相对均一的时间单元。因此,有必要寻求这样一种地学信息单元或者称为时空复合体,它能同时记录地理事物或现象的空间差异与时间变化,以实现现代地理学对“空间与过程研究”的统一和对地理景观这种“事、空、时”的动态系统的研究。记录这种地理事物与现象时空复合体信息的基本单元,就是“图谱单元”,对于地学信息图谱而言,则称为“地学信息图谱单元”。

这样,通常意义上的地理单元就可以看成是最重要的一类图谱单元,地理单元(可用“图”来表现的空间单元)与时间单元(可用“谱”来表征的时序单元)一样,都是图谱单元中横向和纵向两种断面,均是广义上的图谱单元。图谱单元与地理单元一样,也是多级别、多尺度的,可以依据时空尺度、研究目的及特定原则,进行综合、分类、分级,建立多级别的图谱单元分类体系。地学信息图谱单元既包含了地理实体、地理现象的空间差异性信息,又包含着地理过程时序变化的信息,它能够将时空变化二者结合为一体,加以分析研究,能够解决“空间与过程集成研究”的这个难题。所以,地学信息图谱单元是地学信息图谱研究的基本单元。对地学信息图谱的研究,可以建立在对图谱单元的获取和操作等一系列过程中^[29]。

地学信息图谱既继承了图谱的图形思维方式,又进一步发展了具有定量化和模拟分析的功能。其主要特征包括:①图形思维模式。图谱借助于一系列的图描述现象,即将时空变化抽象为按时间序列发展的空间分异图谱,揭示机理,表达规律。即利用图的形象表达能力,将海量数据进行归类合并。②全数字化。信息图谱与传统图谱的差异表现为全数字化的特征,即地球信息图谱的信息源、提取过程和表达方式以遥感、全球定位系统、地理信息系统和网络技术为支撑的全数字化过程,具有严格的数学基础;③动态模拟分析。地理事物与地理现象既具有复杂性,又具有不确定性和模糊性,难以预测。而图谱可在地理信息系统强大的数据库与空间分析功能基础上,通过图形运算对地理过程进行模拟,反演过去,模拟未来,辅助决策。

地学信息图谱是形、数、理的有机结合。形是指地图、图像、图解等;数是指定量化的



模型与方法;理是指机理、规则和知识等。地学信息图谱正是利用形与数来认知、表达理的技术体系。由于它既能再现地理事物与现象的历史,又可虚拟其未来,从而成为人们研究地理事物与现象的一种现代化的科学方法和高新技术手段,将在国土管理、城乡规划、资源开发、生态环境建设等方面发挥越来越重要的作用。

二、地学信息图谱模型

地学信息图谱单元是组织地理信息,建立概念计算模型或者数理模拟模型、反演历史、理解和认识现实世界以及推导和预测未来世界地理规律的基本时空复合体单元。以地学信息图谱单元为组织细胞,构建地学信息图谱模型,为信息图谱的数据获取、处理、信息提取与分析提供有力的工具^[20,30]。

(一)地学信息图谱概念模型

信息图谱单元是进行“空间与过程研究”的时空复合体,对于地学信息图谱的研究,可以用同时反映空间差异和时序变化过程的状态变量 $P(P_1, P_2, P_3, P_4 \dots P_n)$ 进行描述^[26]。

$P(P_1, P_2, P_3, P_4 \dots P_n)$ 可以代表地理单元的任何性质,既包括物理属性如土壤类型、植被类型、岩石类型、土壤质地、侵蚀强度、湿度、温差、降水量等,也包括人文属性如人口、教育程度、土地利用方式、技术水平、经济实力等,还包括使用各类算法或者数学模型把多种属性集成后得到的各种综合性指标,如生态环境质量、可持续发展潜力、土地资源的承载力等。表示地理单元属性的状态变量 $P(P_1, P_2, P_3, P_4 \dots P_n)$ 不仅是时间 T 的函数,而且也是空间位置 S 的函数^[26]。

$$Y = f(P, S, T) \quad (1)$$

对方程求全导数,有:

$$\frac{DY}{DP} = \frac{\partial Y}{\partial P} \cdot \frac{\partial P}{\partial S} + \frac{\partial Y}{\partial P} \cdot \frac{\partial P}{\partial T} \quad (2)$$

当时间维一定时,建立 $P_1, P_2, P_3, P_4 \dots P_n$ 随时空变化的函数关系就实现了对于地理景观空间分布的属性描述,该函数关系式的建立方法体现了传统地理学对于地理景观的研究方法。即当 T 为常数时,

$$\frac{DY}{DP} = \frac{\partial Y}{\partial P} \cdot \frac{\partial P}{\partial S} \quad (3)$$

当空间维一定时,建立 $P_1, P_2, P_3, P_4 \dots P_n$ 随时空变化的函数关系就实现了对于地理景观属性的时间过程描述。即当 S 为常数时,

$$\frac{DY}{DP} = \frac{\partial Y}{\partial P} \cdot \frac{\partial P}{\partial T} \quad (4)$$

上面两种函数关系建立方法结合起来就形成了景观的地理过程分析与景观空间格局研究的复合,即景观的“空间与过程研究”。这就是利用图谱单元进行“空间与过程研究”的算法依据。