

# 三峡库区“耕—果”转换时空变化特征及其启示 ——以草堂溪流域为例

梁鑫源<sup>1</sup>, 李阳兵<sup>1,2</sup>

(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:** 三峡库区坡耕地如何实现功能转型, 及其转型过程的作用机制对库区未来的粮食安全、生态安全等问题意义重大。本文利用0.51 m 高清遥感影像数据, 以草堂溪流域为研究区, 结合野外实地考察, 通过分析坡耕地向经果林的农地用途转换过程来揭示三峡库区坡耕地功能转型的内在机制。研究表明: (1) 草堂溪流域的耕—果转换重心在2012年后, 以高程800 m 为拐点由西南部低海拔平坝地区向东北部高海拔、坡耕地覆盖地区转移, 变化发生点均在坡度15°~30°范围内; (2) 研究区耕—果转换的集聚特征一般发生在8.5 km 左右的特征尺度上, 且空间分布随时间推移愈发均匀; (3) 耕—果转换现象与人为活动关系密切, 多发生在河流、道路及农村居民点附近; (4) 耕—果转换可在微观与宏观尺度上总结为六种变化模式, 受社会经济与自然因素驱动, 库区耕—果转换的本质为坡耕地功能转型, 且转型重点倾向于经济效益与生态效益的共赢。

**关键词:** 三峡库区; 耕—果转换; 时空变化特征; 草堂溪; 坡耕地功能转型

农用地的发展对生态环境与社会经济的影响十分显著<sup>[1-2]</sup>。尽管通过耕作活动, 人类利用土地资源满足了自身生存需要, 但由此引起的土地类型上的变化很可能导致地球表面—大气系统的变化<sup>[3]</sup>, 这种反馈反过来也将改变生态系统满足人类需求的能力<sup>[4]</sup>。耕地变化因此成为土地利用/覆被变化最重要的研究内容<sup>[5]</sup>。在当前快速城市化背景下, 中国农地用途转换率提高, 水果和蔬菜等经济作物种植比例快速增加<sup>[6]</sup>, 粮食作物占优势的单一种植结构类型逐渐被替代, 直接影响干旱区农田单位面积蒸散发的时空分布及总蒸散发的组成<sup>[7]</sup>, 同时可以缓解灌区水资源压力、保护生态环境<sup>[8]</sup>。经济发展差异会使农产品生产的商品化、专业化及规模化水平不同, 影响农户种植结构<sup>[9]</sup>; 同时农村劳动力转移也会刺激农地投资强度和经济作物种植比例, 进而改变农地用途类型<sup>[10]</sup>。如重庆市的“粮菜兼顾”种植<sup>[11]</sup>、华北平原的“杨上粮下”现象<sup>[12]</sup>等。农地用途转换重心由粮食生产向社会经济、生态安全方向发展, 即耕地利用的功能形态发生变化。

农地用途转换的实质即为耕地功能转型。目前中国耕地功能转型方向多侧重经济贡献能力, 经济产出价值的快速提升间接导致耕地的社会保障价值、生态服务价值受损,

收稿日期: 2018-10-22; 修订日期: 2018-12-20

基金项目: 重庆市基础与前沿研究计划项目 (cstc2015jcyjBX0128); 重庆师范大学研究生科研创新项目 (YKC17020); 重庆师范大学研究生科研创新项目 (YKC18033)

作者简介: 梁鑫源 (1996- ), 男, 河南洛阳人, 硕士, 主要从事水土保持与土地利用研究。

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-yapin@sohu.com

同时对国家粮食安全、生态安全带来一定的负面影响<sup>[13]</sup>。因而要求耕地功能转型必须符合服务于社会经济发展<sup>[14]</sup>，侧重社会、经济与环境的平衡<sup>[15]</sup>。史洋洋等<sup>[16]</sup>利用地学信息图谱揭示江苏沿海地区耕地转型时空变化特征及其生态系统服务价值变化响应规律；赵华甫等<sup>[17]</sup>认为北京市耕地功能保护重点应由质量、数量和生态提升到保护耕地所具有多元化功能的高度；杨雪等<sup>[18]</sup>将北京市耕地功能分为四种类型：生产型、生态型、文化型与社会型。现有研究多集中于耕地利用转型、耕地功能保护以及耕地利用的多功能性评价等方面，缺乏空间意义上的耕地功能转型分析，利用农地用途转换揭示生态敏感、人地关系复杂的典型山区耕地发展现状的研究更是少数。三峡库区作为山区发展代表，坡耕地资源丰富，由于其自然要素与耕地配置的特殊性，分析库区耕地转型对于缓解耕地压力、促进经济发展和维护生态平衡具有重要意义<sup>[19]</sup>，是库区可持续发展的先决条件。

自三峡大坝建成以来，三峡库区的生态安全问题始终备受瞩目<sup>[20-21]</sup>，且由于库区地貌情况复杂，坡耕地比重大，水土流失严重，其耕地资源的利用方式与转型方向决定着库区农村居民的生计模式。库区坡耕地转型如何发展，及其转型过程的作用机制对库区未来的粮食安全、生态安全等问题意义重大。为保障食品安全与解决“三农”问题、保障区域建设发展与生态安全以及改善人居环境，坡耕地单功能利用须向多功能管理转型<sup>[22]</sup>。近年来三峡库区坡耕地系统已经由传统的粮食作物农地类型向经果林等多功能农地转换，以提高生态治理效率<sup>[19]</sup>。因此，本文将坡耕地向经果林的农地用途转换过程作为研究对象，通过其自身发生年限进行时间维度的分类进而增加时间序列长度，并以三峡库区典型流域——草堂溪为研究区，探讨库区农地用途是否发生转换及其转换的内容与程度，深入挖掘其耕—果转换的时空变化特征，从农地用途转换角度分析坡耕地功能转型的作用机制，揭示库区坡耕地功能转型的规律与意义，以此为三峡库区等典型山区、生态敏感区的坡耕地利用模式及发展方向提供科学依据。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 研究区概况

草堂溪流域位于重庆市奉节县的东部草堂镇，属于长江一级支流，河流总长度33.3 km，流域面积约210 km<sup>2</sup>。区域地形复杂，高程在500 m以下的土地面积仅占研究区的22.62%，坡度在15°以下的土地面积仅占研究区的13.40%（图1）。流域内耕地主要分布在6°~25°的坡地上，水土流失现象严重<sup>[19]</sup>。研究区传统的土地利用方式为：林地范围广，坡耕地在耕地中占据主导地位，总面积仅次于林地，且大多种植粮食作物的坡耕地已逐步向经济果林转型；该区域的经济果林以脐橙、柑桔等果园为主，同时包括少量花椒等其他园地，为方便描述将其整体统称为经果林。坡耕地大面积存在的特殊条件说明研究流域相对于周边地区具有典型性和代表性。

### 1.2 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，精度可达0.51 m，以及来源于地理空间数据云的30 m分辨率数字高程模型。参照“GDPJ01-2013”地理国情普查内容与指标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坡耕地、灌木林地、经果林、乡镇居民点、农村居民点等11个地类<sup>[23]</sup>，

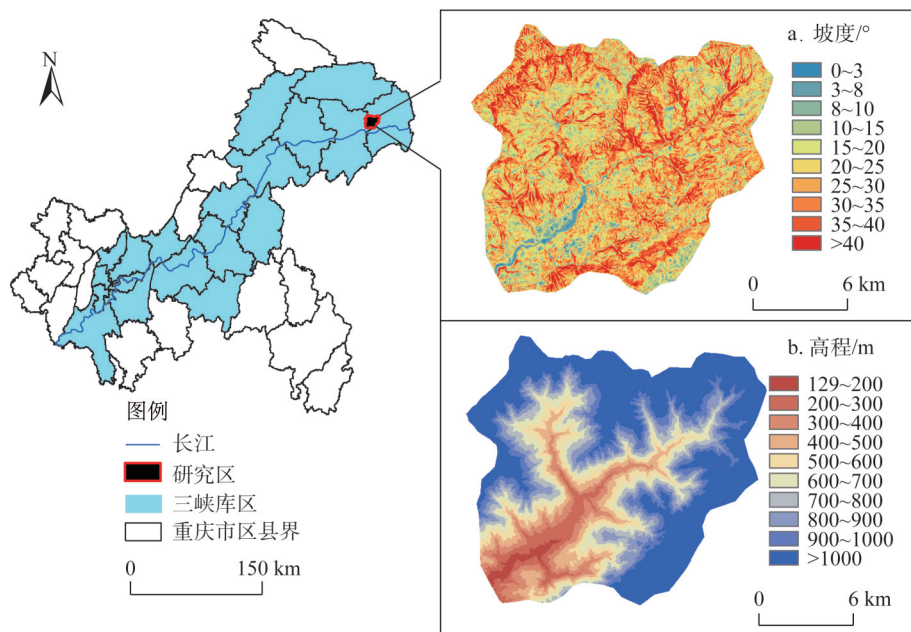


图1 研究区位置及地形

Fig. 1 Location and topography of the study area

得到两期土地利用类型图(图2)。并分别于2013年7月和2017年8月在野外考察过程中抽样验证各期土地利用解译结果,经检验各期土地利用类型的解译精度均在95%以上。同时利用1:50000数字高程模型数据和ArcGIS 10.2的空间分析功能,将研究区地形分为10级高程与坡度带(图1)。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 经果林类型划分

宋小青等<sup>[24]</sup>认为界定土地功能的类型与内涵,刻画土地功能形态的长时间序列变化是土地功能转型研究的关键。区分坡耕地向经果林转换的年限可以在已有时期的基础上增加时间序列,以深入剖析库区耕—果转换的时空特征。作者通过野外实地调研和走访农户,将解译图斑与高分辨率影像一一对应,对经果林的图斑进行详细划分,如图3所

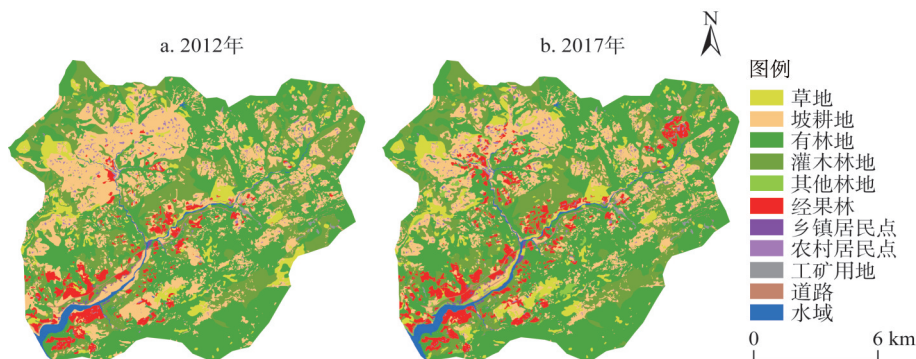


图2 土地利用类型

Fig. 2 Map showing land use type



示,具体分为类型I(0~3年)、类型II(3~5年)、类型III(5~8年)、类型IV(8~10年)以及类型V(>10年)。在实际操作过程中,对调研疏漏图斑和无法确认年限的图斑与各时间节点的遥感影像进行对比进而确定类型划分,研究区其他时相的影像包括SPOT 7的部分影像和2.5 m分辨率的中巴卫星影像,主要时间节点包括2014年、2010年、2006年、2004年、1999年等。

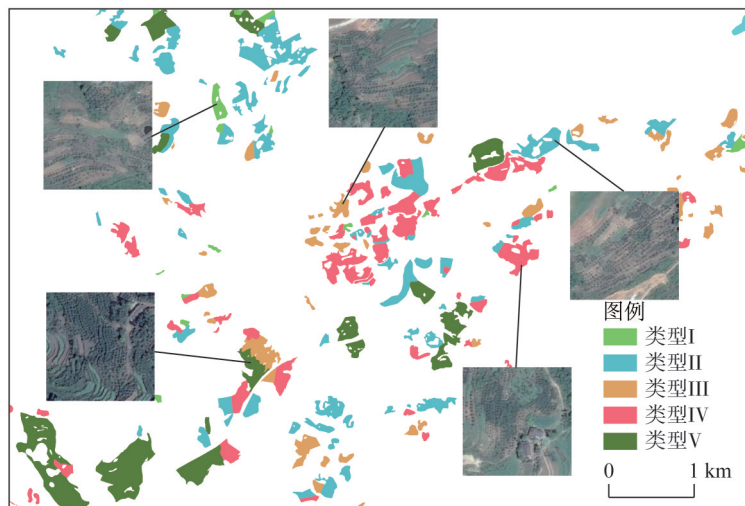


图3 经果林具体分类及解译参考

Fig. 3 Specific classification and interpretation reference of economic fruit forest

### 1.3.2 坡耕地与经果林的关系

三峡大坝建成以来,三峡库区坡耕地功能转型一直倾向于生态或经济功能侧重的农地类型,主要转型结果包括撂荒地、经果林及其他非粮作物类农地。随着移民工程的实施,高山地区坡耕地经撂荒后逐步发展为灌木草地,生态功能虽有所增强,但坡耕地的生产功能、经济功能及粮食安全维护等功能均有不同程度的降低。由于坡耕地“粮经果”等复合垄作的水保效益显著且经济效益高,近年来被广泛适用于库区坡耕地的利用模式<sup>[25]</sup>,耕—果地类的转换对库区农村农业发展关系重大。

将2012年与2017年不同类型的经果林图斑进行空间提取分析(图4)。其中,类型I和类型II主要来源基本为坡耕地,分别占转移面积总量的98.1%和83.8%;类型III、类型IV和类型V的发生则以灌木林地>耕地>草地的主次顺序进行,且坡耕地和灌木林地比例相当均可达40%左右。结合斑块自身的时间维度属性可知,>5年的经果林主要来源依次为灌木林地、坡耕地和草地,表明经果林在发展过程中为产生规模集聚效益会适当地清理矮小的灌丛系统,但整体以坡耕地为主要转移来源;<5年的经果林转移来源重心发生显著变化,由“灌耕草”组合倾向单一的坡耕地利用变化,表明生态建设、水土流失治理等方针政策的实施使库区坡耕地的转型加速。通过上述分析发现,经果林的发展虽有少量的灌丛草地参与转移,但整体上主要以坡耕地为转移源,故本文将坡耕地向经果林的转变过程作为农地用途转换的主要表征。

### 1.3.3 核密度估计

为反映经果林空间分布热点区域,利用核密度计算工具对坡耕地功能转型的空间分

布状态进行估算。核密度估计法<sup>[26]</sup>主要借助一个移动的单元格,计算并输出每个栅格单元的点或线密度,其公式如下:

$$f_n = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中:  $k$  为核函数;  $h$  为带宽 ( $h>0$ );  $(x-x_i)$  为估计点到样本处的距离。估算过程中,随着  $h$  的增加,空间上点密度的变化更为光滑,但会掩盖密度的结构;  $h$  减小时,估计点密度变化会突兀不平<sup>[26]</sup>。

### 1.3.4 Ripley $K$ 函数

Ripley  $K$  函数是通过设置固定的空间尺度为单位计算出每个空间尺度内具体的空间分布格局,其最大的优势在于多尺度的空间格局分析,其公式如下<sup>[27]</sup>:

$$K(d) = A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\delta_{ij}(d)}{n^2} \quad (2)$$

$$L(d) = \sqrt{\frac{K(d)}{\pi - d}} \quad (3)$$

式中:  $A$  为研究区面积;  $d$  为空间尺度;  $n$  为经果林图斑个数;  $\delta_{ij}$  为点  $i$  与  $j$  之间的距离,且  $\delta_{ij}(d)=1$  ( $d_{ij} \leq d$ ) 或  $\delta_{ij}(d)=0$  ( $d_{ij} > d$ )。对  $K(d)$  进行开方变换得到  $L(d)$ ,以使期望值线性化并保持方差稳定。 $L(d)>0$  时,研究对象的空间格局呈集聚态势;  $L(d)<0$  时,研究对象的空间格局呈分散态势;  $L(d)=0$  时,研究对象的空间格局则完全随机分布。

## 2 结果分析

### 2.1 耕—果转换时空分布特征

将不同类型的经果林图斑与地形要素进行叠置分析得到2012年经果林高程、坡度分布特征(图5)。高程方面,类型I在高分级2~6之间均达到15%~20%左右;类型II在3~5级高程带内分布较多,最高可达到29.7%;类型III则主要分布在高分级2、4、5与8级内,面积占比均在15%~20%之间;类型IV和类型V则集中分布在2~4级高程带内,且在3级高程带的分布均达到最高,分别为37.98%和31.85%。坡度方面,类型I和类型II集中分布在坡度分级5~7之间,类型III集中分布在6~8级坡度带内,且面积占比均达到15%~25%之间;类型IV和类型V则集中分布在4~7级坡度带内且均在15%以上。表明2012年之前,耕—果转换主要由200~500 m的低海拔地区逐渐向500~800 m的中高海拔地区转移,但整体活动范围均在800 m以内,且主要发生坡度范围在15°~30°之间。

图6表示2017年不同类型经果林高程、坡度分布特征。高程方面,类型I集中分布在8~9级高程带上,且分布比例达到32.51%和33.43%;类型II主要分布在高分级3~5之间,面积占比在4级高程带最高达26.77%;类型III在2~6级高程带均匀分布,类型IV则集中分布在高分级3~4,分别达到29.43%和24.95%;类型V主要分布与2~3级高程

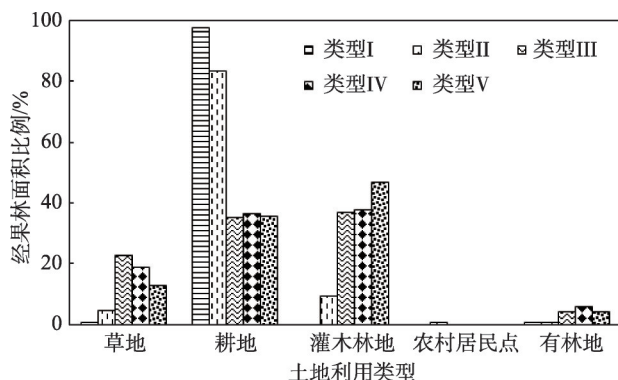


图4 经果林主要来源

Fig. 4 The main source of economic fruit forest

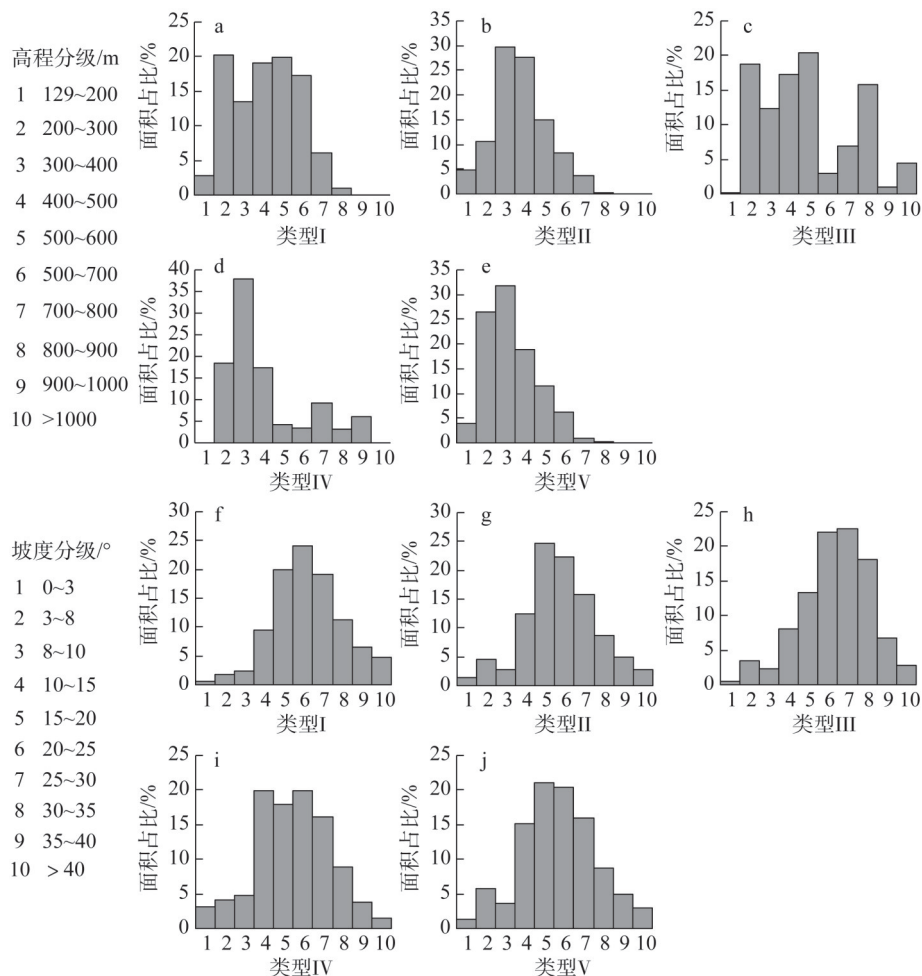


Fig. 5 Distribution characteristics of economic fruit forest in 2012

带，在3级高程带最高达35.49%。坡度方面，类型I主要集中在5~6级坡度带，类型II、类型III以及类型IV均集中在5~7级坡度带；类型V主要分布在4~7级坡度带。此现象表明，2012-2017年间的耕—果转换重心由800 m范围内的低海拔地区向800~1000 m内的高海拔地区转移，但转型过程中坡度的分布变化依然保持在15°~30°内。理论上，2017年经果林类型III和类型IV与2012年的类型I和类型II因五年的年限时间差分别呈对应关系，图中的高程、坡度结果比对也间接验证了数据的精确性。

## 2.2 耕—果转换时空变化特征

### 2.2.1 密度特征

在核密度估算工具中，设置输出像元大小30 m和搜索半径3000 m，得到不同类型经果林的核密度变化特征（图7）。2012年间，类型I和类型II主要集聚在研究区西南部和中部，类型III和类型IV集聚分布在西南和西北部，类型V主要集聚范围除西南部和中部外，西北部有轻微的集聚现象。研究区西南部是区域海拔最低点，因此2012年之前研究区的耕—果转换主要发生在研究区的中部和西南部河谷平坝区域。2017年间，类型I的

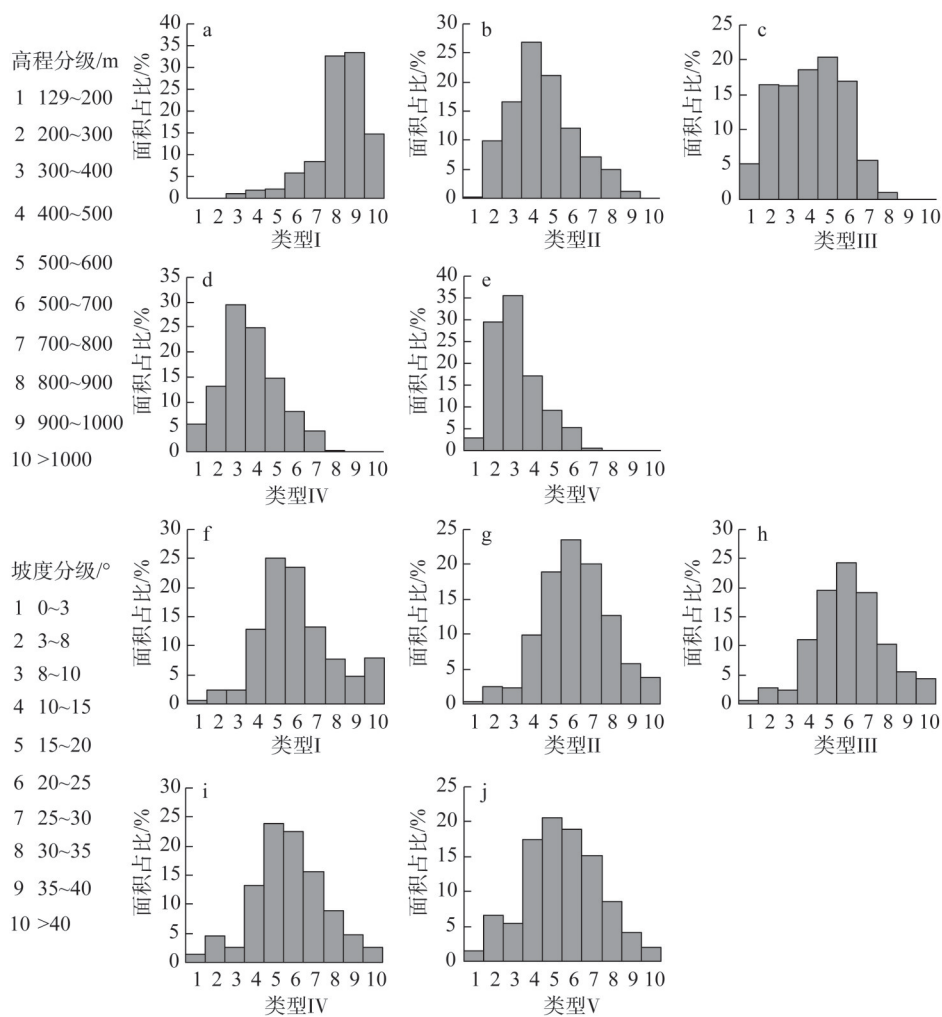


图6 2017年经果林分布特征

Fig. 6 Distribution characteristics of economic fruit forest in 2017

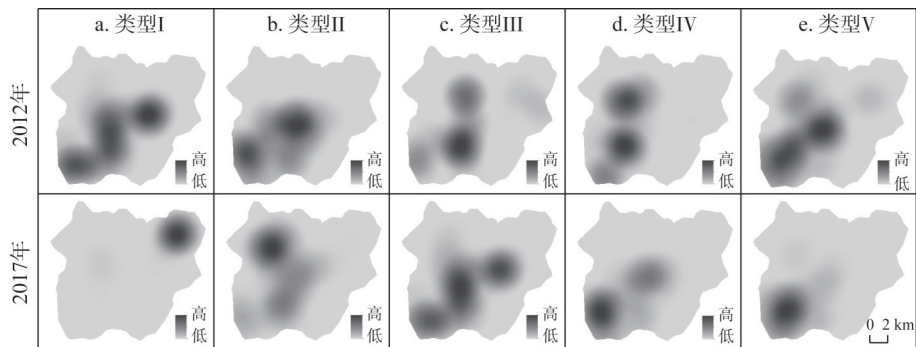


图7 经果林密度变化特征

Fig. 7 Characteristics of density change of economic fruit forest

集聚主要发生在东北部, 类型II主要集中在西北部, 类型III主要集中在西南部和中部, 类型IV和类型V主要集聚范围均在西南部。此现象表明2012-2017年间的耕—果转换主要发生在东北部海拔较高、坡耕地面积较大的地区, 这与2017年高程带分布特征的分析结果相吻合, 同时西北部坡耕地覆盖地区的转换有所增长, 说明2012-2017年间研究区坡耕地的治理速度加快。

### 2.2.2 集聚特征

图8表示研究区2012年不同类型经果林在不同空间尺度下的集聚特征。类型I的特征空间尺度为8.5 km, 超过此空间尺度, 该类型经果林空间分布集聚特征减弱; 类型II和类型V的特征空间尺度较大, 在10 km左右; 类型III和类型IV的特征空间尺度较小, 即8 km以下。总体上, 空间集聚程度依次表现为类型II > 类型V > 类型I > 类型IV > 类型III, 表明2012年之前5~10年内, 耕—果转换的空间发生点较其他时段分布均匀。

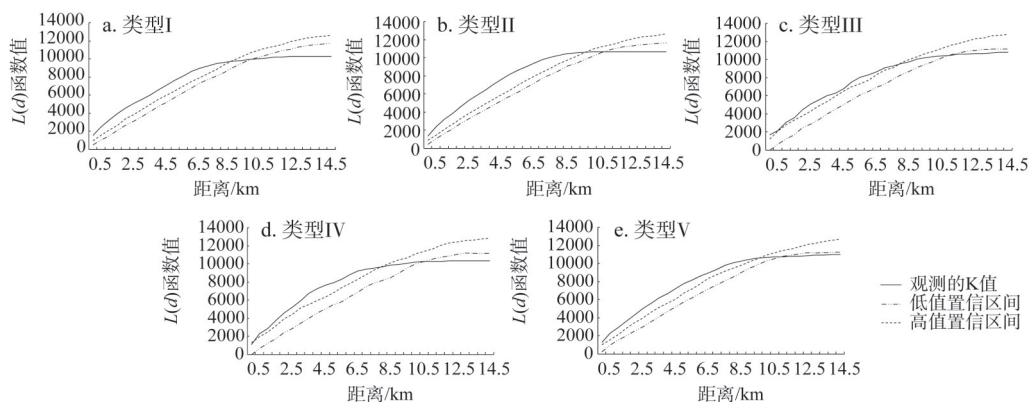


图8 2012年经果林集聚变化特征

Fig. 8 Characteristics of aggregation change of economic fruit forest in 2012

2017年不同类型经果林在不同空间尺度下的集聚特征如图9所示。类型I的特征空间尺度为4.5 km, 但置信区间内波动较大, 在7.5 km后再次出现集聚的趋势, 这与研究区东北部坡耕地大范围集中连片的转型密切相关; 类型II、类型IV和类型V的特征空间尺度为10 km, 类型III的特征空间尺度则为9 km。空间集聚程度依次表现为类型IV > 类型V > 类型II > 类型III > 类型I, 表明随着时间的推移, 耕—果转换的空间分布格局越均匀。

### 2.3 耕—果转换的变化模式

分析不同类型的经果林斑块之间的变化以及经果林斑块与不同土地利用类型之间的关系, 将耕—果转换的变化模式总结为六种 (图10)。从时间序列上解释, A为跳跃型, B为连续型, C为停滞型; 从空间维度上解释, a为经济型, b为生态型, c为人居型。

对不同年限经果林的增长进行分析, 根据经果林斑块自身的时间属性从微观尺度上总结为三种变化模式:

(A) 跳跃型。表示耕—果转换在年限上跨度极大, 经果林的面积在原有的基础上由静止到陡增, 这与政府政策的大力促进有关。该模式表明生态建设等政策因素对坡耕地功能转型进度有明显的推动作用, 同时说明此区域短时期内水土流失现象相对严重。

(B) 连续型。表示耕—果转换以时间顺序序列持续增长, 经果林的面积增长较为均匀且速度平缓, 投资力度的加大、地形地貌的适宜程度可促使此类情形的发生。此模式



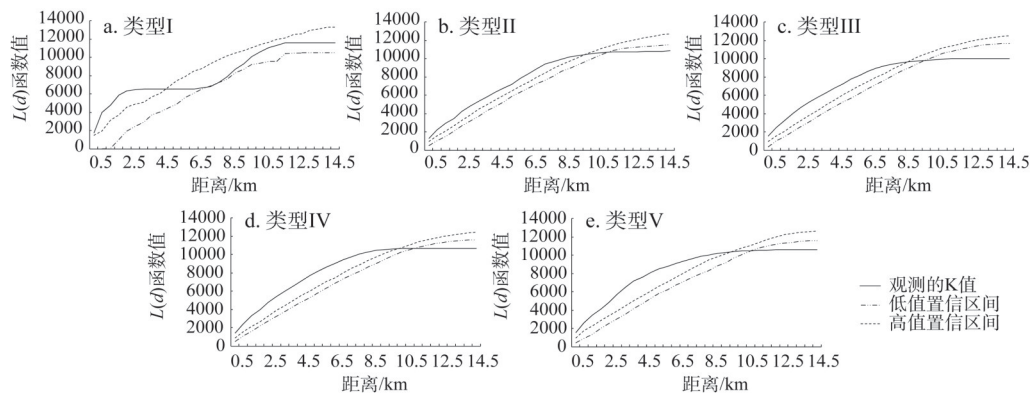


图9 2017年经果林集聚变化特征

Fig. 9 Characteristics of aggregation change of economic fruit forest in 2017

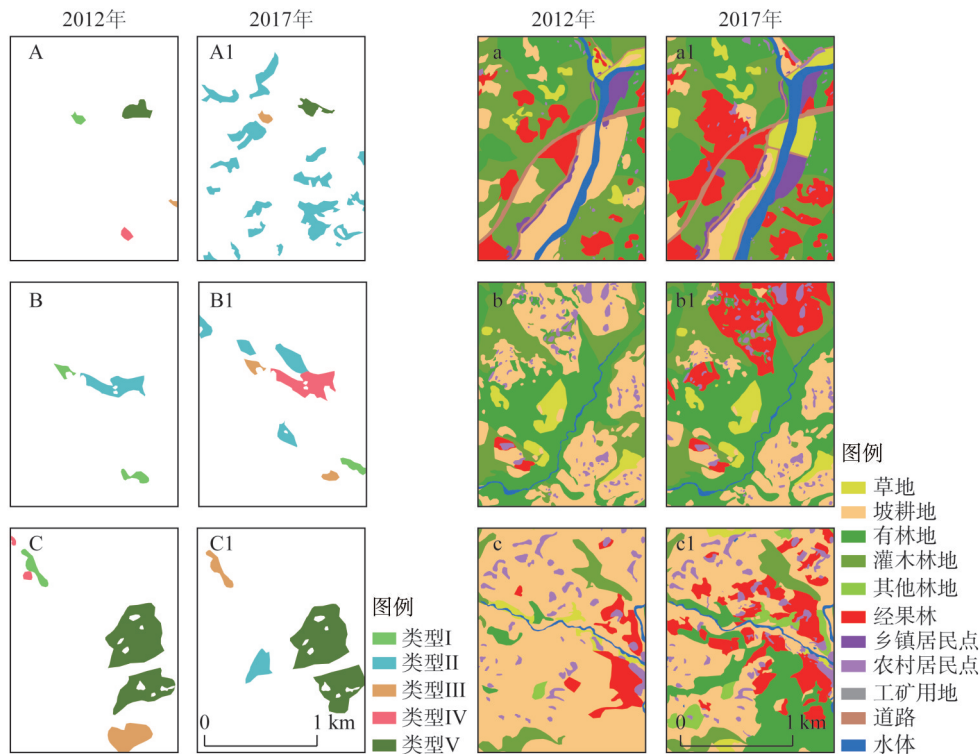


图10 耕—果转换时空变化模式

Fig. 10 Spatio-temporal change modes of farmland-fruit forest conversion

的形成主要是社会经济的持续发展致使坡耕地功能转型规模逐步扩大,是最为稳定的连续发展型模式。

(C) 停滞型。表示耕—果转换不明显、停止甚至减少,经果林的面积增长速度减缓或停滞,发展环境受限以及农户家庭劳动力不足等条件对此模式影响显著。该模式的出现也表明此区域的坡耕地功能转型发展落后,坡耕地利用方式亟待改善。

将经果林的变化与其他不同的土地利用类型及环境整体相结合,从宏观尺度上利用

经果林与其他地类景观的空间耦合关系对耕—果转换模式进行总结:

(1) 经济型。表示耕—果转换以经济发展为目的, 为获得经济集聚效益在扩大经果林种植面积时以灌木林地的减少为代价。此模式侧重获取短期的经济利益, 对生态环境的考虑较少。

(2) 生态型。表示耕地功能转型以生态建设为导向, 此类型经果林的发展主要发生在坡耕地上, 同时作为水土保持工程手段预防水土流失等自然灾害。该模式的发生以耕—果地类的完全转换为主, 生态效益的提高是此类坡耕地功能转型的侧重点。

(3) 人居型。表示耕—果转换在保证经济与生态效益的基础上以实现人居环境的改善为目标, 此类型一般发生在居民点周围, 且在发展经果林的同时会兼种其他林地, 其功能性更为多样化。此模式的坡耕地功能转型在结合经济与生态双重功能的前提下又注重与人文社会的契合, 是具有观赏性功能的生态景观。

### 3 讨论

#### 3.1 耕—果转换影响因素分析

准确把握耕地利用转型空间分异特征及其影响因素, 不仅可为后期耕地转型的调控方向提供指导, 还可为促进乡村经济可持续发展提供科学参考<sup>[28]</sup>。生态脆弱的山区耕地易受利用方式、道路通达度、地形因子等人为因素与自然条件的影响, 呈现不同的演变方向、速率、面貌<sup>[29]</sup>。通过对研究区的部分影响因素进行分析发现(图11), 2012年研究区耕—果转换的规律性相对2017年较不显著, 但均呈现出与距河流、道路以及农村居民点距离大小的负相关性, 即距离越远, 耕—果转换面积越小。在距河流距离1.2 km内, 2012年的耕—果转换面积随距离呈波动性减小的趋势, 2017年则趋于平稳; 在距离道路2 km范围内, 两期耕—果转换面积变化规律较一致, 但2017年类型I的分布出现不规则拐点, 这与研究区东北部毛坪村近年来大面积的坡耕地功能转型现象相关; 在距居民点400 m范围内, 耕—果转换面积变化规律最为一致, 且2017年较2012年集聚效应更显著。

2012年后, 研究区的耕—果转换在原有的小规模基础上进一步增加, 同时在发生过程中受自然、社会经济等因素的影响, 趋于集中连片规模化。研究区处于生态治理与经济发展的双重阶段, 由于地形的复杂性, 为保证公路两侧坡度较大的水土流失地段的治理效果, 一般采用经果林覆盖种植方式以提高经济效益、改善生态效益。与此同时, 耕—果转换的发生点多接近河流等水源补给地带以及农村居民点, 但由于研究区气候条件适宜且水量充足, 河流的影响相对较弱。相对而言, 坡耕地作为农业产业的重要土地类型, 与人类行为关系密切, 因此耕—果转换的发生必然与农村聚落的分布方式存在一定的联系。

#### 3.2 研究区耕—果转换的驱动机制及其启示

有学者认为<sup>[30]</sup>, 以市场为导向的集约式农业生产系统将逐渐取代以生态为导向的粗放式传统农业系统, 而农业系统的转型即为森林与高度集约化农业之间的连续体。平原地区如京津冀的耕地利用由于地形的种植适宜度, 且潜在的土壤流失量较少, 多以规模化经营的生产功能为主<sup>[31]</sup>; 观光农业的多功能性更为明显, 如优化农业结构、扩大劳动就业和改善生态环境等, 但基本以休闲观光功能为主, 以繁荣农村经济为目的, 且多分布在东部经济发达省区、大城市郊区及特色农业地区<sup>[32]</sup>。重庆山区的森林转型是农民群

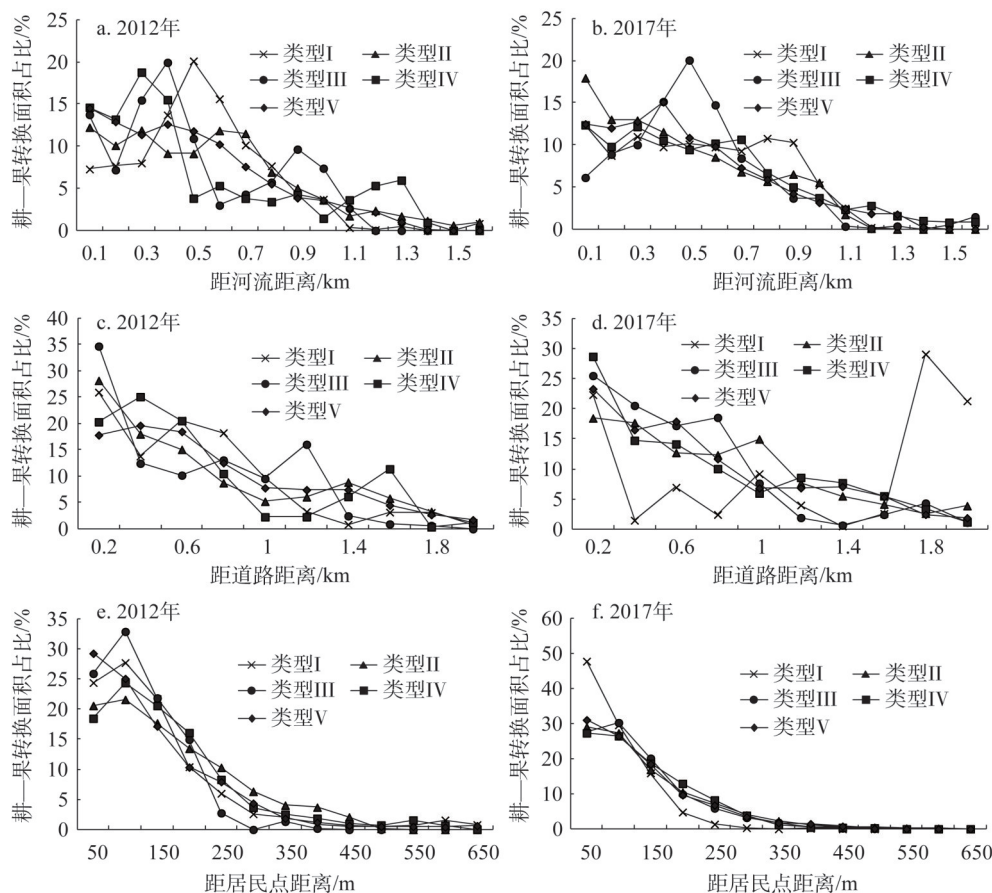


图 11 耕—果转换影响因素分析

Fig. 11 Analysis of influencing factors of farmland-fruit forest conversion

体的耕地撂荒、林果大量种植等行为,是政府对林果业发展的扶持和生态退耕政策的激励综合作用的结果<sup>[33]</sup>。研究区作为山区、库区和农村地区的结合体,其耕—果转换是在农户需求的经济效益与政府支持的生态政策共同作用的基础上,以森林转型过程和集约化农业阶段相结合而形成的多功能农业用地,其实质即为坡耕地功能转型。

结合野外调查资料,以居民点为中心,一定半径内均有经果林及少量撂荒地等耕地功能转型过程发生,经济型作物发展迅速。由于大部分村落属于扶贫示范片区,村中常住农户较少,农民多种植芝麻、脐橙等经济作物,粮食作物耕作量较小多以玉米为主,且产量基本以维持农户每年的粮食需求为界限。实际上大部分农户已基本向非农生计转型,主要生计来源于青年劳动力外出务工,若经果林种植规模较小,并不能带来足够的经济效益,只有当经果林种植形成一定规模后,才会以追求经济效益为目标,这在一定程度上刺激了经果林种植规模的扩大;另一方面,随着人们生活质量和收入水平的提高,果品类市场需求量增大,为库区经果林的产业发育提供了强大动力。而政府方面也会适当地给予补贴,帮助农民成立专业合作社,鼓励经果林的种植与栽培,并与乡村旅游相结合,以改善库区地形复杂、地块破碎化、生态环境脆弱等先天约束条件,通过构建库区特色农业产业发挥区域优势,提高山区土地的集约利用程度及农村居民生活水

平。加之生态环境治理、土地整治等政策影响,经果林的发展与水土保持工程密切相关。综上,耕—果转换是由自然环境、经济发展、劳动力迁移、生态退耕及土地整治等多重因素综合作用的结果。总体而言,三峡库区耕—果转换主要受社会经济因素与自然因素驱动(图12),从以单功能农业生产为主的传统农业向多功能生态经济效益为导向的现代化农业发展,但在整体发展过程中,或多或少会向经济型或生态型的单方面侧重,只有当侧重方向在经济或生态效益均衡的前提下,追求与人居环境协调程度的最优化,才能最大限度地实现耕地的可持续利用,这也决定着未来三峡库区坡耕地发展的方向。

在野外实地考察过程中发现,研究区坡耕地功能转型倾向于粮食作物向经济作物转变,且始终以生态效益为目标。但农户个体与村民集体在进行经果林的种植时,为保证自身经济效益,会对经果林地块表面的灌草进行清除,导致生产过程侧重经济效益但不能兼顾生态效益。表明经果林的种植所带来的利处与其伴随而来的生态环境的弊端相互抵消,使生态转型处于先恶化后好转并趋于稳定的态势,但整体水平依然不够高。故在实际整改方面,可采取粮经兼种等类似手段,避免裸露土地的大面积存在,进而减少水土流失现象的产生,在确保经济效益的同时提高生态效益,尽可能地实现“双赢”目标。三峡库区耕—果转换现象揭示了山区农村土地整治的一般规律,即以耕地质量保护为方向,以水土保持工程为技术手段实现耕地环境保护。长期以来,耕地数量保护的过度强调使其他方面诸如质量退化、粗放经营等重要属性相对弱化,而农民作为土地承包经营的主体,其利益核心与国家政策的匹配即为中国农村发展的首要目标。耕—果转换在一定程度上使农民利益与耕地质量保护政策相互融合,在保障农民集体经济利益的前提下,增强进行土地整治的地方积极性,妥善处理土地退化与水土流失问题,对于提高山区土地质量和利用效率,改善农村生产、生活条件和生态环境具有启示意义。

#### 4 结论

本文通过两期高清影像数据利用增加时间序列的方式解译经果林的时间属性,探讨研究区耕—果转换的空间变化特征,揭示三峡库区农地用途转换的一般性规律:(1)2012年后,研究区耕—果转换重心由800 m范围内的低海拔地区向800~1000 m高海拔地区转移,且转换的坡度分布变化依然保持在15°~30°内;(2)研究区耕—果转换现象在2012年后由中部和西南部河谷平坝区域向东北部海拔较高、坡耕地面积较大的地区以及西北部坡耕地覆盖区转移;(3)耕—果转换现象在小距离空间特征尺度上集聚程度更明

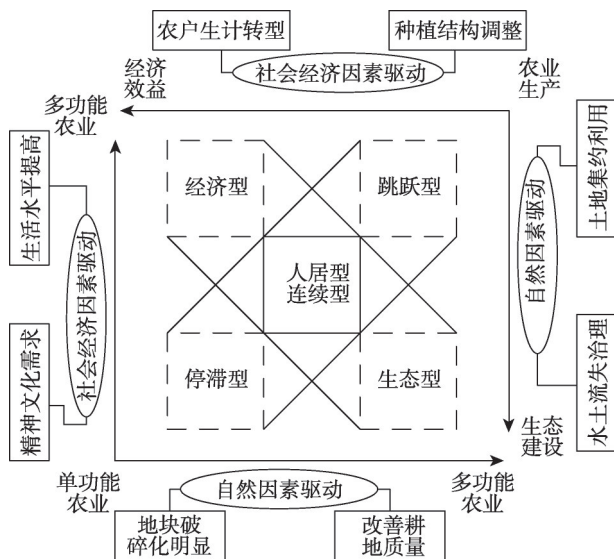


图12 坡耕地功能转型的作用机制

Fig. 12 Mechanism of cultivated land function transformation



显,且随时间推移其空间分布越均匀;(4)耕—果转换发生点多接近河流等水源补给地带、道路以及农村居民点,与人类行为关系密切;(5)三峡库区耕—果转换存在六种变化模式,其变化过程主要受社会经济因素与自然因素驱动,且库区耕—果转换的实质是坡耕地功能转型。

### 参考文献(References):

- [1] HOU J, FU B J, LIU Y, et al. Ecological and hydrological response of farmlands abandoned for different lengths of time: Evidence from the loess hill slope of China. *Global & Planetary Change*, 2014, 113: 59-67.
- [2] MEKASHA A, GERARD B, TESFAYE K, et al. Inter-connection between land use/land cover change and herders'/farmers' livestock feed resource management strategies: A case study from three Ethiopian eco-environments. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2014, 188: 150-162.
- [3] RAMANKUTTY N, DELIRE C, SNYDER P. Feedbacks between agriculture and climate: An illustration of the potential unintended consequences of human land use activities. *Global & Planetary Change*, 2006, 54(1): 79-93.
- [4] 叶瑜, 方修琦, 任玉玉, 等. 东北地区过去 300 年耕地覆盖变化. *中国科学: 地球科学*, 2009, 39(3): 340-350. [YE Y, FANG X Q, REN Y Y, et al. Coverage changes of cropland in Northeast China during the past 300 years. *Scientia Sinica Terrae*, 2009, 39(3): 340-350.]
- [5] 张丽娟, 姚子艳, 唐世浩, 等. 20 世纪 80 年代以来全球耕地变化的基本特征及空间格局. *地理学报*, 2017, 72(7): 1235-1247. [ZHANG L J, YAO Z Y, TANG S H, et al. Spatiotemporal characteristics and patterns of the global cultivated land since the 1980s. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(7): 1235-1247.]
- [6] 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. [LIU Z H, YANG P, WU W B, et al. Spatio-temporal changes in Chinese crop patterns over the past three decades. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(5): 840-851.]
- [7] 吕娜娜, 白洁, 常存, 等. 近 50 年基于农作物种植结构的新疆绿洲农田蒸散发时空变化分析. *地理研究*, 2017, 36(8): 1443-1454. [LYU N N, BAI J, CHANG C, et al. Spatial-temporal changes in evapotranspiration based on planting patterns of major crops in the Xinjiang oasis during 1960-2010. *Geographical Research*, 2017, 36(8): 1443-1454.]
- [8] 李曼, 杨建平, 谭春萍, 等. 疏勒河流域双塔灌区种植结构变化及其原因. *中国沙漠*, 2014, 34(5): 1417-1423. [LI M, YANG J P, TAN C P, et al. Change of agricultural planting structure and its causes in the Shuangta irrigation district in the Shulehe River Basin. *Journal of Desert Research*, 2014, 34(5): 1417-1423.]
- [9] 高珊, 黄贤金, 钟太洋, 等. 农产品商品化对农户种植结构的影响: 基于沪苏皖农户的调查研究. *资源科学*, 2014, 36(11): 2370-2378. [GAO S, HUANG X J, ZHONG T Y, et al. The influence of agricultural product commercialization on rural household planting structure in Shanghai, Jiangsu and Anhui. *Resources Science*, 2014, 36(11): 2370-2378.]
- [10] 齐元静, 唐冲. 农村劳动力转移对中国耕地种植结构的影响. *农业工程学报*, 2017, 33(3): 233-240. [QI Y J, TANG C. Effect of labor migration on cultivated land planting structure in rural China. *Transactions of the CSAE*, 2017, 33(3): 233-240.]
- [11] 信桂新, 魏朝富, 杨朝现, 等. 1978-2011 年重庆市种植业变化及其政策启示. *资源科学*, 2015, 37(9): 1834-1847. [XIN G X, WEI C F, YANG C X, et al. Changes of crop farming and policy implications in Chongqing municipality from 1978 to 2011. *Resources Science*, 2015, 37(9): 1834-1847.]
- [12] 赵宇鸾, 李秀彬, 辛良杰, 等. 华北平原“杨上粮下”现象的驱动机制: 以河北省文安县为例. *地理研究*, 2012, 31(2): 323-333. [ZHAO Y L, LI X B, XIN L J, et al. Driving forces of "poplar expansion and cropland shrinkage" in the North China Plain: A case study of Wen'an county, Hebei province. *Geographical Research*, 2012, 31(2): 323-333.]
- [13] 龙花楼, 屠爽爽. 论乡村重构. *地理学报*, 2017, 72(4): 563-576. [LONG H L, TU S S. Rural restructuring: Theory, approach and research prospect. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(4): 563-576.]
- [14] 宋小青. 论土地利用转型的研究框架. *地理学报*, 2017, 72(3): 471-487. [SONG X Q. Discussion on land use transition research framework. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(3): 471-487.]
- [15] KÖNIG H J, PODHORA A, HELMING K, et al. Confronting international research topics with stakeholders on multi-functional land use: The case of Inner Mongolia, China. *Iforest-Biogeoosciences and Forestry*, 2014, 7(6): 403-413.

- [16] 史洋洋, 吕晓, 黄贤金, 等. 江苏沿海地区耕地利用转型及其生态系统服务价值变化响应. 自然资源学报, 2017, 32(6): 961-976. [SHI Y Y, LYU X, HUANG X J, et al. Arable land use transitions and its response of ecosystem services value change in Jiangsu coastal areas. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(6): 961-976.]
- [17] 赵华甫, 张凤荣, 许月卿, 等. 北京城市居民需要导向下的耕地功能保护. 资源科学, 2007, 29(1): 56-62. [ZHAO H F, ZHANG F R, XU Y Q, et al. Urban residents' needs-oriented functional protection of cultivated land in Beijing. *Resources Science*, 2007, 29(1): 56-62.]
- [18] 杨雪, 谈明洪. 北京市耕地功能空间差异及其演变. 地理研究, 2014, 33(6): 1106-1118. [YANG X, TAN M H. Spatial differences and evolution of arable land functions in Beijing. *Geographical Research*, 2014, 33(6): 1106-1118.]
- [19] 王永艳, 李阳兵, 邵景安, 等. 基于斑块评价的三峡库区腹地坡耕地优化调控方法与案例研究. 生态学报, 2014, 34(12): 3245-3256. [WANG Y Y, LI Y B, SHAO J A, et al. Optimizing theory and case studies of cultivated slope land in the center of three gorges reservoir area based on patch-scale land evaluation. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(12): 3245-3256.]
- [20] SHEN G Z, XIE Z Q. Three Gorges project: Chance and challenge. *Science*, 2004, 304(5671): 681.
- [21] WU J G, HUANG J H, HAN X G, et al. Three-Gorges Dam: Experiment in habitat fragmentation?. *Science*, 2003, 300(5623): 1239-1240.
- [22] 宋小青, 欧阳竹. 耕地多功能内涵及其对耕地保护的启示. 地理科学进展, 2012, 31(7): 859-868. [SONG X Q, OUYANG Z. Connotation of multifunctional cultivated land and its implications for cultivated land protection. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 31(7): 859-868.]
- [23] 赵岩洁, 李阳兵, 邵景安. 基于土地利用变化的三峡库区小流域生态风险评价: 以草堂溪为例. 自然资源学报, 2013, 28(6): 944-956. [ZHAO Y J, LI Y B, SHAO J A. Ecological risk assessment of small watershed of the Three Gorges Reservoir area based on land use change: A case study of Caotang River. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(6): 944-956.]
- [24] 宋小青, 吴志峰, 欧阳竹. 1949年以来中国耕地功能变化. 地理学报, 2014, 69(4): 435-447. [SONG X Q, WU Z F, OUYANG Z. Changes of cultivated land function in China since 1949. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(4): 435-447.]
- [25] 王海明, 李贤伟, 陈治谏, 等. 三峡库区坡耕地粮经果复合垄作对土壤侵蚀与养分流失的影响. 水土保持学报, 2010, 24(3): 1-4. [WANG H M, LI X W, CHEN Z J, et al. Soil erosion and nutrient loss of slope of pattern of compound farming of grain-case crop-trees in three gorges reservoir area. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(3): 1-4.]
- [26] SHI S. Selection of band width type and adjustment side in kernel density estimation over in homogeneous backgrounds. *Geographical Information Science*, 2010, 24(5): 643-660.
- [27] 高凯, 周志翔, 杨玉萍, 等. 基于Ripley K函数的武汉市景观格局特征及其变化. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2621-2626. [GAO K, ZHOU Z X, YANG Y P, et al. Characteristics and changes of landscape pattern in Wuhan city based on Ripley's K function. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(10): 2621-2626.]
- [28] 向敬伟, 李江凤, 曾杰. 鄂西贫困县耕地利用转型空间分异及其影响因素. 农业工程学报, 2016, 32(1): 272-279. [XIANG J W, LI J F, ZENG J. Spatial difference and its influence factors of cultivated land transition of poverty counties in west of Hubei. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(1): 272-279.]
- [29] 李兵, 吴平. 我国山区耕地开发利用研究进展. 见: 中国山区土地资源开发利用与人地协调发展研究. 北京: 中国科学技术出版社, 2010: 4. [LI B, WU P. Progress on utilization and development of mountainous cultivated land in China. In: *Study on the Development and Utilization of Land Resources and the Coordinated Development of Human and Land in Mountainous Areas of China*. Beijing: Science and Technology of China Press, 2010: 4.]
- [30] AMJATH-BABU T S, KAECEHELE H. Agricultural system transitions in selected Indian states: What do the related indicators say about the underlying biodiversity changes and economic trade-offs?. *Ecological Indicators*, 2015, 57: 171-181.
- [31] 彭建, 刘志聪, 刘焱序, 等. 京津冀地区县域耕地景观多功能性评价. 生态学报, 2016, 36(8): 2274-2285. [PENG J, LIU Z C, LIU Y X, et al. Assessment of farmland landscape multifunctionality at county level in Beijing-Tianjin-Hebei area. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(8): 2274-2285.]
- [32] 郭焕成, 刘军萍, 王云才. 观光农业发展研究. 经济地理, 2000, 20(2): 119-124. [GUO H C, LIU J P, WANG Y C. The study on development of tourism agriculture. *Economic Geography*, 2000, 20(2): 119-124.]

- [33] 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, 32(1): 102-113. [HE W F, YAN J Z, ZHOU H, et al. The micro-mechanism of forest transition: A case study in the mountainous areas of Chongqing. Journal of Natural Resources, 2016, 32(1): 102-113.]

## **Spatio-temporal variation of farmland-fruit forest conversion and its enlightenment in Three Gorges Reservoir area: A case study on Caotangxi watershed**

LIANG Xin-yuan<sup>1</sup>, LI Yang-bing<sup>1,2</sup>

(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 transformation of the function of sloping farmland, and the mechanism of this process are of great significance to studies on the future food security and ecological security in the Three Gorges Reservoir area (TGRA). This study, based on 0.51 m high resolution remote sensing image data, took the Caotangxi watershed as the study area. Combined with field investigation, we visualized the spatial shape of sloping farmland function transformation by analyzing the conversion of sloping farmland into economic fruit forest. Then we discussed the conversion of agricultural land use in the study area and revealed the internal mechanism of sloping farmland function transformation in the TGRA. Research showed that: (1) Around 2012, the focus of farmland-fruit forest conversion in Caotangxi watershed transferred from low altitude plain in the southwest to high altitude and sloping farmland covered areas in the northeast, with the 800-m elevation as the inflection point. And the change points are within the slope of 15°-30°. (2) The aggregation of the farmland-fruit forest conversion in the study area generally occurred at about 8.5 km characteristic scale, and the spatial distribution was more balanced with time. (3) The phenomenon of farmland-fruit forest conversion was closely related to human activities, and occurred mostly in the vicinity of rivers, roads and rural settlements. (4) The farmland-fruit forest conversion could be summed up as 6 change patterns on the micro and macro scales. Driven by social, economic and natural factors, the farmland-fruit forest conversion in the TGRA is essentially the sloping farmland function transformation, and the focus tended to be a win-win situation of economic and ecological benefits.

**Keywords:** Three Gorges Reservoir area; farmland-fruit forest conversion; spatio-temporal variation; Caotangxi watershed; sloping farmland function transformation