青海省海西州土地利用变化强度分析与稳定性研究

牛乐乐[1,2]，张必成[1,2]，贾天忠[3]，佘 雕[1,4]

(1.中国科学院水利部水土保持研究所,陕西 杨凌 712100;2.中国科学院大学,北京 100049;
3.西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100;4.西北农林科技大学水土保持研究所,陕西 杨凌 712100)

摘要: 基于青海省海西蒙古族藏族自治州 1995 年、2000 年、2010 年和 2018 年 4 期土地利用数据,采用土地利用变化强度分析方法,从间隔层次、类别层次和转移层次 3 个方面对海西州 1995—2018 年土地利用变化强度及稳定性予以研究,深入分析了海西州不同层次土地利用强度变化过程与模式。结果表明:(1)间隔层次,海西州 1995—2010 年土地利用变化强度表现为慢速变化,2010—2018 年土地利用变化强度呈快速变化。(2)地类层次,1995—2018 年间,耕地和城乡、居民和建设用地(城居建设用地)变化活跃。1995—2000 年水域变化处于相对稳定状态;2000—2010 年水域、林地和草地变化相对活跃;2010—2018 年间,水域和林地变化活跃,未利用地变化表现为稳定状态。(3)转移层次,1995—2018 年增加的草地主要来源于未利用地、水域以及林地;耕地和城居建设用地向草地的转变过程均呈现出一种稳定的避免性系统转换模式;减少的耕地主要转变为城居建设用地,耕地向城居建设用地转移表现出稳定的倾向性系统模式。

关键词: 土地利用变化;土地利用转移矩阵;强度分析;稳定性;海西州

中图分类号:F301　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1009-2242(2021)02-0152-08

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2021.02.021

Analysis on Intensity and Stability of Land Use Change in Haixi Mongolian and Tibetan Autonomous Prefecture of Qinghai Province

NIU Lele[1,2], ZHANG Bicheng[1,2], JIA Tianzhong[3], SHE Diao[1,4]

(1.*Institute of Soil and Water Conservation*, *CAS&MWR*, *Yangling*, *Shaanxi* 712100; 2.*University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049; 3.*College of Natural Resources and Environment*, *Northwest A&F University*, *Yangling*, *Shaanxi* 712100; 4.*Institute of Soil and Water Conservation*, *Northwest A&F University*, *Yangling*, *Shaanxi* 712100)

Abstract: Based on the land use information of four stages (1995, 2000, 2010, and 2018) in Haixi Mongolian and Tibetan Autonomous Prefecture, the intensity and stability of land use change from 1995—2018 were investigated using the analysis method of land use change intensity from three aspects of interval level, category level, and transfer level, and the change process and pattern of land use intensity at different levels were thoroughly analyzed. The results showed that: (1) At the interval level, the land use intensity of Haixi Mongolian and Tibetan Autonomous Prefecture changed slowly from 1995 to 2010, while the intensity changed rapidly during the period of 2010—2018. (2) At the category level, the cultivated land as well as the urban and rural, residential and construction land were the most active categories between 1995 and 2010. During the period 1995—2000, the change of the water area was relatively stable. The change of the water area, woodland, and grassland were relatively active from 2000 to 2010. In contrast, in 2010—2018, the change of the water area and the woodland were relatively active, while the change of the unused land was relatively stable. (3) At the transfer level, the increased grassland area mainly came from unused land, water area, and woodland during the period of 1995—2018. The transformation process of cultivated land as well as urban and rural, residential and construction land to grassland presented a stable avoidable system conversion pattern. In addition, the reduced cultivated land was mainly converted to urban and rural, residential and construction land. And the transformation of cultivated land to urban and rural, residential and construction

收稿日期:2020-10-22
资助项目:第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0603)
第一作者:牛乐乐(1996—),女,在读硕士研究生,主要从事土地利用变化研究。E-mail:nll0814@163.com
通信作者:佘雕(1974—),男,副研究员,主要从事土地利用变化及其环境效应研究。E-mail:diaoshe@ms.iswc.ac.cn

land showed a stable tendentious system pattern.

Keywords: land use change; land use transfer matrix; intensity analysis; stability; Haixi Mongolian and Tibetan Autonomous Prefecture

土地系统作为社会经济发展和生态环境建设间的重要纽带[1]，其利用方式的变化是决定生态系统稳定性的重要因素之一[2-3]，科学评估土地利用变化过程与机制，有助于深入了解研究区土地利用变化情况，进而为土地资源合理利用和经济可持续发展提供依据[4]。作为分析区域土地利用数量结构变化及不同地类转换方向变化的常用方法之一[5]，土地利用转移矩阵所包含的地类转化规律是土地利用强度变化研究的重要基础[6]。然而，目前土地利用转移矩阵的应用多集中于单一时段不同土地利用类型转入转出的面积变化情况，缺乏对转移矩阵信息的深入挖掘，无法提供更多的数据信息以供研究者分析多个连续时间间隔形成的土地利用演变规律[7-8]，极大地限制了对土地利用变化系统性与稳定性的深层次理解。为此，Aldwaik 等[9]提出了一种新的分析框架来系统描述土地利用变化规律，该方法以土地利用转移矩阵为基础，自上而下的从间隔层次、类别层次、转移层次对土地利用变化的大小和强度予以分析，并揭示了在连续时间间隔内区域土地利用变化的稳定性特征。目前，国内外诸多学者已借助该框架进行了土地利用变化分析研究。Huang 等[10]率先采用强度分析方法对1986—2007 年间中国东南亚热带沿海流域 3 种土地类型的转换过程进行了研究。随后，为全面理解该强度分析方法，Pontius 等[11]进一步明确了 4 个概念，使得该方法能够更好地应用于土地利用强度变化分析。孙云华等[12]利用该框架分析了昆明市土地利用变化强度于 3 种层次（间隔、类别与转移层次）的变化特征；杨建新等[13]对该方法进行了改进并将其运用于武汉市的土地利用结构变化特征分析，结果表明改进后的方法能够更为直观地反映土地利用变化规律。

当前，该分析理论已趋于成熟，但国内外关于此方法的应用依然相对较少。随着社会经济的发展和人类活动的加剧，青藏高原的土地利用结构在过去的30～50 年间发生了巨大的变化[14]。位于青海省西部的海西蒙古族藏族自治州是青藏高原的衢地，区域生态环境系统相对独立却又十分脆弱，该区域也是青海省沙化面积最多、治理难度最大、保护任务最艰巨的地区，在全省生态建设占有举足轻重的地位[15-17]。鉴于此，本文将强度分析方法应用于海西州土地利用强度变化的研究中，以期揭示海西州不同层次土地利用变化强度及稳定性特征，研究结果可为区域土地利用规划编制及土地利用类型空间调整提供理论基础。

1　研究区概况

海西蒙古族藏族自治州（90°07′—99°46′E，35°01′—39°19′N）是青藏高原的衢地，地处青海省西部，南通西藏，北达甘肃，西出新疆。州域面积 30.07 万 km^2，占青海省总面积的 41.7%。研究区平均海拔 3 200 m，地势西北高，东南低，州域主体是中国四大盆地之一的柴达木盆地，占全州面积的 85.28%。全州共辖 3 个县级市、3 个县，分别是格尔木市、德令哈市、茫崖市、都兰县、乌兰县、天峻县，研究区土壤类型主要为栗钙土、漠土和灌淤土。气候属典型的高寒干燥大陆性气候，全年干旱少雨，太阳辐射强，昼夜温差大，年平均气温 1.3～5.2 ℃，年平均降水量 17～200 mm。研究区主要土地利用类型为未利用地和草地，其中低覆盖度草地占比最大（32%），植被类型较为单一。独特的气候环境与植被状况使得区域生态环境十分脆弱，极易受损且难以恢复[18-19]，是全省生态恢复建设的重点关注区域。

2　数据来源与研究方法

2.1　数据来源

本研究所采用的数据为青海省 1995 年、2000 年、2010 年和 2018 年 4 期 1∶10 万的土地利用数据。其中，1995 年、2000 年和 2018 年土地利用数据依据《土地利用现状调查技术规程》所规定的分类体系进行分类，其中一级分为 8 类，二级分为 46 类。2010 年土地利用数据参考 IPCC（The Intergovernmental Panelon Climate Change）分类体系，将 38 类归结为 IPCC 土地覆盖分类系统的 6 个一级类。由于不同年份土地利用数据的划分标准间存在一定差异，在进行区域土地利用变化分析前，需将不同分类标准所划分的土地利用类型逐级聚合成统一的分类体系。根据海西州实际土地利用特征及研究目的，结合不同分类标准所规定的各地类定义与名称，基于 ArcGIS 软件将 1995 年、2000 年、2010 年和 2018 年 4 期土地利用数据整合为 6 大类：城乡、居民和建设用地（城居建设用地）、耕地、林地、草地、水域、未利用地。此外，为方便土地利用数据的进一步处理与分析，将 4 期土地利用数据的空间坐标系统进行统一（均转换为 Krasovsky_1940_Albers 投影），并将其重采样为分辨率为 100 m 的栅格数据。

2.2　研究方法

2.2.1　土地利用转移矩阵　转移矩阵可全面、具体地刻画区域某一时期期初和期末的土地利用变化的数量

结构特征与研究时间间隔内各地类的转移变化情况，具有丰富的统计学意义[20-22]，其数学表达形式为：

$$S_{ij}=\begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \cdots & S_{2n} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & \cdots & S_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & \cdots & S_{nn} \end{vmatrix} \quad (1)$$

式中：S 为面积；n 为转移前后的土地利用类型数；i、j 分别为研究期期初与期末的土地利用类型；S_{ij} 为研究期初的 i 地类转换成期末的 j 地类的面积。

2.2.2 土地利用变化强度分析 强度分析是以矩阵数据表为基础，自上而下、层层递进的定量分析土地利用类型之间的变化差异的一种解释性框架，包括间隔、类别和转换 3 个层次[9]，之后的每个层次均是在前一层次基础上更为深入地分析土地利用变化情况，更加清晰的解释各地类之间的转化机制，以图表的形式直观形象地展示土地利用变化过程。

(1)间隔层次。间隔层次强度分析反映了每个时间间隔内总体的土地利用变化情况，通过计算每个时间间隔的土地利用变化强度，并与平均变化强度进行比较，检查在整个研究时间水平上土地利用强度的稳定性[22-23]。其计算公式为：

$$S_t=\frac{\sum_{j=1}^{J}[(\sum_{i=1}^{J}C_{tij})-C_{tij}]/[\sum_{j=1}^{J}(\sum_{i=1}^{J}C_{tij})]}{Y_{t+1}-Y_t}\times 100\% \quad (2)$$

$$U=\frac{\sum_{t=1}^{T-1}\sum_{j=1}^{J}[(\sum_{i=1}^{J}C_{tij})-C_{tij}]/[\sum_{j=1}^{J}(\sum_{i=1}^{J}C_{tij})]}{Y_T-Y_1}\times 100\% \quad (3)$$

式中：i 为某一研究期期初土地利用类型编码；j 为某一研究期期末土地利用类型编码；J 为土地利用类型数量；t 为时间间隔$[Y_t,Y_{t+1}]$的期初时间节点编码($1\leqslant t\leqslant(T-1)$)；$T$ 为研究期时间节点总数；Y_t 为时间节点 t 对应年份；C_{tij} 为在时间间隔$[Y_t,Y_{t+1}]$内从期初地类 i 转为期末地类 j 的土地数量；S_t 为在时间间隔$[Y_t,Y_{t+1}]$内土地利用变化强度；U 为整个研究期内土地利用变化的平均强度。

其中公式(2)表示每个时间间隔内研究区域土地利用的变化强度，每个时间间隔都存在一个变化速率，公式(3)表示研究区域在整个时间范围内的平均变化速率。如果所有的 S_t 都相等，那么 $S_t=U$，即所有时间间隔内的变化强度等于整个研究时期内的变化强度，则说明在整个研究时间范围内，土地利用的变化模式在时间水平上是稳定的。

(2)地类层次。地类层次强度分析是以各地类的面积变化情况为基础，计算分析各地类的增减面积相对应的强度变化大小。计算公式为：

$$G_{tj}=\frac{[(\sum_{i=1}^{J}C_{tij})-C_{tjj}]/(Y_{t+1}-Y_t)}{\sum_{j=1}^{J}C_{tij}}\times 100\% \quad (4)$$

$$L_{ti}=\frac{[(\sum_{j=1}^{J}C_{tij})-C_{tii}]/(Y_{t+1}-Y_t)}{\sum_{j=1}^{J}C_{tij}}\times 100\% \quad (5)$$

式中：C_{tii} 为时间间隔$[Y_t,Y_{t+1}]$内从期初地类 i 转为期末地类 i 的面积，即不变的面积；C_{tjj} 为时间间隔$[Y_t,Y_{t+1}]$内从期初地类 j 转为期末地类 j 的面积；G_{tj} 为时间间隔$[Y_t,Y_{t+1}]$内地类 j 的转入强度；L_{ti} 为时间间隔$[Y_t,Y_{t+1}]$内地类 i 的转出强度。

其中公式(4)和公式(5)分别表示在每个特定的时间间隔内不同地类的增加和减少变化强度，该分析层次可以根据增加和减少的变化强度来确定地类变化在时间间隔内是否稳定，若地类的增加强度大于或小于每个时间间隔内的土地利用变化强度，说明该地类的增加在整个研究范围内是稳定的；类似地，若地类的减少强度大于或小于每个时间间隔内的土地利用变化强度，说明该地类的减少在整个研究范围内也表现为稳定性模式[13,23-24]。

(3)转换层次。转换层次强度分析反映特定时间间隔内不同地类之间相互转化的变化情况，同时分析研究区域内所有地类的变化面积的方向及大小[12]，可从转出地类和转入地类 2 个方面进行分析。计算公式为：

$$R_{tin}=\frac{C_{tin}/(Y_{t+1}-Y_t)}{\sum_{j=1}^{J}C_{tij}}\times 100\% \quad (6)$$

$$W_{tn}=\frac{[(\sum_{i=1}^{J}C_{tin})-C_{tnn}]/(Y_{t+1}-Y_t)}{\sum_{j=1}^{J}[(\sum_{i=1}^{J}C_{tij})-C_{tnj}]}\times 100\% \quad (7)$$

式中：C_{tin} 为时间间隔$[Y_t,Y_{t+1}]$内从期初地类 i 转为期末地类 n 的面积；C_{tnn} 为研究时间间隔内土地利用类型不发生改变的地类 n 的面积；R_{tin} 为时间间隔$[Y_t,Y_{t+1}]$内期初地类 i 到期末地类 n 的转入强度($i\neq n$)；W_{tn} 为时间间隔$[Y_t,Y_{t+1}]$内期初各地类转入为地类 n 的平均强度。

$$Q_{tmj}=\frac{C_{tmj}/(Y_{t+1}-Y_t)}{\sum_{i=1}^{J}C_{tij}}\times 100\% \quad (8)$$

$$V_{tm}=\frac{[(\sum_{j=1}^{J}C_{tmj})-C_{tmm}]/(Y_{t+1}-Y_t)}{\sum_{i=1}^{J}[(\sum_{j=1}^{J}C_{tij})-C_{tim}]}\times 100\% \quad (9)$$

式中：C_{tmj} 为时间间隔$[Y_t,Y_{t+1}]$内从期初地类 m 转为期末地类 j 的面积；C_{tmm} 为研究时间间隔内土地利用类型不发生改变的地类 m 的面积；Q_{tmj} 为时间间

隔$[Y_t, Y_{t+1}]$内期初地类 m 到期末地类 j 的转出强度($j \neq m$);V_{tm} 为时间间隔$[Y_t, Y_{t+1}]$内期初地类 m 转出为期末各地类的平均强度。

其中公式(6)表示每个时间间隔内地类 i 转化为地类 n 的变化强度,公式(7)表示对于每个时间间隔,地类 n 增加的平均变化强度。从地类 n 的转入角度来看,若地类 n 在整个研究范围内是统一增加的,则说明地类 i 转化为地类 n 的强度 R_{tin} 与平均变化强度 W_{tn} 一致,即 $R_{tin}=W_{tin}$。公式(8)表示每个时间间隔内地类 m 转出为地类 j 的强度,公式(9)表示每个时间间隔内地类 m 减少的平均变化强度。类似于公式(6)与公式(7)分析的地类 n 的增加强度模式分析。通过将平均变化强度与转入转出强度进行比较来判断土地利用变化模式的稳定性,其中平均变化强度的含义是变化强度平均分配到所有与此转变相关的地类,判断该种地类的转入与转出[25]。

3　结果与分析

3.1　海西州 1995—2018 年土地利用结构分析

通过对海西州 1995 年、2000 年、2010 年和 2018 年 4 期影像的分类结果进行统计,得到海西州 1995 年、2000 年、2010 年和 2018 年土地利用类型数量结构表(表 1)。由表 1 可知,1995 年、2000 年、2010 年和 2018 年海西州的土地利用类型均主要为草地和未利用地,其次是水域,城居建设用地占比最小,说明海西州后备土地资源比较丰富,同时客观反映出海西州城镇化水平相对较低,城市基础设施相对落后的状况。

表 1　1995—2018 年海西州土地利用结构

土地利用类型	1995 年		2000 年		2010 年		2018 年	
	面积/hm²	比例/%	面积/hm²	比例/%	面积/hm²	比例/%	面积/hm²	比例/%
草地	9341800	40.87	10011700	43.80	9943120	43.52	10584100	45.33
城居建设用地	11372	0.05	31620	0.14	53071	0.23	57895	0.25
耕地	64202	0.28	75900	0.33	76974	0.34	80039	0.34
林地	303433	1.33	297470	1.30	274191	1.20	301267	1.29
水域	1068230	4.67	1088430	4.76	1050200	4.60	1284970	5.45
未利用地	12069300	52.80	11353100	49.67	11451600	50.12	11060000	47.34
总面积	22858337		22858220		22849156		23343271	

3.2　海西州 1995—2018 年土地利用变化矩阵分析

将 1995 年、2000 年、2010 年和 2018 年土地利用数据进行叠加分析,得到 1995—2000 年、2000—2010 年和 2010—2018 年土地利用转移矩阵表(表 2、表 3 和表 4)。由表 2、表 3、表 4 可知,1995—2000 年、2000—2010 年以及 2010—2018 年间海西州土地利用变化较为复杂,3 个时间间隔内土地利用变化均表现为面积基数最大的草地和未利用地的转入量最高。1995—2000 年间,草地主要由未利用地和耕地转入,未利用地主要由草地和耕地转入;而 2000—2010 年间,草地的主要转入来源为林地和水域,未利用地则主要由草地和林地转入。2010—2018 年间,草地的转入来源则主要为水域和林地,未利用地的主要转入来源为草地和林地。从转出类型来看,1995—2000 年间,耕地转出最多,转出量达 26.67%,其次是城居建设用地、林地和未利用地。耕地主要向城居建设用地、草地和未利用地转移,其中有 12.82%转为城居建设用地。相较于 1995—2000 年、2000—2010 年和 2010—2018 年间土地转出量整体较高,2 个时间间隔均为林地转出最多,其次为水域和耕地,其中,林地主要转化为草地和未利用地。

由于海西州独特的地理位置和生态环境,除未利用地外,草地是该区域占比最高的地类,然而受全球气候变暖、长期过度放牧、滥采滥伐等不合理开采利用的影响,海西州草地退化严重,草地沙化面积不断扩大。为加强草原生态保护,青海省政府实施了一系列草原生态保护与建设项目,1989 年 11 月 1 日青海省第七届人民代表大会常务委员会第十一次会议通过《青海省实施<中华人民共和国草原法>办法》,提出"重点做好宜牧不宜耕,种植业效益差和坡度>25°的耕地的退耕还牧"的保护工作,自 1990 年起,耕地向草地的转移面积不断增加[17-18]。

林地面积虽转出量最高,但总面积相对稳定,一方面因为海西州荒漠面积较大,自然灾害频发导致;另一方面,该现象也可能与该区域幼林增加而成熟林面积减少有关[19]。

3.3　海西州土地利用变化强度分析

3.3.1　*间隔层次变化分析*　海西州 1995—2018 年间隔层次土地利用的变化面积及变化强度分析结果见图 1。由图 1 可知,1995—2018 年间,研究区内土地利用变化强度呈明显增长的态势。通过对比 3 个时段间隔层次的变化强度可知,1995—2000 年和 2000—2010 年土地利用变化强度低于整个研究期内的平均变化强度($U=2.45\%$),表明 1995—2000 年和 2000—2010 年土地利用强度表现为慢速变化。相比之下,2010—2018 年区域土地利用变化强度高于整个研究期的平均强度,表明此时间间隔内土地利用强度呈现快速变化。此外,海西州间隔层次土地利用的

变化面积与变化强度相一致，1995—2018年间土地利用变化面积亦明显增长，且2000—2010年和2010—2018年区域土地利用的变化面积明显高于1995—2000年。究其原因，自西部大开发战略提出之后，海西州采取了一系列改革措施，加之区域资源开发、土地复垦等措施的实施，研究区土地利用状况发生了很大程度的改变，进而使得区域土地利用强度以及变化面积出现逐渐增长的情况[26-27]。

表2 1995—2000年海西州土地利用变化转移矩阵 单位：%

1995年	2000年						
	草地	城居建设用地	耕地	林地	水域	未利用地	转出量
草地	93.41	0.03	0.16	0.06	0.30	6.05	6.60
城居建设用地	1.79	80.95	10.56	0.88	4.54	1.21	18.98
耕地	6.70	12.82	73.33	0.21	0.23	6.71	26.67
林地	4.96	0.01	0.55	90.05	0.49	3.94	9.95
水域	1.51	0.02	0.01	0.02	96.92	1.52	3.08
未利用地	10.36	0.10	0.09	0.15	0.19	89.11	10.89
转入量	25.32	12.98	11.37	1.32	5.75	19.43	76.17

表3 2000—2010年海西州土地利用变化转移矩阵 单位：%

2000年	2010年						
	草地	城居建设用地	耕地	林地	水域	未利用地	转出量
草地	75.27	0.08	0.14	0.74	2.62	21.15	24.73
城居建设用地	16.06	67.78	7.29	0.80	1.19	6.88	32.22
耕地	17.30	3.57	66.01	1.38	0.79	10.95	33.99
林地	29.37	0.09	0.43	46.78	0.96	22.36	53.21
水域	28.25	0.20	0.03	0.18	58.42	12.91	41.57
未利用地	17.63	0.16	0.08	0.50	1.26	80.73	19.63
转入量	108.61	4.10	7.97	3.60	6.82	74.25	205.35

表4 2010—2018年海西州土地利用变化转移矩阵 单位：%

2010年	2018年						
	草地	城居建设用地	耕地	林地	水域	未利用地	转出量
草地	74.42	0.07	0.17	0.90	3.57	20.87	25.58
城居建设用地	11.91	70.10	5.14	1.25	0.65	10.95	29.90
耕地	17.11	3.04	66.30	1.57	0.98	11.01	33.70
林地	28.49	0.14	0.37	49.84	0.86	20.30	50.16
水域	25.11	0.12	0.06	0.28	62.21	12.22	37.79
未利用地	21.66	0.09	0.08	0.59	2.28	75.30	24.70
转入量	104.28	3.46	5.82	4.59	8.34	75.35	201.84

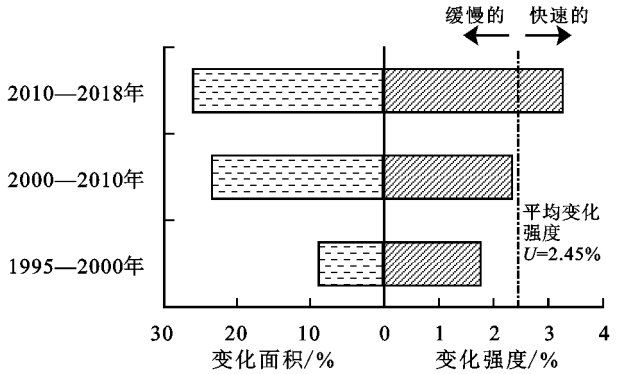

图1 海西州间隔层次土地利用的变化面积和变化强度

3.3.2 地类层次变化分析 图2为研究区1995—2000年(图2a)、2000—2010年(图2b)与2010—2018年(图2c)地类层次土地利用变化面积以及变化强度，通过分析3个时间间隔土地利用变化强度可知，1995—2000年、2000—2010年和2010—2018年间耕地和城居建设用地变化强度的增长和减少均大于平均变化强度，表明耕地和城居建设用地的变化在1995—2018年间较为活跃。与此相反，1995—2000年间水域变化强度的增加和减少均低于平均值，表明水域在该时段内保持相对稳定的状态。此外，林地和未利用地的减少强度高于平均强度，增加强度却小于平均强度，反映出林地和未利用地的减少呈相对活跃的状态，而2种地类的增加则保持稳定。相比之下，草地的增加强度高于平均强度，减少强度却低于平均强度，表明草地的增加处于相对活跃的状态，而其减少则相对稳定。2000—2010年间，水域、林地和草地变化强度的增加和减少均高于平均水平，表现为活跃变化趋势。未利用地变化强度的增加和减少均小于平均变化强度，反映出未利用地在该时间间隔内的变化呈现出相对稳定的状态。2010—2018年间，水域

和林地的变化强度的增加和减少均高于平均水平,表现为活跃变化趋势。未利用地变化强度的增加和减少均小于平均变化强度,表现为稳定状态。分析不同时间间隔土地利用的变化面积(图 2)可知,1995—2000 年间,未利用地、林地和草地的面积增减变化较其他地类更为明显,6 种地类中,未利用地和林地的减少面积远高于其增加面积,而其余地类的转入面积高于其转出面积。2000—2010 年与 2010—2018 年间,未利用地、草地和水域的面积增减最为明显。

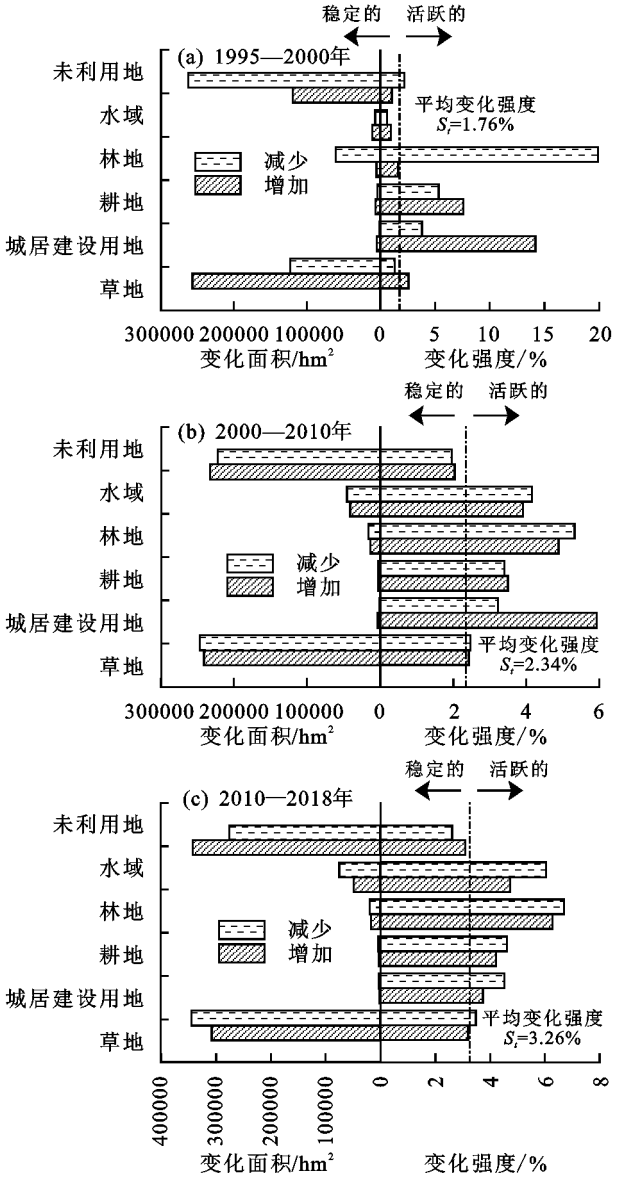

图 2　海西州 1995－2018 年地类层次土地利用的变化面积和变化强度

3.3.3　*转移层次变化分析*　通过对其他地类转变为草地的面积变化(图 3)分析可知,1995—2000 年、2000—2010 年和 2010—2018 年 3 个时间间隔内,草地面积增加的最主要来源均为未利用地,且未利用地转化为草地的面积远高于其他地类。对比分析 3 个时间间隔内其他地类转变为草地的变化强度可知,1995—2000 年间,未利用地转变为草地的变化强度高于平均强度,而其余地类的转化强度位于平均强度之下,表明该时间间隔内草地主要转入来源为未利用地;2000—2010 年间,水域和林地的转变强度均大于平均强度,表明林地和水域向草地的转入强度明显上升。2010—2018 年间,未利用地、水域和林地的转变强度大于平均值,表明除林地和水域外,未利用地的转入强度亦有所上升。此外,转变为草地的 5 种地类中,耕地和城居建设用地的变化强度在 3 个时间间隔内均低于平均变化强度,表明耕地和城居建设用地向草地的转变过程呈现出一种稳定的避免性系统转换模式,对比转移矩阵可以看出,转移面积相对较大的地类之间并非一定表现出稳定的倾向性系统模式。

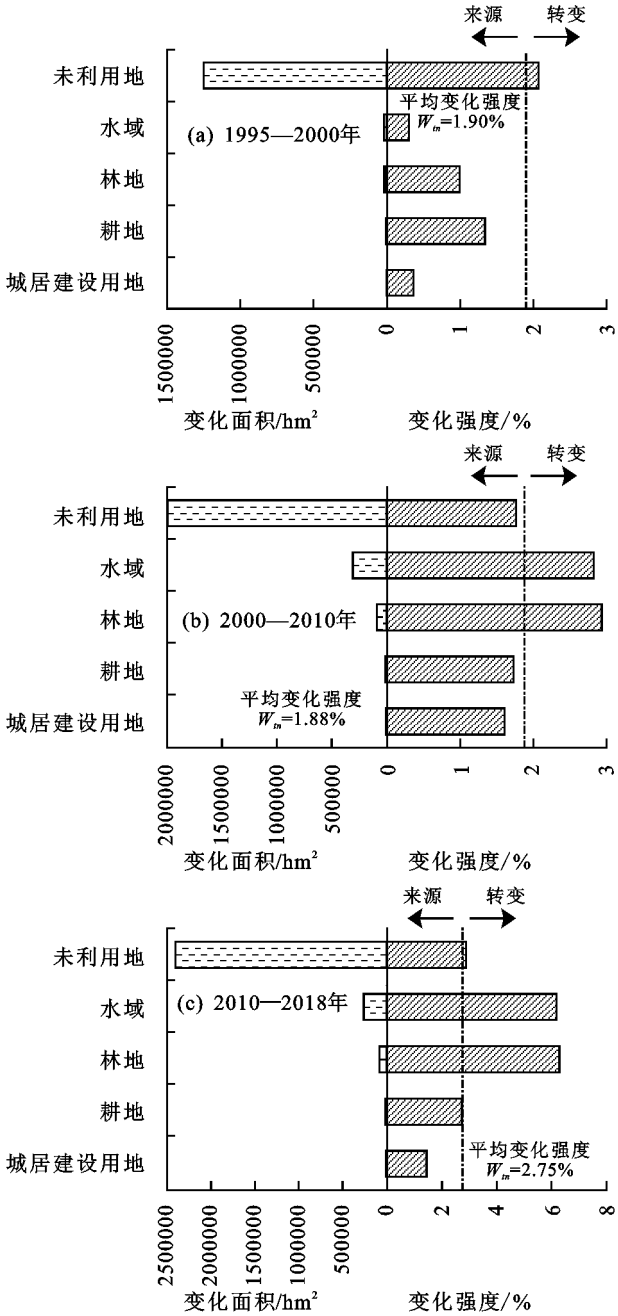

图 3　转变为草地的增加模式的变化面积及变化强度

图 4 为 1995—2000 年、2000—2010 年与 2010—2018 年间耕地转变为其他地类的面积及强度特征。

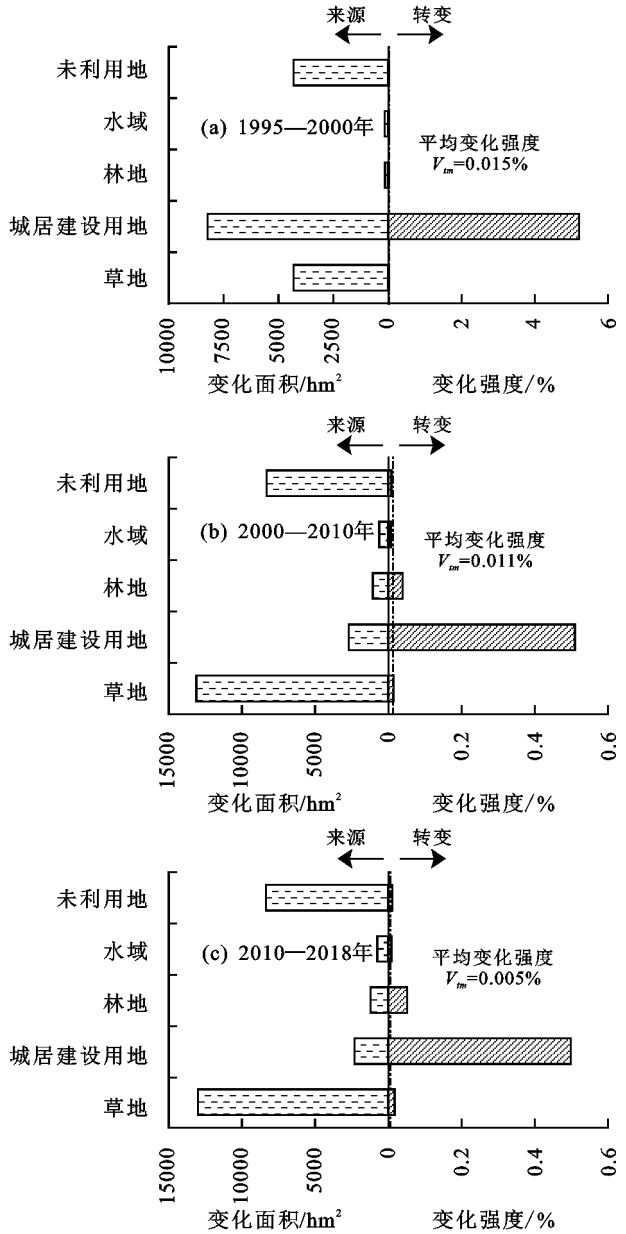

图 4 耕地转变为其他地类的减少模式的变化面积及变化强度

由变化面积可知，1995—2000 年间，耕地主要向城居建设用地转变，且其转出为城居建设用地的面积远高于向其余地类的转出面积；2000—2010 年和 2010—2018 年间耕地转变为草地的面积最大，转变为未利用地的面积次之。相较于 1995—2000 年，2000—2010 年和 2010—2018 年间耕地转变为城居建设用地的面积虽然有所增长，但是增长量均低于未利用地和草地。出现该转出状况的原因在于，海西州自 20 世纪 90 年代后经济呈现快速增长，此后，随着西部大开发战略的进一步实施，海西州城镇扩张速度明显加快、转入来源范围逐渐扩大的同时，农牧业发展的扶持和保护力度亦逐渐提升，因此呈现出耕地在此时间间隔内向城居建设用地转入面积相对降低的情况[27]。此外，耕地转变为林地和草地的面积亦出现了不同程度的增长。通过分析耕地转变为其他地类的变化强度可知，3 个时间间隔内耕地转变为城居建设用地的变化强度均远高于平均变化强度，表明耕地向城居建设用地的转移呈现出稳定的倾向性系统模式。

4 结 论

(1)海西州 1995—2000 年土地利用变化强度低于整个时段的平均变化强度，土地利用强度表现为慢速变化；2000—2010 年与 2010—2018 年区域土地利用变化强度高于整个时段的平均强度，土地利用强度呈现快速变化。

(2)海西州 1995—2018 年间耕地和城居建设用地的变化较为活跃；1995—2000 年间，水域保持相对稳定的状态，林地和未利用地的减少呈相对活跃的状态，而增加则相对稳定，草地的增加处于相对活跃的状态，而其减少则相对稳定；2000—2010 年间，水域、林地和草地的增加和减少均较为活跃，未利用地的变化呈现出相对稳定的状态；2010—2018 年间，水域和林地表现为活跃变化趋势，未利用地变化表现为稳定状态。

(3)1995—2000 年间，海西州草地主要转入来源为未利用地；2000—2010 年间，水域和林地的转变强度均大于平均强度，林地和水域向草地的转入强度呈现明显上升；2010—2018 年间，未利用地向草地的转入强度有所上升。整个研究时段内，耕地和城居建设用地向草地的转变过程均呈现出一种稳定的避免性系统转换模式，对比转移矩阵可知转移面积相对较大的地类之间并非一定表现出稳定的倾向性系统模式。

(4)1995—2000 年间，海西州耕地主要向城居建设用地转变，且其转出为城居建设用地的面积远高于向其余地类的转出面积；2000—2010 年与 2010—2018 年间耕地转变为草地的面积最大，转变为未利用地的面积次之。整个研究时段内，耕地向城居建设用地的转移呈现出稳定的倾向性系统模式。

(5)借助强度分析理论自上而下 3 个层次分析土地利用变化强度及其稳定性，可以更好地解释土地利用转变之间潜在的系统性特征，进一步的研究需要将土地利用变化程与自然和社会经济等驱动因素相联系，有助于更深入了解人地系统之间的耦合关系。

参考文献：

[1] Letourneau A, Verburg P H, Stehfest E. A land-use systems approach to represent land-use dynamics at continental and global scales[J]. Environmental Model-

ling and Software,2012,33:61-79.

[2] Li X Y, Ma Y J, Xu H Y, et al. Impact of land use and land cover change on environmental degradation in Lake Qinghai Watershed, northeast Qinghai-Tibet Plateau [J].Land Degradation and Development,2010,20(1):69-83.

[3] Lu X, Huang S. Barriers and solutions to China's cultivated land protection[J].International Journal of Environmental Studies,2010,67(2):223-232.

[4] Luo X, Lu X H, Jin G, et al. Optimization of urban land-use structure in China's rapidly developing regions with eco-environmental constraints [J]. Physics and Chemistry of the Earth,2019,110:8-13.

[5] Romero-Ruiz M H, Flantua S G A, Tansey K, et al. Landscape transformations in savannas of northern South America: Land use/cover changes since 1987 in the Llanos Orientales of Colombia[J].Applied Geography,2012,32(2):766-776.

[6] 龙杰.基于转移矩阵的昆明市呈贡区土地利用变化分析[J].安徽农学通报,2018,24(17):75-78.

[7] 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.

[8] 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.

[9] Aldwaik S Z, Pontius R G. Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition[J].Landscape and Urban Planning,2012,106(1):103-114.

[10] Huang J, Pontius R G, Li Q, et al. Use of intensity analysis to link patterns with processes of land change from 1986 to 2007 in a coastal watershed of southeast China[J].Applied Geography,2012,34(3):371-384.

[11] Pontius R G, Gao Y, Giner N M, et al. Design and interpretation of intensity analysis illustrated by land change in central Kalimantan, Indonesia [J]. Land, 2013,2(3):351-369.

[12] 孙云华,郭涛,崔希民.昆明市土地利用变化的强度分析与稳定性研究[J].地理科学进展,2016,35(2):245-254.

[13] 杨建新,龚健,高静,等.国家中心城市土地利用变化稳定性和系统性特征:以武汉市为例[J].资源科学,2019,41(4):701-716.

[14] Liu S, Schleuss P M, Kuzyakov Y. Degradation of Tibetan grasslands: Consequences for soil organic carbon and nutrients losses[C].EGU General Assembly Conference Abstracts,2017,19:16372.

[15] 唐菊,黄银洲,付娇,等.青海省海西州可持续发展评价研究[J].资源开发与市场,2018,34(2):268-273.

[16] 薛春璐,郑新奇,周伟,等.青海省海西州区域用地集约利用评价研究[J].水土保持研究,2012,19(6):142-146.

[17] 严慧琴.青海省海西州草原保护建设现状调研及存在问题分析[J].青海畜牧兽医杂志,2018(4):43-44.

[18] 斯青.浅谈青海省海西州草原生态现状及发展措施[J].草食家畜,2011(1):82-83.

[19] 任秀金,盖艾鸿,宋金蕊.1999—2009 年青海省德令哈市土地利用/覆盖变化特征[J].水土保持通报,2014,34(5):248-253.

[20] 丁茜,付梅臣,王力.基于转移矩阵的重庆市北碚区土地利用变化分析[J].江苏农业科学,2017,45(12):198-204.

[21] 杨清可,段学军,王磊,等.基于"三生空间"的土地利用转型与生态环境效应 r:以长江三角洲核心区为例[J].地理科学,2018,38(1):97-106.

[22] 陶蕴之,张甜,梁琦珍,等.基于转移矩阵的环渤海土地利用研究[J].绿色科技,2016(2):4-7.

[23] 耿晓丽,张建军,魏聪礼,等.基于多层次判定的矿业城市武安土地利用强度变化研究[J].中国矿业,2018,249(5):106-112.

[24] Gitau M, Bailey N. Multi-layer assessment of land use and related changes for decision support in a coastal zone watershed[J].Land,2012,1:5-31.

[25] Zhou P, Huang J L, Pontius J G, et al. Land classification and change intensity analysis in a coastal watershed of Southeast China[J].Sensors (Basel, Switzerland),2014,14(7):11640-11658.

[26] 张珍连.海西经济改革 35 年综述[J].柴达木开发研究,2014(1):4-7.

[27] 严虎.高原特色农牧业发展思考:以青海省海西蒙古族藏族自治州为例[J].青海金融,2018(8):18-21.