

三峡库区山区传统农业生态系统转型

梁鑫源¹, 李阳兵^{1,2}, 邵景安^{1,2}, 刘雁慧¹, 冉彩虹¹

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 401331;

2. 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 401331)

摘要: 三峡库区是集农村、山区、移民区为一体的典型生态脆弱区, 研究其传统农业生态系统的变化对于库区的农村发展与乡村振兴具有重要意义。通过“理论分析—实证研究—趋势预测”的研究框架, 以草堂溪流域为例, 利用2012-2017年的Quick Bird高分遥感影像结合自然资源要素与农户行为从空间尺度上人地关系变化角度出发对三峡库区山区传统农业生态系统的转型及趋势进行解析。研究发现: ① 利用100 m间隔范围的缓冲环将三峡库区的农业生态系统模式分为高低低、高低高、低高低与低低高4种类型, 不同模式分别代表三峡库区不同的农业发展阶段, 揭示了库区传统农业生态系统由传统耕作方式向现代农业转型的趋势。② 库区的农业生态系统正逐步由传统的耕作区域内粗放利用的纯农生计方式, 通过坡耕地撂荒、经果林种植等生态恢复方式, 向聚落周边300 m范围内种植结构合理化、物种多样化的集约利用方式转型。③ 以农户与坡耕地等系统要素为代表的三峡库区传统农业生态系统正在发生转型。其中坡耕地多由生产功能主导向生态与经济功能并重转变, 农户生计方式趋于多样化, 聚落系统生态活力逐渐增强, 且农业生态系统转型的变化范围基本由高海拔山区向河谷平坝区迁移。此外, 尽管在数据时限方面存在不足, 但研究结果对于库区乡村土地利用、山区水土流失治理及农村人居环境改善均有启示意义。

关键词: 三峡库区; 生态脆弱山区; 传统农业生态系统转型; 案例研究; 空间尺度

DOI: 10.11821/dlxb201908009

1 引言

农业生态系统是以耕地、水等自然资源为基础的一种人为干预程度高的复杂生态系统^[1], 作为人类赖以生存的基本系统^[2], 其所具有的功能和提供的服务对人类福祉具有重要贡献^[3]。乡村地区是农业生态系统的典型承载单元, 社会生产力发展及城市化推进促使传统的乡村特征逐渐转变^[4-6], 表现在人口结构的变化, 种植结构的演变, 聚落形态的转化, 乡村空间的重构等^[7-9]。例如在日本西部山区, 由于社会变迁如人口减少等因素影响, 部分区域的草地和历经“刀耕火种”的农田已经转变成针叶林, 其他区域则被完全抛弃并通过演替的过程转变为落叶林^[10]; 在中国东部, 大多数新生的经济作物土地类型包括茶叶和水果等种植园, 均是在以前的森林或林地覆盖区基础上建立的^[11]; 在埃塞俄

收稿日期: 2018-08-16; 修订日期: 2019-05-18

基金项目: 重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2018jcyjAX0539, cstc2015jcyjBX0128); 重庆师范大学研究生科研创新项目(YKC18033); 重庆市教委高校创新团队项目(CXTDX201601017) [Foundation: Chongqing Basic and Frontier Research Program, No.cstc2018jcyjAX0539, No.cstc2015jcyjBX0128; Chongqing Normal University Graduate Student Research Innovation Project, No.YKC18033; Innovation Team Project of Colleges and Universities of Chongqing Education Commission, No.CXTDX201601017]

作者简介: 梁鑫源(1996-), 男, 河南洛阳人, 硕士, 从事综合自然地理与土地利用研究。E-mail: liang_xiny@foxmail.com

通讯作者: 李阳兵(1968-), 男, 重庆潼南人, 博士, 教授, 主要从事土地利用与生态过程研究。E-mail: li-yabin@sohu.com

比亚西南地区,传统的以森林为基础的农业系统则正转向以谷物种植为基础的农业系统^[12]。总体而言,尽管不同地区的农业生态系统组成要素差异化明显,但均呈现出显著的转型变化趋势。

近年来中国山区农村土地开发及其造成的资源环境问题,是农业社会人地矛盾逐渐加剧的体现^[13-14]。相关研究表明,土地利用方式及覆被格局的变化不仅影响区域生物多样性及生态系统的生产力,也促使城乡生态系统结构发生显著变化^[15]。此外,农户作为农村地区的经济活动主体与最基本的决策单位,其生计策略决定着自然资源的利用方式及农业生态系统的干预强度^[16-18]。现有学者或结合民族生态学理论与方法解读典型山地农业生态系统的水资源管理体制^[19];或基于社会—生态系统体制转换的微观视角审视高原区乡村转型发展^[20];或利用能值变化评价农地流转对区域农业生态系统的影响^[21]。但大部分研究多侧重于评估乡村农业生态系统的服务与功能,对于以农业生态系统为主体,通过探究其内部各要素受经济社会影响的变化或响应特征,进而从空间上判断山区传统农业生态系统是否转型及转型趋势的研究则较为缺乏。

三峡库区是集农村、山区、移民区为一体的典型生态脆弱区,同时是国家级贫困县最集中的分布区域^[22]。伴随人类的高强度活动至“返璞”过程,库区的土地利用/覆被变化显著,尤以森林转型趋势最为明显,即森林面积由持续萎缩经由耕地撂荒、经果种植等微观机制转为恢复性增长^[23]。三峡库区人地关系的交互作用,包括坡耕地利用等土地功能变化、农村聚落的空间重构以及农户生计方式的变化等是否及在多大程度上推动了库区传统农业生态系统转型,值得深入研究。因此,揭示三峡库区山区传统农业生态系统的转型及其特征,对于库区农村的未来发展、典型山区的传统土地利用转型均有启示作用。基于此,本文通过构建“理论分析—实证研究—趋势预测”的研究范式,依据库区农业生态系统的人地关系发展过程,从微观尺度解析山区传统农业生态系统的自然资源及农户主体等要素的变化特征,进而判断库区传统农业生态系统的转型及趋势,旨在为三峡库区的农业发展、乡村振兴提供一种新的研究思路。

2 理论分析

2.1 山区农业生态系统演变理论模型

山区是一个开放的,内部各要素相互作用和联系的社会—生态系统,具有脆弱性和复杂性等特征^[13]。自传统农业社会起始,农民开发土地的方式便遵循平原—丘陵—山地的地貌格局^[24],由于自然条件约束,山区农村的农业发展效率始终不高。农户往往通过扩大耕地面积的方式,从数量上满足生产资料的获取进而提高生产力以维持生计。于是高强度的土地开发与杂乱无章的地块利用加剧了山区乡村的资源环境问题,深化了山区的人地关系矛盾。

随时间推移,特定区域的土地利用形态与人口、社会经济转型阶段相对应,土地利用方式经历了开疆扩土式的粗放利用到生态经济下的集约利用转型^[25-27]。三峡库区传统的农业生态系统作为以粮食作物主产为核心、以提高生态涵养力为目的的传统农耕系统,其转型过程基本逐步迎合森林转型各个阶段,实质为在经济社会变化和革新的驱动下,与经济社会发展阶段转型相对应的土地利用形态的转变过程^[26, 28]。

山区农业生态系统的演变可分为3个阶段(图1)。在传统农业生计时期,山区坡耕地作为农业生态系统主要生产资料占据首要地位,坡耕地的自然性致使山区土地开发利用存在显著的生态环境问题;农业社会发展过渡转型期间,坡耕地类型数量不断减少,

经果林、撂荒地等地类的出现代替了部分减少的坡耕地面积, 进而从本质上改善了农业生态系统的稳定性; 直至现代化生态农业类型的出现, 生态化—集约化时期的坡耕地规模趋于收缩且经果林与撂荒地均存在不同程度的扩张, 承载人类活动的聚落本体也由高海拔地区缩减向低海拔区域集聚。要素类型变化特征方面, 受到经济社会发展、劳动力迁出与人口压力加剧等因素影响, 山区坡耕地的规模与数量在长时间序列下均表现为持续减少态势; 同时经果林与撂荒地作为互补要素补充流失的耕地, 而经果林自身的经济—生态双效益优势使其增长规模与速度强于撂荒地; 撂荒地则主要发生在高海拔耕作条件较差的区域, 由于转型前期山区劳动力析出能力较弱, 耕地撂荒概率相对较低, 转型后期随着人口老龄化现象严重, 耕地撂荒规模快速增长至耕作条件阈值后趋于停止; 山区聚落的变化主要表现为转型前期的逐步衰落到转型后期的缓慢增加, 且后期的聚落增长多以低海拔地区生态活力较强的聚落单元规模增长为主, 数量上仍呈现出减少的整体趋势。库区农业生态系统中各要素的转变使其生态系统稳定性逐步提高, 反映出以库区为代表的山区农业正存在由传统的粮作系统向果林生态系统转型的过程。

2.2 库区传统农业生态系统转型过程

近年来, 山区已呈现由起初的耕地面积扩张与林地面积收缩现象, 经森林转型过程逐步转向耕地面积收缩与林地面积扩张的反趋势, 耕地撂荒、林果业发展等因素正是导致山区森林转型的微观作用机制; 除此之外, 社会经济因素主导的劳动力转移过程减轻了土地的人为扰动, 影响了农户的生计方式, 也是山区土地利用转型的最直接驱动力^[29-30]。在中国山区乡村土地利用转型的大背景下, 长江流域一带的山区耕地撂荒率最高^[31]。

三峡库区地质构造复杂, 地貌以山地、丘陵为主^[32], 是典型的山区代表。库区腹地耕地质量差且地块破碎化严重, 多分布在坡度 $> 6^{\circ}$ 的耕作适宜性较差地区, 由于传统农业中坡耕地占比大, 故生态农业势必成为发展的主旋律^[33]。多重社会经济因素主导下的山区人口压力转移等现状导致库区的坡耕地系统趋于转型, 以经果林等种植结构转型现象为主。同时农户系统的生计方式也由传统意义上的纯农生计转为务工、兼业或非农生计方式; 由农户生计转型带动的乡村经济发展也为农村聚落的空间重构起到了至关重要的作用。高海拔区农村居民点由于移民政策与劳动力析出等影响向河谷平坝区迁移, 聚落周边的坡耕地趋于撂荒, 即高海拔区域的坡耕地向“林灌草”土地类型转变。

上述现象表明库区腹地乡村的人地关系发生了潜移默化的转变(图2), 库区的乡村人地关系已逐步由传统农业体制转向非农与新型农业体制, 以农户与坡耕地等系统要素为代表的三峡库区传统农业生态系统正在发生转型。据此, 在森林转型、土地利用转型理论的基础上, 本文提出三峡库区山区传统农业生态系统转型理论, 从景观动态变化及其互动机制方面着手, 解构山区乡村较为直观的传统农业生态系统中的多种要素变化特征, 研究对象基本涵盖库区典型的人地关系演变模式。不同于传统的土地利用转型研究

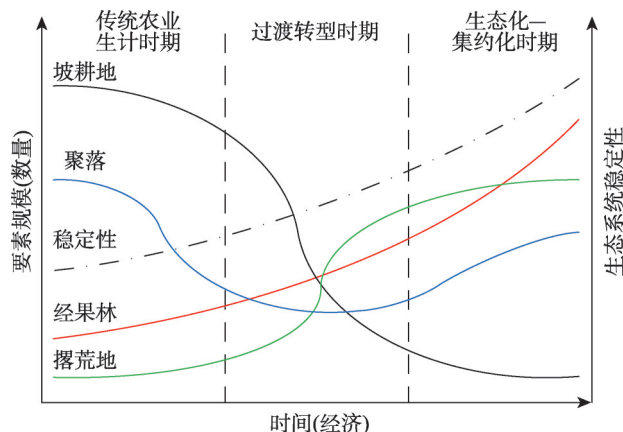


图1 山区农业生态系统演变理论模型

Fig. 1 The evolution theoretical model of the mountain agroecosystem

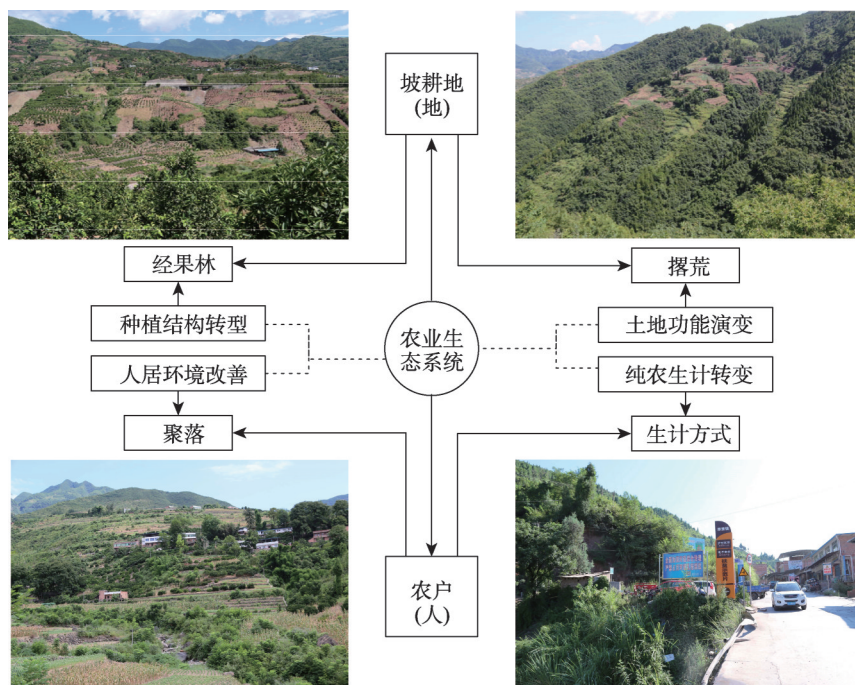


图2 库区农业生态系统转型过程(照片为作者2017年8月摄于奉节县草堂镇)
Fig. 2 Agroecosystem transition in TGRA (photoed by the authors in 2017)

框架，本文内容在土地利用显性变化的基础上更强调追求生态与经济效益双赢的农户主体的演化规律，即人在土地变化中的隐性促进作用，这也是对森林转型、土地利用转型理论的发展和补充。

3 材料与方法

3.1 案例区概况

研究区草堂流域位于重庆市奉节县的东部草堂镇，位于三峡库区腹心地带，属于

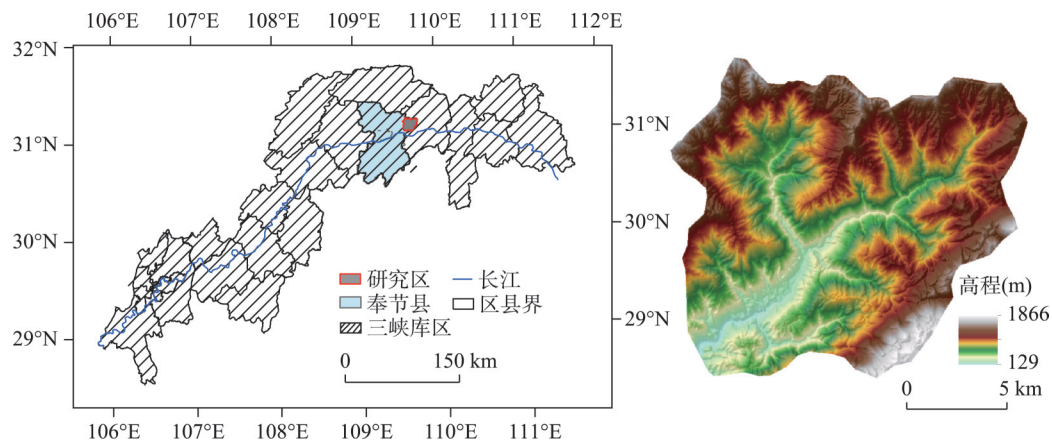


图3 案例区概况
Fig. 3 Location of the case area

长江一级支流, 河流总长度达33.3 km, 流域面积约210 km² (图3)。研究区聚落分布广泛, 农村居民点约占聚落 (农村与乡镇居民点) 总面积的90.03%, 近年来移民工程的实施导致高海拔地区聚落分布重心逐渐向下迁移。流域内耕地主要分布在6°~25°的坡地上, 土壤侵蚀现象严重。为增强坡耕地土壤抗蚀性, 研究区实施多项水土保持工程, 尤以生物措施如经果林种植的效果最显著。野外调研过程中, 发现三峡库区腹地各区县均发生了不同程度的农业种植形态功能性转变与农户生计方式多样化转型过程, 而草堂溪流域生态环境的典型性与特殊性使其具有极大程度的地域容错性与普适性, 故可基本代表三峡库区的广大区域。

3.2 数据来源

研究区以Quick Bird高清遥感影像为数据源, 主要包括2012年和2017年的Google Earth遥感数据, 分辨率精度可达0.51 m, 以及源于地理空间数据云的30 m分辨率1:5万数字高程模型。参照“地理国情普查内容与指标 (GDPJ01-2013)”及中国科学院资源环境信息数据库土地利用分类方法, 结合研究区实际情况, 依据人机交互解译判读方法将研究区土地利用类型划分为耕地、灌木林地、有林地、经果林、撂荒地、乡镇居民点、农村居民点等12个地类, 并于2017年8月在野外考察过程中抽样验证土地利用解译结果, 经检验各期土地利用类型的解译精度均在92%以上。

3.3 研究方法

以野外踏勘获取数据为主, 根据典型要素的转变过程进行类别划分, 利用人地系统的自然资源要素与农户要素从微观视角判断农业生态系统的转型及趋势是本文的着眼点。

3.3.1 典型要素类型划分 作者通过野外实地调研和走访农户, 对应高分辨率影像将经果林解译图斑进行年限上的详细划分, 包括类型I (0~3年)、II (3~5年)、III (5~8年)、IV (8~10) 年及V (> 10年), 且分类细节以野外实地绘图匹配信息为主。同理, 将撂荒地图斑分为类型A (0~2年)、B (2~5年)、C (5~10年)、D (> 10年)。在实际操作过程中, 将无法确认年限或调研疏漏的图斑与各时间节点的遥感影像比对以确定类型, 主要时间节点包括2015年、2014年、2012年、2010年、2006年、2004年等。

对聚落所处不同阶段的属性进行剖析, 可以深入挖掘聚落的发展现状及其空间分布规律, 通过野外踏勘与研究区实际情况结合, 根据聚落活性将其分为不同属性类型。在野外勘探过程中, 参照王青对山区聚落与外界环境能量交换过程的理解^[34], 从景观生态学的角度出发并考虑聚落周边环境的生态活力和聚落建筑物新旧程度, 对流域聚落进行划分, 具体分为衰弱型、停滞型、发展型和活力型 (表1)。与此同时, 考虑到城镇内部生态能量获取与消耗的特殊性, 周边景观单一化的城镇建设用地等乡镇居民点被归纳为停滞型。

3.3.2 农户生计方式空间化判定 将农户生计方式空间可视化后与调查数据相匹配, 可以提高农户生计数据的真实性。结合研究区实际情况, 经过反复模拟发现以聚落为中心制作间距100 m的300 m缓冲区范围, 区域内的耕地面积与研究区耕地总面积之比为95.2%, 故将聚落周边300 m范围视为农户耕作半径。同时利用空间关联技术计算各个聚落耕作半径范围内的撂荒地用地比率, 并与聚落属性相结合进行详细的农户生计方式划分。聚落萎缩率越大, 外出农户返回的可能性越小^[35], 故将聚落的衰退程度和农户的生计转型一一对应, 衰弱化的聚落, 农户生计相对由传统生计向非农或兼业生计转型。并于2018年4月野外调研中对照影像进行聚落农户抽样检验, 农户生计方式判读的正确率达到85%以上。

具体评判标准如图4所示, 当单个聚落耕作半径内的撂荒比率大于聚落整体耕作范



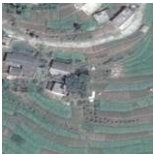

围内的撂荒均值时，衰弱型聚落周边基本无耕地，同时撂荒率较高，农户外出务工可能性较大，定义为务工型农户；停滞型聚落周边耕地缺乏整理，撂荒率增大，即传统耕作与外出务工并存，为兼业型；发展型聚落周边耕地比例下降，经果林与撂荒地比例提高，耕地向林草地转变，植被覆盖率升高，即现代型农业发展与耕作、务工并存，为多样型；活力型聚落周边以经果林为主，同时撂荒率提高，耕地面积萎缩，即现代型与务工型并存，为兼业型。当单个聚落耕作半径内的撂荒比率小于聚落整体耕作范围内的撂荒均值时，衰弱型聚落周边撂荒率下降，仍存在部分耕地，即传统型与务工型并存，为兼业型；停滞型聚落周边撂荒率较低，植被覆盖率较低且景观类型单一，耕地面积较大，即为传统型耕作农户；发展型聚落与活力型聚落周边撂荒率较低，耕地面积聚拢，细碎化程度降低，且经果林种植面积较大，即农户以经济作物等集约化利用的现代型农业耕作生计为主。

3.3.3 农业生态系统研究单元划分

农业生态系统的本质是人类生产活动干预下形成的人工生态系统。为了将不同的农业生态系统个体进行整合研究，通过综合比较现行表征人类活动对陆地表面扰动程度指数的各自适用范围和特点，选取土地利用程度综合指数模型^[36]构建研究区各聚落周边的土地利用强度变化模型（表2），使其落实到乡村聚落空间单元上。具体公式如下：

表1 不同属性聚落的参考标准

Tab. 1 Reference standards of settlements with different attributes

聚落属性	识别标准	数据来源	解译参考
衰弱型	附近耕作痕迹减轻且有撂荒态势，景观趋于单一化；居民点颜色昏暗模糊，周边道路逐渐被“林灌草”取代	CNES Astrium Quick Bird (0.51 m)	
停滞型	周边耕地分布散乱且无整理迹象，景观格局整体平衡；居民点整体偏暗，基础设施落后且无修整趋势		
发展型	周边耕地排列整齐且有整理迹象，出现微弱耕地功能转型趋势，生态景观趋于多样化；居民点颜色偏白且个体清晰		
活力型	附近耕地功能转型现象明显，周边基础设施建设齐全，景观多样化；居民点颜色发亮、立体感增强		

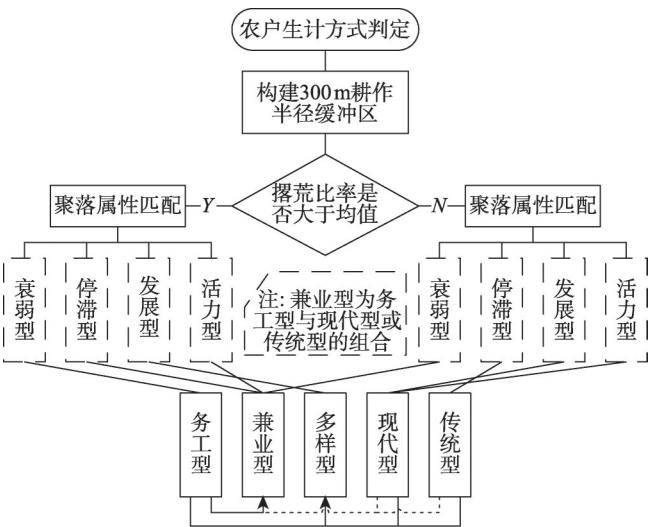


图4 农户生计方式判定标准

Fig. 4 Judgment criterion of farmers' livelihoods

式中： L 为单一样方土地利用强度； A_i 和 C_i 为样方内第 i 级土地利用强度分级指数和所占面积百分比； S_i 为该样方内第 i 级土地利用类型面积； S 为该样方土地总面积。

表2 土地利用程度分级

Tab. 2 Classification of land use degree

类型	未利用土地级	林、草、水用地级	农业用地级	城镇聚落用地级
土地利用类型	未利用地	林地、草地、水域、撂荒地	耕地、园地、经果林	城镇、居民点、工矿用地、交通用地
分级指数	1	2	3	4

考虑到 300 m 耕作半径的覆盖范围，将各聚落耕作区作为农业生态系统研究单元。鉴于各缓冲环的实际面积较小导致土地利用程度计算数值相对接近，若进行大范围定量分类会影响数据的规律性判断，故利用各缓冲环之间的大小值前后对比进而对环内模式赋值；同时根据 100 m 等间距缓冲环内土地利用强度的大小以聚落为中心由内向外分为低低高、低高低、高高低、高低高 4 种模式。高、低值的定义均为相对性概念，主要目的是为呈现农业生态系统的动态演变趋势（图 5）。

具体分类依据为：农业生态系统的微观尺度变化往往难以凭借客观事物观察到实质性的内容，故以聚落为核心，其周边土地利用程度即可代表人为干扰景观发生变化的程度，包括坡耕地、林地等人文或自然景观的转变。其中，高值表示该缓冲环人文景观比例较高，坡耕地、建设用地等占比大，聚落系统生态活力较弱，农户行为相对单一并专注于坡耕地的传统种植；低值则表示该部分自然景观比例较高，林灌草等地类占比大，农户行为相对多样、土地利用的生态化意识提高，聚落系统生态活力较强。

3.3.4 样带分析 基于聚落单元的微观尺度农业生态系统转型模式多侧重于分析单个系统的变化，无法表现出全域背景下的整体传统农业生态系统动态变化过程，故通过选择人类活动干扰剧烈的部分样带区域分析农业生态系统的演变趋势。样带的选取以覆盖研究区全域典型地貌且景观动态变化相对显著为原则，具体方位为西北-东南走向，走势基本平行于山脊线，海拔中心点位于石马村属河谷平坦地貌。样带窗口大小的设置以涵盖区域内人为干扰与变化最显著的坡面范围为标准，故设定带宽 0.5 km，长 1.5 km，窗口大小为 500 m×500 m。

4 结果分析

4.1 农业生态系统的要素变化特征

将人、地系统分别视为农业生态系统的子系统，分析各子系统要素的空间变化特征对于把握人地关系的耦合过程进而总结农业生态系统的转型模式具有重要意义（图 6）。2012 年，经果林的发展重心随时间推移基本向沿江河谷地区迁移，且 ≤ 5 年和 > 5 年的经果林分别与发展型和活力型聚落接近；撂荒地分布则与衰弱型、停滞型聚落关系密切，且基本呈环状分布于聚落密度高值区的外围；农户个体方面，务工型农户分布特征与衰弱型聚落相似，传统型农户分布对应停滞型聚落，多样型和现代型农户则基本涵盖发展型和活力型的聚落密集区，兼业型农户由于本身从事的劳动属性繁杂，故分布特征相对

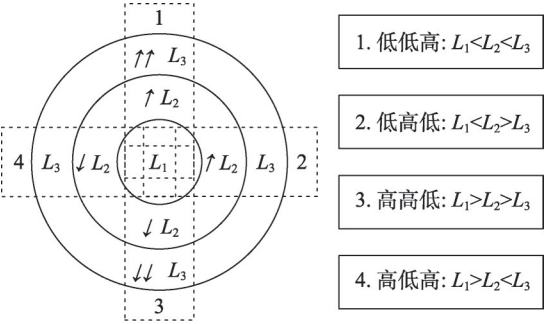


图5 农业生态系统模式分类标准

Fig. 5 Classification criteria of agroecosystem models

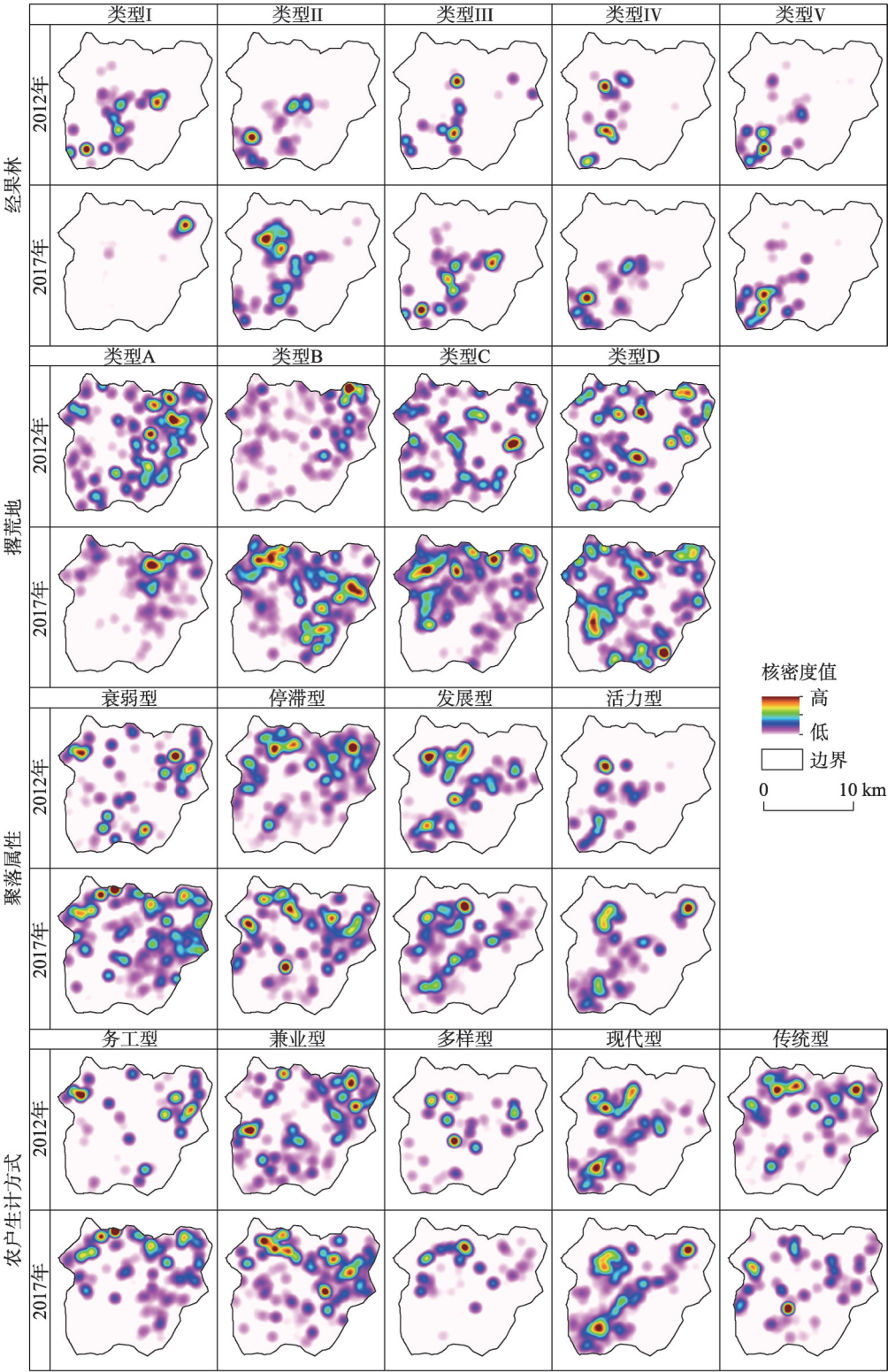


图6 2012-2017年研究区自然资源与农户要素分布热点

Fig. 6 Distribution hotspots of natural resources and farmers' elements in study area during 2012-2017

复杂。2017年, ≤ 5 年的经果林逐步由河谷地区向研究区东北和西北方向坡耕地集聚区域转移, 由于聚落与耕地存在一定的耕作距离, 而经果林的发展又以坡耕地为基础, 故年限较短的经果林多与发展型、活力型聚落分布相近; 撂荒地的分布特征与2012年表现基本一致, 但撂荒地面积明显增大, 且研究区边缘区即高山陡坡地带内 ≤ 5 年的撂荒地密度增大; 农户生计方式基本与2012年的表现特征无异, 但兼业型农户的分布热点更趋近于衰弱型与停滞型聚落集聚区。

4.2 农业生态系统的转型模式

在4.1分析的基础上, 将各资源要素以聚落为中心通过土地利用程度模型整合其周边的人地系统, 并视作独立的农业生态系统单元, 不同模式的农业生态系统样例如图7所示。同时计算各模式中不同缓冲环内的典型景观比例, 即区域内与农业用地变化相关性较大的景观类型代表, 包括经果林、撂荒地、坡耕地及林灌草地(表3), 以此验证各模式划分依据的准确性。其中, 高低低模式内的经果林与撂荒地在各缓冲环内分布相对均匀, 二者占比在5年内均呈涨势; 坡耕地与林灌草地的比例则呈显著负相关性。高低高模式中, 坡耕地与林灌草地分别在100 m与300 m缓冲环内比例最大, 且经果林比例总体上相对高低低模式有所提高。低高低模式的典型景观特征变化更为明显, 由以100 m缓冲环内的经果林变化显著, 坡耕地则在200 m缓冲环呈现最高值。低低高模式的典型景观特征与低高低模式相近, 但坡耕地的平均比例在4种模式中处于最低水平, 而经果林平均比例最高。整体上, 高低低与高低高特征相近, 低高低与低低高特征相近, 且4种模式中, 经果林与撂荒地在5年内均呈现不同程度的涨势, 坡耕地表现规律相反, 林灌草地则相对平稳, 且坡耕地的减少与经果林和撂荒地的增加基本一致。

4.3 农业生态系统的整体景观演变

采用移动窗口法在景观层面解析研究区农业转型趋势(图8), 计算各窗口的CONTAG(蔓延度)和SHDI(香农多样性)景观格局指数发现, 2012年的CONTAG均值整体上大于2017年的均值, SHDI则相反; 以中心点为原点, SHDI值在中低海拔区域

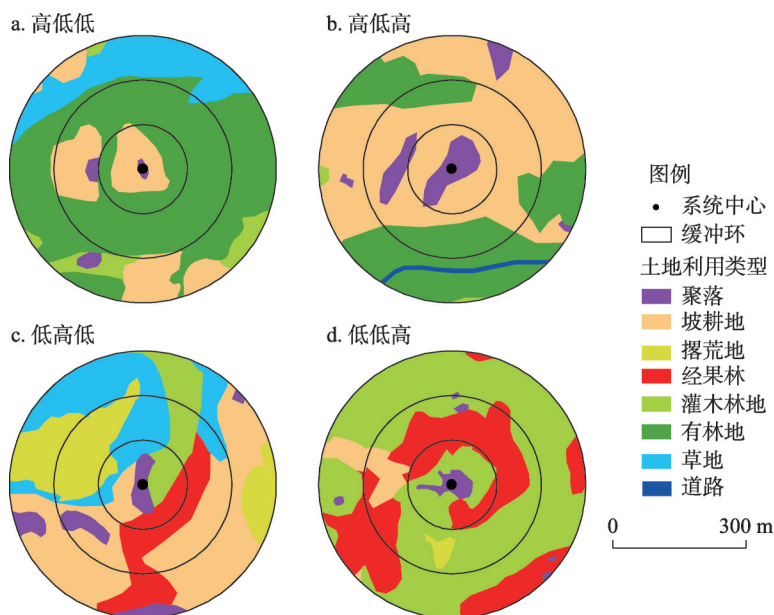


图7 不同模式农业生态系统样例

Fig. 7 Samples of different agroecosystem models

表3 农业生态系统的典型景观特征
Tab. 3 Typical landscape characteristics of agroecosystem

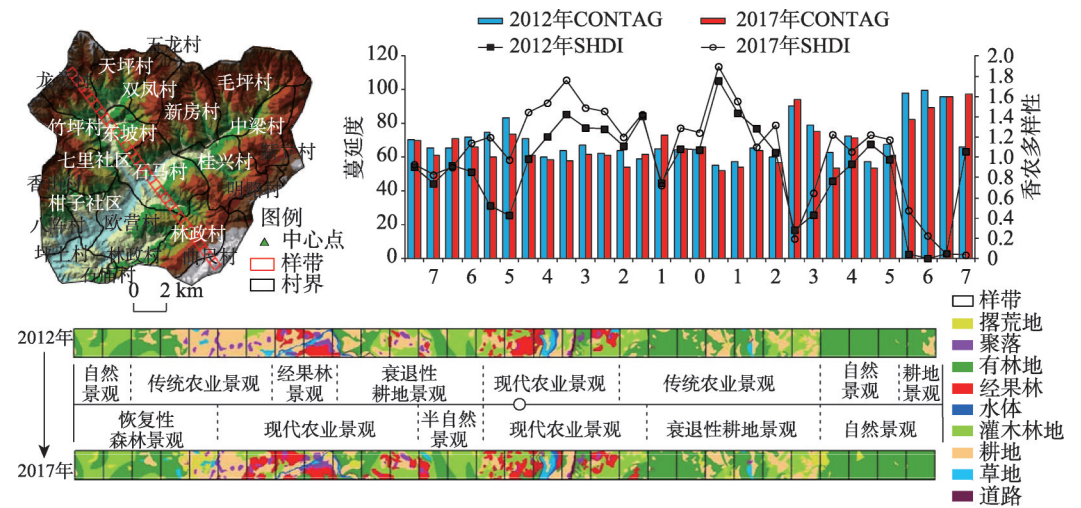
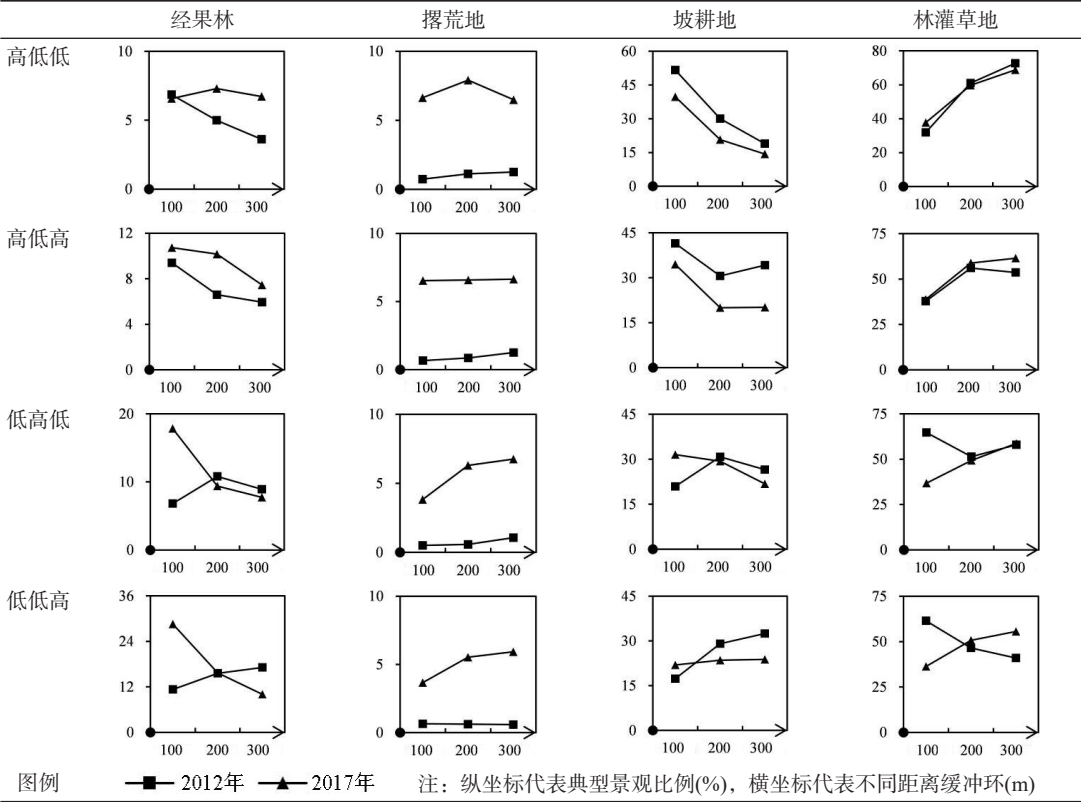


图8 研究区农业生态系统转型景观表征

Fig. 8 The landscape characterization of the agroecosystem transition in study area

成峰状分布。由此可见, 随时间增长, 样带景观蔓延度降低而多样性提高, 即优势斑块种类逐渐减少, 景观类型趋向多元化。同时高海拔地区人类活动干扰强度小, 景观类型较中低海拔地区单一, 景观多样性基本与海拔高低呈负相关。

研究区高海拔地区由于地形地貌条件限制, 自然景观难为人类所开发利用, 景观类型仍以森林为主, 中海拔地区则以传统的聚落—耕地农业景观为主, 靠近低海拔河谷平坝区的耕地景观逐渐发生变化, 以衰退性耕地景观为主, 包括撂荒地、经果林等景观替代类型, 这与山区自然坡度等约束性因素密切相关。伴随传统农业生态系统转型过程, 中高海拔区林地由耕地撂荒转为恢复性增长趋势, 中低海拔区景观类型更为多样, 表现为经果林—聚落—耕地—灌草林结合的现代化山区农业景观。转型整体过程即传统农业景观因自然条件限制逐步转为林灌草为主的自然化森林景观, 或通过耕—果转换与弃耕撂荒的方式经衰退性耕地景观向半自然化的现代农业景观的转变态势。

4.4 农业生态系统转型的发生规律

将农业生态系统作为整体分别与系统内部的资源或农户要素进行对比与反证, 解析不同模式的农业生态系统个体与地形地貌和各农业生态子系统的相互关系, 深入探究农业生态系统转型的规律与结果(图9、图10)。由于地形限制, 研究区聚落主要集中在坡度 $10^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 范围内。2012年间, 低低高模式多在海拔600 m以下, 以活力型、发展型聚落

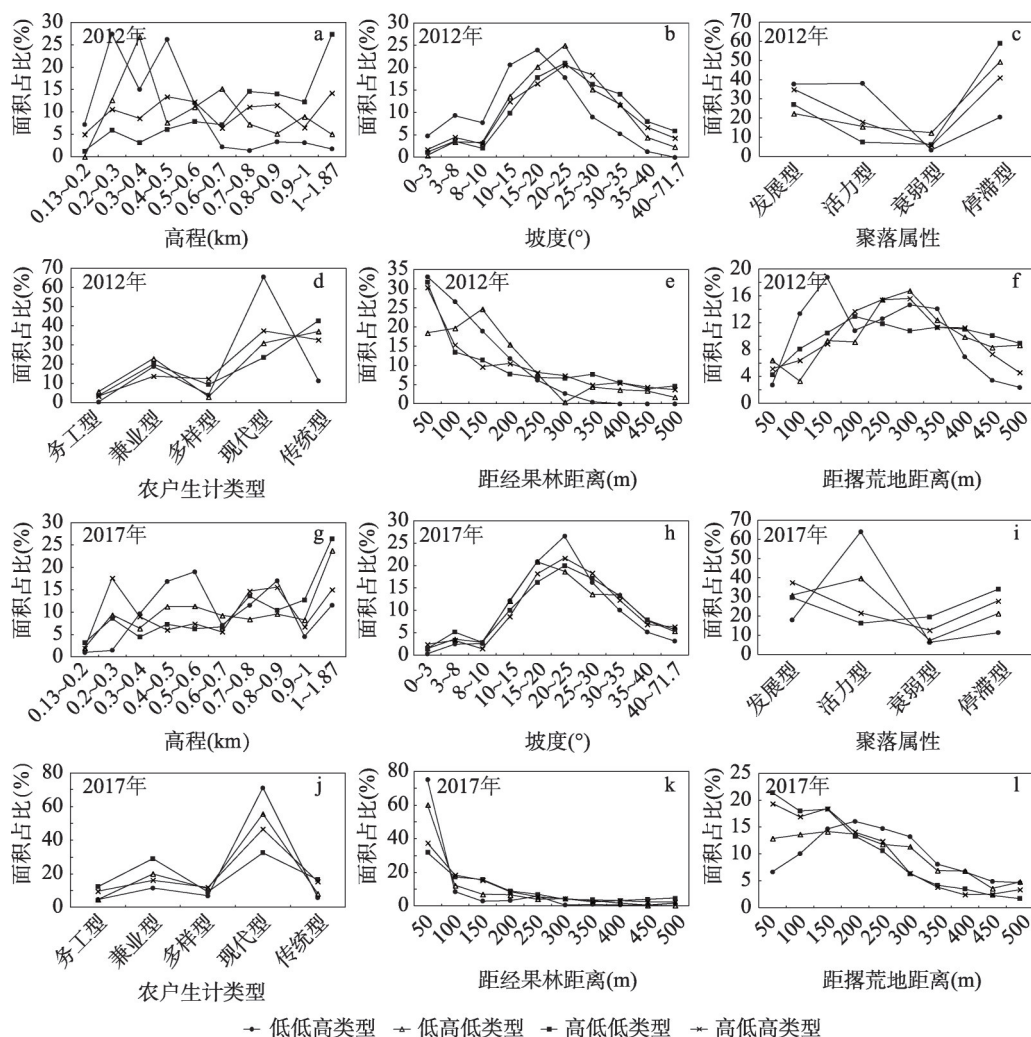


图9 研究区农业生态系统转型规律

Fig. 9 The law of the agroecosystem transition in study area

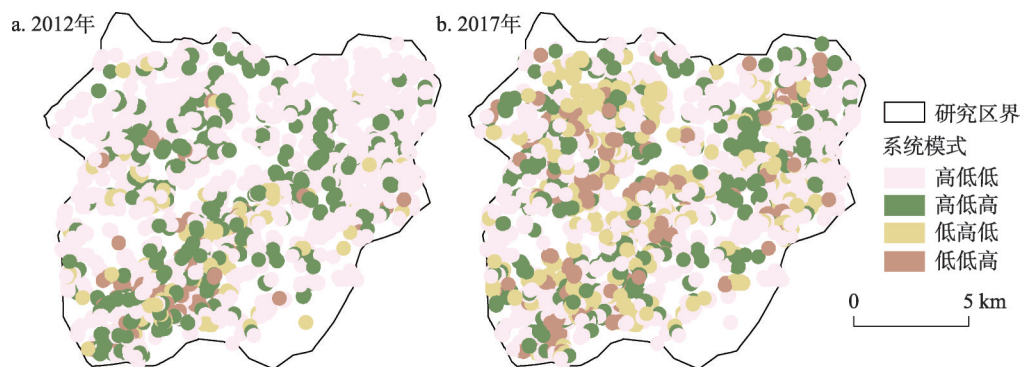


图 10 2012-2017 年研究区农业生态系统转型结果

Fig. 10 The results of the agroecosystem transition in study area during 2012-2017

为主, 农户生计方式多为现代型, 且基本在经果林附近 300 m 范围内, 并与其距离远近呈反比, 面积占比随着距撂荒地距离的增大呈先增后减的趋势; 低高低模式多集中在 200~700 m 高程带内, 以停滞型和发展型聚落为主, 农户生计方式多传统型和现代型, 集中分布在经果林 300 m、撂荒地 200~400 m 范围内; 高低低和高低高模式表现基本一致, 多分布在海拔较高地区, 聚落属性多停滞型, 农户生计方式多传统型, 在距经果林 100 m 以上范围内分布面积较少且均匀, 面积占比与距撂荒地距离远近呈倒“U”型分布规律。2017 年后, 除低海拔地区低低高、低高低模式数量减少外, 其他模式基本无明显变化, 且低低高和低高低模式以活力型聚落为主, 高低低和高低高则集中表现为发展型与停滞型聚落, 衰弱型聚落也多属于高低低型系统, 农户生计方式均基本向兼业型、现代型过渡, 集中在经果林 100 m 范围内, 并呈现出低低高>低高低>高低高>高低低>低低高的数量顺序, 而在撂荒地 500 m 范围内, 除低低高模式外其余模式面积比均与距撂荒地距离呈负相关。

综上, 不同农业生态系统个体与各子系统之间存在一定的规律。结合 4.2 与 4.3 分析发现, 研究区的农业生态系统正逐步由传统的耕作区域内粗放利用的纯农生计方式, 通过坡耕地撂荒、经果林种植等生态恢复方式, 向聚落周边种植结构合理化、物种多样化的集约利用方式转型。整体上, 低低高与低高低型农业生态系统的变化模式更适用于库区的农业发展。

5 讨论

5.1 库区农业生态系统转型机制与趋势

高低低的农业生态系统模式代表库区传统农业的早期发展历程, 即高强度的土地利用均发生在衰弱型或停滞型聚落周边。随着农户对经济与生产资料的需求量增大, 生产力度增强, 土地开发强度随之提高, 耕地及其他人类活动强度较大的土地类型逐步由聚落中心向外围延伸, 聚落生态活力持续降低, 形成高低高型的土地利用模式, 即传统小型的生计农业向广种薄收型的粗放式农业的发展过程^[37], 导致生态退化。在生态退耕、生态建设等政策制度的引导下, 农户放弃了生产效率较低的坡耕地, 耕地经撂荒逐步演化为林地, 使林地面积产生恢复性的增长趋势; 加之农户生计的多样化趋势, 驱动高低高土地利用模式向低高低模式转型, 该阶段多位于发展型聚落周边。随后由于经济、生态需求等多重压力驱使, 农村居民生活水平提高, 耕地面积随撂荒与果林业发展进一步

减小, 聚落周边区域的撂荒耕地经植被演替形成小范围的生态恢复, 未撂荒耕地则转向为经果林等经济作物, 高强度的土地开发现象得到缓解, 聚落生态活力进一步提升, 土地利用模式逐渐过渡为低低高型, 即粗放式农业向生态化农业转型 (图11)。

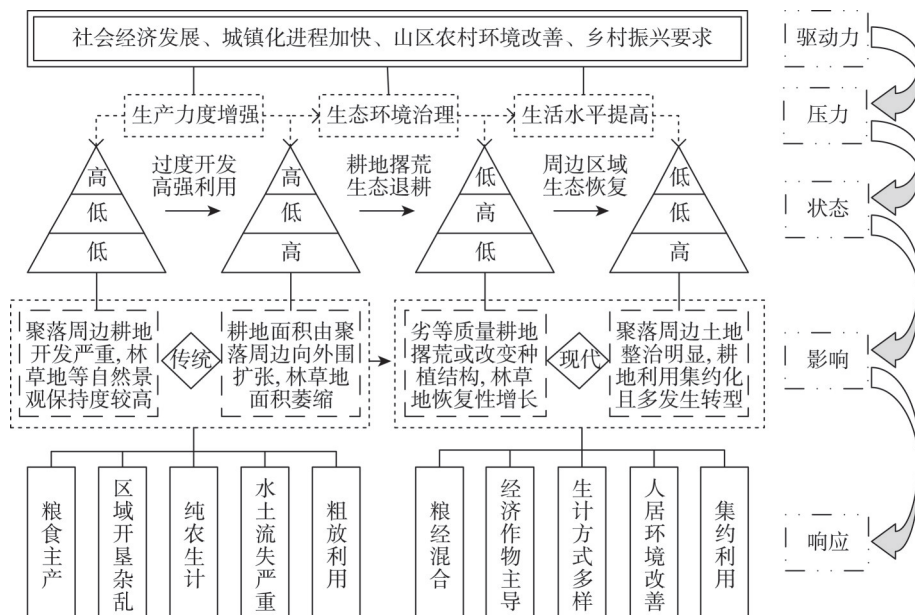


图11 农业生态系统转型趋势

Fig. 11 The trend of the agroecosystem transition

将不同的农业生态系统转型模式进行总结, 高低低与高低高代表传统农业生态系统, 低高低与低低高则代表现代农业生态系统, 前者向后者的转型可看作库区乡村土地利用由传统的耕作方式与农户生计向现代化新型农业与多样化生计转变的作用过程。这种转型过程是对社会经济发展和政策的响应, 表现为种植结构由粮食作物主产向粮经混合耕作转型、区域土地粗放利用向集约利用转型、农户生计方式由纯农生计向多样化生计转型等, 在不同程度上促进了三峡库区的农业与农村发展。在人为活动的干预下, 未来的库区坡耕地将逐步收缩并发生种植结构转型, 农业生态系统发展重心向低海拔河谷平坝区迁移, 呈现传统生计型向生态经济复合型转变的趋势, 人地关系也将从不协调的矛盾状态趋向和谐共赢。

山区传统农业生态系统转型是结合森林转型与土地利用转型理论提出的新思路, 其实质是乡村转型视角下的资源利用可持续性、与农业行为主体的多样性需求相融合而成的新概念。社会经济的发展与人类对自然社会的关注度提高促使人类在利用自然资源的同时愈发注重生态环境的保护及发展的可持续性。三峡库区的乡村农业发展作为小尺度上的乡村土地利用转型典型代表, 在一定程度上映射了山区乡村农业生态系统的演化过程。

5.2 研究展望

目前, 可持续集约化的农业生态系统已逐步成为全球尺度下的农业生态系统发展范式, 该范式强调景观、生物圈与地球系统的可持续性与恢复能力^[38-39]。如何利用生态系统提供的自然功能设计多功能的农业生态系统, 是可持续农业集约化发展的重要组成部分^[40]。三峡库区作为中国典型的西南山区传统粮食作物生产区域, 粮作系统的生态化、经济化现象是其农业生态系统转型的发展趋势。本文研究结果证实, 库区农业生态系统各要素

均在发生形态与功能方面的转变,各要素的变化共同促进了山区传统农业生态系统的转型,且转型过程对于系统本身稳定性与抗风险能力的提升有一定的积极响应。相较于其他山区,聚落结构活力化与农户生计多样化趋势以及坡耕地—经果林—撂荒地的山地型农业生态系统演变态势是三峡库区等典型山区的传统农业生态系统转型区别于其他地区农业生态系统变化的关键要素,正好为关于中国正在变绿的分析提供了微观上的证据^[41],同时低海拔地区的植被覆盖增益逐渐强于高海拔地区的分析结果,也进一步解释了中国乡村地区的森林转型在社区水平上的变化过程^[42]。

此外,乡村社会—生态系统作为乡村人—地系统研究的整合分析方法^[20],与本研究定义的传统农业生态系统在理论层面存在相似之处,但整体上的侧重点并不相同。就研究对象而言,前者强调社会、经济与生态亚系统各要素的平衡与互反馈机制,后者则倾向于关注单方面的景观生态要素驱动社会系统变化,进而反馈于景观的过程;就研究尺度而言,前者更多依附于村域、农户等社区层面,后者则以聚落主导的耕作单元为基础研究框架。总的来说,乡村社会—生态系统基本涵盖传统农业生态系统,且后者为前者在研究方向上的延伸,即传统农业生态系统的解析过程是以某一微观尺度(自定义单元)的关键要素(坡耕地)为基点,由点到面地挖掘山区乡村传统农耕结构的演变规律,这也为乡村社会—生态系统研究提供了一种新的视角与思路。当然研究仍存在一定的不足:① 实证研究案例的时间间隔较短仅有5年之差,但基本反映了三峡库区典型区域的传统农业生态系统转型过程,下一步将增加更长的时间序列研究;② 农户生计方式空间化判定的实质为聚落主导的农户生计方式,尽管存在一定的经验误差,但经实地验证后稍加调整可基本适用于大范围山区的农户生计方式判断过程;③ 山区传统农业生态系统的空间表征是以聚落为中心进行缓冲单元的划分,进而整合区域农业生态系统内部各要素的微观尺度变化,案例研究区耕作距离的限制因素可能对于农业生态系统的定义范围有所影响,但不影响其本身的参考价值。

6 结论

本文通过“理论分析—实证研究—趋势预测”的方式从人地关系变化角度出发对三峡库区的山区传统农业生态系统演变进行了微观尺度的解析,得到以下结论:

(1) 以草堂溪典型流域为例,研究发现三峡库区乡村地区耕地撂荒现象与经果林种植的大面积出现导致库区的坡耕地系统发生转型,高海拔地区农村聚落逐渐向河谷坝地迁移,农户生计方式也由传统的纯农生计转变为多样化的生计方式。区域自然条件较差的高海拔区聚落趋于废弃,而立地条件良好的低海拔聚落生态活力逐渐增强。

(2) 以聚落及其周边300 m缓冲区作为农业生态系统的研究单元,可将其根据100 m缓冲间隔分为高低低、高低高、低高低与低低高四种类型,分别代表三峡库区农业生态转型的4种模式,并对应库区农业社会发展的不同阶段,即高低低与高低高代表传统农业生态系统,低高低与低低高则代表现代农业生态系统,且存在前者向后者的演变过程。

(3) 三峡库区的农业生态系统正逐步由传统的耕作区域内粗放利用的纯农生计方式,通过坡耕地撂荒、经果林种植等生态恢复方式,向聚落周边种植结构合理化、物种多样化的集约利用方式转型,表明以库区为代表的山区农业正存在由传统的粮作系统向果林生态系统转型的过程。转型结果对于库区乡村土地利用、山区水土流失治理及农村人居环境改善均有启示意义。

参考文献(References)

- [1] Wang Jing, Zhang Jiexia, Duan Ruijuan. The progress of study on regional agro-ecosystem. *Ecological Economy*, 2015, 31(2): 102-108. [王静, 张洁瑕, 段瑞娟. 区域农业生态系统研究进展. *生态经济*, 2015, 31(2): 102-108.]
- [2] Guzmán G I, Molina M G D, Fernández D S, et al. Spanish agriculture from 1900 to 2008: A long-term perspective on agroecosystem energy from an agroecological approach. *Regional Environmental Change*, 2017(4): 1-14.
- [3] Li Yan, Li Shuangcheng, Gao Yang, et al. Ecosystem services and hierarchic human well-being: Concepts and service classification framework. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(8): 1038-1047. [李琰, 李双成, 高阳, 等. 连接多层次人类福祉的生态系统服务分类框架. *地理学报*, 2013, 68(8): 1038-1047.]
- [4] Liu Y S, Li Y H. Revitalize the world's countryside. *Nature*, 2017, 548(7667): 275-277.
- [5] Liu Y. Introduction to land use and rural sustainability in China. *Land Use Policy*, 2018, 74: 1-4.
- [6] Zhang Xiaolin. On discrimination of rural definitions. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53(4): 365-371. [张小林. 乡村概念辨析. *地理学报*, 1998, 53(4): 365-371.]
- [7] Liu Y S, Wang L J, Long H L. Spatio-temporal analysis of land-use conversion in the eastern coastal China during 1996-2005. *Journal of Geographical Sciences*, 2008, 18(3): 274-282.
- [8] Long H L, Liu Y S, Li X B. Building new countryside in China: A geographical perspective. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 457-470.
- [9] Liu Zhenhuan, Yang Peng, Wu Wenbin, et al. Spatio-temporal changes in Chinese crop patterns over the past three decades. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(5): 840-851. [刘珍环, 杨鹏, 吴文斌, 等. 近30年中国农作物种植结构时空变化分析. *地理学报*, 2016, 71(5): 840-851.]
- [10] Kamada M, Nakagoshi N. Influence of cultural factors on landscapes of mountainous farm villages in western Japan. *Landscape & Urban Planning*, 1997, 37(1/2): 85-90.
- [11] Su S, Zhou X, Wan C, et al. Land use changes to cash crop plantations: Crop types, multilevel determinants and policy implications. *Land Use Policy*, 2016, 50: 379-389.
- [12] Kassa H, Dondeyne S, Poesen J, et al. Transition from forest-based to cereal-based agricultural systems: A review of the drivers of land use change and degradation in Southwest Ethiopia. *Land Degradation & Development*, 2017, 28(2): 431-449.
- [13] Zhang Bailin, Gao Jiangbo, Gao Yang, et al. Land use transition of mountainous rural areas in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 503-517. [张佰林, 高江波, 高阳, 等. 中国山区农村土地利用转型解析. *地理学报*, 2018, 73(3): 503-517.]
- [14] Han Maoli, Zhang Yi, Fang Chen, et al. Location and environment of the settlements and man-land relationship in West Liaohe River Basin since Holocene. *Geographical Research*, 2008, 27(5): 1118-1128. [韩茂莉, 张一, 方晨, 等. 全新世以来西辽河流域聚落环境选择与地人关系. *地理研究*, 2008, 27(5): 1118-1128.]
- [15] Liu Yongqiang, Liao Liuwen, Long Hualong, et al. Effects of land use transitions on ecosystem services value: A case study of Hunan province. *Geographical Research*, 2015, 34(4): 691-700. [刘永强, 廖柳文, 龙花楼, 等. 土地利用转型的生态系统服务价值效应分析: 以湖南省为例. *地理研究*, 2015, 34(4): 691-700.]
- [16] Zhao Xueyan. Environmental impact of different livelihood strategies of farmers: A case of the Gannan Plateau. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(5): 545-552. [赵雪雁. 不同生计方式农户的环境影响: 以甘南高原为例. *地理科学*, 2013, 33(5): 545-552.]
- [17] Wang Chengchao, Yang Yusheng. Review of research on mountainous ecological restoration based on farmer household livelihood evolution. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(2): 344-352. [王成超, 杨玉盛. 基于农户生计演化的山地生态恢复研究综述. *自然资源学报*, 2011, 26(2): 344-352.]
- [18] Yan Jianzhong, Yu Ou, Wu Yingying, et al. Livelihood vulnerability assessment of farmers and nomads in eastern ecotone of Tibetan Plateau, China. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 27(7): 858-867. [阎建忠, 喻鸥, 吴莹莹, 等. 青藏高原东部样带农牧民生计脆弱性评估. *地理科学*, 2011, 27(7): 858-867.]
- [19] Yang Jingbiao, Xia Jianxin, Feng Jinchao, et al. Water resource management in the Hani Rice Terraces agro-ecosystem from an ethno ecological perspective. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(9): 3291-3299. [杨京彪, 夏建新, 冯金朝, 等. 基于民族生态学视角的哈尼梯田农业生态系统水资源管理研究. *生态学报*, 2018, 38(9): 3291-3299.]
- [20] Wang Ziqiao, Shi Cuiping, Jiang Wei, et al. Rural transformation from the perspective of regime shifts of socio-ecological systems in the Loess Plateau: A case study of Hongjia town in Changwu County, China. *Geographical Research*, 2016, 35(8): 1510-1524. [王子侨, 石翠萍, 蒋维, 等. 社会—生态系统体制转换视角下的黄土高原乡村转型发展: 以长武县洪家镇为例. *地理研究*, 2016, 35(8): 1510-1524.]

- [21] Cheng Xiangyou, Xin Guixin, Chen Rongrong. Impact of farmland transfer on agro-ecosystem. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016, 24(3): 335-344. [程相友, 信桂新, 陈荣蓉, 等. 农地流转对农业生态系统的影响. *中国生态农业学报*, 2016, 24(3): 335-344.]
- [22] Hui Y, Yong L, Liu S, et al. The influences of topographic relief on spatial distribution of mountain settlements in Three Gorges Area. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 74(5): 1-10.
- [23] He Weifeng, Yan Jianzhong, Zhou Hong, et al. The Micro-mechanism of forest transition: A case study in the mountainous areas of Chongqing. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(1): 102-113. [何威风, 阎建忠, 周洪, 等. 森林转型的微观机制: 以重庆市山区为例. *自然资源学报*, 2016, 31(1): 102-113.]
- [24] Zhang Bailin, Cai Weimin, Zhang Fengrong, et al. Spatio-temporal evolution of rural settlements and its driving forces in Yishui County, Shandong Province from Sui Dynasty to 1949. *Geographical Research*, 2016, 35(6): 1141-1150. [张佰林, 蔡为民, 张凤荣, 等. 隋朝至 1949 年山东省沂水县农村居民点的时空格局及驱动力. *地理研究*, 2016, 35(6): 1141-1150.]
- [25] Foley J A, Defries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [26] Lambin E F, Meyfroidt P. Land Use Transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 108-118.
- [27] Li Xiubin, Zhao Yuluan. Forest transition, agricultural land marginalization and ecological restoration. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(10): 91-95. [李秀彬, 赵宇鸾. 森林转型、农地边际化与生态恢复. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(10): 91-95.]
- [28] Rudel T K, Schneider L, Uriarte M. Forest transitions: An introduction. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 95-97.
- [29] Li S F, Li X B. Global understanding of farmland abandonment: A review and prospects. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(9): 1123-1150.
- [30] Li Shiji, Li Xiubin, Tan Minghong. Impacts of rural-urban migration on vegetation cover in ecologically fragile areas: Taking Inner Mongolia as a case. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(10): 1622-1631. [李仕冀, 李秀彬, 谈明洪. 乡村人口迁出对生态脆弱地区植被覆盖的影响: 以内蒙古自治区为例. *地理学报*, 2015, 70(10): 1622-1631.]
- [31] Li Shengfa, Li Xiubin, Xin Liangjie, et al. Extent and distribution of cropland abandonment in Chinese mountainous areas. *Resources Science*, 2017, 39(10): 1801-1811. [李升发, 李秀彬, 辛良杰, 等. 中国山区耕地撂荒程度及空间分布: 基于全国山区抽样调查结果. *资源科学*, 2017, 39(10): 1801-1811.]
- [32] Duan Yinglin, Liu Feng, Zhao Shuai, et al. Analysis of farmland ecosystem services and environmental pressures in the Three Gorges Reservoir Area, before and after impoundment. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(9): 2750-2763. [段颖琳, 刘峰, 赵帅, 等. 三峡库区蓄水前后农田生态系统服务与环境压力分析. *生态学报*, 2016, 36(9): 2750-2763.]
- [33] Liu Juan, Xie Qian, Ni Jiupai, et al. The construction of the eco-agricultural yards in Three Gorges Reservoir Area based on agricultural non-point source pollution zones. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(9): 2431-2441. [刘涓, 谢谦, 倪九派, 等. 基于农业面源污染分区的三峡库区生态农业园建设研究. *生态学报*, 2014, 34(9): 2431-2441.]
- [34] Wang Qing. The coupling mechanisms of rural settlements and water & soil conservation projects in the upper reaches of Yangtze River. *Journal of Mountain Science*, 2007, 25(4): 455-460. [王青. 长江上游山区聚落与水土保持的耦合机制. *山地学报*, 2007, 25(4): 455-460.]
- [35] Ran Yixiao, Zhang Fengrong, Zhang Bailin, et al. Characterization and diagnosis of rural decline in poor mountainous areas. *Resources Science*, 2017, 39(6): 999-1012. [冉逸箫, 张凤荣, 张佰林, 等. 贫困山区农村衰落的特征及诊断: 以重庆市酉阳县为例. *资源科学*, 2017, 39(6): 999-1012.]
- [36] Zhuang Dafang, Liu Jiuyan. Study on the model of regional differentiation of land use degree in China. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(2): 105-111. [庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究. *自然资源学报*, 1997, 12(2): 105-111.]
- [37] Luo Shiming. Agroecology transition and suitable pathway for eco-agricultural development in China. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(1): 1-7. [骆世明. 农业生态转型态势与中国生态农业建设路径. *中国生态农业学报*, 2017, 25(1): 1-7.]
- [38] Rockström J, Williams J, Daily G, et al. Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 2017, 46(1): 4-17.
- [39] Titttonell P. Ecological intensification of agriculture: Sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2014, 8: 53-61.
- [40] Liu Y, Yang Y, Li Y, et al. Conversion from rural settlements and arable land under rapid urbanization in Beijing during 1985-2010. *Journal of Rural Studies*, 2017, 51: 141-150.

- [41] Maciasfauria M. Satellite images show China going green. *Nature*, 2018, 553(7689): 411-413.
- [42] Zhang Z, Zinda J A, Li W. Forest transitions in Chinese villages: Explaining community-level variation under the returning forest to farmland program. *Land Use Policy*, 2017, 64: 245-257.

Traditional agroecosystem transition in mountainous area of Three Gorges Reservoir Area

LIANG Xinyuan¹, LI Yangbing^{1,2}, SHAO Jing'an^{1,2}, LIU Yanhui¹, RAN Caihong¹

(1. School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China;

2. Key Laboratory of Surface Process and Environment Remote Sensing in the
Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 401331, China)

Abstract: The Three Gorges Reservoir Area (TGRA) is a typical ecological vulnerable area with a characteristic of rural, mountainous and immigrant areas, therefore, it is of great significance to study the traditional agroecosystem changes in the TGRA for rural development and revitalization. According to the framework of "theoretical analysis - empirical study - trend prediction", this paper, taking the Caotangxi watershed as an example, analyzes the transition and trend of the traditional agroecosystem in the mountainous area of TGRA from the spatial change of man-land relationship by combining the Quick Bird high-resolution remote sensing images from 2012 to 2017, the natural resources and the farmers' behavior. The results show that: (1) the agroecosystem in the TGRA can be divided into four models by using buffer rings of 100 m interval, namely, the high-low-low, high-low-high, low-high-low and low-low-high. Different models, which represent the agricultural development stages in the TGRA, can reveal the trend of traditional agroecosystem transition from traditional way to modernization. (2) The agroecosystem in the TGRA is gradually transforming from the extensive agricultural land use to the intensive utilization way characterized by the rationalization of planting structure and species diversity within a range of 300 m around the settlements, through the ecological restoration way such as the abandonment of sloping farmland and the planting of economic fruit forest in the traditional farming area. (3) The traditional agroecosystem in the TGRA, represented by system elements such as farmers and sloping farmland, is undergoing transformation. Among them, the sloping farmland has mostly transformed from the type dominated by production function to the type with an equal emphasis on ecological and economic functions, the way of farmers' livelihood has tended to diversify, the ecosystem vitality of settlements system has gradually increased, and the change range of agroecosystem transition has basically migrated from high mountain area to valley flat area. Additionally, although there is a deficiency in study time limit, the results still have enlightenment for the rural land use, the control of soil and water loss and the improvement of rural living environment of the mountainous areas in the TGRA.

Keywords: Three Gorges Reservoir Area; ecologically fragile mountain area; traditional agroecosystem transition; empirical study; spatial scale