

陇中黄土丘陵区乡镇尺度林地转型时空分异： 生态建设工程的效用

巩 杰* 李红瑛 曹二佳 张金茜 柳冬青 马学成

(兰州大学资源环境学院/西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000)

摘 要 基于 GIS 技术及定西市安定区 1995 年、2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年 5 期 Landsat 遥感影像解译数据,开展乡镇尺度的林地转型来源、幅度、速度和转型时空分异特征研究,并探讨林地变化形式。结果表明:1995—2015 年,林地转型数量处于增加态势,草地和耕地是主要来源;1995—2015 年林地转型幅度和转型速度均呈先减后增趋势;整个研究时段内,林地转型空间分布有所差异,乡镇林地面积转型各不相同;林地转型变化随着坡度增加而不同,林地净转换量和转型幅度均先升后降,而转型速度与其相反,林地转型主要发生在坡度 15°以上区域。

关键词 林地转型; 时空分异; 坡度; 生态建设工程

Spatiotemporal differentiation of forest land conversion on township scale of the loess hilly region in central Gansu: Effectiveness of ecological construction project. GONG Jie*, LI Hong-ying, CAO Er-jia, ZHANG Jin-xi, LIU Dong-qing, MA Xue-cheng (*Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education)/College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*).

Abstract: Based on GIS techniques and Landsat images, the transformation source, extent and speed of forest land use, and the spatiotemporal differentiation characteristics of forest land transformation were obtained on the township scale for Anding District, Dingxi City in 1995, 2000, 2005, 2010 and 2015. From 1995 to 2015, the total area of forest land transformation was increasing, with the grassland and cultivated land being the main sources. The forest land transformation extent and transition speed showed a tendency of decrease first and then increase from 1995 to 2015. The spatial distribution of forest land transformation differed, and the transformation area of forest land in each town was also different. The change of forest land transformation differed with the increasing slope. Both the net conversion and transformation extent of forest land showed a trend of increase first and then decrease, but with opposite transformation speed. The major transformation of forest land occurred in the area with slope larger than 15°.

Key words: forest land transformation; spatiotemporal differentiation; slope; ecological construction project.

土地利用转型作为研究土地利用/覆被变化一种新方式和研究热点(蔡运龙, 2001; Mooney *et al.*, 2013),是基于林地转型(森林转型)的理论构想发展而来(Mather, 2004; Grainger, 2008)。土地利用转型是在社会经济背景下,土地利用形态(含显性形态和隐形形态)在某一地区一段时期内由一种土地

利用形态转变为另一种形态的过程(龙花楼等, 2002)。显性形态是指某区域在一定时期内由主要土地利用类型构成数量和空间结构形态特征,而隐性形态则进一步利用显性形态进行分析和调查,包含土地质量、经营产权、经营方式、投入与产出和功能等属性特征(龙花楼等, 2016)。国内外从土地利用转型和森林转型视角出发开展了一些研究。如: Barbier 等(2015)和 Lambin 等(2010)指出,政府干

国家重点研发计划课题(2016YFC0501701)资助。

收稿日期: 2018-09-25 接受日期: 2019-03-05

* 通讯作者 E-mail: jgong@lzu.edu.cn

预对森林转型的治理具有良好的调控作用;Foley 等 (2005) 研究表明,土地利用转型与人口结构转型紧密相连,人口的迁移影响着土地利用转型;Ashraf 等 (2017) 认为,生物物理和社会经济驱动力的影响,使其森林向有利方向改造;龙花楼 (2006) 通过对中国特定时期农村宅基地转型的研究,促进土地利用转型研究的理论化;李全峰等 (2017) 从显性视角刻画长江中游地区耕地转型时空特征,并从地形起伏度角度识别该区耕地转型框架;李秀彬等 (2011)、宋小青等 (2014) 和吕晓等 (2015) 分别从农地非农化转型、建设用地转型等视角分析显性和隐性形态之间的关系。因此,土地利用转型作为一种综合研究 LUCC 的手段,有助于理解经济社会发展过程和“人地关系”(戈大专等,2018)。

森林转型较大程度上是由于次生林面积增加而实现的,森林转型应逐渐深入到森林生态恢复层面上(梁文远等,2017),因此,针对林地利用的转型研究成为土地利用转型和生态恢复的一个重要分支。1999 年实施退耕还林还草等政策是重大生态恢复工程并取得了较好的成效(朱战强等,2010),生态恢复措施的适用性和土地利用转型的合理性是当前生态建设和土地变化科学关注的热点(Nielsen *et al.*, 2015),Robbins 等(2014)分析认为,国家实施的一系列林业项目促进了中国由国家主导的森林转型;Zhang 等(2017)通过数据分析得出政策的实施使得森林呈现扩展趋势;Cai 等(2015)研究表明,生态保护与恢复项目能有效缓解了部分地区的土地流

失。黄土丘陵区是退耕还林还草等工程实施的重点区域(Wang *et al.*, 2007),工程实施以来,该区的地表环境和生态格局均有不同程度的改善,甘肃省定西市安定区地处半干旱黄土丘陵区,地形支离破碎,干旱少雨、水土流失和生态贫困严重,社会经济发展缓慢、人地关系紧张。本研究从退耕还林还草等一系列生态建设工程实施前后的林地利用显性形态视角出发,开展林地利用转型的时空变化特征分析,探讨林地变化形式,对退耕还林还草工程的区域响应分析以及经济可持续发展具有重要科学和参考价值。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

安定区位于甘肃省定西市北部(35°17′54″N—36°02′40″N,104°12′48″E—105°01′06″E)(图1),属黄土高原丘陵沟壑区和典型的干旱半干旱区。研究区东接会宁,南部与渭源、陇西、通渭相连,西部为临洮,西北邻榆中,总面积为 3636.22 km²。安定区辖 12 个镇、7 个乡,分布包括凤翔、岷口、内官、李家堡、西巩驿、宁远、鲁家沟、称钩、团结、香泉、符川、葛家岔、石峡湾、新集、青岚、石泉、杏园、高峰、白碌 19 个乡镇。该区地势南高北低,海拔在 1247~2563 m,高差起伏大,地形破碎化程度较高。年平均气温 6.3℃,年降水量 400 mm 左右,且时空分布极不均匀,降雨量多集中在 7—9 月,安定区是严重缺水地区,水资源短缺限制了社会经济的发展。

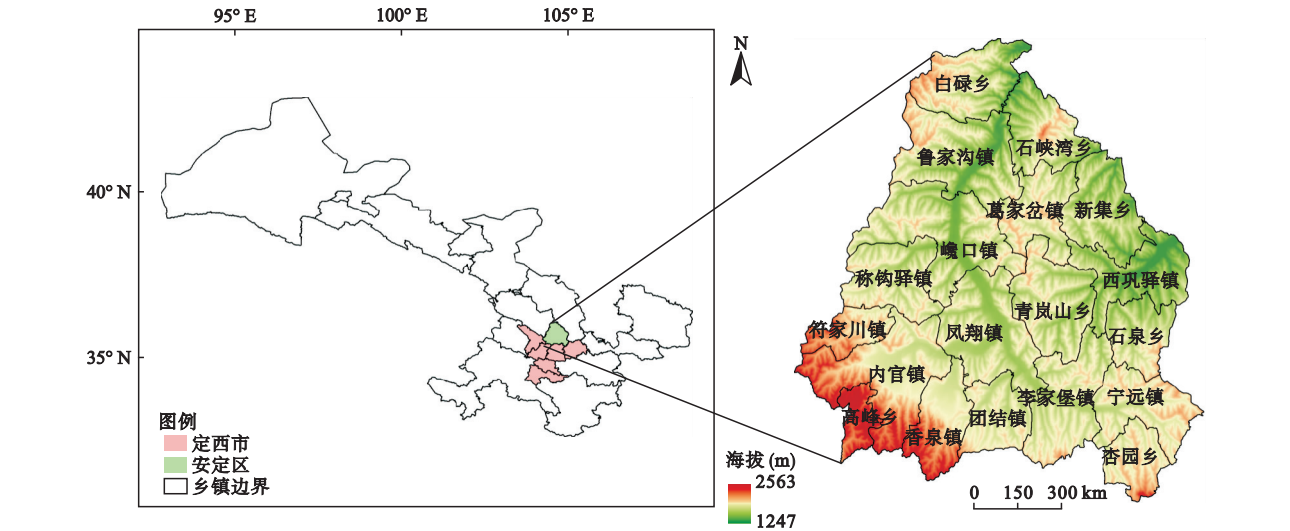


图1 研究区地理位置示意图
Fig.1 Location of the study area

1.2 数据源及处理

本研究所采用遥感影像数据源于美国地质调查局 (<http://www.usgs.gov/>) 和国际科学数据服务平台的 Landsat 4-5 TM 和 Landsat 8 OLI 影像数据,选取时段分别为 1995、2000、2005、2010、2015 年 7 月或 8 月的 5 期遥感影像,安定区边界来自于甘肃省测绘地理信息局(审图号为:甘 S(2011)21 号)。利用 ENVI5.1 对影像数据进行几何纠正、影像增强、影像镶嵌与裁剪等预处理工作;解译过程在 ArcGIS 10.2 平台上完成,参考土地利用现状分类标准(GB/T 21010—2007)和安定区土地利用现状实际情况,将该区的土地利用类型分为耕地、林地、草地、居民工矿用地、水域和未利用地这 6 个一级分类,并结合 GIS 等相关技术分析,利用野外定点数据和 Google Earth 高分辨率影像对解译结果进行精度验证,解译精度在 83% 以上,最后对解译结果进行拓扑检查及错误修正,并建立土地利用数据集。

1.3 研究方法

1.3.1 林地数量变化来源 林地的转入和转出是研究林地利用转型的基础,其他土地利用类型与林地之间的转换关系可直接反映林地对研究区的贡献。本研究在土地利用转移矩阵的基础上,借用转化率指标对林地转换进行针对性研究(Long *et al.* , 2007):基于研究基期(1995)和末期(2015)的土地利用解译数据,得土地利用转移矩阵(表 1);并以此为基础,测算林地数量的转入面积、转出面积和净转换面积;利用式(1)和式(2)计算不同时期林地利用的“转换减少”或“转换获得”在净转换面积中所占百分比。具体公式如下:

$$P_{loss(i),j} = (P_{j,i} - P_{i,j}) / (P_{i, \cdot} - P_{\cdot,i}) \times 100 \quad i \neq j \quad (1)$$

$$P_{gai(i),j} = (P_{j,i} - P_{i,j}) / (P_{i, \cdot} - P_{\cdot,i}) \times 100 \quad i \neq j \quad (2)$$

式中, $P_{loss(i),j}$ 是转移矩阵中行*i*土地利用类型转为*j*

土地利用类型在行*i*土地利用类型净减少中所占的比例,即转换贡献率; $P_{gain(i),j}$ 转移矩阵中行*i*土地利用类型转为*j*土地利用类型在行*i*土地利用类型净增加中所占的比例; $P_{i,j}$ 和 $P_{j,i}$ 是转移矩阵表中的单个数值; $P_{i, \cdot}$ 是行*i*土地利用类型期末面积; $P_{\cdot,i}$ 是行*i*土地利用类型期初面积。 $P_{loss(i),j}$ 和 $P_{gain(i),j}$ 数值的“±”表意为林地利用转型方向。

1.3.2 林地利用显性转型幅度 转型幅度是指林地利用转型数量形态幅度的变化特征。结合土地利用转型理论基础,安定区林地利用转型数量形态可表示为:林地总面积与安定区总面积的比值(龙花楼,2006)。因此,林地利用数量形态变化幅度 *CLTA* 是指研究末期(X_b)和基期(X_a)林地利用数量形态的相对变化值:

$$X_a = S_a / S \times 100\% \quad (3)$$

$$X_b = S_b / S \times 100\% \quad (4)$$

$$CLTA = (X_b - X_a) \times 100\% \quad (5)$$

式中: X_a 为基期林地面积与区域总面积的比值; X_b 为林地面积与区域总面积的比值; S_a 为基期林地面积; S_b 为末期林地面积; S 为区域总面积; X_a 和 X_b 分别为研究基期和末期林地利用转型数量形态;*CLTA*为林地数量形态转型幅度,其数值的“±”表示为林地利用转型方向。

1.3.3 林地利用显性转型速度 转型速度是表征林地利用转型数量形态变化速度的指标。根据林地利用转型内涵,结合单一土地利用动态度在土地利用/覆盖变化(LUCC)中的研究方法(李志江等,2015),构建林地数量形态转型速度 *CLTS* 以表示林地利用显性转型速度:

$$CLTS = (X_b - X_a) / X_a \times (1/T) \times 100\% \quad (6)$$

式中, T 为研究时段, X_a 、 X_b 、*CLTS*数值的“±”表意为林地利用转型方向。

表 1 1995—2015 年安定区土地利用变化转移矩阵 (km²)
Table 1 Change matrix of each land use type in Anding in 1995–2015 (km²)

1995	2015						1995 年 总计
	耕地	林地	草地	水域	居民工矿用地	未利用地	
耕地	829.25	214.16	279.23	9.24	67.20	0.31	1399.38
林地	83.35	152.84	94.63	1.06	5.38	0.29	337.56
草地	720.73	398.58	672.31	8.40	27.64	2.37	1830.02
水域	7.27	2.34	1.69	4.56	1.30	–	17.18
居民工矿用地	13.78	3.81	5.99	0.39	16.53	0.02	40.53
未利用地	3.87	1.32	6.17	–	0.10	–	11.46
2015 年总计	1658.26	773.06	1060.01	23.65	118.15	2.99	3636.12
期内转换量	258.88	435.50	–770.01	6.48	77.62	–8.47	–

表 2 安定区各时段林地数量转换来源和转换变化率(%)
Table 2 Forest land area conversion sources and conversion rates (%) of Anding in different periods

时段	转换类型	期内转换率	耕地贡献率	草地贡献率	水域贡献率	居民工矿用地贡献率	未利用地贡献率
1995—2000	林地转入	50.46	30.14	68.82	0.10	0.69	0.24
	林地转出	-53.05	-28.36	-70.11	-0.38	-1.10	-0.05
	林地净转换	-2.59	-12.08	-81.88	-2.89	-4.82	1.67
2000—2005	林地转入	60.60	35.14	63.78	0.14	0.88	0.06
	林地转出	-40.29	-40.33	-57.70	-0.43	-1.54	0.00
	林地净转换	20.31	31.08	68.52	-0.08	0.37	0.11
2005—2010	林地转入	48.75	16.80	82.90	0.02	0.28	0.00
	林地转出	-32.05	-33.25	-66.04	-0.01	-0.58	-0.12
	林地净转换	16.70	0.61	99.49	0.03	-0.02	-0.12
2010—2015	林地转入	60.05	41.03	57.17	0.84	0.89	0.06
	林地转出	-51.95	-40.60	-57.24	-0.37	-1.75	-0.05
	林地净转换	8.10	42.13	57.01	2.05	-1.31	0.11
2000—2015	林地转入	78.74	38.57	60.13	0.32	0.70	0.10
	林地转出	-48.62	-41.79	-55.51	-0.30	-2.19	-0.22
	林地净转换	30.12	30.04	69.79	0.29	-0.36	0.24

2 结果与分析

2.1 林地数量变化特征

2.1.1 林地数量转换来源 林地数量各时段转换来源和转换变化如表 2。1995—2000 年,林地数量处于减少状态,其中,林地净转换减少幅度为-2.59%,从具体转换来源看,林地增加主要来源于草地和耕地,贡献率分别为 68.82%和 30.14%,林地减少主要为草地和耕地,且减少幅度草地是耕地近 3 倍(草地贡献率为-70.11%,耕地贡献率为-28.36%)。2000—2005 年,林地数量转换开始处于增加状态,主要原因是 1999 年实施退耕还林还草工程使得林地面积大幅增加。其中,林地净转换增加幅度最大(20.31%),转换增加主要为草地和耕地。2005—2010 年,林地面积呈现增加状态,林地净转换增加幅度为 16.70%,但相较于前一阶段,增加幅度有所减小(20.31%),转换增加主要为草地,高达99.49%。从具体转换来源看,林地增加主要来源于草地和耕地,贡献率分别为 82.90%和 16.80%。2010—2015 年,林地面积处于增加状态,林地净转换增加幅度为 8.10%,相较于 2000 年实施退耕还林工程以来,增加幅度有所减缓,转换增加主要为草地和耕地。从具体转换来源看,林地增加主要来源与草地和耕地,贡献率分别为 57.17%和 41.03%。

综上所述,1995—2015 年,林地净转换 435.5 km²(净转换率为 25.51%)。2000 年后,林地转入面积为 973.68 km²(增加幅度为 78.74%),主要来源为草地和耕地(贡献率分别为 60.13%和 38.57%),而

林地转出面积为 155.54 km²(减少幅度为 48.62%),主要转为草地和耕地(贡献率为-55.51%和-41.79%)。可见,1995—2000 年,林地面积不断减少,主要转为草地和耕地,退耕还林还草等一系列生态建设工程实施后,林地面积处于增加状态,来源主要为草地、耕地等,说明生态建设工程实施以来,该区在林地面积变化较为明显。

2.1.2 转型幅度与转型速度 1995—2015 年间林地利用转型幅度和转型速度变化趋势如图 2。近 20 年来,林地转型数量形态经历了先减后增的过程,整体上林地转型幅度为 11.98%,转型速度6.45%。其中 1995—2000 年林地面积转换量呈现为减少态势,转型幅度与转型速度均为负增长。而 2000—2015 年林地面积逐渐增加,转型幅度与转换面积基本一致,转型速度先大幅增加,后逐渐减少。表明

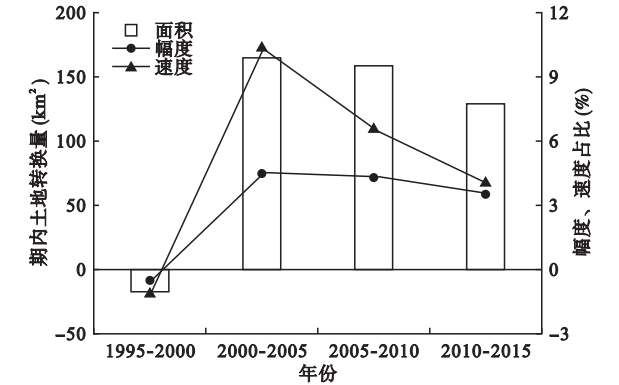


图 2 安定区不同时段林地利用转型特征
Fig.2 Characteristics of forest land use transition in different periods of Anding

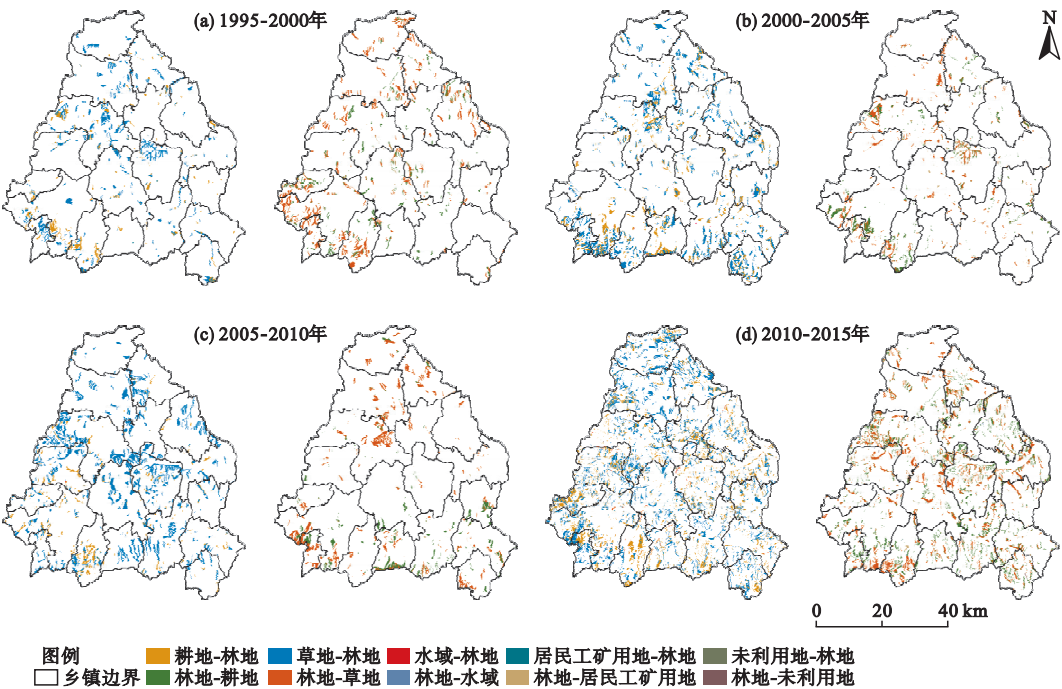


图 3 安定区不同时段林地利用转型空间分布特征
Fig.3 Characteristics of forest land use transition in different periods of Anding

2000 年后由于一系列生态工程等政策的实施,使得该地区林地转型有所好转。

2.2 林地空间形态分布特征

1995—2015 年安定区林地利用转型空间形态分布特征如图 3 所示。1995—2000 年,林地转入主要来源是岷口镇、高峰乡和香泉镇,其中转入来源面积最大的乡镇为岷口镇 (34.49 km²)。2000—2005 年,林地均转入每个乡镇,主要来源有内官镇、杏园乡和李家堡镇,其中转入来源面积最大的乡镇为内官镇 (34.35 km²)。2005—2010 年,林地转入面积逐渐增加,主要来源是岷口镇、青岚乡和凤翔镇,岷口镇林地转入面积最大 (51.38 km²)。2010—2015 年,林地转入面积较分散,各乡镇林地转入均有分布,林地转入来源最大的乡镇为内官镇 (42.86 km²)。综上,1995—2000 年,该区林地转出与转入差别较大,2000 年后,其他用地转为林地面积均大于林地转出面积,这与政策实施情况相吻合;安定区林地转型较为分散,可能原因是破碎化程度较高。

2.3 林地利用转型坡度差异

根据安定区的地形特性,我们提取坡度因子并将其分为 5 类 (0°~5°、5°~10°、10°~15°、15°~20°、20°以上),进一步探讨林地利用转型面积、转型幅度、转型速度在坡度上的空间分异。1995—2015

年,安定区林地转型变化随坡度上升而呈现显著差异 (图 4)。具体表现为:林地净转换量和转型幅度均呈先升后降态势,而转型速度与其相反,呈先降后升态势。在 5 类坡度上,林地净转换量分别为 102.85、237.04、207.52、62.23 和 10.58 km²,林地转型幅度分别为 10.43%、13.02%、12.82%、9.87% 和 4.61%,转型速度分别为 0.019%、0.011%、0.010%、0.018% 和 0.031%。分析得知:5°~15°坡度范围内,林地利用净转换量和转型幅度虽然较高,但其转型速度较低,原因在于该坡度范围内基期 (1995 年) 林地占比较高,使得林地利用转型程度相对较小,转型速度比例降低;而 15°以上坡度范围林地利用净转换量和转型幅度虽然较低,但其转型速度较高,说明该坡度范围内基期 (1995 年) 林地面积虽小,但林地利用转型程度较高,因此转型速度比例亦较高。

3 讨论

生态工程项目的有效性源于政策措施、当地生态环境和社会经济系统之间的相互作用 (Chen *et al.*, 2013; Petursdottir *et al.*, 2013)。一般地,区域的自然环境 (如地形地貌、降水、气温等) 在短期内 (如几年到数十年尺度上,除非发生重大地质灾害事件) 不会发生明显的变化。本研究区为黄土高原丘陵沟壑区,该区域自然环境条件差,经济发展缓慢,

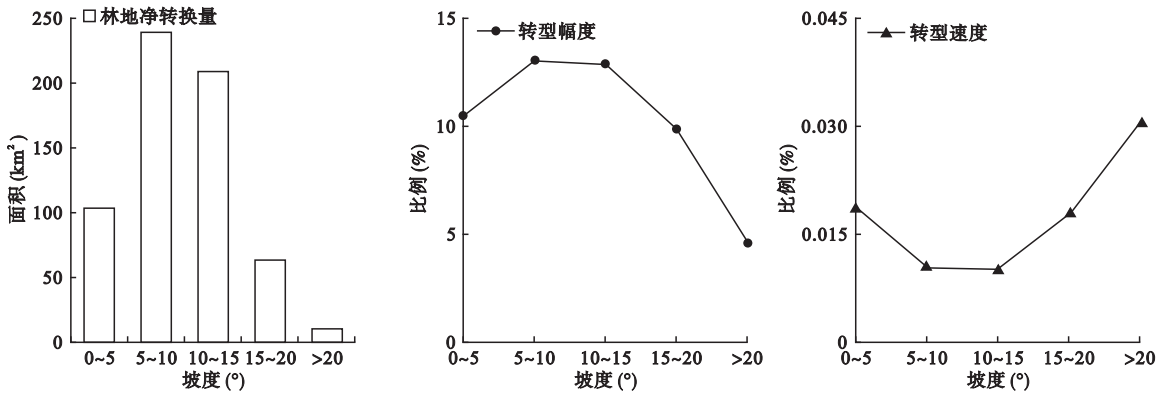


图 4 不同坡度下林地数量转型特征

Fig.4 Characteristics of forest land quantity transformation in different slopes

对生态建设工程的成效影响较小。本研究以 1995 年为对照(退耕还林还草等生态建设政策开始之前),主要开展生态建设政策取得的效果分析。加之该地区属于国家生态建设的先导区域,生态工程建设政策对于林地转型的影响大于经济发展带来的影响(王宏等,2018),相关研究也表明,林地保护政策(如退耕还林工程)对林地恢复起到了重要作用(He,2014;Li *et al.*,2013),与本研究结果一致。而 Zhang 等(2006)研究发现,林地面积增加与中国 GDP 的增长呈正相关,这与本研究内容存在差异,原因可能与研究区的选取有关。因此,本研究结合相关生态工程政策的实施对林地转型具体表现进一步分析。

从土地利用转型林地视角出发,通过转型面积、转型幅度、转型速度分析乡镇尺度上土地利用转型时空变化,所得结论与该区域实际林地利用结果相似,说明退耕还林还草等生态建设工程一定程度上增加了黄土丘陵区的林地面积,促进了林地转型,这一研究方法能够有效刻画乡镇尺度林地利用时空变化特征,同时也为土地利用合理规划提供有效整合框架。

林地是影响黄土丘陵区土地利用功能的主要用地类型(张影,2017),林地转型固然受自然因素这一客观条件的影响,但社会经济系统和政策却是人为可控因素(王宏等,2018),对区域研究更具意义。林地面积的增加也可促进生态、经济、社会的发展。安定区自实施退耕还林工程政策以来,土地利用合理化程度有所改善(张影,2017),森林乱砍滥伐等逐步得到遏制,改善了区域生态环境,因此,应继续实施退耕还林工程政策和生态建设。本文仅从显性视角分析了林地利用转型的时空特征,缺乏结合隐

形角度对安定区林地利用转型进行全面刻画。因此,在本研究的基础上,下一步应继续开展隐形形态转型分析,以期对退耕还林工程政策和生态建设提供参考。区域林地转型受自然环境、社会经济和政策的共同影响而呈现复杂变化,本文仅讨论了生态建设政策的影响,后期应加强自然环境因素、社会经济政策等识别与辨析,以便更好地揭示政策的效用。

4 结 论

1995—2015 年,林地利用转型数量整体处于增加态势,主要来源为草地和耕地(草地贡献率为 69.79%,耕地贡献率为 30.04%)。其中,1995—2000 年林地面积有所减少,2000 年后,林地面积大幅度增加,其转换率为 30.12%。林地利用转型幅度与林地转型数量来源保持一致,其中,1995—2000 年转型幅度为-0.49%,而从 2000 年后,林地利用转型数量和转型幅度均为增长态势;林地利用转型速度形态经历先迅速增长后缓慢增长的态势。

1995—2015 年,空间分布上林地转型较为分散,几乎涉及所有乡镇,主要发生在岷口镇和内官镇。林地利用转型在不同坡度上数量、转型幅度、转型速度均有不同,其中林地利用主要转型发生在 15°以上区域。

参考文献

- 蔡运龙. 2001. 土地利用/土地覆被变化研究:寻求新的综合途径. 地理研究, 20(6): 645-652.
- 戈大专, 龙花楼, 杨 忍. 2018. 中国耕地利用转型格局及驱动因素研究—基于人均耕地面积视角. 资源科学, 40(2): 273-283.
- 李全峰, 胡守庚, 瞿诗进. 2017. 1990—2015 年长江中游地区耕地利用转型时空特征. 地理研究, 36(8): 1489-

- 1502.
- 李秀彬, 赵宇鸾. 2011. 森林转型、农地边际化与生态恢复. 中国人口·资源与环境, **21**(10): 91–95.
- 李志江, 马晓冬, 孙姗姗. 2015. 苏北乡村转型与土地利用转型的耦合分析——以沛县为例. 江苏师范大学学报: 自然科学版, **33**(1): 36–39.
- 梁文远, 李凌超, 刘金龙, 等. 2017. 森林转型问题研究综述. 林业经济, (8): 107–112.
- 龙花楼, 李秀彬. 2002. 区域土地利用转型分析——以长江沿线样带为例. 自然资源学报, **17**(2): 144–149.
- 龙花楼. 2006. 中国农村宅基地转型的理论与证实. 地理学报, **61**(10): 1093–1100.
- 龙花楼. 2016. 国内土地利用转型研究的前沿探索// 中国新时期土地资源科学与新常态创新发展战略研讨会暨中国自然资源学会土地资源研究专业委员会 30 周年纪念会论文集. 沈阳: 东北大学出版社: 18–29.
- 吕 晓, 黄贤金, 张全景. 2015. 城乡建设用地转型研究综述. 城市规划, **39**(4): 105–112.
- 宋小青, 吴志峰, 欧阳竹. 2014. 耕地转型的研究路径探讨. 地理研究, **33**(3): 403–413.
- 王 宏, 阎建忠, 李惠莲. 2018. 中国 14 个连片特困地区的森林转型及其解释. 地理学报, **73**(7): 1253–1267.
- 张 影. 2017. 社会生态复合系统视角下陇中黄土丘陵区土地利用多功能评价(硕士学位论文). 兰州: 兰州大学.
- 朱战强, 刘黎明, 张军连. 2010. 退耕还林对宁南黄土丘陵区景观格局的影响——以中庄村典型小流域为例. 生态学报, **30**(1): 146–154.
- Ashraf J, Pandey R, Jong WD. 2017. Assessment of biophysical, social and economic drivers for forest transition in Asia-Pacific region. *Forest Policy & Economics*, **76**: 35–44.
- Barbier EB, Tesfaw A. 2015. Explaining forest transitions: The role of governance. *Ecological Economics*, **119**: 252–261.
- Cai H, Yang X, Xu X. 2015. Human-induced grassland degradation/restoration in the central Tibetan Plateau: The effects of ecological protection and restoration projects. *Ecological Engineering*, **83**: 112–119.
- Chen L, Cao SX. 2013. Lack of integrated solutions hinders environmental recovery in China. *Ecological Engineering*, **54**: 233–235.
- Foley JA, Defries R, Asner GP, *et al.* 2005. Global consequences of land use. *Science*, **309**: 570–574.
- Grainger A. 2008. Difficulties in tracking the long-term global trend in tropical forest area. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **105**: 818–823.
- He J. 2014. Governing forest restoration: Local case studies of sloping land conversion program in Southwest China. *Forest Policy and Economics*, **46**: 30–38.
- Lambin EF, Meyfroidt P. 2010. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land Use Policy*, **27**: 108–118.
- Li Y, Viña A, Yang W, *et al.* 2013. Effects of conservation policies on forest cover change in giant panda habitat regions, China. *Land Use Policy*, **33**: 42–53.
- Long HL, Tang GP, Li XB, *et al.* 2007. Socio-economic driving forces of land-use change in Kunshan, the Yangtze River Delta economic area of China. *Journal of Environmental Management*, **83**: 351–364.
- Mather AS. 2004. Forest transition theory and the reforestation of Scotland. *The Scottish Geographical Magazine*, **120**: 83–98.
- Mooney HA, Duraiappah A, Larigauderie A. 2013. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **110**: 3665–3672.
- Nielsen JR, Schmidt JO, Thunberg E, *et al.* 2015. Social, economic, and ecological impact assessment across marine sectors// ICES ASC.
- Petursdottir T, Arnalds O, Baker S, *et al.* 2013. A social-ecological system approach to analyze stakeholders' interactions within a large-scale rangeland restoration program. *Ecology & Society*, **18**: 29.
- Robbins AST, Harrell S. 2014. Paradoxes and challenges for China's forests in the reform era. *China Quarterly*, **218**: 381–403.
- Wang X, Lu C, Fang J, *et al.* 2007. Implications for development of grain-for-green policy based on cropland suitability evaluation in desertification-affected north China. *Land Use Policy*, **24**: 417–424.
- Zhang Y, Tachibana S, Nagata S. 2006. Impact of socio-economic factors on the changes in forest areas in China. *Forest Policy and Economics*, **9**: 63–76.
- Zhang Z, Zinda JA, Li W. 2017. Forest transitions in Chinese villages: Explaining community-level variation under the returning forest to farmland program. *Land Use Policy*, **64**: 245–257.

作者简介 巩 杰,男,1975 年生,博士,硕士生导师,研究方向为生态系统服务、土地变化科学与生态评价。E-mail: jgong@lzu.edu.cn
责任编辑 魏中青
