

新疆艾比湖湿地 LUCC 对景观格局演变的影响^①

孙倩¹, 阿丽亚·拜都热拉¹, 依力亚斯江·努尔麦麦提²

(1 新疆农业大学林学与园艺学院, 乌鲁木齐 830052; 2 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘要:以新疆艾比湖湿地保护区为研究区,采用 1990 年 10 月 5 日、2000 年 9 月 25 日和 2015 年 9 月 13 日 TM/ETM+影像,以土壤实测数据为基础,建立适宜的土地利用分类体系,分析了 25 a 间研究区的土地利用动态变化,以及景观格局的时空演变,从而深入探讨了土地利用变化对景观格局演变的影响。结果表明: 25 a 间,研究区综合土地利用动态度为 0.97%,且呈现逐年降低趋势,土地利用类型随着时间的推移,变化由剧烈逐步趋于平衡状态。1990—2000 年间,林地和水田的面积增加,中轻度盐渍地和极重度盐渍地面积依然呈现明显的上升趋势;2000—2015 年间,水体面积明显减少,沙漠面积急剧增加,重度盐渍地和极重度盐渍地面积呈现增加趋势。25 a 间研究区景观格局发生了很大的变化。蔓延度持续减小,分散与并列指数显著增加,景观的延展性下降,导致景观破碎化加剧。Shannon 多样性指数和 Shannon 均匀度指数均呈现稳步增加趋势,这说明景观的异质性程度呈现上升趋势。土地利用变化改变了景观格局,导致景观分散与并列指数增加,蔓延度降低,均匀度增加,研究区景观整体先向破碎化发展,后略有所好转,逐步向稳定优化的趋势发展,但总体的盐渍化和荒漠化趋势依然严峻。该研究进一步提出了改良方案,对研究区土地资源的合理利用和可持续发展研究具有重要意义。

关键词:土地利用/土地覆被;景观格局;艾比湖湿地;盐渍化

中图分类号: P237 文献标识码: A

土地利用/覆被变化(LUCC)对区域景观的组成和结构具有强烈的影响,对当地环境质量和物种多样性也有显著的影响^[1-2]。采用 RS 和 GIS 技术对土地利用变化和景观格局时空变化进行分析是当前景观生态学研究的主要方法之一。景观是土地利用/覆被变化的标志,不仅适用于任意空间尺度,流域尺度的土地利用变化能对更大尺度的自然生态系统产生影响^[3]。土地利用变化对景观格局演变的影响和二者之间相互作用的研究,对土地资源的可持续发展和受损生态系统的恢复具有重要理论和现实意义。

近几十年,人类出于自身生存和发展的需要,对土地资源进行了无节制、无序的开发利用活动,导致人类赖以生存的生态环境遭受不同程度的破坏,出现诸如土壤盐碱化、土地荒漠化、水土流失等一系列生态环境问题,而土地利用/覆被研究为环境生态的保护作出了不可磨灭的科学贡献^[4]。土地利用/覆被的变化能客观表现地表景观格局,也能反映时空动态变化过程^[5]。许多学者从不同的角度研究了土地利用/覆被变化,运用景观生态学原理和数理统计分析方

法,从区域整体景观格局水平和土地利用类型水平两个角度,描述了土地利用变化的景观格局特征^[6-7];运用 CLUE-S 模型、马尔科夫模型、系统动力学模型等,基于多年的土地利用/覆被的时空变化情况,实现了不同地域范围内的土地利用/覆被变化的模拟和预测^[8-10]。面对诸多复杂的土地退化问题,学者们也将土地利用/覆被的动态变化分析和生态景观变化分析结合起来,为生态退化的敏感性、脆弱性、生态风险的评估提供了基础数据,为生态修复提供了定量的依据^[11-13]。土地利用的变化会进而改变土壤的养分循环,从而引起土壤养分的积累或流失,相对而言自然植被的时空变化和土壤系统的营养循环能力较好,而耕地的变化导致的土壤养分循环能力会明显减弱^[14-15]。将土地利用/覆被与景观生态结合在一起,进行一系列的深入研究,探讨土地利用和景观生态过程的相互关系,利用地表景观格局变化和土地利用变化对未来气候进行预测等也都成为目前的研究热点之一^[16-18]。

本文以艾比湖湿地保护区为研究靶区,以多时相遥感数字图像为主要资料来源,参考各类专题图、社会

基金项目: 国家自然科学基金地区基金项目(41561089)和国家自然科学基金青年基金项目(31600572)资助。

作者简介: 孙倩(1986—),女,山东平度人,博士,主要从事干旱区资源与环境的 RS 和 GIS 应用研究。E-mail: sq061@163.com

经济统计资料,借助 3S 技术,以 2015 年遥感影像同期野外实地观测和土壤样品的实验数据为基础,建立适宜的土地利用分类体系,进行了 1990—2015 年 25 a 间研究区土地利用时空变化的研究,并选取 16 个生态景观指标,探讨了研究区景观格局的时空演变,深入剖析了土地利用变化对生态景观格局的影响,提出了相应的改良意见,以对艾比湖湿地保护区今后的治理和规划提供重要的参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

艾比湖湿地自然保护区位于新疆精河县西北准噶尔盆地西南,地理位置 $44^{\circ}30' \sim 45^{\circ}09' N$, $82^{\circ}36' \sim 83^{\circ}50' E$, 是这一区域的汇水中心。西北方向邻近著名的风口阿拉山口,流域南、西、北三面环山,其中西北部是天山山系最北分支阿拉套山,山脊线海拔 3 000 m,北部是准噶尔西部山地中的玛依力山,山势较低,最高峰海拔 2 609 m,而艾比湖位于该流域的中部偏北,湖的西北部为阿拉套山和玛依力山之间宽约 10 km 的谷地。第四纪末次冰期后,随着气候向干旱转变,湖泊逐渐收缩,夏季降水稀少,冬季异常干燥寒冷,年平均气温 $6.6 \sim 7.8^{\circ}C$,多年平均降水量 $116.0 \sim 169.2$ mm。受西风环流以及蒙古高压和西伯利亚冷空气的影响,艾比湖地区表现为典型的中温带干旱大陆气候,以干旱少雨、气温变化剧烈为特征,是一个典型干旱区内陆封闭绿洲子系统,也是集湿地、水文、强气流和人类活动过程于一体的综合区域^[19-20]。研究区主要以干旱荒漠植物种类为主,北部、东部及南部戈壁上

分布有天然梭梭林,保护区内分布有大面积的芦苇和芨芨草,湖滨盐沼泽地有盐穗木群系、盐节木群系、盐角草群系、盐爪爪等群系分布。

1.2 数据来源与处理

1.2.1 数据的预处理和不同程度盐渍地的区分 该研究将 GPS、RS、GIS 手段有效地结合起来,对采用的影像进行了辐射校正、几何精校正、影像镶嵌和裁剪等预处理。其中,几何校正时精度要求是均方差均在 0.5 个像元以内。

本文所选取的遥感影像成像时间均在 9 月中下旬至 10 月上旬之间,时间较为接近,此时新疆艾比湖湿地各类植物生长状况处于相对旺盛的阶段,各类盐渍地均处于积盐期,所有地物的特征均较为相似,基于此所进行的一系列生态景观研究具有较好的可比性。

采用 GPS 定位的方法,在研究区的盐渍地上选取了 80 个采样点,布点时兼顾了各种分类地物类型,满足地物类型的代表性和布点的均匀性,使采样点尽可能遍及研究区内各种类型的地物上,以便进行统计分析。2015 年 9 月进行惯例性野外考察,并采集了盐渍地 0~10 cm 土壤表层样品。

对采集的盐渍土壤样品经自然风干,碾碎,过 1 mm 孔径筛,土样均配置水土比 1:5 的浸提液,经过充分振动和浸泡使土壤盐分充分溶解,从而进行土壤盐分及其组分(含盐量、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 和 K^+)的测定^[21]。参考干旱区盐渍化土壤信息提取的相关研究,结合采样点表层土壤实测含盐量数据对盐渍地土壤盐渍化程度进行区分,如表 1 所示。

表 1 盐渍地分级表
Table 1 Classification criteria of saline soil

盐渍地分级	采样点数	描述
中轻度盐渍地	29	表层土壤含盐量 20~80 g/kg, 植被总盖度约 1%~15%
重度盐渍地	43	表层土壤含盐量 80~280 g/kg, 植被总盖度约 0~1%
极重度盐渍地	18	表层土壤含盐量大于 280 g/kg

1.2.2 土地利用/覆被分类体系的建立 基于表 1 分类标准将采样点数据划分到所在的盐渍地类别中,然后利用采样点的坐标将各种盐渍地的样点输入到遥感未分类的图像上,以样点为中心的附近 3×3 像元范围内选择颜色、光谱曲线特征和纹理特征相近的像元作为分类样本,从而建立不同程度盐渍地的分类体系。基于实地考察建立遥感影像的分类体系。

土地利用/覆被分类采用的是中国科学院资源环

境数据库中土地利用 1:100 000 二级分类系统,同时也充分结合野外考察时该湿地保护区的特征,将该研究区划分为林地(A)、水田(B)、水体(C)、湿地(D)、戈壁(E)、中轻度盐渍地(F)、重度盐渍地(G)、极重度盐渍地(H)、沙漠(I)和其他(J)。

1.2.3 土地利用/覆被动态度分析 采用土地资源数量变化模型来分析研究区的土地利用/覆盖动态变化,该指标能够通过土地利用/覆盖特征,来定量研

究某一土地类型动态数量变化,也可以用来预测未来土地变化的趋势^[22-23]。

1)单一土地利用类型动态度。单一土地利用类型动态度表达的是某研究区一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况,其表达式为:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K 表示研究时段内某一土地利用类型动态度; U_a 、 U_b 分别是研究期初和研究期末某一种土地利用/覆被类型的数量; T 为研究时段长。

2)综合土地利用动态度。综合土地利用动态度指数综合考虑了研究时段内土地利用/覆被类型之间的转移,其意义在于反映土地利用/覆被变化的剧烈程度。其表达式为:

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: LU_i 为监测起始时间第 i 类土地利用类型面积; ΔLU_{i-j} 为监测时段第 i 类土地利用类型转为非 i 类土地利用类型面积的绝对值; T 为监测时段长度。当 T 的时段设定为年时, LC 的值就是该研究区土地利用年综合变化率^[24-25]。

1.2.4 景观格局指数的计算 常用的景观格局指数主要包括两种,分别是类型水平指数和景观水平指数^[26]。在 ENVI 5.0 软件平台上获取遥感影像信息提取图,辅以 ArcGIS 10.0 进行信息提取图的格式转换,以 .grid 格式在 FRAGSTATS 4.2 平台进行景观指数的计算。

2 结果与分析

本文主要采用计算机分类与目视解译相结合的分类方法,基于所建立的适宜的分类体系,采用监督分类方法中的最大似然分类法,将 3 期影像进行分类。最大似然法能够假定每个地物类型的光谱模式的正态分布,从而对影像进行分类处理^[27]。该分类方法是较为典型且应用最广的监督分类方法。

2.1 研究区土地利用/覆被动态变化

3 期影像分类后总精度分别为 94.3%、89.5% 和 96.7%,为后期生态景观的综合分析提供了有力的数据基础。分类图如图 1 所示。

1990—2015 年土地利用/覆被的动态变化如表 2 所示。

艾比湖曾经像一把保护伞维持着该地区乃至整个新疆北部的生态平衡。在 1990—2015 年 25 a

间,地表植被主要是以荒漠植被、耐盐耐旱植被为主,且地表盐分含量较大。湖面面积呈现先增加后缩小的趋势,土壤盐分逐步积累,盐渍化趋势严峻。

1990—2000 年,研究区各类土地利用/覆被面积发生了很大变化,且变化速度较快,综合土地利用动态度达 1.9%。不同土地利用方式的生态环境有很大差异,水田一般分布在坡度较缓、水源较好的地方^[28]。在研究区内,水田的动态度最大,高达 122.8%,这一现象归因于当地政府在这 10 a 间,实施开垦和改良中轻度盐渍地的措施,导致人为的干扰因素被驱动,加大了耐盐作物的种植,既增加水田面积,还能改善土壤盐渍化现象;同时,森林保护意识增强,大力推行植树造林的措施,使得林地面积显著增加。但是,林地和水田的面积增加,并没有明显改善研究区土壤盐渍化的情况:中轻度盐渍地和极重度盐渍地面积依然呈现明显的上升趋势,唯有重度盐渍地面积有所减少,伴随着湿地面积的减少,艾比湖水盐的运移,大量盐分随蒸发而在土壤表面结晶。

2000—2015 年,研究区各类土地利用/覆被面积变化速度较前 10 a 有所减慢,综合土地利用动态度为 1.6%。自艾比湖湿地开设保护区后,人为的破坏力降低,湿地得以修复,湿地面积增加,但是恶化的趋势依然没有扭转。研究区水体面积明显减少,呈现干缩趋势,导致地下水位下降,从而加速了荒漠化进程,沙漠面积急剧增加,其动态度高达 46.1%。湖滨植被的恢复进程遭到破坏,在一定程度上也加剧了土壤风蚀带来的负面影响。重度盐渍地和极重度盐渍地呈现增加趋势。可利用土地的沙化、盐渍化情况加剧,给周边地区农业经济造成了很大损失。

总之,25 a 间,研究区综合土地利用动态度为 0.97%,且呈现逐年降低趋势,土地利用类型随着时间的推移由变化剧烈逐步驱于平衡状态,研究区湿地资源的利用和保护也从盲目逐步过渡到理性。绿洲面积的增加,并没能改善当地人的生存环境。地下水位正逐年下降,许多地方已不适宜于人类居住。沙漠和戈壁的动态度始终较大,沙漠面积总体增加,戈壁面积总体减少,重度盐渍地和极重度盐渍地面积也急剧增加,证明了目前人类很难开发和利用沙漠、戈壁等土地资源,荒漠化、盐渍化进程依然无法得到有力控制。而水体的面积先增加后减少,很大程度取决于自然情况,而人工的因素较少,艾比湖水面扩大后又缩小,高水位运行期间所形成的盐渍地在水位下降后,导致稀疏的荒漠植被大量枯死;气候越发干燥,土壤

水盐含量的变化,导致土地裸化,并且进一步遭受风蚀。所以,需要加大水利设施建设,合理利用水资源,

进一步采取淡水注入艾比湖,种植吸盐植被降低盐分含量等一系列有效措施迫在眉睫。

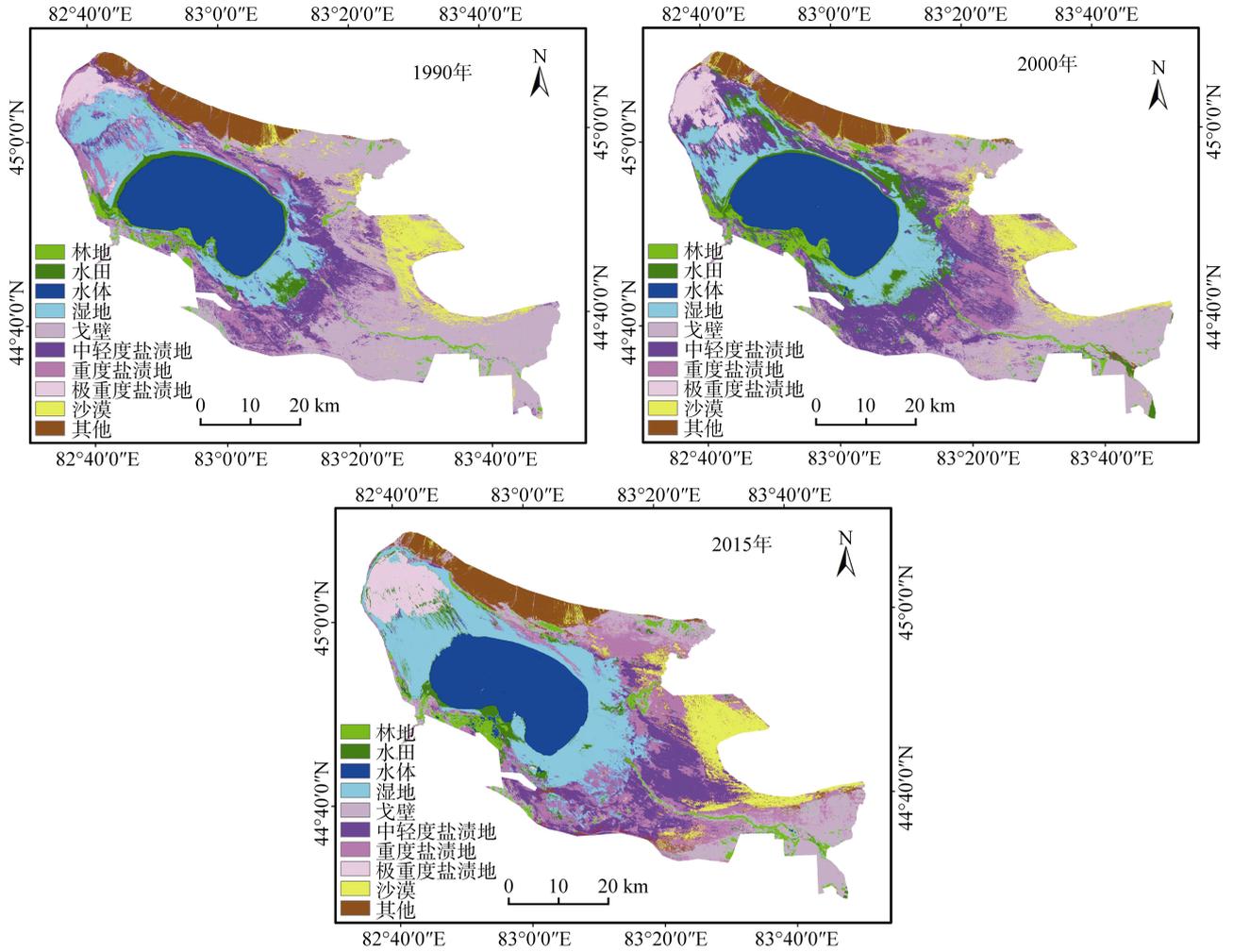


图 1 研究区不同时间 LUCC 图

Fig.1 Maps of LUCC in different years in study area

表 2 土地利用/覆被的动态变化(hm²)

Table 2 Changes of LUCC from 1990 to 2000 and from 2000 to 2015

年份	指标	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1990	面积	8 200	9 470	48 919	35 430	105 706	38 688	29 384	7 687	16 743	16 879
2000	面积	11 653	21 096	50 770	32 972	72 735	62 254	18 419	12 228	16 282	18 698
1990—2000	增长值	3 452	11 626	1 850	-2 457	-32 971	23 566	-10 964	45 41	-461	1 819
	K	42.1%	122.8%	3.8%	-6.9%	-31.2%	60.9%	-37.3%	59.1%	-2.8%	10.8%
	LC	1.9%									
2000	面积	11 653	21 096	50 770	32 972	72 735	62 254	18 419	12 228	16 282	18 698
2015	面积	11 092	11 146	46 801	56 851	43 386	38 585	47 045	15 511	23 794	22 897
2000—2015	增长值	-561	-9 950	-3 968	23 878	-29 348	-23 668	28 626	3 283	7 512	4 199
	K	-4.8%	-47.2%	-7.8%	72.4%	-40.4%	-38.0%	155.4%	26.8%	46.1%	22.5%
	LC	1.6%									

注: A 为耕地; B 为水田; C 为水体; D 为湿地; E 为戈壁; F 为中轻度盐渍地; G 为重度盐渍地; H 为极重度盐渍地; I 为沙漠; J 为其他; K 为单一土地利用动态度; LC 为综合土地利用动态度。

2.2 研究区景观格局特征变化及其对生态环境的影响

在景观格局的评价和预测中,景观类型的定量分析是非常有价值的工具和具有潜力的手段^[29]。根据景观指数的特点,可选择生态学意义明确、足以描述景观异质性特征的景观指数。很多景观指数可以运用软件,在很短的时间进行运算和分析^[30]。选取的景观格局指数要高度浓缩艾比湖湿地保护区的生态变化情况,充分反映艾比湖湿地保护区生态景观结构、功能及过程变化。本文选用了景观面积(TA),反映景观整体斑块分化程度的斑块密度(PD)、分散与并列指数(IJI),描述单个要素指标的斑块数量(NP)、斑块所占景观面积的比例(PLAND)斑块形状指数(LSI),描述景观聚集程度的聚集度(AI)、斑块聚集指数(CONESION)、蔓延度(CONTAG)、平均景观粘合度指数(CONTIG-MN),描述景观中各组分分配破碎程度的景观破碎度指数(LCI)、平均周长面积(MPA)、丰富度指数(PRD),反映景观要素的多少和各景观要素所占比例变化的 Shannon 多样性指数(SHDI),描述景观中各组分分配均匀程度的 Shannon 均匀度指数(SHEI)。以上生态景观指标计算公式简单、生态学意义清晰,能充分描述景观异质性特征。

研究区景观格局的长期监测和分析,不仅对该地区的发展状况具有监督作用,而且有利于对将来景观格局的规划和塑造^[31]。通过计算景观指数来描述景观格局及变化,能够揭示艾比湖湿地景观格局特征和演变规律^[32]。

2.2.1 景观水平上格局总变化特征

各类景观的演变可以引起斑块类型和斑块数量的变化,从而导致整体范围内景观格局的变化^[33-34]。该研究在景观尺度上选取了多个指数对艾比湖湿地保护区的景观格局变化进行了综合的分析,如表 3 所示。

景观格局的变化不仅是景观异质性的具体体现,而且是各种生态过程在不同尺度上的作用结果^[35]。1990—2015 年,研究区景观格局发生了很大的变化。研究区的景观总面积为 317 112 hm²,景观斑块数目呈现先剧烈增加后逐步减少的趋势,说明景观分割情况先加剧后趋于稳步降低。蔓延度持续减小,分散与并列指数急剧增加,说明 25 a 间景观的延展性下降,导致景观破碎化加剧。而景观破碎度指数在 1990—2000 年,先呈现较大增加,说明景观的不稳定系数增大,而在 2000—2015 年,景观破碎度指数略有下降,说明这 15 a,景观区域连接在一起,使得景观稳定性略有增强。前 10 a 聚集度减小,说明斑块连接程度有所降低;后 15 a 聚集度略有增加,说明斑

表 3 1990—2015 年研究区景观格局变化特征值
Table 3 Changes of eigenvalues of landscape pattern in study area from 1990 to 2015

景观指标	特征值		
	1990 年	2000 年	2015 年
TA(hm ²)	317 112	317 112	317 112
NP	74 317	84 640	81 249
PD(1/100 hm ²)	9.92	11.30	10.84
LSI	79.43	83.89	82.26
CONTAG	46.09	42.79	41.25
IJI	64.16	66.16	69.90
CONESION	99.57	99.33	99.30
PRD(1/100 hm ²)	0.001	0.001	0.001
SHDI	1.98	2.10	2.17
SHEI	0.86	0.91	0.94
AI	87.17	86.44	86.71
LCI	0.23	0.27	0.25

块连接程度增加。斑块形状指数先增加后减少,说明研究区总体上景观的形状结构先趋于复杂,后逐步趋于均匀,复杂程度略有降低,斑块形状的复杂性随着研究区保护力度和效果的提高而降低,景观形状结构复杂性趋于平缓。Shannon 多样性指数由 1.98 持续增加到了 2.17, Shannon 均匀度指数由 0.86 增加到 0.91,均呈稳步增加的趋势,这说明景观的异质性程度呈现上升趋势。景观丰富度一直保持不变,因此可以认为景观多样性指数和均匀度指数的上升是各个景观类型在面积分布上均匀度上升的结果。散步与并列指数稳步增加,表明各类景观斑块间的相邻概率增加,受到自然条件的影响效果显著。在研究区 25 a 发展历程中,景观格局逐渐向着多样化和均匀化方向发展。

2.2.2 类型水平上景观格局变化特征

本研究在类型水平上选取了 9 个指数对研究区 3 个时期各类地物的景观格局变化进行分析,结果如表 4 所示。

由表 4 数据可知,25 a 间,林地的各景观指数均发生了波动,呈现“先增加后减少”趋势的景观指标有:MPA、PLAND、CONTIG-MN、IJI 和 AI;而呈现“先减小后增大”趋势的有:NP、PD、LSI 和 LCI。1990—2000 年,平均斑块面积减小,聚集度也会随之变化,其景观破碎化程度就会随之加剧,林地覆被分散且易于破坏,生态恶化的承载力降低;2000—2015 年,林地平均斑块粘合度和聚集度一起增加,说明林地斑块间隙缩小,植树造林效果良好,降低了地表侵蚀效率。结合野外考察的实际情况可以看出,林地斑块面积的增加,与林地的连续性被破坏息息相关。

表 4 1990—2015 年研究区景观斑块类型特征值变换
Table 4 Changes of eigenvalues of landscape patches in study area from 1990 to 2015

景观类型	NP			PD			MPA(hm ²)		
	1990 年	2000 年	2015 年	1990 年	2000 年	2015 年	1990 年	2000 年	2015 年
A	2487	2297	2879	0.33	0.31	0.38	3.30	5.07	3.85
B	2237	13341	9316	0.30	1.78	1.24	4.23	1.58	1.20
C	134	146	261	0.02	0.02	0.03	365.07	347.74	179.32
D	5533	3080	3836	0.74	0.41	0.51	6.40	10.71	14.82
E	12506	17785	19209	1.67	2.37	2.56	8.45	4.09	2.26
F	19769	21923	15183	2.64	2.93	2.03	1.96	2.84	2.54
G	20975	8552	15210	2.80	1.14	2.03	1.40	2.15	3.09
H	2623	3826	531	0.35	0.51	0.07	2.93	3.20	29.21
I	6090	10126	6743	0.81	0.35	0.90	2.75	1.61	3.53
J	1963	3564	8081	0.26	0.48	1.08	8.60	5.25	2.83
景观类型	PLAND(%)			LSI			CONTIG-MN		
	1990 年	2000 年	2015 年	1990 年	2000 年	2015 年	1990 年	2000 年	2015 年
A	1.09	1.56	1.48	53.76	48.97	56.13	0.18	0.21	0.19
B	1.26	2.82	1.49	47.04	122.07	106.30	0.15	0.12	0.12
C	6.53	6.78	6.25	2.99	2.82	4.37	0.09	0.24	0.24
D	4.73	4.40	7.59	69.99	52.75	48.64	0.13	0.13	0.15
E	14.11	9.71	5.79	105.51	131.47	136.23	0.15	0.14	0.11
F	5.16	0.31	5.15	159.59	156.63	111.91	0.14	0.12	0.11
G	3.92	2.46	6.28	172.95	99.53	171.47	0.13	0.13	0.14
H	1.03	1.63	2.07	42.99	43.58	16.42	0.15	0.14	0.15
I	2.23	2.17	3.18	84.59	109.80	79.87	0.14	0.12	0.12
J	2.25	2.50	3.06	28.03	33.58	67.88	0.15	0.12	0.13
景观类型	IJI			LCI			AI		
	1990 年	2000 年	2015 年	1990 年	2000 年	2015 年	1990 年	2000 年	2015 年
A	46.74	54.57	43.16	0.30	0.20	0.26	82.46	86.63	84.23
B	60.34	60.58	78.31	0.24	0.63	0.84	85.76	74.92	69.99
C	23.30	31.40	54.53	0.003	0.003	0.01	99.73	99.76	99.53
D	57.36	23.01	56.83	0.16	0.09	0.07	88.99	91.43	94.00
E	65.09	62.49	62.39	0.12	0.24	0.44	90.35	85.47	80.49
F	55.38	71.00	61.07	0.51	0.35	0.39	75.76	81.26	83.03
G	62.34	45.16	66.39	0.71	0.46	0.32	69.85	78.17	76.37
H	35.00	40.18	29.17	0.34	0.31	0.03	85.57	88.40	96.27
I	28.25	46.59	51.34	0.36	0.62	0.28	80.57	74.35	84.62
J	56.54	55.66	62.84	0.12	0.19	0.35	93.74	92.83	86.71

水田的景观指标呈现“先增大后减小”趋势的指标有：NP、PD、PLAND 和 CONTIN-MN；呈现“先减小后增大”趋势的只有 LSI；持续增大的指标有 IJI 和 LCI；持续减小的指标有 MPA 和 AI。水田分散与并列指数持续增大，各斑块类型混合分布的程度增强。斑块面积先急剧增加后缓慢减少，与人为因素的强弱程度有很大关系，近 15 a 来艾比湖湿地受到保护，人为因素有所降低。林地和水田的斑块数量、景

观形状指数均先减小后增大，斑块形状也先简单化，后逐步趋于复杂。

水体的景观百分比呈现先增大后减小趋势，景观形状指数反之；持续增加的指标有：NP、PD、CONTIN-MN、IJI 和 LCI；持续降低的有 MPA 和 AI。湖面逐步萎缩，破碎度加剧，虽然斑块粘合度也呈现增加趋势，但是斑块逐步分裂的趋势无法遏制。历史上注入艾比湖的较大河流达到 11 条，但随着

时间的推移,目前只有精河、博尔塔拉河在秋冬两季有较大的水量入湖,奎屯河等多条河流在入湖前就因河流两岸过度用水而干涸。水体聚集度逐步降低,但相比其他景观类型,水体的聚集度却明显较高且较为稳定。在 25 a 里,聚集度均为 99 左右,说明其斑块链接程度最为理想,相对不易受人为活动影响。

湿地呈现“先减少后增加”趋势的指标有:NP、PD、PLAND 和 IJI;持续增加的有 MPA、CONTIN-MN 和 AI,LSI 和 LCI 持续降低。湿地的分散与并列指数的波动较大,先减小后增大趋势最为显著,易于与其他各类景观混合分布,尤其容易与中轻度盐渍地和重度盐渍地混合,也充分说明盐渍化程度加剧。景观破碎度和景观形状指数均明显减小,也说明湿地发展逐步均匀化。

戈壁的景观形状指数先减少后增加,持续增加的指标有 NP、PD 和 LCI;持续减小的有 MPA、IJI、AI、PLAND 和 CONTIN-MN。戈壁的斑块数量在 25 a 间,呈现持续增加趋势,充分说明研究区荒漠化程度加剧,这是由于水体缩减,土壤的盐渍化和沙漠化加剧导致戈壁破碎化的结果。目前戈壁的利用率较低,只能通过种植耐盐耐旱植被改良,但效果并不显著。

中轻度盐渍地的景观指标变化呈现“先增加后减少”趋势的有:NP、PD、MPA、IJI;呈现“先减少后增加”趋势的指标有:PLAND 和 LCI;持续减小的有 LSI 和 CONTIG-MN;持续增加的只有 AI。中轻度盐渍地常常会与重度盐渍地混合分布,相互转化频繁,导致中轻度盐渍地破碎化程度增加,平均景观粘合度降低。水体缩减,曾经受到盐湖浸润的土壤含盐量发生较大变化,经日晒风吹,盐渍地裸露出来,与原本的盐渍化土壤相互连接,促使中轻度盐渍地破碎化程度增大,分散与并列指数减小。

重度盐渍地的 AI 呈现先增加后减少趋势,呈现先减少后增加趋势的指标有 NP、PD、PLAND、LSI 和 IJI;MPA 持续增加,CONTIG-MN 和 LCI 持续减小。部分中轻度盐渍地不断向重度盐渍地转化,部分干涸的湖水,裸露出的土壤表层迅速风干,盐分随而析出,结晶在地表,与原有的以及转化而来重度盐渍地相互衔接,可以导致聚集度的增加;随后的 15 a,采取了增加种植吸盐植被,加大淡水注入艾比湖等方式,缓解盐渍化加剧的进程,斑块数量也随之先减少后增加。虽然当地一直保护研究区的生态环境,希望通过有效手段遏制盐渍化进程,但是土壤盐渍化依然在加剧,盐渍地向其他各类生态景观转化、其他各类

景观向各种程度盐渍地转化并存的进程中演变,并且此消彼长,难以平衡。

极重度盐渍地呈现“先增加后减少”趋势的指标有 NP、PD、LSI 和 IJI;呈现“先减少后增加”趋势的指标有:CONTIG-MN 和 LCI;持续增加的有 PLAND、MPA 和 AI。其中,斑块数量和景观形状指数在前 10 a 增加较为微弱,但是后 15 a 均急剧降低,极重度盐渍地大部分集中分布在艾比湖的西北方向,斑块分散程度低,历经 25 a 斑块数量明显减少,导致聚集度的稳步增加。平均景观粘合度和景观破碎度指数发生较微弱变化,波动范围小,盐渍化现状难以改良。但是,人们也充分发挥了研究区的盐渍化优势,盐业已成为周边县市(例如精河县)国民经济的支柱产业。

沙漠的景观指标变化呈现“先增加后减少”趋势的有 NP、LSI 和 LCI;呈现“先减少后增加”趋势的指标有 PD、MPA 和 PLAND;持续增加的只有 IJI;持续减小的只有 CONTIG-MN。艾比湖大面积的干缩引发了风沙天气,沙漠迁徙严重。沙丘移动速度在 20 世纪五六十年代平均每年为 5~7 m,90 年代增加到每年 30 m,严重威胁到绿洲生态系统的稳定性。只有在裸露的干涸湖底种植例如怪柳、梭梭和胡杨等耐盐植被,才能显著减少沙尘暴的强度和频率^[36]。

其他包括了山体、沙土、黏土等地物,CONTIG-MN 呈现先增加后减少趋势,IJI 呈现先减少后增加趋势;NP、PD、PLAND、LSI 和 LCI 持续增加;MPA 和 AI 持续减小。各个景观指标均发生变化,除了斑块数量等变化较大以外,其他景观指标波动范围均较小,相对较为稳定。

2.3 研究区土地利用/覆被变化对景观格局的影响

土地利用类型面积的变化可以直接影响景观格局的变化。规划者和设计者也能以土地利用和生态景观格局的定量评价作为有效的工具,从而作出明智的设计和规划^[37-38]。本文选取了动态变化较为显著的土地利用类型,分别是戈壁(E)、中轻度盐渍地(F)和重度盐渍地(G),研究这 3 类土地利用类型与景观格局间的变化关系,结果如图 2 所示。

由图 2 可知,戈壁、中轻度盐渍地和重度盐渍地的面积百分比分别从 1990 年的 33.3%、12.2% 和 9.3% 变化为 2011 年的 13.7%、12.2% 和 14.8%。景观粘合度指数从 1990 年的 46.09 下降到 2015 年的 41.25,且呈现逐年的递减趋势,与戈壁的面积递减的趋势一致。这表明戈壁减少,其他土地利用类型与戈壁的相互转化显著,景观之间的连接程度降低,各

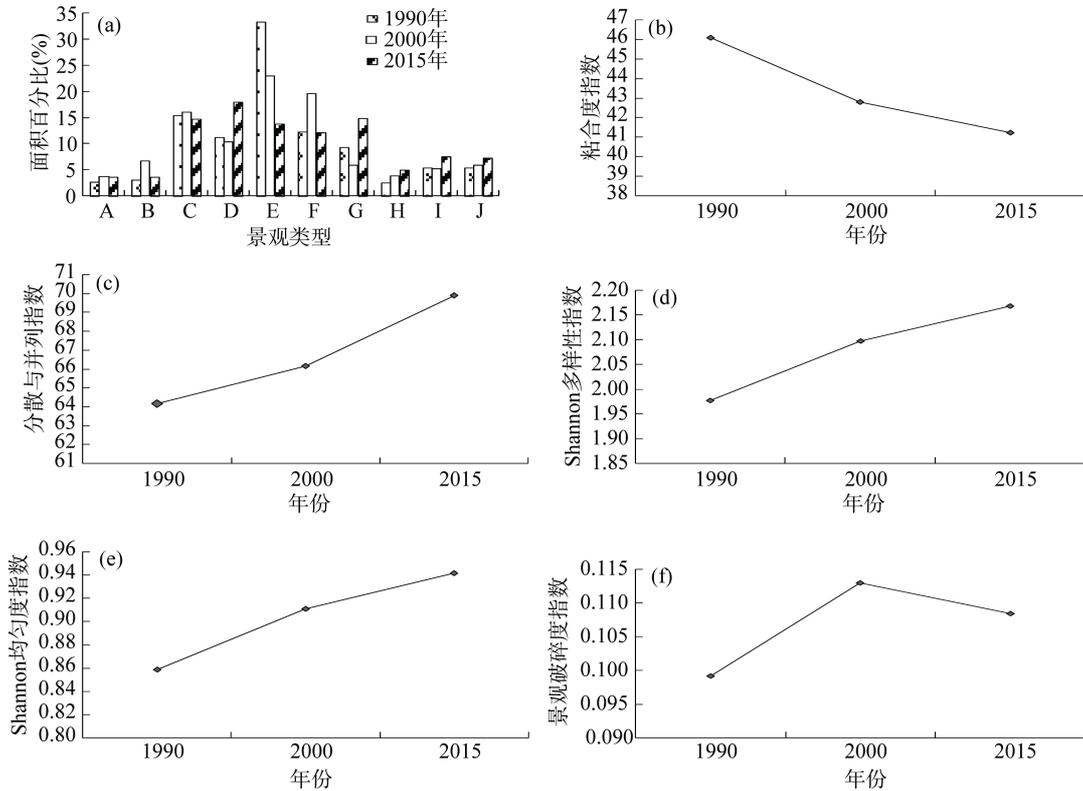


图 2 1990—2015 年土地利用/覆被类型与景观格局指数间的变化关系

Fig. 2 Impact of land-use change/cover on landscape pattern

个斑块相互之间距离增大,粘合度指数也随之受到影响。景观 Shannon 多样性指数和 Shannon 均匀度指数分别从 1990 年的 1.98 和 0.86 稳步递增到 2015 年的 2.17 和 0.94,结果表明研究区景观多样性基本随中轻度盐渍地和重度盐渍地面积增加呈上升态势,艾比湖湿地保护区景观类型趋于多样化。景观破碎度指数从 1990 年的 0.23 增加到 2000 年的 0.27,之后又下降至 2015 年的 0.25,但整体的上升趋势依然明显,究其原因主要是由于受到中轻度盐渍地面积变化的影响,中轻度盐渍地先呈现其在所有土地利用类型中的重要地位,但是随着荒漠植被减少,沙漠的变迁,荒漠化的加剧,以及向重度盐渍地与极重度盐渍地的转化,导致中轻度盐渍地逐渐失去了在盐渍地类型中的优势地位。景观破碎度指数的先上升后降低,同样证实了上述土地利用变化的结果,尤其 1990—2000 年,上升趋势明显,主要是中轻度盐渍地的增加而导致,湖面面积减小,干涸裸露出土壤的盐分随蒸发作用的牵引作用而至土壤表层,使得盐渍化土壤面积增大。同时,林地、水田等的增加和优化,也会导致景观多样性降低而优势度增加,但是由于这两类面积比率较小,所以作用不显著。保护区内沙漠的增加和迁移,也同样会造成景观破碎化程度增强。而 1990—2015

年,相对土地利用类型的面积大小对景观指标有着显著影响的是戈壁、中轻度盐渍地和重度盐渍地,也就是说土地利用变化对景观格局的直接影响为景观破碎度增加,蔓延度降低,均匀度增加,研究区景观整体先向破碎化发展,后略有所好转,向略稳定且优化的趋势发展。但是,研究区荒漠化、盐渍化的现状急需改善,景观破碎度、分散与并列指数增加趋势急需遏制。

3 结论

1)通过土地利用/覆被的动态度分析,结果显示在 25 a 间,研究区前 10 a 土地利用不十分合理,各种地物面积发生了很大变化,且变化速度较快,在之后的 15 a 里,各类地物面积变化速度较前 10 a 有所减慢。自艾比湖湿地开设保护区后,人为的破坏力降低,湿地得以修复,但是恶化的趋势依然没有扭转。水体面积减少,地下水位下降,加速了荒漠化进程,盐渍化程度有所加剧。其中戈壁、中轻度盐渍地和重度盐渍地的面积变化显著,全时段土地利用变化处于不平衡状态。

2)通过景观生态学分析,表明 1990—2015 年研究区各类地物的景观格局发生了很大的变化。景观的异

质性程度呈现上升趋势，景观丰富度一直保持不变，景观格局向着多样化和均匀化方向发展。景观斑块数目呈现先剧烈增加后逐步减少的趋势，说明景观分割情况先加剧后趋于稳步降低，景观格局缓慢的向着多样化和均匀化方向发展。但是，盐渍化的现状急需改善，景观破碎度、分散与并列指数增加趋势急需遏制。

3)艾比湖湿地保护区土地利用变化深刻影响景观格局的变化，戈壁、中轻度盐渍地和重度盐渍地面积的大小变化对景观指标有着显著的影响。戈壁面积的递减趋势直接改变了景观粘合度指数的大小。中轻度盐渍地和重度盐渍地此消彼长，变化显著，也直接影响了景观的分散与并列指数和景观破碎度指数的变化。

4)艾比湖湿地景观格局的稳定性依赖于土地利用情况和艾比湖水资源可持续利用的协调发展以及人类活动的有序化，因此，增加艾比湖入湖水量，增加耐盐耐旱植被，加强艾比湖湿地保护区的保护力度，才能优化研究区的景观结构和功能。

参考文献：

- [1] Ouyang W, Andrew K S, Fanghua H A G, et al. Accumulated effects on landscape pattern by hydroelectric cascade exploitation in the Yellow River basin from 1977 to 2006[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2015, 93: 163–171
- [2] 李红月, 殷秀琴, 马辰, 等. 长白山地丘陵区不同土地利用方式土壤动物群落生态分布特征[J]. *土壤学报*, 2017, 54(4): 1018–1028
- [3] 冯异星, 罗格平, 周德成, 等. 近 50a 土地利用变化对干旱区典型流域景观格局的影响——以新疆玛纳斯河流域为例[J]. *生态学报*, 2010, 30(16): 4295–4305
- [4] 尹昌应, 罗格平, 鲁蕾, 等. 内陆干旱区土地利用变化的景观格局特征分析——以新疆白杨河流域为例[J]. *干旱区地理*, 2008, 31(1): 67–74
- [5] 赵哈林, 刘任涛, 周瑞莲. 科尔沁沙地土地利用变化对大型土壤节肢动物群落影响[J]. *土壤学报*, 2013, 50(2): 413–418
- [6] 任红玲, 廉毅, 高枏婷, 等. 中国东北西部地区荒漠化发展前沿区域的遥感研究[J]. *第四纪研究*, 2002, 22(2): 136–143
- [7] 杜习乐, 吕昌河, 王海荣. 土地利用/覆被变化 (LUCC) 的环境效应研究进展[J]. *土壤*, 2011, 43 (3): 350–360
- [8] 张永民, 赵士洞, Verburg P H. CLUE-S 模型及其在奈曼旗土地利用时空动态变化模拟中的应用[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(3): 310–318
- [9] 肖翔, 李扬帆, 朱晓东. 基于土地利用驱动力的马尔科夫模型及其应用[J]. *土壤*, 2011, 43(5): 822–827
- [10] 何春阳, 史培军, 李景刚, 等. 基于系统动力学模型和元胞自动机模型的土地利用情景模型研究[J]. *中国科学 (D 辑): 地球科学*, 2005, 35(5): 464–473
- [11] 张月, 张飞, 王娟, 等. 基于 LUCC 的艾比湖区域生态风险评价及预测研究[J]. *中国环境科学*, 2016, 36(11): 3465–3474
- [12] 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[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(6): 944–956
- [13] 廖炜, 李璐, 吴宜进, 等. 丹江口库区土地利用变化与生态环境脆弱性评价[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(11): 1879–1889
- [14] Motelay-Massei A, Ollivon D, Garban B, et al. Distribution and spatial trends of PAHs and PCBs in soils in the Seine River basin, France[J]. *Chemosphere*, 2004, 55(4): 555–565
- [15] Peterjohn W T, Correll D L. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: Observations on the role of a Riparian forest[J]. *Ecology*, 1984, 65(5): 1466–1475
- [16] 占车生, 乔晨, 徐宗学, 等. 基于遥感的渭河关中地区生态景观格局变化研究[J]. *资源科学*, 2011, 33(12): 2349–2355
- [17] Xiu-Hong W, Zheng D, Yuancun S. Land use change and its driving forces on the Tibetan Plateau during 1990–2000[J]. *Catena*, 2008, 72(1): 56–66
- [18] Feddema J J, Oleson KW, Bonan G B, et al. The importance of land-cover change in simulating future climates[J]. *Science*, 2005, 310(5754): 1674–1678
- [19] 李艳红, 楚新正, 金海龙. 新疆艾比湖流域水文特征分析[J]. *水文*, 2006, 26(5): 68–71
- [20] 吴敬禄, 刘建军, 王苏民. 近 1500 年来新疆艾比湖同位素记录的气候环境演化特征[J]. *第四季研究*, 2004, 24(5): 585–590
- [21] 鲁如坤, 陈怀满, 周健民, 等. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 80–96
- [22] 何书金, 王秀红, 邓祥征, 等. 中国西部典型地区土地利用变化对比分析[J]. *地理研究*, 2006, 25 (1): 79–87
- [23] 杨依天, 郑度, 张雪芹, 等. 1980—2010 年和田绿洲土地利用变化空间耦合及其环境效应[J]. *地理学报*, 2011, 66(6): 813–824
- [24] 伏洋, 肖建设, 校瑞香, 等. 基于 RS 和 GIS 的西宁市 LUCC 分析及模拟预测[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(7): 211–219
- [25] 李传哲, 于福亮, 刘佳, 等. 近 20 年来黑河干流中游地区土地利用/覆被变化及驱动力定量研究[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(3): 353–363
- [26] 邱露露, 李德成, 赵玉国, 等. 基于不同土壤分类系统的土壤景观格局分析——以我国西北黑河流域中游地区为例[J]. *土壤*, 2016, 48(5): 1022–1031
- [27] Xie Y, Sha Z, Yu M. Remote sensing imagery in vegetation mapping: A review[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 1(1): 9–23
- [28] 焦加国, 武俊喜, 李辉信, 等. 华南丘陵区村级景观下土地利用/土地覆盖对土壤质量的影响[J]. *土壤学报*, 2007, 44(2): 204–211

- [29] Marcucci D J. Landscape history as a planning tool[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2000, 49(1): 67–81
- [30] Corry R C. Characterizing fine-scale patterns of alternative agricultural landscapes with landscape pattern indices[J]. *Landscape Ecology*, 2005, 20(5): 591–608
- [31] Veerle V E, Marc A. A stepwise multi-scaled landscape typology and characterisation for trans-regional integration, applied on the federal state of Belgium[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2015, 91(3): 160–170
- [32] 白元, 徐海量, 刘新华, 等. 塔里木河干流耕地动态变化及其景观格局[J]. *土壤学报*, 2013, 50(3): 492–500
- [33] Alonso P F, Ruiz L A, Turner J, et al. Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaloa, Mexico[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2003, 46(6/7): 583–600
- [34] Saiful A A, Nobukazu N. Changes in landscape spatial pattern in the highly developing state of Selangor, peninsular Malaysia[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 77(3): 263–275
- [35] 姜红涛, 张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 等. 渭干河-库车河流域及其子流域景观格局变化分析[J]. *土壤*, 2014, 46(5): 942–947
- [36] 钱亦兵, 吴兆宁, 杨青, 等. 新疆准噶尔盆地沙尘天气的地表环境判别[J]. *地理学报*, 2005, 60(6): 981–990
- [37] Opdam P, Foppen R, Vos C. Bridging the gap between ecology and spatial planning in landscape ecology[J]. *Landscape Ecology*, 2001, 16 (8): 767–779
- [38] Botequilha L A, Ahern J. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2002, 59 (2): 65–93

Effect of LUCC Change on Evolution of Landscape Pattern in Ebinur Wetland

SUN Qian¹, Aliya BADRULLA¹, Ilyas NURMEMET²

(1 *College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China*; 2 *Key Laboratory of Oasis Ecology under the Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi 830046, China*)

Abstract: The Ebinur Wetland Reserve was taken as the study area, the measured data of soil properties and TM/ETM+images on October 5 of 1990, September 25 of 2000 and September 13 of 2015 were used as the basic information. First, The feasible classification system of LUCC was setup, then the dynamic changes of land use and space-time evolution of landscape pattern were analyzed during the 25 years and the effects of land use changes on the evolution of landscape pattern were explored further and deeply. The results showed that: 1) The dynamic degree of land use was 0.97% from 1990 to 2015, showed a decreasing trend, and the change of land use transformed from severe state to equilibrium state. From 1990 to 2000, although the areas of forest land and paddy fields increased, the areas of mild-slight saline land and extremely severe saline land obviously increased. From 2000 and 2015, the area of water decreased evidently while the area of desert sharply increased, and the areas of severe saline and extremely severe saline increased too. 2) During the 25 years, great changes occurred in the landscape pattern. CONTAG decreased gradually, dispersity index increased sharply, ductility of the landscape declined, landscape fragmentation exacerbated. SHDI and SHEI showed a stable increasing trend, indicating the increase landscape heterogeneity. 3) The change of land use influenced landscape pattern, increased landscape dispersity and evenness index while decreased CONTAG, landscape was firstly fragmented and then turned better to optimized and stabilized, but generally the trend of salinization and desertification was still stern. The study proposes further an improvement scheme, which is significant to rational use and sustainable development of land resources in study area.

Key words: Land use and land cover; Landscape pattern; Ebinur wetland; Salinization