

(4) 土地利用景观格局演变与环境耦合效应

土地利用景观格局是国土资源与区域环境的表观形式,其发展演变可直接或间接反映其依托的生态地质环境本底特征及其要素、子系统、系统的耦合关系,揭示出土地利用背后人与自然的复杂作用关系。以山地本体条件下的西南地区为研究原型,团队的众多案例研究表明:①特殊的生态地质背景决定了土地利用的历史与现状,影响了土地利用的调整方向,特色农业与生态农业发展必须与之匹配;②多重作用下的土地利用景观演变具有多样性、递变性、链锁性等特征;③大型工程背景下的土地利用及生态环境产生复杂的自适应过程;④地质灾害及地震等自然灾害导致土地利用景观格局发生巨变,呈现出与灾害分布及强度特征吻合的破坏机制;⑤改进了土地利用景观格局及其演变与效应研究的技术方法。

1) 特殊的地质背景决定土地利用方式与优化方向

以成都平原为例(图 22),考虑地质,研究发现该区名特优农作物的种植和分布与地质地球化学环境紧密相关,是野生和人工驯化培植的结果,提出了面向第四系地球化学特征的农业种植模式和环境筛选模式。

地球化学环境形成是长期生态过程与物理过程作用的结果,不同区域或不同地段在地质地球化学环境方面保持明显的地球化学属性差异,当农作物或道地药材定居生长时,这种属性成为它的环境要素和生态因子,当地球化学属性符合农作物生长需求时,作物表现为高产、优质的响应模式;当地球化学属性不符合作物生长需求时,作物表现为地产、劣质,甚至不能进行生长发育;当地球化学属性处于中等水平,农作物也呈现中等效应。成都平原区盛产多种优质农产品和道地药材、经果作物等,此类物种对地球化学特征具有敏感性和选择性。

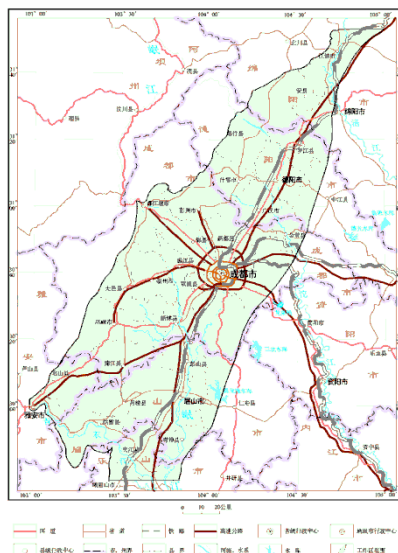


图 4-22 成都平原区域位置略图

成都平原区表生生态系统长期受到地质地球化学环境的影响,根据生态学与物种进化原理,逐渐在该区形成了以“生活型”为主导的名优特农作物,表现为产量高、品质优良、适应性强、病虫害感染率低等特性。针对成都平原区的几种关键作物或中药材归纳、集成其产地环境特征(表 11)。

表 11 成都平原区农作物产地地质地球化学参数

序号	农作物	地质环境参数	土壤特征参数	地球化学参数	备注
1	川芎	河流冲积扇的中下部	成土母质主要为河流灰色冲积物,底部为灰黄色砾石层、中-粗砾-中砾(或砂)组成,其上有一层棕色细砂或棕黄色砂质亚粘土,土壤类型为水稻土(潴育水稻土和渗育水稻土)	表层土壤明显酸化。深层土壤 pH 在 6.4~8 之间,普遍在 7.0 以上,平均为 7.41,中间层土壤 pH 在 6.67~7.73,平均为 7.29,表层土壤为 5.83~7.32,平均为 6.48,即表层土壤存在显著酸化现象。种植区土壤中镁、钙、钾、铁等相对贫乏,硅相对富集。表层土壤中钠、硅富集,铝、钾、镁、铁被淋失。	彭州市敖平镇,都江堰市石羊镇
2	大蒜	位于河流冲积扇的上缘(顶部)	土壤是近代河流灰棕冲积物发育的半沙泥田、沙田、油沙田、二油沙田、石底沙田、二泥田及沙土、沙泥土等	土壤 pH 值在 5.8~7 之间,适宜大蒜生长的土壤 pH 值为 5.6~6.5 左右,土壤总孔隙度 50%左右,松紧适度,硫、磷、钾、氯较为丰富。	彭州市隆丰镇
3	柑橘	多处于高阶地(III、IV、V)区域	土壤类型多位黄壤或黄棕壤,成土母质更新统(Q1-Q3)的黄色粘土质物质,其下部多有砂砾石层,中部为细沙、粘土,上不主要为黄色粘土,黄色粘土层厚度数十厘米至数十米。土壤透水性较	土壤 pH 值在小于 6.5,主要集中在 4.5~6 之间,为弱酸性。种植区土壤中 Ti、Se、Hg、U、Nb、Zr、I、Br、Th、V、Au、Sb 等元素相对富集, CaO、Na ₂ O、MgO、P、Sr、Mn 等元素和指标则显著贫乏。	眉山、浦江等

序号	农作物	地质环境参数	土壤特征参数	地球化学参数	备注
			差，但保肥保水性良好		
4	烟叶	河流冲积扇的中下部	土壤是近代河流灰棕冲积物发育的半沙泥田、沙田、油沙田、二油沙田、石底沙田、二泥田及沙土、沙泥土等	土壤 pH 值在小于 6.5，主要集中在 5.5~6.5 之间，为弱酸性。土壤中突出富集的元素有 Cd、Ba、CaO、S、P、Cl、Ag、Se、MgO、Cr、Mn、Mo 等，Nb、B、W、Au、Tl、Th、Zr、Sn、SiO ₂ 、Org.C 等元素含量则相对贫乏。其中优质烟叶产区土壤中 Sr、Na ₂ O、CaO、Org.C、C、P、S、Cl、Cd、Se、Ba、Hg、Br、N、Mn、Ga、MgO、Al ₂ O ₃ 等元素和指标显著富集，As、Sb、Bi、W、B、Nb 等元素则显著贫乏	什邡市、绵竹市烟叶种植区

从地质环境和地球化学特征出发，兼顾农区、农作物、表生生态系统响应过程，提出名优特农产品产地保护应基于地质地球化学环境及其作物对环境的深度响应（图 23、图 24），两者紧密结合，才能取得可持续发展农业。



图 23 第四系与名特优农产品分布



图 24 土壤质量等级与名特优农产品分布

2) 多重自然与人为因素耦合作用下的土地利用景观演变具有多样递变特征

以二郎山地区为例（图 25），林地广泛分布，耕地资源匮乏，城镇村及工矿用地和交通运输用地面积比例极小。在 1994~2009 年间，园地变化达 97.49%，交通运输用地和城镇村及工矿用地变化达 43.04%和 36.70%，耕地在 15 年间持续减少 (-28.77%)，林地与草地变化仅 2.52%和 2.16%，水域及水利设施用地的二级地类变化情况复杂。耕地主要转换为林地、园地、草地和城镇村及工矿用地，林地主要流向其它土地与草地，草地主要流向林地与其它土地，城镇村及工矿用地主要向林地流转，水域及水利设施用地主要流向其它土地，其它土地主要流向林

地、水域及水利设施用地和草地；期间，区内最主要的转换类型为：其它土地与林、草、水间的相互转换，耕地向林地、园地、草地和城镇村及工矿用地的转换（表 12）。

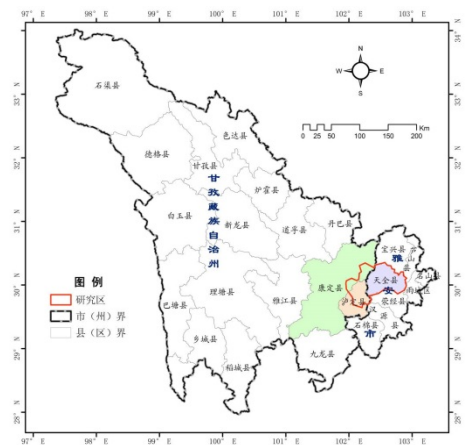
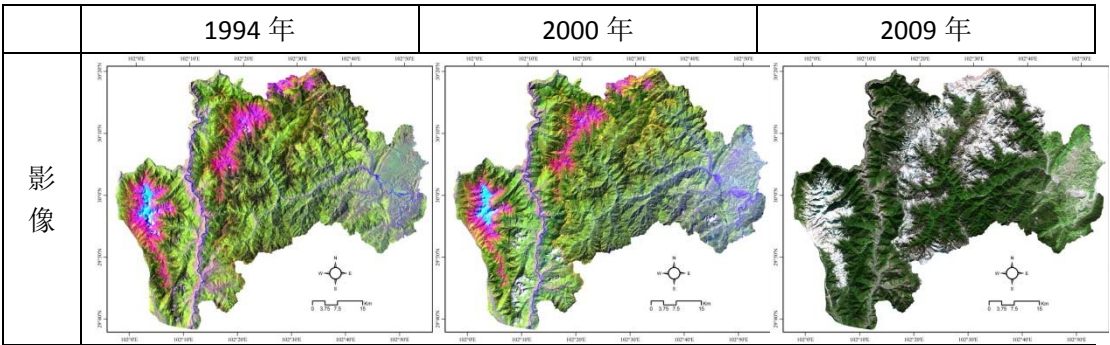
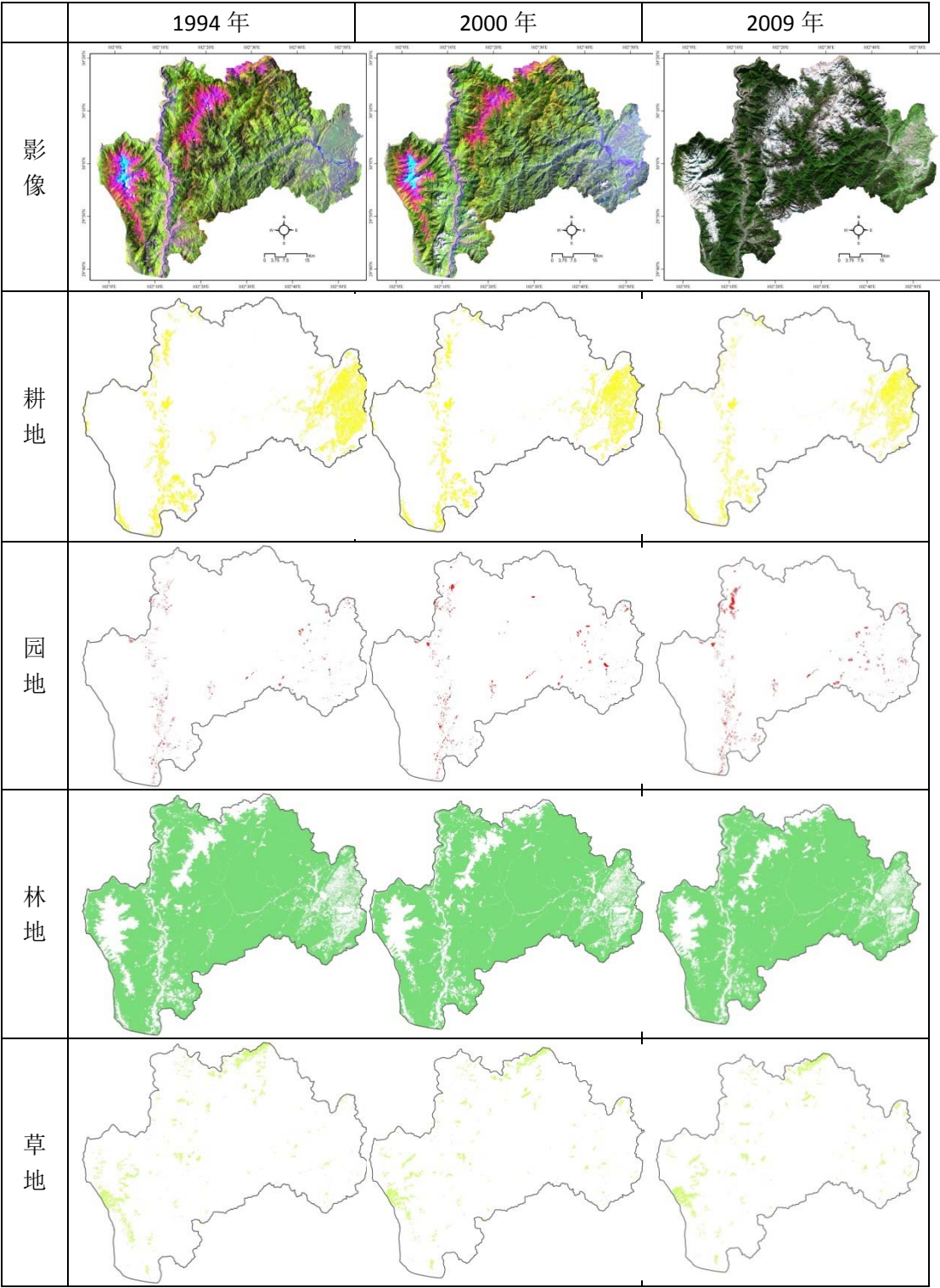


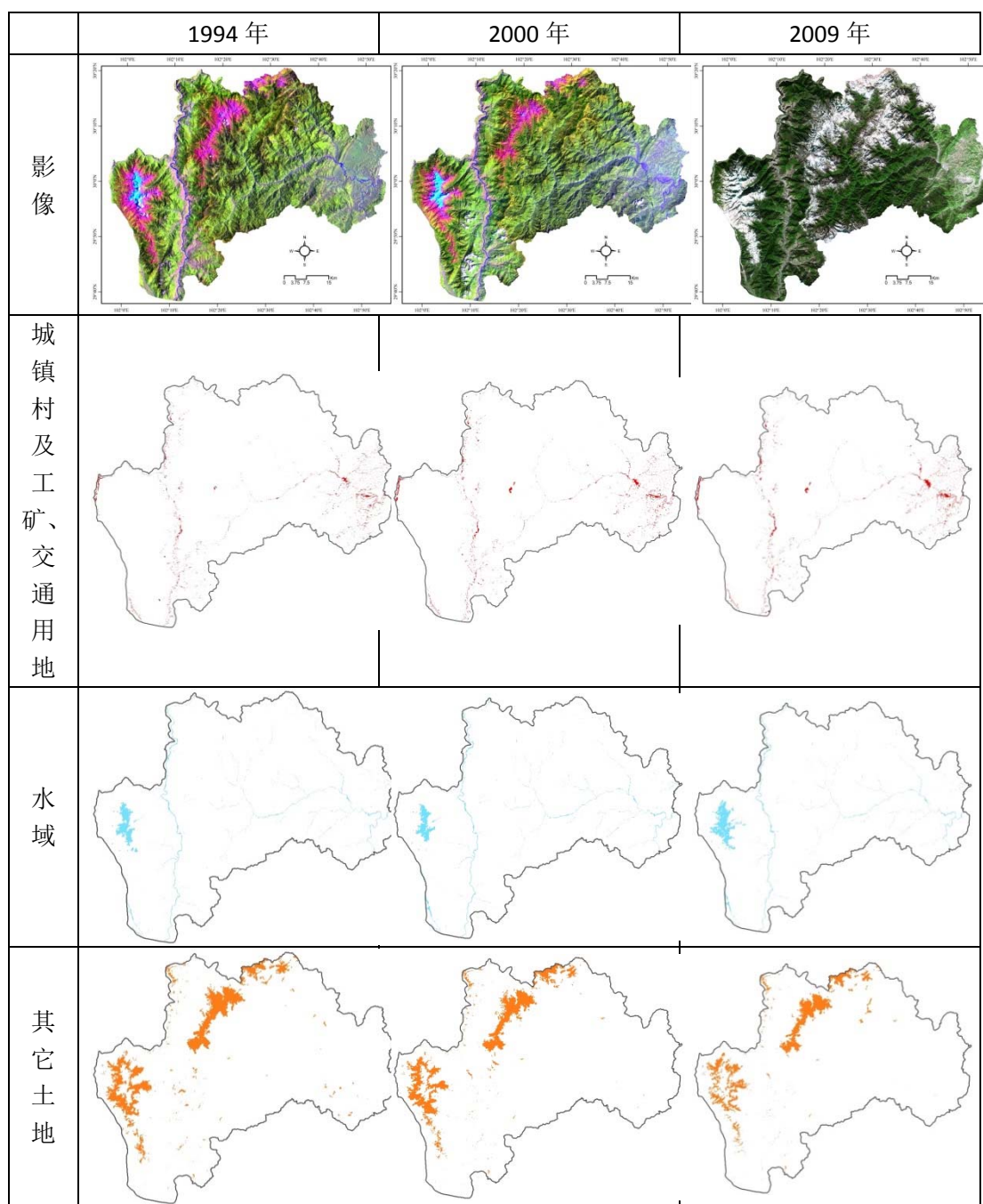
图 25 研究区位置示意图

研究地类变换原因：气候对土地利用/覆被变化的驱动作用在高海拔地区极为显著：草地、裸地、灌木林地间的相互转换，以及裸地与冰川及永久积雪的相互流转面积较大；地形因素决定了土地利用分布的基本格局，并在一定程度上限制某些地类的发展；境内自然灾害频发，水土流失严重，为土地利用/覆被带来突发性的变化；人口增长与社会经济的发展，是导致区内建设用地增加的根本原因；政府宏观政策使大量耕地转换为林地，区内森林覆盖度增加；比较经济利益是耕地向园地转变的主要原因。

表 12 1994~2009 年二郎山地区土地利用/覆被演变图谱







3) 大型工程背景下的土地利用及生态环境产生复杂的自适应过程

以二滩水电站为例（图 26），选取 1988 年、1999 年、2003 年、2006 年四期数据（图 27、图 28、图 29、图 30），研究土地利用景观格局在工程建设前、中、后的不同阶段的发生的变化，解析其成因。

a. 景观类型数量、面积、密度和优势度分析（表 13）：1988-1999 年是二滩水电站的工程建设期，因工程修建，移民搬迁、以及水库淹没等影响，该时期对土地利用的干扰强度很大，导致土地利用景观斑块破碎化严重，使得斑块数量增

加。1999 年水电站建成初期，耕地比例小于 1988 年，是因水库蓄水淹没原雅砻江及其支流河谷地带耕地，1999 年-2003 年，仍呈减少趋势，是因退耕还林；2003-2007 年，耕地所占比例有所回升，是因二滩库区后靠的部分移民生计出现困难，导致许多本已退耕还林的坡耕地又被重新开垦种植，甚至许多移民毁林开荒，开辟为新的耕地，疏林地减少。林地是主体景观类型，尤其是有林地面积比例一直呈上升趋势，二滩水库蓄水后对局地小气候影响，利于植被生长。

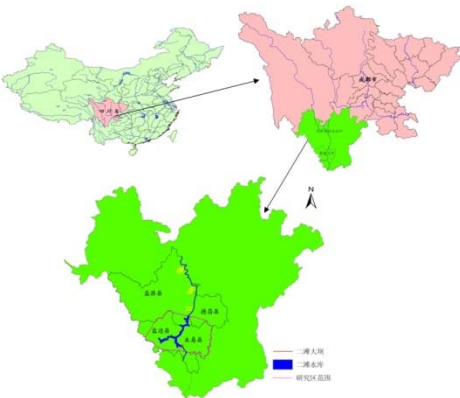


图 26 研究区位置示意图

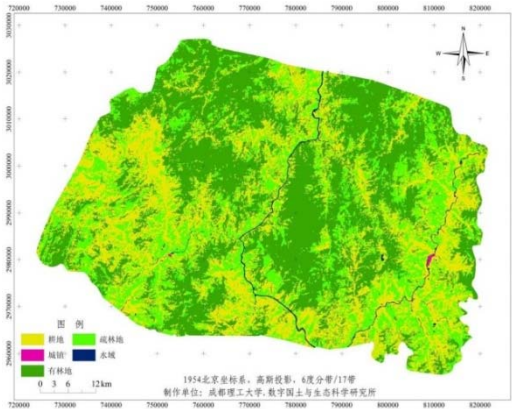


图 27 1988 年土地利用类型图



图 28 1999 年土地利用类型图

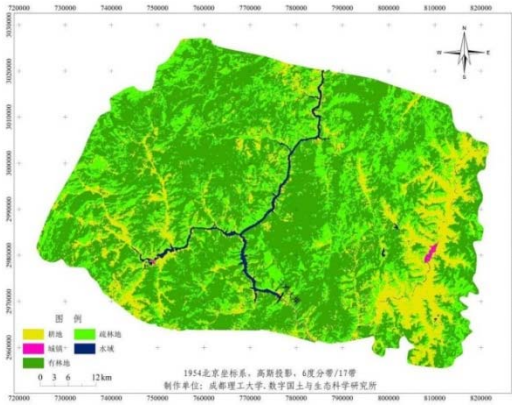


图 29 2003 年土地利用类型图

图 30 2006 年土地利用类型图

表 13 1988-2006 年土地利用景观类型数量、面积、密度和优势度统计

景观指数	年份	斑块级别					景观级别
		耕地	城镇建设用 地	有林地	疏林地	水域	
Number of Patches-NP (斑块 数量,单位:个)	1988	2704	2	1656	3538	79	7979
	1999	3181	2	2014	4337	46	9580
	2003	2515	4	1358	3982	58	7917
	2006	2420	4	1133	3328	47	6932
Class Area-CA (斑 块类型面积,单 位:hm ²)	1988	159184.7 1	178.74	200012.8 5	124287.3 0	3211.38	486874.9 8
	1999	128911.1 4	344.16	245832.8 4	106940.1 6	4846.68	486874.9 8
	2003	78414.30	462.96	268248.3 3	133610.8 5	6138.54	486874.9 8
	2006	126032.9 4	675.63	296777.6 1	55118.70	8270.10	486874.9 8
Patch Density-PD (斑块密度,单 位:个/100hm ²)	1988	0.56	0.00	0.34	0.73	0.02	1.65
	1999	0.65	0.00	0.41	0.89	0.01	1.97
	2003	0.52	0.00	0.28	0.82	0.01	1.63
	2006	0.50	0.00	0.23	0.68	0.01	1.42
Largest Patch Index-LPI(最大斑 块指数,单位:%)	1988	8.55	0.03	14.46	0.97	0.34	14.46
	1999	9.69	0.06	14.15	1.06	0.78	14.15
	2003	7.34	0.06	18.48	0.77	1.08	18.48
	2006	10.87	0.07	21.34	0.43	1.45	21.34
Percentage of Landscape-PLAND (景观比例,单 位:%)	1988	32.70	0.04	41.08	25.53	0.66	/
	1999	26.48	0.07	50.49	21.96	1.00	/
	2003	16.11	0.10	55.10	27.44	1.26	/
	2006	25.89	0.14	60.96	11.32	1.70	/

b. 景观格局分形分析 (表 14): 耕地、有林地、疏林地的周长面积分维数值都在 1.5-1.7 之间波动, 反映出这些景观类型受人类活动干扰程度较轻, 而水域的周长面积分维数值在 1999 年蓄水以后出现较大变化, 2003、2006 年逐步恢复到蓄水以前水平。

表 14 1988-2006 年四个时相景观分形分析结果

景观指数	年份	地类					景观级别
		耕地	城镇建设用 地	有林地	疏林地	水域	

Perimeter-Area Fractal Dimension-PAFRAC (周 长面积分维数)	1988	1.67	/	1.53	1.56	1.71	1.59
	1999	1.61	/	1.49	1.53	1.57	1.54
	2003	1.59	/	1.49	1.53	1.61	1.53
	2006	1.62	/	1.51	1.51	1.70	1.55

c. 聚集度与分离度分析 (表 15): 各种土地利用景观类型的 IJI (散布与并列指数)、相似度、聚集度都出现了较大的波动, 尤其是建设用地的 IJI、相似度、聚集度出现波动较大, 因水库蓄水以后, 淹没原有城镇建设用地, 异地新建城镇导致; 水域的 IJI 在 1999 年水库刚蓄水时, 明显减小, 是因水库蓄水, 形成大面积联通的水域, 景观斑块聚集。

表 15 研究区 1988-2006 年四个时相聚集度与分离度统计

景观指数	年份	斑块级别					景观 级别
		耕地	城镇建设用地	有林地	疏林地	水域	
Interspersion-Juxtaposition Index-IJI (散布与并列指数,单位:%)	1988	54.65	57.42	43.85	43.62	50.39	48.04
	1999	54.33	72.03	52.38	51.68	21.13	51.23
	2003	60.21	61.15	44.96	46.12	41.63	48.56
	2006	49.54	56.32	50.23	48.65	49.97	49.50
Percentage of Like Adjacencies-PLADJ (相似邻接百分比,单位:%)	1988	88.50	84.78	94.53	89.06	95.19	91.10
	1999	89.11	92.83	93.88	87.87	95.14	91.29
	2003	89.21	92.79	94.87	89.28	95.28	92.39
	2006	90.73	93.12	95.53	87.00	95.94	93.28
Aggregation Index-AI (聚集度,单位:%)	1988	88.56	85.23	94.60	89.14	97.40	91.17
	1999	89.18	93.23	93.94	87.96	96.70	91.36
	2003	89.31	93.15	94.92	89.35	96.63	92.47
	2006	90.73	93.12	95.53	87.00	95.94	93.35
Contagion Index-CONTAG (蔓延度指数,单位:%)	1988	/	/	/	/	/	54.38
	1999	/	/	/	/	/	55.44
	2003	/	/	/	/	/	57.98
	2006	/	/	/	/	/	60.84

d. 景观连接度分析(表 16):除疏林地从 2003 到 2006 年出现较大的减幅外, 其余都保持相对稳定状态, 是因 2003 年以后, 库区移民迫于生存的压力, 开始毁林开荒、坡耕地种植, 造成对疏林地一定程度破坏。

表 16 研究区 1988-2006 年四个时相景观连接度统计

景观指数	年份	斑块级别					景观 级别
		耕地	城镇建设用地	有林地	疏林地	水域	
Patch Cohesion	1988	99.65	98.90	99.81	98.30	97.19	99.61

Index-COHESION (斑块结合度指数,单位:%)	1999	99.66	99.32	99.79	97.92	98.04	99.63
	2003	99.55	99.44	99.88	98.22	97.85	99.71
	2006	99.65	99.50	99.90	96.40	98.14	99.78

e. 景观多样性分析 (表 17): 多样性指数和均匀度指数呈现出下降趋势,但下降趋势较缓,反映水电站修建对当地景观的丰富度和均匀度有一定的影响,但影响程度轻微。

表 17 研究区 1988-2006 年四个时相景观多样性统计

景观指数	年份	景观级别
Shannon's Diversity Index-SHDI (香农多样性指数)	1988	1.12
	1999	1.08
	2003	1.04
	2006	0.98
Shannon's Evenness Index-SHEI (香农均匀度指数)	1988	0.69
	1999	0.67
	2003	0.65
	2006	0.61

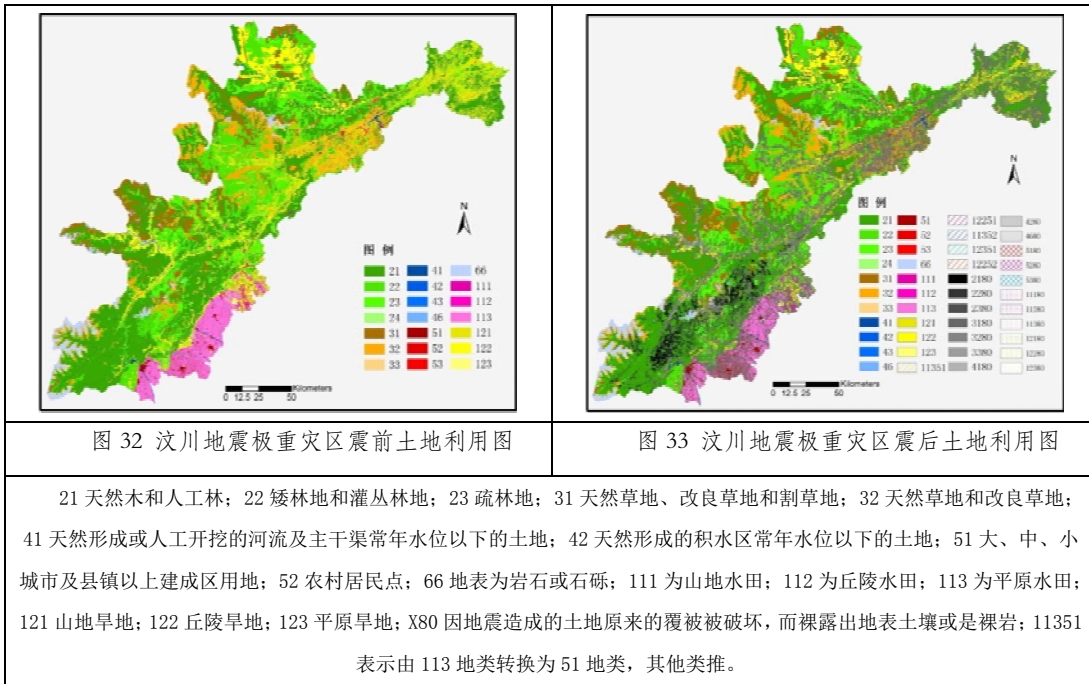
4) 地震及次生灾害导致土地利用景观格局巨变

汶川地震极重灾区位于川西平原东北部 (图 31), 地形地貌多以山地、丘陵为主, 南端部分区域地处成都平原。区内大部分区域地处高山、丘陵, 因此土地利用类型多以有林地、疏林地、灌木林地为主。有林地主要分布于汶川县、茂县西部、都江堰北部、彭州市北部、什邡市北部、绵竹市北部、安县西北部、平武县北部、文县西部、宁强县南部; 疏林地、灌木林地主要分布在都江堰市西部、彭州市中部、茂县东部以及平武县和文县的大部分区域。区内高海拔处主要分布覆盖度不同的草地以及小面积的裸岩石砾地, 其中, 草地主要分布在茂县北端、平武县东北端以及青川县, 裸岩石砾地则主要分布在汶川西北部、彭州市北部、茂县西部以及平武县东北部的小部分区域。



图 31 研究区位置示意图

研究区农田耕地包括平原水田、平原旱地、丘陵水田、丘陵旱地、山地旱地。平原耕地主要分布在研究区的西南部都江堰市、彭州市、什邡市、绵竹市以及安县；丘陵耕地主要分布在山前过渡区的丘陵地带，山地旱地主要分布在岷江及其支流两侧、山坡沟谷地带（图 32）。



地震造成研究区中南部大量土地损毁，主要包括汶川县、都江堰市、彭州市、什邡市、绵竹市、安县和北川县等县（市）。沿地震破裂带走向，汶川东南部、都江堰市北部、彭州市北部、什邡市北部、安县东部以、绵竹北部以及茂县南部部分地区受灾最为严重，有大量的有林地、灌木林地和疏林地受到地震破坏（图 33）。

震后区内农田损毁特征：汶川县、北川县耕地灾损相对严重。其中汶川县东北部、沿破裂带方向，河流沟谷两侧农田有较大面积灾损；北川县东部区域的河流沟谷两侧存在大面积农田损毁；北川县东部、平武县东南部、青川西北部，有一线状分布的农田损毁区域。此外，都江堰市、什邡市、安县有零星分布的农田损毁区域。现阶段对研究区 12 县农田损毁情况进行统计，所得到的数据整体反映研究区农田损毁面积较小，受灾情况不严重。其中，汶川县、绵竹市、北川县农田损毁相对较多。据统计，汶川县农田受损面积 50.8km^2 ，约占该县总农田面积的 40%，绵竹市农田受损面积 4km^2 ，约占该市耕地总面积的 1.8%，北川县农田受损面积 35km^2 ，约占该县耕地总面积的 6.7%，损毁农田主要是山地旱地和丘陵旱地。除上述各县（市）外，其余各县（市）损毁耕地面积占总耕地面积百分比比较小。

震后损毁土地主要分布在研究区中部以南的地区，形成一个以映秀—北川断裂带为轴线的椭圆形区域，该区域地震损毁比较集中，涉及县（市）包括汶川县，都江堰市、彭州市、什邡市、绵竹市、茂县、安县（图 34）。由安县北端为始点，经北川县东南部，至平武县南部，地震引起的损毁面逐渐减小，形成一线状的狭长损毁区域。平武县东部、青川县西南部有部分损毁区，呈点状零星分布。研究区东部文县以及东北部宁强县损毁区域不明显，受地震影响较小，此外，研究区南部平原受地震影响较小。

研究区震后损毁农田分布范围主要集中在两个区域（图 35），其中，汶川北部至茂县的岷江流域分布一条状损毁区，主要损毁农田为山地旱地；此外，北川东南部、平武南部、青川西南端分布一线状农田损毁区，主要损毁农田类型为山地旱地与丘陵旱地。此外，都江堰市中北部、彭州市中北部、什邡市中北部、绵竹市中北部、茂县中部、安县西北部零星分布一些损毁的农田，损毁农田类型为山地旱地、丘陵山地、丘陵水田。

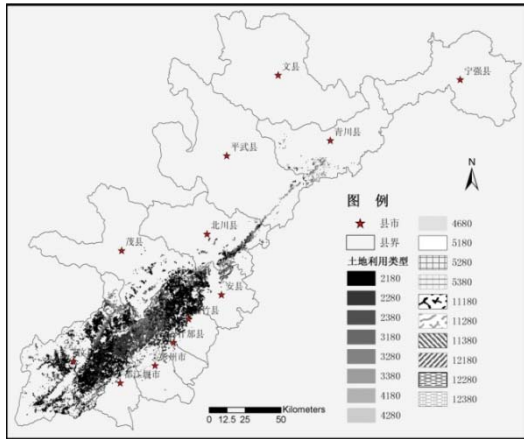


图 34 研究区震后损毁范围分布图

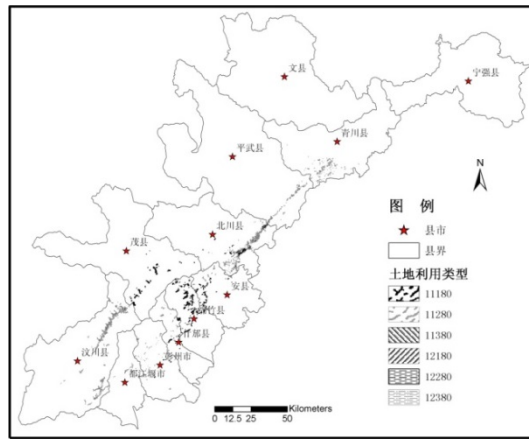


图 35 研究区震后损毁农田范围分布图

2180 表示由 21 地类转换为 80 地类，其他类推 11180 表示由 111 地类转换为 80 地类，其他类推

5) 改进了土地利用景观格局及其演变与效应研究的技术方法

针对土地利用景观格局及其环境效应的时空特性，充分挖掘并发挥 3 “S” 技术优势，构建多时相、多分辨率、多类型的遥感影像与专题地图序列，形成土地利用动态演变的图谱。在传统的地类与覆被提取技术方法的基础上，形成具有鲜明特色的土地信息提取方法：①面向对象的地类提取：利用遥感数据光谱信息、纹理特征、拓扑关系，在多尺度分割获取对象的基础上，构建变化矢量方法和向量相似性的检测方法，检测土地覆被变化；②根据地质构造展布特征及地形地貌差异，分区分块提取地类；③波段计算法：波段相减法、波段合成法、主成分差异法、差异主成分法、多波段主成分法、改进的主成分分析法。在土地利用景观格局特征及演变中借助数理统计与 GIS 平台完善了已有的模型与方法：F R A G S T A T S 景观格局指数法、转移矩阵分析、层次法分析、元胞自动机模型、基于地形地貌因子的综合分析、空间罗伦兹曲线、分形数学等。采用溯源的方式，集成数据，挖掘信息，进行土地利用景观格局的驱动力分析，利用时态 GIS 和 CLUE-S 模型等模拟土地利用的时空及特性演变，根据多目标统一原理，优化土地利用方式，实现土地可持续利用与生态地质环境可持续承载的目标。

通过土地利用景观格局演变与环境耦合效应相关项目的实施，在西南地区的国土资源与环境遥感调查、评价，大型工程及灾害的土地影响评价，土地利用规划，土地整理，土地复垦，土地生态景观修复方面形成了大量的应用和研究成果，

包括发表土地类中文核心期刊论文 20 多篇，培养国土方向博士研究生 5 名，硕士研究生 10 多名，团队改进了土地利用景观格局及其演变与效应研究的技术方法已被相关研究大量参考和引用，形成了较好的示范作用。