第 58 卷 第 1 期
2025 年（总 239 期）

西 北 地 质
NORTHWESTERN GEOLOGY

Vol. 58 No. 1
2025(Sum239)

引文格式：高文龙，张景华，刘洪，等. 基于转移矩阵的大凉山区土地利用变化研究[J]. 西北地质，2025，58(1)：270−281. DOI：10.12401/j.nwg.2023167

Citation：GAO Wenlong，ZHANG Jinghua，LIU Hong，et al. Study on Land Use Change in Daliangshan Area Based on Transfer Matrix[J]. Northwestern Geology，2025，58(1)：270−281. DOI：10.12401/j.nwg.2023167

基于转移矩阵的大凉山区土地利用变化研究

高文龙[1,2]，张景华[2,*]，刘洪[2,3]，欧阳渊[2]，吴君毅[2]，苏悦[2]，邵璐[2,4,5]，宋雯洁[6]，刘小念[7]

（1. 中国地质大学（武汉）地理与信息工程学院，湖北 武汉 430079；2. 中国地质调查局成都地质调查中心，四川 成都 610081；3. 成都理工大学地球科学学院，四川 成都 610059；4. 中国地质科学院研究生院，北京 100037；5. 中国地质大学（北京）研究生院，北京 100083；6. 防灾科技学院地质工程学院，河北 廊坊 065201；7. 湖北省地质局地球物理勘探大队，湖北 武汉 430056）

摘 要：笔者通过遥感解译得到 1990 年、2000 年、2010 年、2022 年 4 期大凉山区土地利用/覆盖图，利用转移矩阵的方法，分析 4 期大凉山区土地利用动态变化情况，并探讨了政策变化对土地利用的影响。结果表明，1990～2022 年，大凉山区耕地面积由 11 153 km^2 减少到 4 090 km^2，减少了 63%；林地面积由 11 713 km^2 增长到 18 658 km^2，增长了 59%；草地面积 1990～2000 年由 7 708 km^2 增长到 10 160 km^2，2000～2010 年下降到 5 128 km^2，2010～2022 年增长到 6 907 km^2，整体面积下降 10%；水域湿地与建设用地 1990～2022 年分别从 254 km^2 和 92 km^2 增长到了 520 km^2 和 748 km^2，增幅分别为 104% 与 713%，增幅明显。这与大凉山区社会经济发展以及“天保工程”、退耕还林还草等政策的预期结果相对应。再结合土地利用空间变化分析，林地面积的增长主要由耕地转化而来，草地面积初期增长来自林地被砍伐后的逆向演替，在“天保工程”等政策进行保护后，草地面积的增长主要来自耕地。2010 年后，大凉山区林地保护政策从种植人工林地转为维护现有成果，因此林地增长速度放缓。总览 1990～2022 年，尤其是 1998 年“天保工程”等政策实施后，大凉山区生态环境持续向好，但在实地考察中，仍有部分林地被砍伐后形成草地，且大面积人工针叶林也存在生态系统单一、易发生火灾的问题。笔者通过对大凉山区土地利用变化及其背后驱动因素的探讨分析，旨在为大凉山区生态保护相关政策法规的制定提供支持。

关键词：土地利用；土地利用转移矩阵；生态环境；驱动因素；大凉山区

中图分类号：P627　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1009-6248(2025)01-0270-12

Study on Land Use Change in Daliangshan Area Based on Transfer Matrix

GAO Wenlong[1,2], ZHANG Jinghua[2,*], LIU Hong[2,3], OUYANG Yuan[2], WU Junyi[2], SU Yue[2], SHAO Lu[2,4,5], SONG Wenjie[6], LIU Xiaonian[7]

收稿日期：2023-02-10；**修回日期**：2023-08-21；**责任编辑**：贾晓丹

基金项目：国家自然科学基金重大研究计划项目（92055314），中国地质调查项目（DD20221776；DD20230093；DD20220971；DD20230247），宁夏生态地质调查示范项目（NXCZ20220201），广东省地质勘查与城市地质专项（[2022]-21 [2021]-3），国家重点研发计划（2021YFC2901903），国际地球科学计划（IGCP 741）和西南地质科技创新中心刘宝珺院士基金联合资助。

作者简介：高文龙（2000−），男，硕士，主要从事遥感地质、生态地质研究。E-mail：gaowl@cug.edu.cn。

*通讯作者：张景华（1978−），男，正高级工程师，硕士生导师，从事地理信息、遥感地质、生态地质研究。E-mail：zjinghua@mail.cgs.gov.cn。

(1. School of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430079, Hubei, China; 2. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 3. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 4. Graduate School, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 5. Graduate School, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 6. School of Geological Engineering, Instttute of Disaster Prevention, Langfang 065201, Hebei, China; 7. Geophysical Exploration Brigade, Hubei Geological Bureau, Wuhan 430056, Hubei, China)

Abstract: In this paper, the land use/cover maps of Daliangshan in 1990, 2000, 2010 and 2022 are obtained by remote sensing interpretation, and the dynamic changes of land use in Daliangshan are analyzed by using the method of transfer matrix. the impact of policy change on land use is also discussed. The results show that from 1990 to 2022, the area of cultivated land in Daliangshan area decreased from 11 153 km^2 to 4 090 km^2 , by 63%; the area of woodland increased from 11 713 km^2 to 18 658 km^2, increased by 59%; the grassland area increased from 7 708 km^2 to 10 160 km^2 in 1990～2000, decreased to 5 128 km^2 in 2000～2010, and increased to 6 907 km^2 in 2010～2022, with the overall area decreased by 10%. From 1990 to 2022, water wetlands and construction land increased from 254 km^2 and 92 km^2 to 520 km^2 and 748 km^2 , respectively, with an increase of 104% and 713% respectively. This corresponds to the expected results of the social and economic development in Daliangshan area and the policies of "Natural Forest Protection Project" and "returning farmland to Forest and grassland". Combined with the analysis of spatial change of land use, the growth of woodland area is mainly from the transformation of cultivated land, and the initial growth of grassland area comes from the reverse succession of forest land after felling. After the protection of policies such as "Natural Forest Protection Project", the growth of grassland area mainly comes from cultivated land. After 2010, the forest land protection policy in Daliangshan area changed from planting artificial forest land to maintaining existing achievements, so the growth rate of forest land slowed down. Overview 1990～2022, especially after the implementation of the "Natural Forest Protection Project" in 1998, the ecological environment of Daliangshan area continued to improve, However, in the on～the～spot investigation, some woodlands are still cut down to form grasslands, and a large area of artificial coniferous forest also has the problem of single ecosystem and prone to fire. Through the discussion and analysis of land use change and its driver factors in Daliangshan area, the author aims to provide support for further formulation of relevant policies and regulations in Daliangshan area.

Keywords: land usel; land use transfer matrix; ecological environment; driver factors; Daliangshan area

土地是人类生存与发展的重要基础(Zhang et al., 2022), 人类依靠土地来获取必须的食物、能源、生存空间和发展, 但同时随着人口的持续增长, 对自然资源的需求也进一步增长, 生态系统会随之受到压力(Song et al., 2018)。土地利用和土地覆盖变化(LUCC)研究计划在 1995 年被提出, 现已成为国际环境变化研究的核心和热点(Lambin et al., 2001; Foley et al., 2005; 乔伟峰等, 2013; 毛盛林等, 2022)。土地利用是指人类活动对土地进行开发利用, 产生社会效益的过程和活动。土地利用会对土地覆盖产生影响, 土地覆盖改变的结果又会作用于人类进行土地利用的过程。(张靖等, 2013; Hong et al., 2022)因此, 对一个区域内人类土地利用导致的土地覆盖变化情况以及背后驱动因素的研究, 可为人类更合理的进行土地利用提供支持(张景华等, 2021a)。

土地利用转移矩阵可以分析得到区域各地类的用地结构以及变化方向, 在土地利用变化分析中有着广泛的应用。土地利用转移矩阵通过将不同时期各地类发生转移的面积以矩阵的形式列出, 可以分析得到各地类的用地结构以及变化方向(刘瑞等, 2010)。目前有很多学者使用土地利用转移矩阵对两个时期间的土地利用变化进行分析(吴琳娜等, 2014; 徐羽等, 2017; 马彩虹等, 2022; Zhou et al., 2022), 也有学者在此基础上通过对同一地区多个时段土地利用转移矩阵的时序性分析, 运用马尔可夫模型预测未来土地利用的变化趋势(朱会义等, 2003)。

大凉山区林业资源丰富, 但 20 世纪大凉山区林地遭到大面积砍伐, 严重影响当地生态环境, 1998 年

“天保工程”在凉山开始试点实施，当地生态环境得到逐步恢复(张景华等，2021b)。前人对于大凉山区的研究主要在地质、水文等方面，对当地土地利用变化的研究较少(Liu et al., 2012; 邓宾等，2016; 祁玉萍等，2018; 刘洪等，2020, 2022; 张腾蛟等，2020; 李樋等，2021; 欧阳渊等，2021; 李琬欣等，2022)。笔者通过遥感手段，解译得到大凉山区 1990～2022 年土地利用数据，运用土地利用转移矩阵分析当地土地利用变化与生态变化的关系，为大凉山区生态资源管理提供理论依据。

1 研究区概况

大凉山区位于四川省南部，西跨横断山脉，东达四川盆地，北接川西平原和山地，其地理坐标为 E 100°42′～103°53′，N 26°06′～29°27′，在生态地质分区上主要跨越了云贵高原生态地质区和横断山区生态地质区(聂洪峰等，2021)，总面积约 30 000 km^2，是全国最大的彝族聚居区(图 1)。地貌类型以山地为主，地势北高南低，东高西低，由 EN 向 WS 倾斜，地形地貌明显受地质构造基本格架的控制，多属中深切割的中山地形。山脉河流与构造线相吻合，多呈 SN 向展布。

大凉山区属中亚热带季风气候区，冬季受南支西风环流控制，天气晴朗，日照充足，降雨很少，气候干燥；夏季受暖湿的海洋季风影响，降水丰富，5～9 月降水量可以占到全年的 90%，雨量常在 800～1 200 mm。大凉山区气候虽然属于中亚热带季风气候区，但境内气候复杂多样，既具有南亚热带气候特点，又具有亚热带和寒温带的垂直气候特点。以大小相岭、黄茅埂为界，东北部温凉湿润，西南部炎热干燥，具有南干北湿、西燥东润和低热高凉的特点，垂直差异和水平差异均明显。

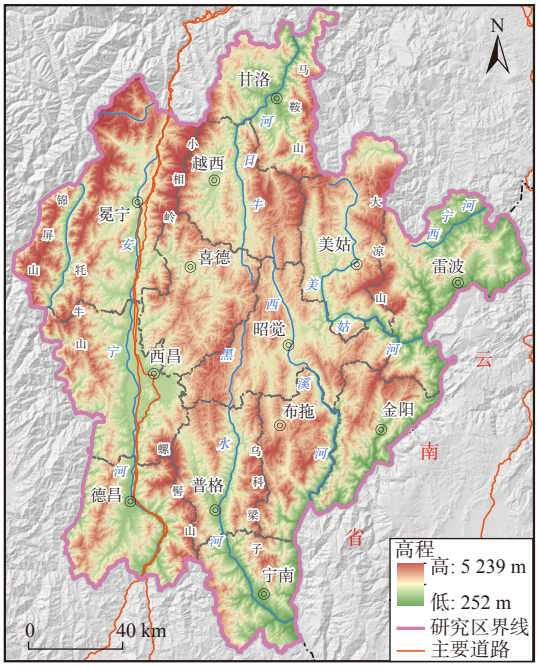


图1 大凉山区位置图

Fig. 1 Location map of Daliangshan area

2 研究方法

2.1 遥感解译与野外验证

遥感卫星影像是土地利用研究中的重要数据来源之一(韩海辉等，2022)。笔者获取了美国陆地卫星(LANDSAT)的专题绘图仪(Thematic Mapper, TM)、陆地成像仪(Operational Land Imager, OLI)系列数据，数据获取时间等具体信息见表 1。再对数据进行几何校正、图像融合、数字图像增强等预处理，得到遥感解译底图。

表 1 遥感数据源

Tab. 1 Remote sensing data source

成像日期	卫星	传感器	条带号	行列号
1989.5.11	LANDSAT5	TM	130	41
2000.1.2	LANDSAT5	TM	130	41
2010.3.18	LANDSAT5	TM	130	41
2022.2.15	LANDSAT8	OLI	130	41

由于大凉山区地形地貌复杂，阴影覆盖较多，现有遥感土地利用分类难以满足所需精度，故采用目视解译进行土地利用分类，以一级地类为分类基本单位，将大凉山区土地利用分为耕地、林地、草地、水域湿地、建设用地和未利用地 6 类，并利用野外调查，建立 6 种地类遥感解译标志，进行人机交互解译。

得到初步解译结果后，再结合相关地形、地质资料，进行实地调查，采取路线调查和定点观测方法进行工作，采用 GPS 定点进行观察记录和描述，验证各种遥感解译标志是否准确，重点验证解译各地类边界是否准确，并及时根据验证情况修改遥感解译结果。最后对土地利用解译成果进行随机抽检，准确率达到 91.06%。

2.2 土地利用转移矩阵

在各种人为以及自然因素的影响下，在一定时间

区域内的土地利用情况会随着时间的变化而发生改变, 且不同土地利用类型变化的速度、方向不尽相同。土地利用的变化可以理解为土地利用的空间特征随着时间的变化。除此以外, 不同土地利用类型间的互相转化也会受到初始状态的影响。综合来看, 土地利用转移矩阵便能够很好的反映出这一变化(张建国等, 2018)。

在土地利用转移矩阵(表 2)中常用行与列(表 1 中 T_1 与 T_2)来表示两个不同研究时期的土地利用类型。在矩阵中的 S_{ij} 表示的是从 T_1 到 T_2 时期地类 i 转换为地类 j 的面积; S_{ii} 表示从 T_1 到 T_2 时期保持空间位置、面积不变的地类 i 的面积(张云亮等, 2017)。在矩阵中任一 A_i 行就表示 T_1 时期的地类 i 向 T_2 时期的各地类的转移情况, 将这一行所有的数据相加也就是 T_1 时期地类 i 的总面积; 任一 A_j 列就表示 T_2 时期的地类 j 自 T_1 时期各地类的来源情况, 同理, 列中所有数据相加就是 T_2 时期地类 j 的总面积。为了使研究结果更加客观, 通常在转移前后使用相同的地类评价标准, 这时的土地利用转移矩阵是一个标准的 n 阶矩阵。

表 2　土地利用转移矩阵

Tab. 2　Land use transfer matrix

不同时期土地利用类型		T_2			
		A_1	A_2	…	A_n
T_1	A_1	S_{11}	S_{12}	…	S_{1n}
	A_2	S_{21}	S_{22}	…	S_{2n}
	…	…	…	…	…
	An	S_{n1}	S_{n2}	…	S_{nn}

3　结果分析

3.1　遥感解译结果

对大凉山区 1990 年、2000 年、2010 年和 2022 年 4 期的土地利用/覆盖情况开展了遥感解译, 以一级类为分类单位, 将地物分为耕地、林地、草地、水域湿地、建设用地、未利用地共 6 种地物类型(刘纪远等, 2014), 编制了大凉山区 4 个时期的土地利用/覆盖图(图 2), 并统计了各地类的总面积情况(表 3)。

3.2　大凉山区土地利用变化情况

3.2.1　1990～2000 年大凉山区土地利用转移矩阵

从表 4 中可以总览大凉山区 1990～2000 年的土地利用总体变化情况, 这 10 年间, 耕地转出面积为 6 345.55 km^2, 而转入面积为 4 198.09 km^2, 耕地面积减少趋势较为明显。林地面积转出为 4 345.32 km^2, 转入为 4 067.93 km^2, 面积减少, 但变化不大, 基本与 10 年前持平。草地转出面积为 3 519.78 km^2, 但是有 5 972.28 km^2 面积其他土地转为草地, 草地面积增加较多。水域湿地转出面积为 163.5 km^2, 转入面积为 83.56 km^2, 面积略微减少。建设用地转出面积为 72.13 km^2, 转入面积为 105.31 km^2, 面积略微增加。

3.2.2　2000～2010 年大凉山区土地利用转移矩阵

从表 5 中可以看出大凉山区从 2000～2010 年的各地类转移情况, 这 10 年间, 耕地有 5 556.36 km^2 面积变成其他地类, 3 995.72 km^2 其他类型土地转入, 耕地面积继续有较明显减少。林地有 2 095.93 km^2 土地转出, 8 661.26 km^2 土地转入, 林地面积有很大幅度的增长。草地有 7 255.31 km^2 土地转出, 2 223.62 km^2 土地转入, 草地面积相反有很大幅度的减少。水域湿地有 75.06 km^2 土地转出, 111.76 km^2 土地转入, 面积小幅度增长。建设用地有 99.03 km^2 土地转出, 119.41 km^2 土地转入, 面积略微增加。

3.2.3　2010～2022 年大凉山区土地利用转移矩阵

从表 6 中可以看出 2010～2022 年大凉山区的土地利用转移情况, 在此 12 年间, 耕地面积转出 4 268.77 km^2, 转入 913.87 km^2, 面积持续明显减少。林地面积转出 3 592.39 km^2, 转入 4 249.86 km^2, 面积增长。草地面积转出 2 797.05 km^2, 转入 4 575.83 km^2, 面积增长明显。水域湿地面积转出 69.57 km^2, 转入 378.75 km^2, 面积持续增长。建设用地面积转出 50.33 km^2, 转入 651.95 km^2, 面积增长。

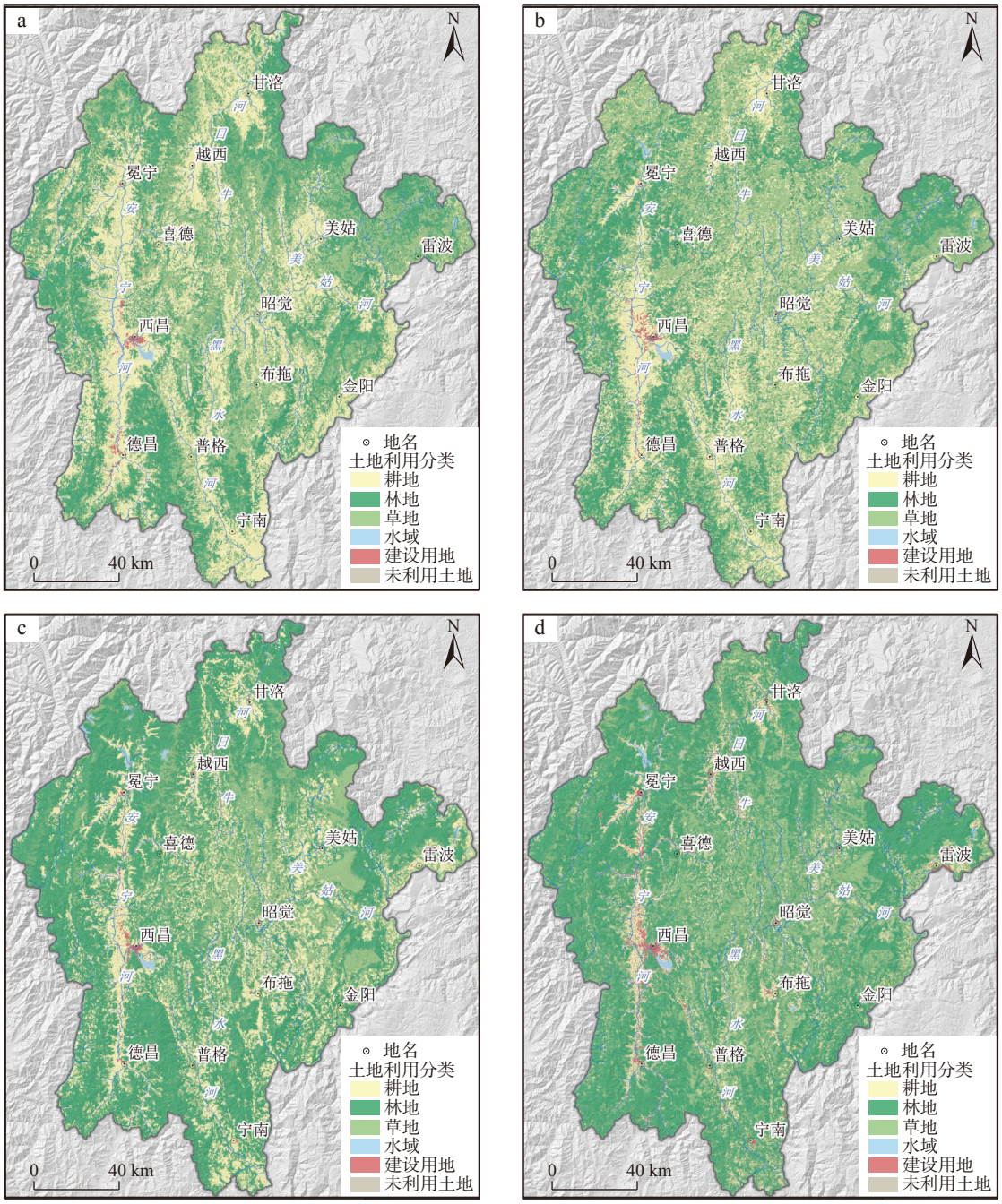
4　讨论

4.1　大凉山区土地利用变化分析

从 1990～2022 年大凉山区土地利用转移的动态变化过程(图 3、图 4)来看, 发现大凉山区土地利用主要变化量集中在林地、耕地、草地之间, 其变化关系反映了当地生态格局的演变(徐润宏等, 2023)。而水域湿地虽变化量相对较小, 但巨大的生态价值也是衡量当地生态环境的重要指标(谢启姣等, 2020)。

4.1.1　耕地时空分布与演变

2022 年大凉山区耕地总面积约 4 096 km^2(表 3), 通过实地考察结合遥感影像分析, 其主要以旱作农田为主, 多分布于各山地半坡部位, 其余的水田主要分



a.1990 年土地利用/覆盖图；b.2000 年土地利用/覆盖图；c.2010 年土地利用/覆盖图；
d.2022 年土地利用/覆盖图

图2 大凉山区 1990～2022 年土地利用/覆盖图

Fig. 2 Land use/cover map of Daliangshan area from 1990 to 2022

布于安宁河谷，越西、甘洛、普格等县的河流谷底。

大凉山区除安宁河谷以外，整体经济落后，截止到 2022 年，研究区域共 12 市县中有 9 县为四川省深度贫困县，其主要人类活动为垦殖(耕种)，且主要以坡地旱作耕种为主，生产方式落后，带来一系列植被破坏、水土流失等生态问题。但自 1998 年“天保工程”实施以来，国家号召退耕还林、还草，1990 年至 2022 年大凉山区耕地面积持续减少(图 5a)。从 1990 年到 2000 年，在 1998 年“天保工程”实施之前，林地砍伐情况严峻，被砍伐的林地退化为草地、耕地，1998 年“天保工程”实施，但时间较短，一时退耕还林、还草的土地难以快速发育为林地，这段时间大凉

表 3　大凉山区 1990～2022 年土地利用/覆盖统计表

Tab. 3　Statistical table of land use/cover in Daliangshan area 1990～2022

地类	年份							
	1990年		2000年		2010年		2022年	
	面积(km²)	比例(%)	面积(km²)	比例(%)	面积(km²)	比例(%)	面积(km²)	比例(%)
耕地	11 153.65	36.06	9 006.18	29.11	7 445.54	24.07	4 090.61	13.22
林地	11 713.27	37.87	11 435.84	36.97	18 001.54	58.19	18 658.72	60.30
草地	7 708.18	24.92	10 160.67	32.85	5 128.98	16.58	6 907.76	22.32
水域湿地	254.81	0.82	174.86	0.57	211.56	0.68	520.75	1.68
建设用地	92.98	0.30	126.17	0.41	146.55	0.47	748.17	2.42
未利用地	11.10	0.04	30.25	0.10	0.15	0.00	8.01	0.03

表 4　1990～2000 年大凉山区土地利用转移矩阵(km²)

Tab. 4　Land use transfer matrix of Daliangshan area from 1990 to 2000

	耕地	林地	草地	水域湿地	建设用地	未利用地	合计
耕地	4 808.09	2 480.85	3 725.63	52.36	78.19	8.52	11 153.64
林地	2 096.85	7 367.94	2 211.15	14.69	13.11	9.52	11 713.26
草地	1 934.86	1 547.30	4 188.39	15.46	10.48	11.68	7 708.17
水域湿地	97.69	34.84	27.12	91.31	3.53	0.32	254.81
建设用地	66.11	2.94	2.24	0.64	20.85	0.20	92.98
未利用地	2.58	2.00	6.14	0.41	0	0	11.13
合计	9 006.18	11 435.87	10 160.67	174.87	126.16	30.24	30 933.99

表 5　2000～2010 年大凉山区土地利用转移矩阵(km²)

Tab. 5　Land use transfer matrix of Daliangshan area from 2000 to 2010

	耕地	林地	草地	水域湿地	建设用地	未利用地	合计
耕地	3 449.82	4 223.71	1 196.57	49.02	87.02	0.04	9 006.18
林地	1 064.06	9 339.91	997.40	23.00	11.46	0.01	11 435.84
草地	2 835.05	4 362.10	2 905.36	38.70	19.36	0.09	10 160.67
水域湿地	23.16	34.50	16.20	99.81	1.17	0.02	174.86
建设用地	61.31	29.86	7.19	0.67	27.14	0.00	126.17
未利用地	12.13	11.09	6.27	0.36	0.40	0.00	30.25
合计	7 445.54	18 001.18	5 128.99	211.56	146.55	0.15	30 933.97

表 6　2010～2022 年大凉山区土地利用转移矩阵(km²)

Tab. 6　Land use transfer matrix of Daliangshan area from 2010 to 2022

	耕地	林地	草地	水域湿地	建设用地	未利用地	合计
耕地	3 176.73	1 947.80	1 698.90	162.45	458.6	1.02	7 445.50
林地	504.37	14 408.86	2 845.71	123.82	114.88	3.61	18 001.25
草地	373.44	2 263.38	2 331.93	88.34	69.02	2.87	5 128.98
水域湿地	8.43	27.47	23.96	142.00	9.45	0.26	211.57
建设用地	27.62	11.15	7.19	4.13	96.22	0.24	146.55
未利用地	0.01	0.06	0.07	0.01	0	0.01	0.16
合计	4 090.60	18 658.72	6 907.76	520.75	748.17	8.01	30 934.01

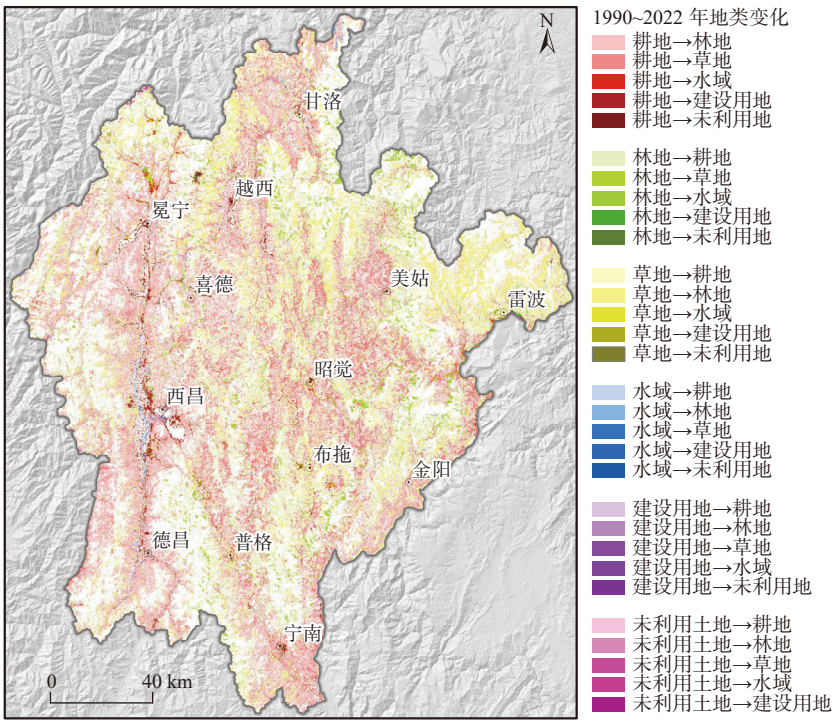


图3 1990～2022 年大凉山区土地利用转移动态过程

Fig. 3 Dynamic process of land use transfer in Daliang area from 1990 to 2022

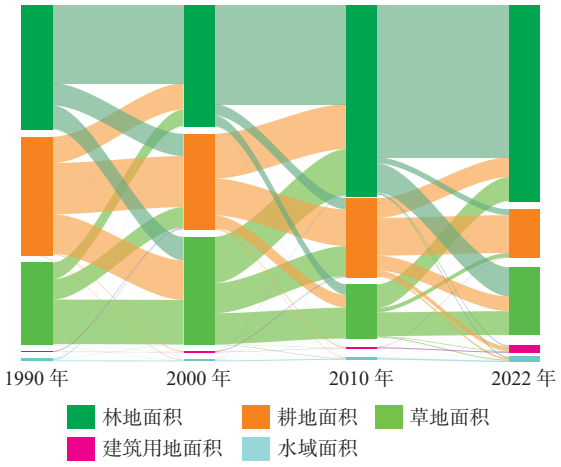


图4 大凉山区土地利用转移桑基图

Fig. 4 Sangji map of land use transfer in Daliangshan area

山区减少的耕地主要向草地转化、其次向林地转化。后随着“天保工程”的进一步实施，从 2000～2022 年，减少的耕地都主要转化为林地，其次是草地，这说明国家实施的退耕还林、还草政策取得了较好成效，森林与草地的生态系统都得到了较大改善，提高了大凉山区生态系统的稳定性和服务功能。

4.1.2 林地时空分布与演变

2022 年大凉山区林地面积约为 18 658 km^2，以常绿针、阔叶林为主，多分布于锦屏山、牦牛山、小相岭、螺髻山、马鞍山、乌科梁子、大凉山等南北走向的主要山脉，有着水土保持(张景华等, 2018)、净化空气等重要生态价值，是区内最重要的生态系统。

从 1990～2022 年，大凉山区林地面积整体变化趋势为持续增长，仅在 1990～2000 年有微小下降，尤其在 2000～2010 年涨势明显。大凉山区自古以来森林资源丰富，是中国著名林场，但 20 世纪中期，大凉山区由于毁林开荒，森林植被破坏较严重，在实地考察中可见许多人工砍伐留下的大型木桩。林地在被砍伐后，较难快速发育回到原本的生态条件，自然主要演变为草地。从表 3 中可看出，1990～2000 年，林地遭到破坏演化为草地的面积达到了约 2 211 km^2，占到了总林地面积的 20 %，但由于期间“天保工程”开始实施，部分耕地、草地也有向林地演化，林地面积只出现了微小下降。2000～2010 年，林地得到进一步保护，退耕还林政策的耕地人为转化以及封山育林的草地自然转化面积远远大于林地遭到破坏转出的面积，林地面积大幅增长。2010～2022 年，林地面积小幅度增长，主要来源于人为退耕还林的耕地转入，自然条件下的草地、林地相互演化达到平衡。总体来看，1990～2022 年，新增林地主要分布于大凉山区周围，尤其是安宁河两岸、邛海盆地增长最多(图 6)，这里是耕地主要分布区域，说明退耕还林政策效果明显。

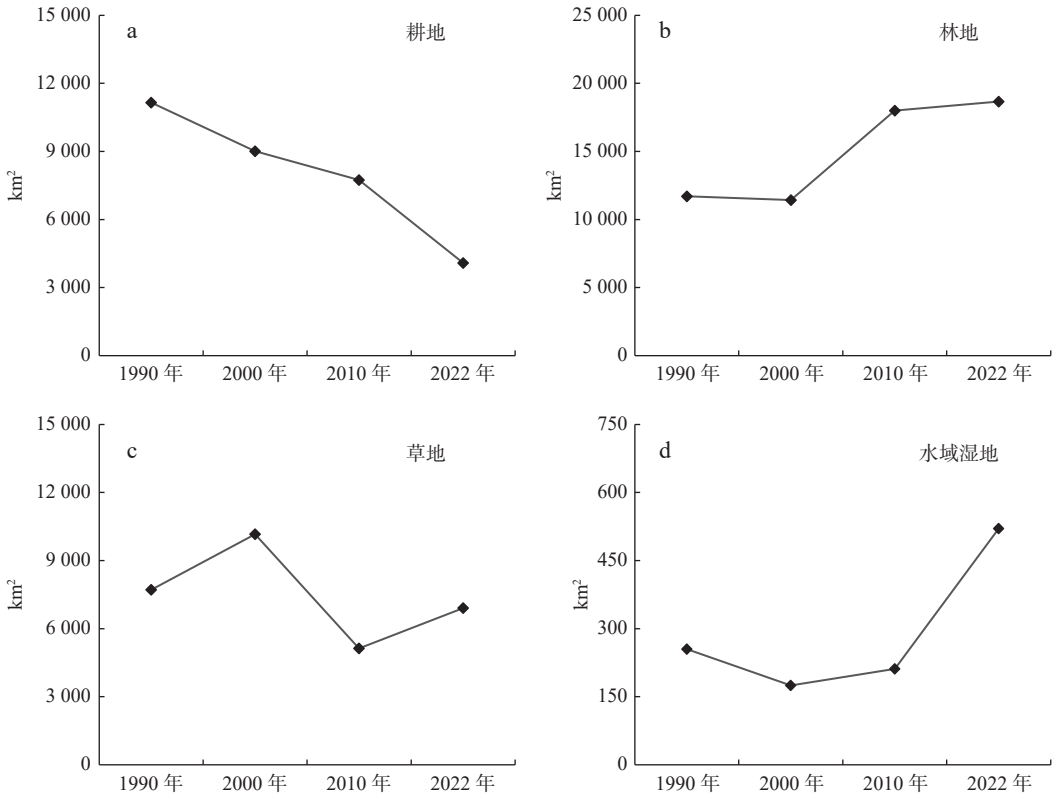


图5　大凉山区耕地(a)、林地(b)、草地(c)和水域湿地(d)1990～2022 年变化趋势图

Fig. 5　Change trend of (a) cultivated Land, (b) forest Land, (c) grassland and (d) wetland in Daliangshan area from 1990 to 2022

4.1.3　草地时空分布与演变

2022 年大凉山区草地面积约 6 907 km^2, 多呈星岛状分布于锦屏山、牦牛山、小相岭、螺髻山、马鞍山、乌科梁子、大凉山等山脉的林地之间, 结合数字高程模型进行空间分析后发现, 主要分布于海拔较高的中上部, 仅在局部, 如美姑县南部、金阳县北部有集中连片分布。在实地考察中发现, 天然草地存在较少, 主要为人工草地和林地砍伐后形成。

从 1990～2022 年, 大凉山区草地面积先增长, 后减少, 再增长, 其特殊的变化规律值得我们注意。1990～2000 年, 耕地转化为草地的面积要远大于草地转化为耕地的面积, 这是此时草地增长的主要原因。2000～2010 年, 草地面积出现较大幅度下降, 这是因为大凉山区的草地主要是人工草地和林地砍伐逆向演替形成, 且这个时间段里林地面积快速增加, 分析是因为林地得到保护砍伐变少导致草地转入面积大幅度降低, 和封山育林草地自然演化为林地所致。2010～2022 年, 和林地的变化原因相同, 此时林、草地相互演化平衡, 草地增长来自于退耕还草政策导致的耕地转入。总的来看, 虽然草地面积从 1990～2022 年变化不大, 但中间有很大波动, 减少的草地主要正向

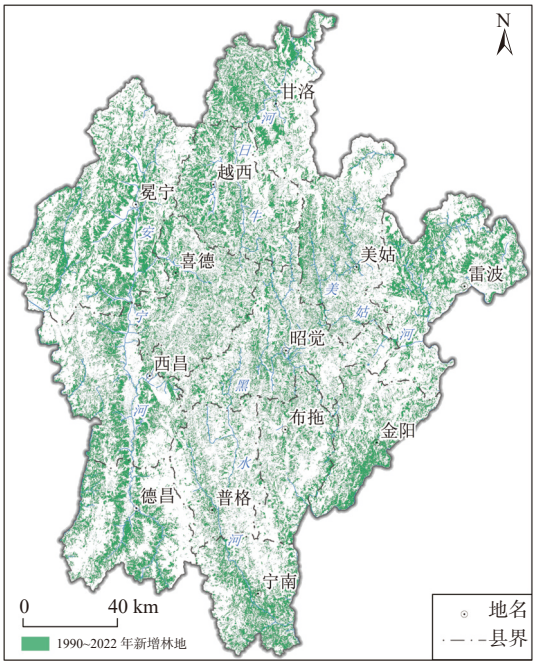


图6　大凉山区 1990～2022 年新增林地空间位置分布图

Fig. 6　Spatial distribution of new forest land in Daliangshan area from 1990 to 2022

演替为了林地, 增加的草地主要得益于退耕还林、还草政策的实施, 由耕地转化而来(图 7)。

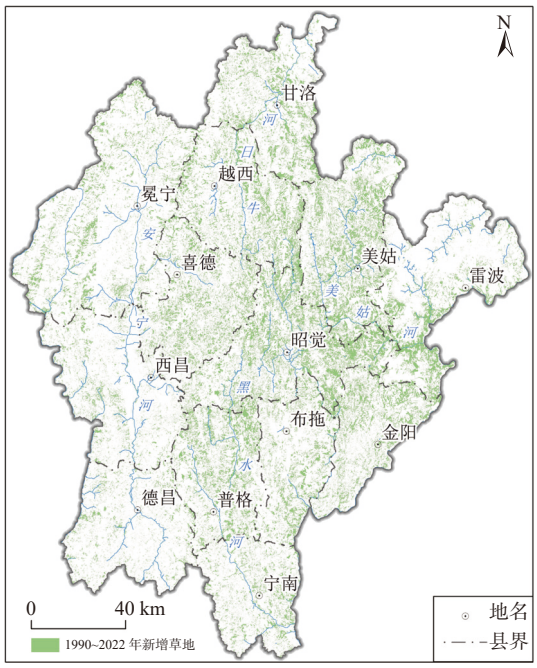


图7 大凉山区 1990～2022 年新增草地空间位置分布图

Fig. 7 Spatial location of new grasslands in Daliangshan area from 1990 to 2022

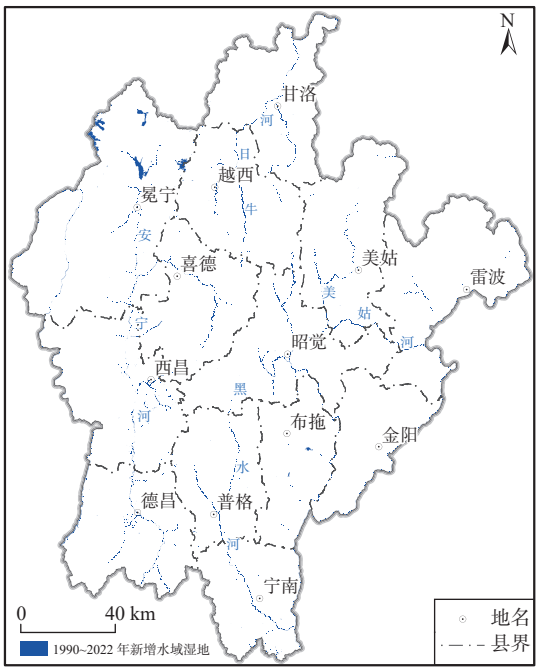


图8 大凉山区 1990～2022 年新增水域湿地空间位置分布图

Fig. 8 Spatial location of wetlands in new waters in Daliangshan area from 1990 to 2022

4.1.4 水域湿地时空分布与演变

大凉山区水域湿地面积约 520 km^2，主要由河流、湖泊、水库坑塘组成。分布上来看，河流主要分布于区内主要江河如金沙江、雅砻江、安宁河等江河干流及主要支流沿岸，湖泊主要分布于邛海、马湖等湖泊，水库坑塘则零星分布。

从 1990 年到 2022 年，大凉山区水域湿地面积先出现了小幅度的降低，主要转化为了耕地，可能是少数地区人为破坏所致，后大幅度增加，主要也是来源于耕地的转入。总体涨势明显，水域湿地面积增加了近一倍(图 8)。分析原因主要有：① 水利工程设施的修建，导致水面(主要是水库水面)面积有较大幅度增加，如冕宁县大桥水库(图 9)。② 湿地保护得到重视，原湿地耕作区域逐步退耕并还原为湿地，区内一些重要湿地得到保护，面积不断扩大，典型如邛海湿地。

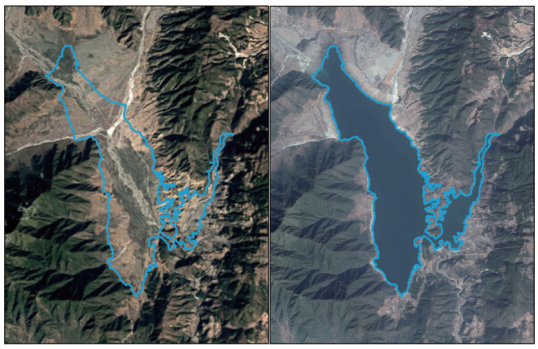


图9 冕宁水库 1990 年(左图)和 2022 年(右图)影像

Fig. 9 Image of mianning reservoir in 1990 (left) and 2022 (right)

4.2 结果讨论

对土地利用类型变化原因的研究是个系统性的工程，受到自然条件、地理位置、社会经济发展、人口状况、国家或地方政策等诸多因素的影响(Hemmavanh et al., 2010; 李璇琼等, 2022)。如何去筛选出土地利用类型变化背后主要的驱动因素，利用土地利用转移矩阵计算得到地类的转移面积，结合发生转移地类的时空分布信息，能有效分析出地类发生转移的相关驱动因素。进一步来看，如果能将自然因素、人为因素以及政府政策因素统一标准进行量化分析，便可以确定不同因素对地类变化的影响程度，能对下一步的政策法规起到指导性作用(Wang et al., 2018; 赵银兵等, 2022)。然而，量化驱动因素的问题尚未被克服，尤其是如何量化评价政府大型政策法规对土地类型变化的影响，需要进一步的研究(Dong et al., 2022)。

政府的政策法规主要会对诸多人为因素产生影响(唐亚明等, 2015)。大凉山区在“天保工程”实施之前，虽然林地资源丰富，但经过长期的人工砍伐，已

经产生了很大的破坏, 由此带来一系列生态问题(Wang et al., 2020)。自 1998 年国家“天保工程”计划实施以来, 大凉山区人为的进行封山育林以及退耕还林、还草, 保护林地生态资源, 从 1990～2022 年, 林地面积增长幅度达到约 58%(图 10), 效果显著, 尤其是 2000 年后林地资源恢复明显。政府政策的引导主要是对人类活动做出干扰, 大凉山区林地资源丰富, 但经济发展水平落后, 在实地考察中, 仍可见许多粗壮树木被砍伐后留下的树桩。1990～2000 年, 虽然林地面积总体平稳, 但林地遭到破坏面积很大, 后得益于 1998 年国家“天保工程”以及退耕还林政策实施, 林地资源得到保护。深究原因, 早在 1984 年, 国家就颁布了森林法(樊宝敏等, 2021), 走上依法治林, 但当地经济基础薄弱, 农民为了维持生计, 砍伐树木。在 1998 年, “天保工程”开始实施, 实施天然林保护并人工种植树木, 2001 年, 建立中央森林生态效益补偿基金, 1998～2010 年, 国家在大凉山区投入“天保工程”专项资金 17.76 亿元, 因此 2000～2010 年, 大凉山区林地面积快速增长。2010 年后, 国家相关资金减少, 大凉山区林业发展转为维护已有成果, 林地面积增长放缓。

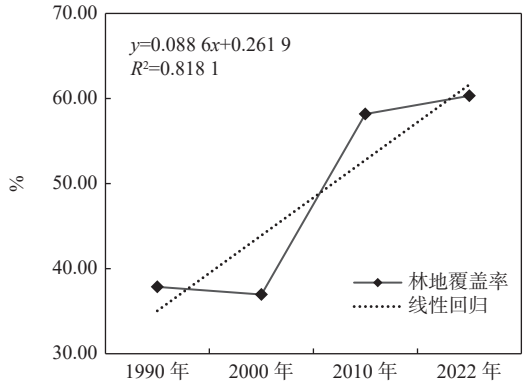


图10　1990～2022 年大凉山区林地覆盖率变化

Fig. 10　Change of forest land coverage in Daliangshan area from 1990 to 2022

最后, 在大凉山区生态发展良好的同时, 还存在一些问题。大凉山区林地多以人工种植为主, 且多为针叶林, 当地原生阔叶林较少(张景华等, 2021c), 不利于当地生物多样性的保护以及林地生态功能的发挥。针叶林还容易导致火灾, 统计显示, 仅在西昌市云南松林区每年发生火灾面积 2～5 km^2。大凉山区海拔高, 火灾扑救难度大, 2019 年木里县“3•30”火灾就导致了大量经济损失与 30 人遇难。

5　结论

(1)1990～2022 年, 大凉山区林地面积大幅度增长, 耕地面积持续减少, 且两者在时空分布上吻合, 说明增长的林地主要由耕地转化而来。草地面积因转入面积与转出面积相对平衡, 整体变化不明显, 转出的草地主要通过人工封山育林正向演替为林地, 转入的草地主要是退耕还林、还草政策导致的耕地面积转入。水域湿地面积得益于水利设施的建设与湿地保护; 建设用地伴随着大凉山区经济的发展, 两者面积均有较大幅度增长, 大凉山区“天保工程”等国家生态工程的实施实现了人与自然的双赢。但实地考察发现仍存在一定问题: 大量人工林存在着火灾等安全隐患、部分林地砍伐后逆向演替为草地等, 这些仍需相关部门需要多加监管注意。

(2)笔者基于土地利用转移矩阵, 对大凉山区土地利用变化展开研究, 结合相关政策背景, 着重分析了大凉山区土地利用变化情况与当地生态格局演变的关系, 以及相关政策对土地利用变化的影响, 可以为大凉山区进一步的区域规划管理与政策制定提供支持。但想要进一步研究政策法规等与土地利用变化的量化关系, 还需要更多的社会、经济等信息支撑, 建立一个完整的评价体系。

参考文献(References):

邓宾, 雍自权, 刘树根, 等. 青藏高原东南缘大凉山新生代隆升建造过程——多封闭系统低温热年代学与热模型限制[J]. 地球物理学报, 2016, 59(6): 2162–2175.

DENG Bin, YONG Ziquan, LIU Shugen, et al. Cenozoic mountain~building processes in the Daliangshan, southeastern margin of the Tibetan Plateau: Evidence from low~temperature thermochronology and thermal modeling[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2016, 59(6): 2162–2175.

樊宝敏, 李晓华, 杜娟. 中国共产党林业政策百年回顾与展望[J]. 林业经济, 2021, 43(12): 5–23.

FAN Baomin, LI Xiaohua, DU Juan, et al. Review and Prospect of Forestry Policies of the CPC in the Past Century[J]. Forestry Economics, 2021, 43(12): 5–23.

韩海辉, 李健强, 易欢, 等. 遥感技术在西北地质调查中的应用及展望[J]. 西北地质, 2022, 55(3): 155–169.

HAN Haihui, LI Jianqiang, YI Huan, et al. Application and Prospect of Remote Sensing Technology in Geological Survey of Northwest China[J]. Northwestern Geology, 2022, 55(3): 155–169.

李樋, 刘小念, 刘洪, 等. 基于地质建造的土壤营养元素空间分布特征研究——以大凉山区为例[J]. 安全与环境工程,

2021, 28(6): 127–137.

LI Tong, LIU Xiaonian, LIU Hong, et al. Study on Spatial Distribution Characteristics of Soil Nutrient Elements Based on Geological Construction——Take Daliangshan Region as an Example[J]. Safety and Environmental Engineering, 2021, 28(6): 127–137.

李琬欣, 熊东红, 袁勇, 等. 四川大凉山典型小流域切沟空间分布特征与影响因子[J]. 中国水土保持科学 (中英文), 2022, 20(5): 10–16.

LI Wanxin, XIONG Donghong, YUAN Yong, et al. Spatial distribution and impact factors of gullies in a typical small watershed of Daliangshan, Sichuan[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2022, 20(5): 10–16.

李璇琼, 梁延龙. 地质灾害引发土地利用响应机制研究——以四川绵竹为例[J]. 西北地质, 2022, 55(1): 236–248.

LI Xuanqiong, LIANG Yanlong. Land Use Response Mechanism Caused by Geological Disaster: Taking Mianzhu City As an Exanple[J]. Northwestern Geology, 2022, 55(1): 236–248.

刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3–14.

LIU Jiyuan, KUANG Wenhui, ZHANG Zengxiang, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 3–14.

刘洪, 黄瀚霄, 欧阳渊, 等. 基于地质建造的土壤地质调查及应用前景分析——以大凉山区西昌市为例[J]. 沉积与特提斯地质, 2020, 40(1): 91–105.

LIU Hong, HUANG Hanxiao, OUYANG Yuan, et al. Soil's geologic investigation in Daliangshan, Xichang, Sichuan[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2020, 40(1): 91–105.

刘洪,李文昌,欧阳渊,等.基于地质建造的西南山区生态地质编图探索与实践——以邛海~泸山地区为例[J/OL]. 地质学报, 1–16[2022-11-24].

LIU Hong, LI Wenchang, OUYANG Yuan, et al. Exploration and ractice of the compilation of ecological geology series maps based on Geological Formations research, mountainous region in Southwest China——exemplified by Qionghai~Lushan area, western margin of Yangtze Block[J/OL]. Acta Geologica Sinica, 1–16[2022-11-24].

刘瑞, 朱道林. 基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨[J]. 资源科学, 2010, 32(8): 1544–1550.

LIU Rui, ZHU Daolin. Methods for Detecting Land Use Changes Based on the Land Use Transition Matrix[J]. Resources Science, 2010, 32(8): 1544–1550.

马彩虹, 安斯文, 文琦, 等. 基于土地利用转移流的国土空间格局演变及其驱动机制研究——以宁夏原州区为例[J]. 干旱区地理, 2022, 45(3): 925–934.

MA Caihong, AN Siwen, WEN Qi, et al. Evolution of territorial spatial pattern and its driving mechanism based on land use transfer flow: A case of Yuanzhou District in Ningxia[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(3): 925–934.

毛盛林, 上官周平. 近 20 年黄土高原土地利用/植被覆盖变化特征及其成因[J]. 水土保持研究, 2022, 29(5): 213–219.

MAO Shenglin, SHANGGUAN Zhouping. Characteristics and Causes of Land Use/Vegetation Coverage of the Loess Plateau in the Past 20 Years[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(5): 213–219.

聂洪峰, 肖春蕾, 戴蒙, 等. 生态地质调查工程进展与主要成果[J]. 中国地质调查, 2021, 8(1): 1–12.

NIE Hongfeng, XIAO Chunlei, DAI Meng, et al. Progresses and Main Achievements of Ecogeological Survey Project[J]. Geological Survey of China, 2021, 8(1): 1–12.

欧阳渊, 张景华, 刘洪, 等. 基于地质建造的西南山区成土母质分类方案——以大凉山区为例[J]. 中国地质调查, 2021, 8(6): 50–62.

OUYANG Yuan, ZHANG Jinghua, LIU Hong, et al. Classification of soil parent materials in mountain areas of Southwest China based on geological formations: A case study of Daliangshan region[J]. Geological Survey of China, 2021, 8(6): 50–62.

祁玉萍, 张致伟, 龙锋, 等. 大凉山次级块体及邻区震源机制解与区域应力场特征分析[J]. 地震地质, 2018, 40(2): 377–395.

QI Yuping, ZHANG Zhiwei, LONG Feng, et al. Earthquake focal mecanisms in the Daliangshan sub~block and adjacent areas and characteristics of the regional stress field[J]. Seismology and Geology, 2018, 40(2): 377–395.

乔伟峰, 盛业华, 方斌, 等. 基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘——以江苏省苏州市为例[J]. 地理研究, 2013, 32(8): 1497–1507.

QIAO Weifeng, SHENG Yehua, FANG Bin, et al. Land use change information mining in highly urbanized area based on transfer matrix: A case study of Suzhou, Jiangsu Province[J]. Geographical Research, 2013, 32(8): 1497–1507.

唐亚明, 张茂省, 李政国, 等. 国内外地质灾害风险管理对比及评述[J]. 西北地质, 2015, 48(2): 238–246.

TANG Yaming, ZHANG Maosheng, LI Zhengguo, et al. Review and Comparison onInland and Overseas Geo~hazards Risk Management[J]. Northwestern Geology, 2015, 48(2): 238–246.

吴琳娜, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 54–63.

WU Linna, YANG Shengtian, LIU Xiaoyan, et al. Response analysis of land use change to the degree of human activities in Beiluo River basin since 1976[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 54–63.

谢启姣, 刘进华. 1987—2016 年武汉城市湖泊时空演变及其生态服务价值响应[J]. 生态学报, 2020, 40(21): 7840–7850.

XIE Qijiao, LIU Jinhua. Spatio~temporal dynamics of lake distribution and their impact on ecosystem service values in Wuhan urbanized area during 1987~2016[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(21): 7840–7850.

徐润宏, 史培军, 高妙妮, 等. 碳达峰碳中和目标下青藏高原土地利用变化趋势[J]. 中国科学: 地球科学, 2023, 66(6): 1383–1398.

XU Runhong, SHI Peijun, GAO Miaoni, et al. Projected land use changes in the Qinghai~Tibet Plateau at the carbon peak and carbon neutrality targets[J]. Science China Earth Sciences, 2023, 66(6): 1383–1398.

徐羽, 钟业喜, 冯兴华, 等. 江西省土地利用变化及其对人类活动的响应[J]. 水土保持研究, 2017, 24(1): 181–186+193.

XU Yu, ZHONG Yexi, FENG Xinghua, et al. Response of Land Use Change to the Human Activities in Jiangxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(1): 181–186+193.

张建国, 李晶晶, 殷宝库, 等. 基于转移矩阵的准格尔旗土地利用变化分析[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 131–134.

ZHANG Jianguo, LI Jingjing, YIN Baoku, et al. Evaluation of Land Use Change of Jungar Banner Based on Land Use Transfer Matrix[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 131–134.

张靖, 同丽嘎, 董建军, 等. 土地利用/覆盖变化研究方法[J]. 内蒙古大学学报 (自然科学版), 2013, 44(3): 329–336.

ZHANG Jing, TONG Liga, DONG Jianjun, et al. A Review on Methods of Land~use and Land~cover Change[J]. Journal of Inner Mongolia University(Natural Science Edition), 2013, 44(3): 329–336.

张景华, 高慧, 欧阳渊, 等. 贵州省黔西县土壤侵蚀敏感性评价[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(2): 88–94.

ZHANG Jinghua, GAO Hui, OUYANG Yuan, rt al. Sensitivity evaluation of soil erosion in Qianxi county of Guizhou province[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2018, 16(2): 88–94.

张景华, 欧阳渊, 陈远智, 等. 基于无人机遥感的四川省昭觉县农业产业园土地适宜性评价[J]. 中国地质, 2021a, 48(6): 1710–1719.

ZHANG Jinghua, OUYANG Yuan, CHEN Yuanzhi, et al. Land suitability evaluation of agricultural industrial park based on UAV remote sensing in Zhaojue County of Sichuan Province[J]. Geology in China, 2021a, 48(6): 1710–1719.

张景华, 欧阳渊, 刘洪, 等. 基于主控要素的生态地质脆弱性评价——以四川省西昌市为例[J]. 自然资源遥感, 2021b, 33(4): 181–191.

ZHANG Jinghua, OUYANG Yuan, LIU Hong, et al. Eco~geological vulnerability assessment based on major controlling factors: A case study of Xichang City, Sichuan Province[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2021b, 33(4): 181–191.

张景华, 欧阳渊, 刘洪, 等. 西昌市 1989—2018 年林地草地湿地动态变化特征分析[J]. 中国地质调查, 2021c, 8(6): 135–143.

ZHANG Jinghua, OUYANG Yuan, Liu Hong, et al. Study on dynamic change characteristics of forest, grassland and wetland in Xichang City from 1989 to 2018[J]. Geological Survey of China, 2021c, 8(6): 135–143.

张腾蛟, 刘洪, 欧阳渊, 等. 中高山区土壤成土母质理化特征及主控因素初探——以西昌市为例[J]. 沉积与特提斯地质, 2020, 40(1): 106–114.

ZHANG Tengjiao, LIU Hong, OUYANG Yuan, et al. A preliminary discussion on the physical and chemical characteristics and main controlling factors of soil and parent material in the middle and high mountain area——Take Xichang as an example[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2020, 40(1): 106–114.

张云亮, 曾建军, 胡想全, 等. 基于土地转移矩阵的疏勒河中游土地利用变化研究[J]. 人民长江, 2017, 48(21): 34–39.

ZHANG Yunliang, ZENG Jianjun, HU Xiangquan, et al. Study on land~use change in midstream of Shule River based on land use transfer matrix[J]. Yangtze River, 2017, 48(21): 34–39.

赵银兵, 倪忠云, 欧阳渊, 等. 生态地质环境承载力研究进展[J/OL]. 沉积与特提斯地质, 1–13[2022-11-23].

ZHAO Yinbing, NI Zhongyun, OUYANG Yuan, et al. Research prigress of eco~geological environment carrying capacity[J/OL]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 1–13 [2022-11-23].

朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 643–650.

ZHU Huiyi, LI Xiubin. Discussion on the Index Method of Regional Land Use Change[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(5): 643–650.

Dong Zhenhua, Rong Ah, Zhang Jiquan, et al. Study on the Evolutionary Features and Driving Factors of Land~Use System in Xilingol, China[J]. Land, 2022, 11(4): 1–19.

Foley J A, Defries R, Asner G P, et al. Global Consequences of Land Use[J]. Science, 2005, 309(5734): 570–74.

Hemmavanh Chanhda, Ye Yanmei, Yoshida A. Forest Land Use Change at Trans~Boundary Laos~China Biodiversity Conservation Area[J]. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(6): 889–98.

Hong C P, Zhao H Y, Qin Y, et al. Land~Use Emissions Embodied in International Trade[J]. Science, 2022, 376(6593): 597.

Lambin E F, Turner B L, Geist H J, et al. The Causes of Land~Use and Land~Cover Change: Moving beyond the Myths[J]. Global Environmental Change Human and Policy Dimensions, 2001, 11(4): 261–69.

Liu S G, Deng B, Li Z W, et al. Architecture of Basin~Mountain Systems and Their Influences on Gas Distribution: A Case Study from the Sichuan Basin, South China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 47: 204–15.

Song Xiaopeng, Hansen Matthew C, Stehman Stephen V, et al. Global Land Change from 1982 to 2016[J]. Nature, 2018, 560(7720): 639–43.

Wang J, Lin Y F, Glendinning A, et al. Land~Use Changes and Land Policies Evolution in China's Urbanization Processes[J]. Land Use Policy, 2018, 75: 375–87.

Wang Y, Zhou L H, Yang G J, et al. Performance and Obstacle Tracking to Natural Forest Resource Protection Project: A Rangers' Case of Qilian Mountain, China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(16).

Zhang Siliang, Guan Zilong, Liu Yan, et al. Land Use/Cover Change and Its Relationship with Regional Development in Xixian New Area, China[J]. Sustainability (Switzerland), 2022, 14(11): 1–17.

Zhou Kun, Wang Xinyi, Wang Zhihan, et al. Systematicity and Stability Analysis of Land Use Change—Taking Jinan, China, as an Example[J]. Land, 2022, 11(7): 1045.