

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.202203041



新疆阿克苏地区景观格局与生境质量 时空演变及影响机制

王晓琴^{1,2}, 王宏卫^{1,2}, 谈波^{1,2}, 周璟^{1,2}, 代芯妍^{1,2}, 马晨^{1,2}

(1. 新疆大学 地理与遥感科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830017;

2. 新疆大学 绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830017)

摘要: 基于新疆阿克苏地区 1980—2020 年土地利用的数据, 利用景观格局指数、生境质量模型分析不同景观的结构特征和时空格局的变化、生境质量演变规律, 借助地理探测器模型探测阿克苏地区生境质量变化的驱动因子. 结果表明: 1980—2020 年, 耕地、林地、建设用地及未利用地面积增加, 草地和水域面积减少; 优势景观类型对整体景观的主导力逐渐下降, 不同土地利用类型也呈现出差异化的景观格局变化; 阿克苏地区生境质量处于偏低水平, 除乌什县外, 其他县、市平均生境质量均呈现波动下降趋势; 平均斑块面积、景观分裂指数、人口密度对阿克苏地区生境质量的变化贡献率占据主导地位; 政策宏观调控因素与自然地理环境因素及社会经济发展因素之间的交互作用逐渐加强, 尤其是人均国内生产总值(GDP)、农民人均纯收入与自然地理环境因素之间的协同作用最强.

关键词: 土地利用变化; 生境质量模型; 地理探测器模型; 时空演变; 阿克苏地区

中图分类号: P 968(245); X 37

文献标志码: A

文章编号: 1000-5013(2022)06-0777-13

Spatial-Temporal Evolution and Influence Mechanism of Landscape Pattern and Habitat Quality in Aksu Region of Xinjiang

WANG Xiaoqin^{1,2}, WANG Hongwei^{1,2}, TAN Bo^{1,2},
ZHOU Jing^{1,2}, DAI Xinyan^{1,2}, MA Chen^{1,2}

(1. College of Geography and Remote Sensing Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830017, China;

2. Xinjiang Key Laboratory of Oasis Ecology, Xinjiang University, Urumqi 830017, China)

Abstract: Based on the land-use data of Aksu Region of Xinjiang during 1980-2020, the structural characteristics of different landscapes, the changes in spatio-temporal patterns and the habitat quality evolution of different landscapes were analyzed by using the landscape pattern indexes and the habitat quality model. The driving factors of habitat quality changed in the Aksu Region were detected by means of the geographical detector model. The results show that, during 1980-2020, the areas of the arable land, the forest land, the construction land and the unused land increase, and the areas of grassland and body of water decrease. The dominance of dominant landscapes types on the overall landscape gradually declines, and the different land-use types also show differentiated landscape pattern change. The habitat quality in Aksu Region is at a low level, and the

收稿日期: 2022-03-29

通信作者: 王宏卫(1967-), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事干旱区生态环境与城乡发展的研究. E-mail: wang-hw_777@xju.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41861037)

average habitat quality of other counties and cities except Wushi County show a fluctuating downward trend. The contribution rate of the average plaque area, the landscape division indexes, and population density to changes in habitat quality in Aksu Region dominate leading position. The interaction among the policy macro-control factors, the natural geographical environment factors, and the social and economic development factors has gradually strengthened, especially the synergy among per capita gross domestic product (GDP), per capita net income of farmers and natural geographical environment factors is the strongest.

Keywords: land-use change; habitat quality model; geographical detector model; spatio-temporal evolution; Aksu Region

近年来,随着经济和社会的快速发展,土地利用变化和土地覆盖的变化成为造成温室气体排放、生物多样性破坏等一系列全球环境变化的重要驱动因素^[1]. 景观的剧烈变动、生态系统消耗和污染的增加直接或间接地导致栖息地的丧失、破碎化和退化^[2-3]. 快速的土地利用和气候变化将导致大规模的全球土地覆盖转变,从而增加物种灭绝概率^[3]. 了解区域土地利用演变及其对生态系统的总体影响,特别是对生物多样性保护的影响,将有助于制定生态可持续的相关政策^[4].

景观格局指数能够高度浓缩区域景观格局信息^[5-7]. 区域尺度上景观格局变化的定量分析可以揭示景观生态环境变化的趋势,这对于制定区域景观生态环境保护策略具有重要的现实意义^[8]. 生境质量是生态系统为物种个体或种群提供生存与繁殖资源的能力^[9],它是区域生物多样性和生态服务水平的重要表征和反映,也是区域生态安全保障和人类福祉提升的关键环节^[10]. 研究生境质量的时空演变及影响因素,是制定区域可持续发展对策的前提,也是进行土地利用规划、建设和管理的一项不可或缺的基础性工作^[11]. 目前,国内外学者在生境质量方面已经展开大量研究^[12-15],研究内容主要集中在当前及未来土地利用变化对生境质量的影响^[16-20],而对生境质量其影响因素探究的较少;研究方法主要有实地调研法及模型法^[21,22],特别是 InVEST 生境质量模型操作简单、数据处理和分析能力较强等^[23],在当前区域生境质量评估方面有广泛的应用.

新疆阿克苏地区幅员广大,同时具有山区、盆地、谷地、平原、沙漠等多种复杂地形结构,各地气候差异显著,是一个典型的生态脆弱地区. 随着城市建设和工业旅游业的加速发展,该区也出现人口压力较大、植被退化、水土流失严重、生物多样性减少等生态环境问题. 在此背景下,本文对阿克苏地区景观格局与生境质量时空演变及影响机制展开研究.

1 阿克苏地区概况及数据来源

1.1 阿克苏地区概况

阿克苏地区位于中国新疆维吾尔自治区西部,天山山脉中段南麓、塔里木盆地北缘,塔里木河中上游地区. 年平均降水量为 61.7 mm,年平均气温为 11.1 ℃. 2020 年,阿克苏地区环境空气质量优良天数达到 237 d,占 64.8%,全年实现地区(含新疆生产建设兵团第一师)生产总值(GDP)1 315.05 亿元,第一产业增加 313.37 亿元,第二产业增加 392.35 亿元,第三产业增加 609.33 亿元,第一产业、第二产业、第三生产总值比为 23.8 : 29.9 : 46.3. 阿克苏地区的 10 个行政单元分别是阿克苏市、库车市、新和县、沙雅县、拜城县、温宿县、阿瓦提县、柯坪县、乌什县和阿拉尔市. 阿克苏地区概况图,如图 1 所示.

1.2 数据来源

1) 1980 年、1990 年、2000 年、2010 年、2020 年的阿克苏土地利用数据从中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>)获得,数据的空间分辨率为 30 m×30 m,所用的投影为 Albers 投影,土地利用类型有如下 19 种:耕地、有林地、灌木林地、疏林地、其他林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、水域、城镇用地、农村居民点、建设用地、沙地、戈壁、盐碱地、沼泽地、裸土地、落岩石质地、其他用地.

根据阿克苏地区土地利用现状,文中将其归纳为 6 种土地利用类型:耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地.

2) 数字高程模型(DEM)数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>),空间分辨率为

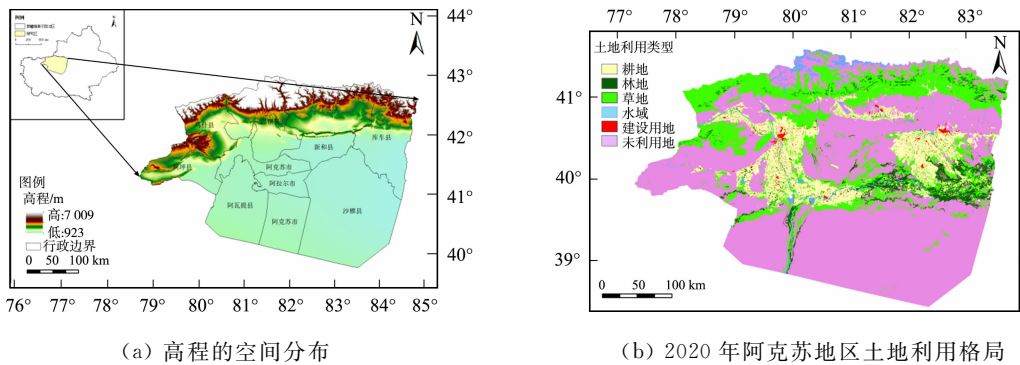


图 1 阿克苏地区概况图

Fig. 1 Overview maps of Aksu Region

30 m×30 m.

3) 经济统计数据来源于中国县域统计年鉴、新疆统计年鉴及阿克苏统计年鉴。

2 研究方法

2.1 景观格局指数

景观格局指数能够反映不同景观的结构特征和时空格局的变化^[24-25]. 因为单个景观格局指数难以反映阿克苏地区实际情况, 因此, 在景观水平和分级水平选择景观格局指数反映阿克苏地区景观格局, 并借助 Fragstats 4.2 软件从整体分析阿克苏地区景观的分裂指数、形状复杂化和多样性等^[24].

2.2 生境质量模型

采用 InVEST 生境质量模型, 通过不同土地利用类型对威胁因子的敏感度及外界的威胁强度, 计算生境质量的退化度, 从而计算生境质量^[26].

生境退化度的线性衰退计算公式^[27]为

$$D_{x,j} = \sum_1^r \sum_1^y \left(\frac{W_r}{\sum_{r=1}^n W_r} \right) \times r_y \times i_{r,x,y} \times \beta_x \times S_{j,r}. \tag{1}$$

生境退化度的指数衰退计算公式^[27]为

$$i_{r,x,y} = \begin{cases} 1 - \left(\frac{d_{x,y}}{d_{r,max}} \right), \\ \exp \left[- \left(\frac{2.99}{d_{r,max}} \right) \right] \times d_{x,y}. \end{cases} \tag{2}$$

式(1),(2)中: $D_{x,j}$ 为土地利用类型 j 中栅格 x 的生境退化程度, $0 \leq D_{x,j} \leq 1$, $D_{x,j}$ 越接近于 1, 生境退化程度越高; W_r 为不同威胁因子的权重, r 为生境威胁因子; r_y 为威胁因素强度, y 为威胁因子 r 中的栅格; β_x 为生境抗干扰水平; $S_{j,r}$ 为不同生境质量对不同威胁因子的相对敏感程度; $i_{r,x,y}$ 为栅格 y 中的威胁因子 r 对栅格 x 的影响; $d_{x,y}$ 为栅格 x 与栅格 y 之间的距离; $d_{r,max}$ 为威胁因子 r 的影响范围.

生境质量计算公式^[28]为

$$Q_{x,j} = H_{x,j} \times \left[1 - \left(\frac{D_{x,j}^2}{D_{x,j}^2 + K^2} \right) \right]. \tag{3}$$

式(3)中: $Q_{x,j}$ 为土地利用类型 j 中栅格 x 的生境质量, $Q_{x,j}$ 位于 $0 \sim 1$ 之间, $Q_{x,j}$ 越大表示生境质量越好; $D_{x,j}$ 为土地利用类型 j 上栅格 x 的生境退化度; $H_{x,j}$ 为土地利用类型 j 中栅格 x 的生境适应性; K 是半饱和常数, 取最大退化度(模型第 1 次运行后得到的结果)的一半.

综合考虑阿克苏地区实际及已有研究成果等, 选择耕地、建设用地、城镇、农村居民点、沙地及盐碱地作为威胁因子, 将其威胁生境质量的最大影响距离分别设置为 3, 8, 5, 1, 1, 1 km. 相关参数的设置主要参考 InVEST 模型用户手册^[28]、相关学者研究成果^[29-31] 及阿克苏地区实际情况与人为因素, 并确定阿克苏地区 19 种生境类型.

19 种土地利用类型对各威胁因子的生境适宜性和敏感性, 如表 1 所示.

表 1 19 种土地利用类型对各威胁因子的生境适宜性和敏感性
Tab. 1 Habitat suitability and sensitivity of 19 land-use types on each threat factor

土地利用类型	生境适宜性	敏感性					
		耕地	城镇	居民点	建设用地	沙地	盐碱地
耕地	0.50	0	0.80	0.60	0.70	0.40	0.40
有林地	1.00	0.70	0.90	0.80	0.80	0.05	0.50
灌木林地	1.00	0.60	0.80	0.70	0.70	0.40	0.40
疏林地	0.90	0.70	0.90	0.80	0.80	0.50	0.50
其他林地	0.90	0.70	0.90	0.80	0.80	0.50	0.50
高覆盖度草地	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
中覆盖度草地	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.70	0.70
低覆盖度草地	0.70	0.70	0.80	0.80	0.80	0.70	0.70
水域	0.90	0.50	0.60	0.70	0.70	0.50	0.50
城镇用地	0	0	0	0	0	0	0
农村居民点	0	0	0	0	0	0	0
建设用地	0	0	0	0	0	0	0
沙地	0.20	0.30	0.40	0.35	0.60	0	0
戈壁	0.30	0.30	0.50	0.45	0.60	0	0
盐碱地	0.10	0.20	0.50	0.45	0.60	0	0
沼泽地	0.60	0.40	0.20	0.20	0.30	0	0
裸土地	0.10	0.20	0.50	0.45	0.60	0	0
落岩石质地	0.10	0.20	0.50	0.45	0.60	0	0
其他用地	0.10	0.20	0.50	0.45	0.60	0	0

2.3 地理探测器模型

地理探测器用于探测空间异质性,揭示驱动力因子,主要分为因子探测、交互探测、风险探测及生态探测^[32].文中主要通过地理探测器模型对阿克苏地区生境质量影响因素进行因子探测及交互探测.因子探测主要测度不同因子对生境质量空间差异的解释程度,其表达式为

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2. \tag{4}$$

式(4)中: q 表示某个因子对生境质量 h 的解释程度, q 的取值范围为 $[0,1]$, q 越大,表明分类因素对生境质量的解释程度越强; N_h 和 σ_h^2 分别表示整个区域的样本量和方差; N 和 σ 分别表示探测区域的样本量和方差.

交互探测主要探测各因素之间影响生境空间分异的相互关系.原理如下:若 $P(x \cap y) < \min(P(x), P(y))$,说明因子 x 和 y 交互后非线性减弱;若 $\min(P(x), P(y)) < P(x \cap y) < \max(P(x), P(y))$,说明因子 x 和 y 交互后单因子非线性减弱;若 $P(x \cap y) > \max(P(x), P(y))$,说明因子 x 和 y 交互后双因子加强;若 $P(x \cap y) > P(x) + P(y)$,说明因子 x 和 y 交互后非线性加强;若 $P(x \cap y) = P(x) + P(y)$,说明因子 x 和 y 相互独立.

3 研究结果与分析

3.1 土地利用变化趋势

1980—2020年,阿克苏地区耕地、林地、建设用地及未利用地面积增加,草地和水域面积减少.其中,耕地面积增加6 974.76 km²,是1980年的1.85倍;林地面积则先轻微减少,再持续增加,至2010年又开始小幅减少;草地和水域则分别是1980年的0.69倍和0.57倍;未利用地面积在研究期内增加了7.32%.造成这种变化的主要原因是阿克苏地区在实行退耕还林的过程中,仍在持续进行城镇的建设及农田的开垦,致使整个研究时段内草地和水域面积大幅减少.

1980—2020年土地利用转移面积矩阵,如表2所示.表2中: S_T 为转移面积.由表2可知:在研究的4个时段内,草地主要转化为未利用地,特别是在2000—2010年,还有部分草地转换为林地和耕地,同

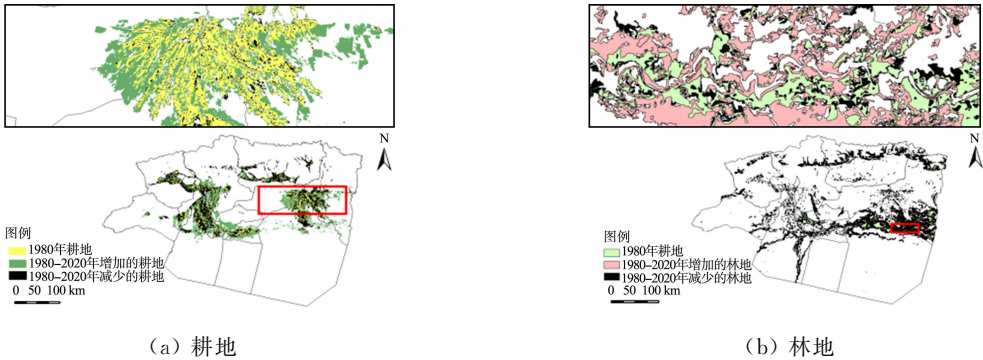
表 2 1980—2020 年土地利用转移面积矩阵
Tab. 2 Land-use change matrix during 1980-2020

时间段	土地利用类型	S _T /km ²					
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
1980—1990 年	耕地	8 243.76	0.02	0.71	0.84	0.16	0.16
	林地	0.94	4 909.00	0.36	4.04	0	3.87
	草地	0.65	0.52	38 990.80	45.15	0.02	17.13
	水域	0.15	16.99	22.82	4 740.82	0	2.75
	建设用地	0.13	0	0.97	0	564.91	0.07
	未利用地	0.15	0.04	4.51	6.47	0.01	74 110.12
1990—2000 年	耕地	7 374.42	83.05	1 429.80	24.35	126.13	293.51
	林地	127.51	4 787.93	194.32	15.21	0.07	310.81
	草地	484.98	5.57	35 228.39	76.01	8.40	738.01
	水域	39.11	18.65	305.74	4 585.67	0.84	70.10
	建设用地	100.48	0.02	8.68	0.04	428.33	6.82
	未利用地	119.13	22.99	1 886.84	82.23	2.32	72 701.28
2000—2010 年	耕地	7 751.77	887.68	2 720.41	162.02	312.42	1 023.85
	林地	441.00	1 937.76	3 013.14	124.42	41.53	521.17
	草地	569.36	1 932.00	18 480.23	994.39	15.86	7 177.70
	水域	52.95	108.80	382.64	1 666.92	1.41	341.88
	建设用地	365.00	17.54	44.19	2.58	166.32	63.68
	未利用地	151.26	552.07	11 900.75	2 069.79	6.82	65 686.52
2010—2020 年	耕地	12 767.78	157.90	1 720.55	12.88	2.69	558.70
	林地	4.39	5 857.97	21.92	0.85	0.20	3.06
	草地	33.35	51.47	26 902.55	53.46	0.13	11.18
	水域	1.50	5.33	158.27	2 476.52	0.03	92.12
	建设用地	46.96	3.48	20.76	0.04	656.13	70.84
	未利用地	4.75	2.89	348.82	4.23	0.13	79 631.76

时期有大面积的草地、林地、未利用地转换为耕地,这是因为 1997 年,作为新疆重要粮食生产基地的阿克苏地区大力推进粮糖棉基地的建设,荒地开垦等;水域面积 2000 年后开始迅速减少,2010—2020 年,水域面积又开始小幅上升;建设用地变化最明显是在 2000—2020 年,建设用地增加了 752.28 km²,建设用地增加主要是由于阿克苏地区人口的增加和经济增长,县改市等,导致阿克苏地区县域进行扩建改造,城市建设速度加快,建成区面积不断扩大。

1980—2020 年每种土地利用类型的空间变化,如图 2 所示。由图 2 可知:耕地的增加面积主要集中在阿克苏市、阿拉尔市、新和县、拜城县及乌什县;建设用地变化则主要依托城市的发展,增加面积主要位于各县、市的城区;水域面积减少主要在温宿县北部;草地、林地的面积变化分布较为分散,草地面积减少了 44.24%,林地面积则是增加了 16.33%;未利用地面积增长了 7.00%。

综上所述,1980—2020 年土地利用变化的主要特征是耕地、建设用地持续不断增加,草地和水域大面积减少。



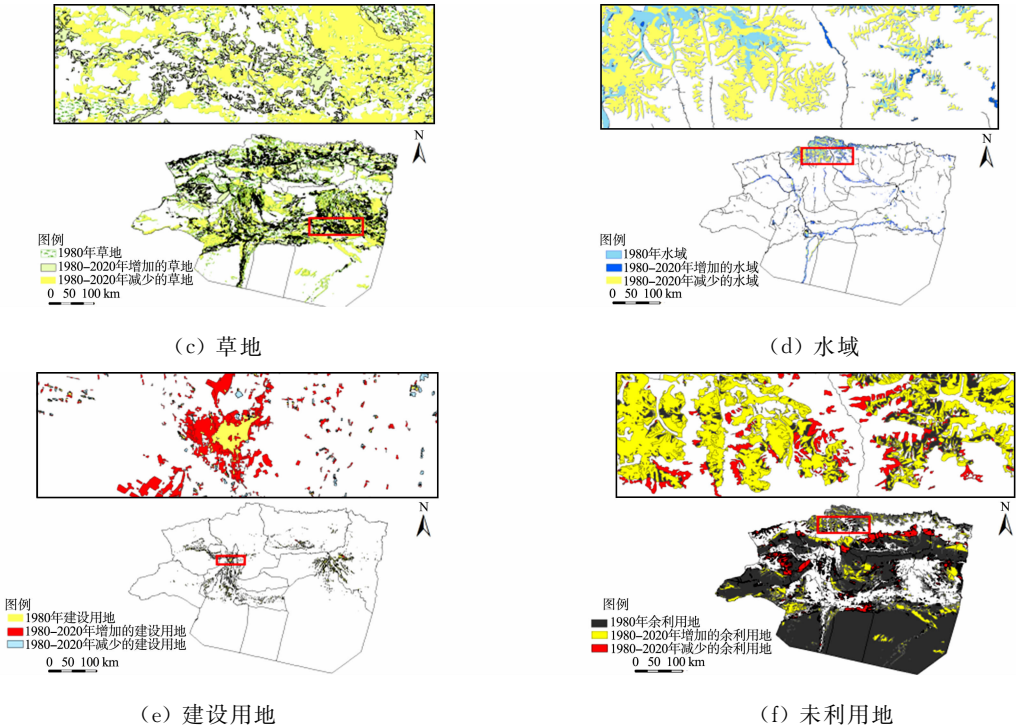


图 2 1980—2020 年每种土地利用类型的空间变化

Fig. 2 Spatial changes of each land-use type during 1980—2020

3.2 景观格局的变化

3.2.1 景观水平的景观格局的变化 1980—2020 年,景观水平的景观格局指数变化,如表 3 所示.表 3 中: I_L 为景观格局指数; N 为斑块数量; ρ_P 为斑块密度; I_P 为大斑块指数; ρ_E 为边缘密度; I_F 为景观形状指数; I_C 为蔓延度指数; I_J 为散布与并列指数; COH 为斑块结合度; I_D 为景观分裂指数; I_S 为香农多样性指数; I_{SH} 为香农均匀度指数.

表 3 景观水平的景观格局指数变化

Tab. 3 Landscape metrics change at landscape level

年份	I_L											
	N	ρ_P	I_P	ρ_E	I_F	I_C	I_J	COH	I_D	I_S	I_{SH}	
1980	3 226	0.02	22.783 0	3.430 2	32.652 0	52.043 2	67.995 1	98.349 3	0.900 2	1.122 6	0.626 5	
1990	3 231	0.02	22.784 0	3.431 3	32.662 0	52.048 7	67.975 7	98.350 2	0.900 2	1.122 4	0.626 4	
2000	3 335	0.03	22.669 0	3.391 6	32.302 0	51.261 8	71.870 8	98.329 8	0.899 4	1.142 0	0.637 3	
2010	3 704	0.03	25.396 0	3.188 7	30.459 0	53.074 0	77.082 4	98.239 8	0.882 6	1.107 4	0.618 1	
2020	3 797	0.03	25.390 0	3.181 2	30.388 0	52.368 0	78.993 3	98.253 0	0.883 2	1.126 9	0.628 9	

由表 3 可知: N 在持续增长,说明景观的破碎化程度在逐步提高^[33],且 2000—2010 年破碎化程度最为明显; ρ_P 的变化趋势与 N 基本一致; I_P 在研究期内也呈现整体增加的趋势,这表明阿克苏地区优势景观类型未利用地不断扩展变化,对当地景观格局的影响大,这与上述未利用地面积整体增加的结论一致; ρ_E 和 I_D 在研究期内均呈现减小的趋势; I_C 呈现波动增长变化趋势,特别是 2000—2010 年增长最为显著,表明研究时段内景观的优势斑块类型逐渐形成了良好的连接;1980—2020 年, I_J 增加了近 11%,说明景观分布聚集程度增加,景观向密集方向转变; I_S 和 I_{SH} 呈现波动增长的变化趋势,表明近 40 年阿克苏地区景观多样性在不断发生变化,但整体上景观多样性增强且各斑块类型趋于均匀分布.优势景观类型未利用地对整体景观的主导力逐渐下降,原因在于研究期内耕地、林地、建设用地面积的增加,使各景观类型面积比例的差异缩小.

3.2.2 分级水平的景观格局指数 在分级水平下,不同土地利用类型也呈现出差异化的景观格局变化.不同土地利用类型的景观格局指数变化,如图 3 所示.图 3 中: I_A 为聚集度指数; \bar{s}_P 为平均斑块面积; δ 为各种土地利用类型面积占总面积的比例.由图 3 可知以下 7 点结论.

1) 研究期内,各土地利用类型的 N 和 ρ_P 变化较大,建设用地和水域的 N 和 ρ_P 呈现逐年增加趋势,林地 N 和 ρ_P 的变化与草地相反,与未利用地变化一致,这与人类活动及近 40 年来阿克苏地区经济发展有着密切关系,耕地的 N 和 ρ_P 先减少后显著增加,这也与上述土地利用类型变化情况一致。

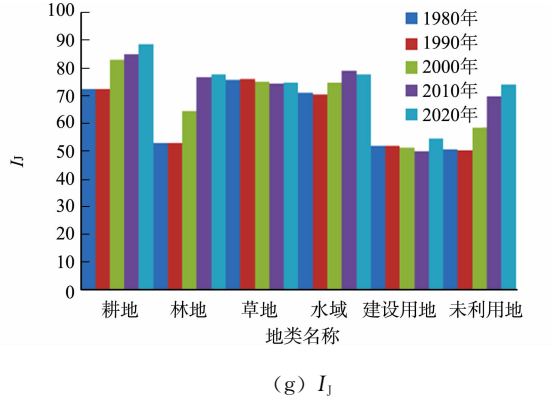
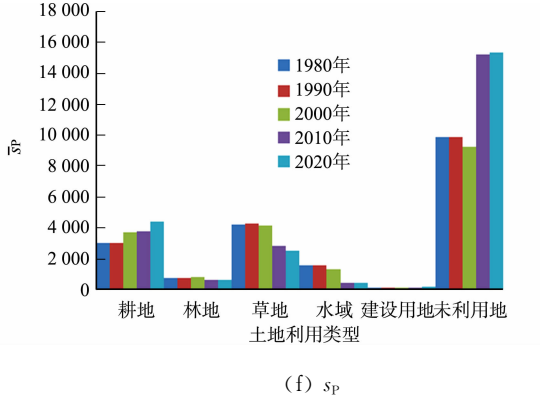
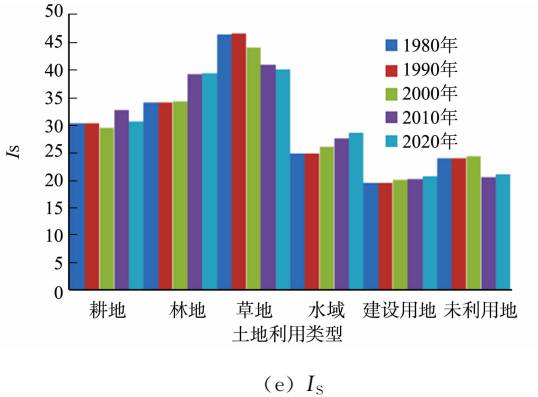
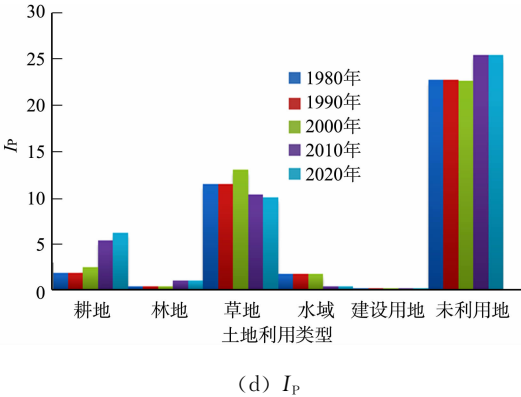
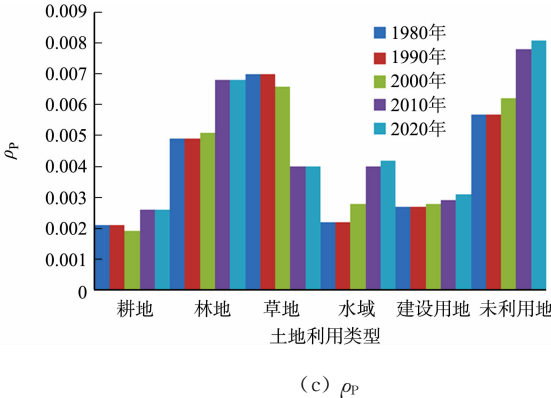
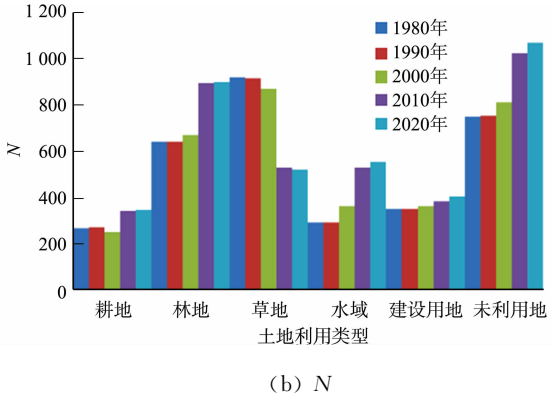
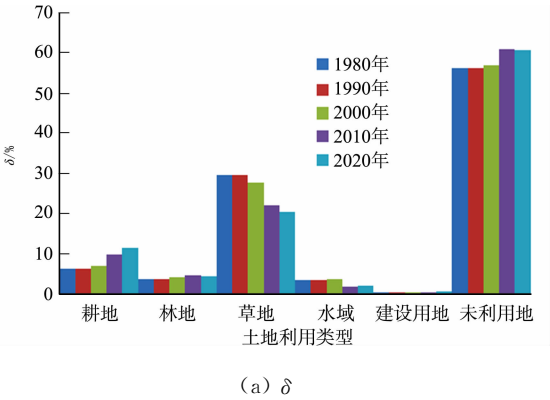
2) 在研究期内的各个时间节点,未利用地 δ 为种植面积最大,其次是草地,耕地,林地。

3) 林地、草地、水域的 \bar{s}_P 减少,耕地在研究期内的 \bar{s}_P 增加最明显,其次是建设用地。未利用地 \bar{s}_P 从 2000—2010 年开始显著增加,同时期的林地、草地、水域的 \bar{s}_P 减少。

4) I_P 的变化来看,未利用地一直是优势景观,草地的 I_P 在研究时段内整体呈减小的趋势,水域的 I_P 在 2000—2010 年减少最为迅猛,而同时段内,耕地、林地的 I_P 却呈显著增加趋势,表明连片耕地面积随着耕地斑块密度和斑块数量的增加而增加。

5) 建设用地的 I_C 和 I_A 在 2000—2010 年开始飞速增长,阿克苏地区其他地类的 I_C 和 I_A 普遍较高。

6) 耕地、林地、未利用地 I_J 在研究时段内变化较明



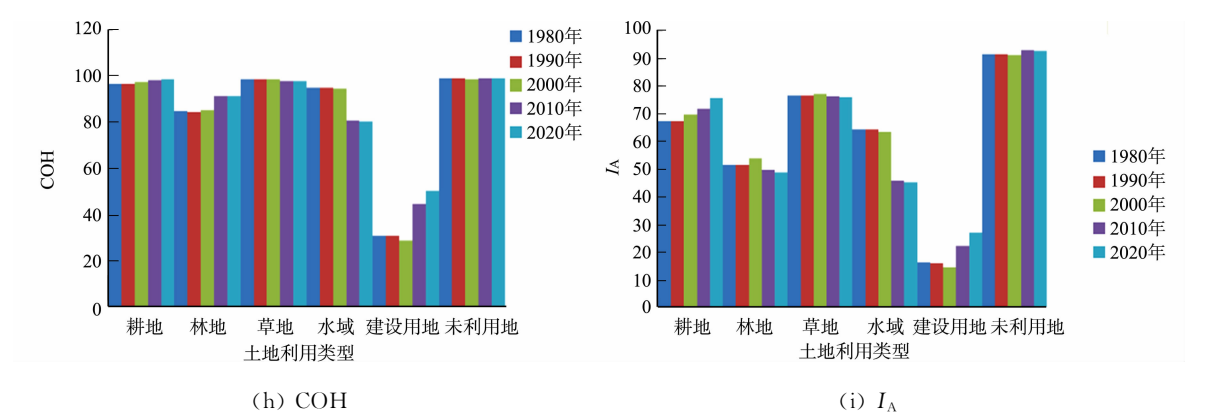


图 3 不同土地利用类型的景观格局指数变化

Fig. 3 Landscape pattern indexes of different land-use types

显,证明其易受人类活动的影响,特别是 2000—2010 年,大规模的植树造林使林地 I_j 迅速增加,同时,各时间节点建设用地 I_j 最小,耕地 I_j 值最大,说明耕地间邻接分布基本均匀。

7) 1980—2020 年,林地、水域、建设用地的 I_j 呈现增长趋势,说明这 3 种景观类型的斑块形状复杂程度在不断增加。

3.3 生境质量的演变规律

3.3.1 生境质量时间的变化 1980—2020 年每种等级生境质量的面积及比例,如表 4 所示.表 4 中: Q_H 为生境质量; s_H 为生境质量面积, η 为每种等级生境质量面积占总的生境质量面积比例; \overline{Q}_H 为平均生境质量。

表 4 1980—2020 年每种等级生境质量面积及比例

Tab. 4 Area and ratio of each HQ level during 1980-2020

生境质量	Q_H	1980 年		1990 年		2000 年		2010 年		2020 年	
		s_H/km^2	$\eta/\%$	s_H/km^2	$\eta/\%$	s_H/km^2	$\eta/\%$	s_H/km^2	$\eta/\%$	s_H/km^2	$\eta/\%$
低	0~0.2	27 242.25	20.68	27 270.75	20.71	27 061.75	20.55	30 163.00	22.90	30 661.50	23.28
较低	0.2~0.4	51 062.00	38.77	51 022.50	38.74	51 511.50	39.11	54 841.50	41.64	53 950.25	40.96
中等	0.4~0.6	10 985.50	8.34	10 988.00	8.34	11 938.75	9.06	15 595.25	11.84	17 779.50	13.50
高	0.6~0.8	32 008.50	24.30	32 048.50	24.33	30 345.25	23.04	21 938.25	16.66	20 416.25	15.50
较高	0.8~1.0	10 410.00	7.90	10 378.50	7.88	10 851.00	8.24	9 170.25	6.96	8 900.75	6.76
\overline{Q}_H		0.395 32		0.395 26		0.394 16		0.361 19		0.358 29	

由表 4 可知以下 2 点结论。

1) 1980—2020 年,阿克苏地区的平均生境质量值分别为 0.395 32,0.395 26,0.394 16,0.361 19,0.358 29,生境质量总体处于偏低水平,低质量区和较低质量区面积普遍占到了 60%,这与阿克苏地区存在大片戈壁、沙漠有关。

2) 低生境质量区和较低生境质量区的面积在 2000—2010 年期间增长最快,这与该时间段耕地和建设用地的增加有关,同时期低生境质量区的比例上升.中等生境质量区面积也逐步上升,从 1980 年的 10 985.5 km² 上升至 2020 年的 17 779.5 km².高生境质量区和较高生境质量区面积则呈现整体减少的趋势,这与该时段内草地面积的减少有关,但与较高生境质量区面积变化趋势存在差异的是 1990—2000 年,变化情况相反。

1980—2020 年阿克苏地区县市平均生境质量,如表 5 所示.由表 5 可知以下 3 点结论。

1) 在研究初期,平均生境质量最高的为温宿县,而阿克苏市的平均生境质量水平最低。

2) 整个研究时段,乌什县平均生境质量逐年上升,特别是在 2000—2010 年间变化最为显著,平均生境质量由 0.433 10 上升至 0.525 60,温宿县、柯坪县和库车市平均生境质量下降最为明显。

3) 在研究期末,乌什县平均生境质量最高,但原先平均生境质量位居首位的温宿县排在第 4 位,温宿县生境质量下降与其水域面积减少有关,库车市则是由于在推进撤县设市的进程中,大力发展工农业及石油开采,对生态环境保护力度不够,使生境质量出现下降。

表 5 1980—2020 年阿克苏地区县、市平均生境质量

Tab. 5 Average habitat quality in the counties and cities of the Aksu Region during 1980-2020

县(市)	$\overline{Q_H}$				
	1980 年	1990 年	2000 年	2010 年	2020 年
阿克苏市	0.273 1	0.273 4	0.279 4	0.267 1	0.263 6
阿拉尔市	0.464 4	0.464 3	0.474 6	0.454 7	0.441 5
新和县	0.292 6	0.292 6	0.291 5	0.278 1	0.287 4
乌什县	0.428 1	0.428 1	0.433 1	0.525 6	0.525 5
温宿县	0.527 4	0.527 3	0.535 0	0.443 9	0.431 5
沙雅县	0.342 3	0.342 2	0.338 6	0.303 7	0.299 0
库车市	0.491 0	0.491 2	0.492 6	0.424 8	0.423 9
柯坪县	0.334 8	0.334 1	0.315 2	0.255 3	0.255 8
拜城县	0.474 3	0.474 3	0.473 8	0.445 6	0.445 5
阿瓦提县	0.355 8	0.355 5	0.343 9	0.308 3	0.308 8

3.3.2 生境质量空间变化分析 1980—2020 年阿克苏地区生境质量空间分布及变化,如图 4 所示. 由图 4 可知如下 3 点结论.

- 1) 1980—2020 年,生境质量变化显著,高生境质量区和较高生境质量区面积在阿克苏地区内明显减少,减少区域主要集中在温宿县北部、库车市中南部、沙雅县中南部,这主要是因为同时期温宿县北部水域大面积减少,而库车市中南部林地减少和城镇扩张.
- 2) 2020 年,高生境质量区和较高生境质量区主要集中在阿克苏地区北部高海拔区域、沙雅县北部及乌什县和柯坪县的交界处,这主要是因为阿克苏地区北部山地面积比例较大,是重要的生态功能区. 阿瓦提县中部和东部也位于高生境质量区. 高生境质量区和较高生境质量区土地利用类型主要为耕地、草地及水域. 阿克苏地区生境质量的高低一定程度上得益于阿克苏地区的植被覆盖程度、湿地、水域及相应的生态保护措施.
- 3) 中等生境质量区面积在整个研究时段内逐渐扩大,变化区域主要分布在阿克苏市、阿瓦提县北部、库车市西南部及沙雅县的北部,近些年,城镇化、道路建设、耕地的扩张等人为活动加剧了区域生境质量的退化. 同时,阿克苏市中北部生境质量在整个研究期内呈现变好趋势,这是因为这些区域属于《阿

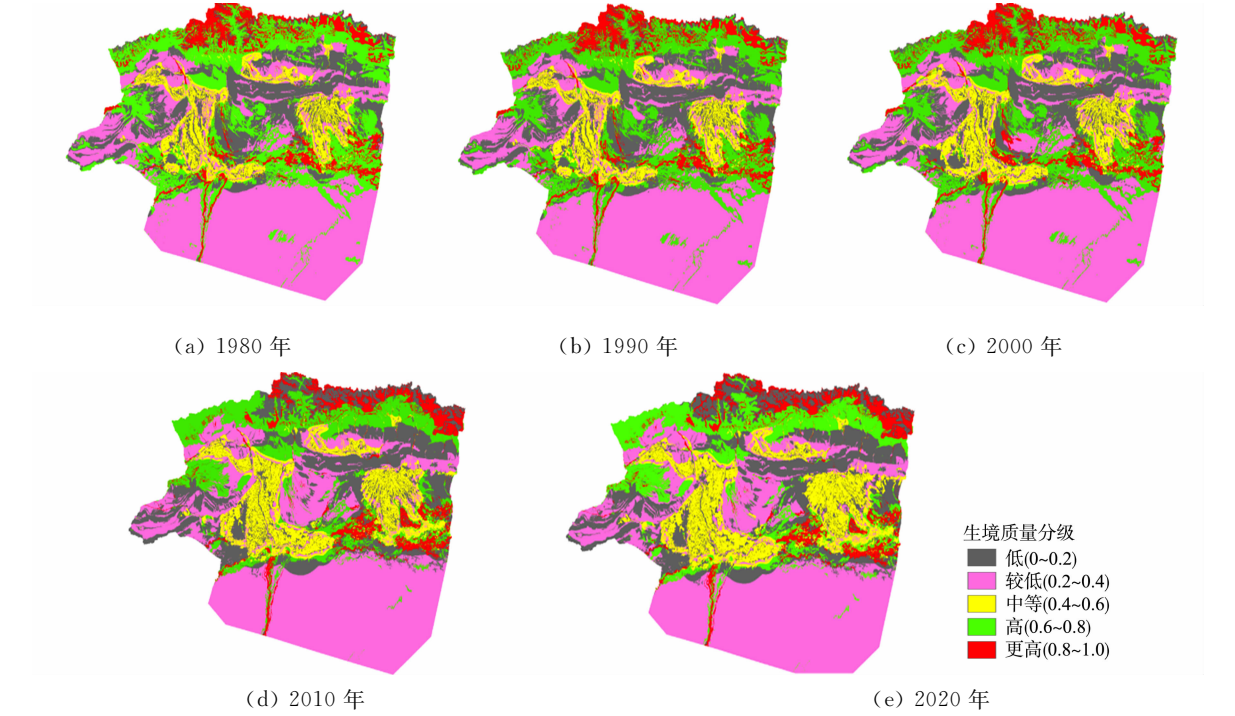


图 4 1980—2020 年阿克苏地区生境质量空间分布及变化

Fig. 4 Spatial distribution and changes of habitat quality in Aksu Region during 1980-2020

克苏地区城镇体系规划(2013—2030 年)》中阿克苏市重点控制建设区域,对其采取了严格的生态保护策略,严禁任何形式的开发建设.

3.4 阿克苏地区的生境质量演化机制

基于阿克苏地区发展实际,并结合数据的可获取性,从自然地理环境、社会经济发展及政策宏观调控 3 大方面选取 13 个变量,剖析阿克苏地区 1980—2020 生境质量的空间分异影响因素.生境质量影响因素指标体系,如表 6 所示.

表 6 生境质量影响因素指标体系
Tab. 6 Index system of influencing factors of habitat quality

一级指标	二级指标	三级指标	具体指标	单位
自然地理环境	气候要素	X1	年均降雨量	mm
		X2	年均气温	℃
	地形因素	X3	平均坡度	(°)
		X4	平均海拔	m
	景观水平	X5	平均斑块面积	km ²
		X6	景观分裂指数	—
社会经济发展	经济发展	X7	人口密度	km ² · 人 ⁻¹
		X8	工农业生产总值	万元
		X9	人均 GDP	元
		X10	农民人均纯收入	元
	农业生产	X11	化肥施用量	t
政策宏观调控	政策因素	X12	环境污染治理投资额	万元
		X13	退耕还林规模	km ²

3.4.1 基于地理探测器的生境质量影响因素探测
2000—2020 年阿克苏地区各因素贡献率,如图 5 所示.
由图 5 可知以下点.

1) 景观分裂指数 X6、人口密度 X7、平均斑块面积 X5、平均坡度 X3、平均海拔 X4、化肥施用量 X11、退耕还林规模 X13 是影响阿克苏地区生境质量变化的主要因素.其中,平均斑块面积 X5、景观分裂指数 X6、人口密度 X7 的贡献率占据主导地位,说明景观水平、经济发展对阿克苏地区生境质量变化的贡献在不断提高.地形因素、景观水平保持着稳定的高贡献率且持续增长,说明自然环境因素是该区域生境质量空间分异的主要因素.

2) 社会经济发展方面,人口密度 X7 的贡献率一直保持着主导地位,且在不断增强,人口的增长对阿克苏地区生境质量变化发挥着较大影响.同时,由于阿克苏地区各县、市产业发展及农民收入来源的多样化,导致社会经济发展水平各因素的贡献率在不同时间段呈现出明显的分化.

3) 2000 年的第一主因素来自自然地理环境方面,而到 2010 年、2020 年的第一主因素则均来自社会经济发展方面.进入 2020 年,退耕还林规模 X13 成为第二主因素,这反映政府政策宏观调控对生境质量变化的积极作用.

3.4.2 生境质量演化机制 在现实发展中,不同因素间的复杂互动共同推动了生境质量的变化.进一步的交互探测分析也证实了在整个阿克苏地区,2000 年、2010 年、2020 年 3 个年度各因素之间对生境质量变化都呈现出非线性增强作用.影响阿克苏地区生境质量的主要相互作用因素,如表 7 所示.限于篇幅,仅列出了阿克苏地区各年度部分因素交互作用.由表 7 可知以下 3 点结论.

1) 生境质量影响因素之间的交互关系表现为非线性增强作用,2000—2020 年,自然地理环境因素和社会经济发展因素之间一直表现出较强的交互作用,且自然地理环境因素与社会经济发展因素的交互强于自然地理环境因素内部交互及社会经济发展因素内部交互.

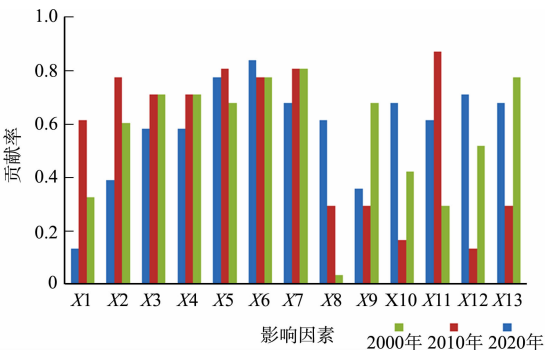


图 5 2000—2020 年阿克苏地区各因素贡献率
Fig. 5 Contribution rate of each factor in Aksu Region during 2000-2020

表 7 影响阿克苏地区生境质量的主要相互作用
Tab. 7 Main interaction of habitat quality in Aksu Region

年份	交互探测值			
2000	$X1 \cap X5(0.971\ 4)$	$X3 \cap X6(0.885\ 7)$	$X5 \cap X11(0.971\ 4)$	$X9 \cap X11(0.714\ 3)$
	$X1 \cap X7(0.742\ 9)$	$X3 \cap X9(1.000\ 0)$	$X8 \cap X10(0.942\ 9)$	$X9 \cap X12(0.971\ 4)$
	$X1 \cap X8(0.971\ 4)$	$X4 \cap X6(0.885\ 7)$	$X8 \cap X12(0.942\ 9)$	$X10 \cap X11(0.942\ 9)$
	$X2 \cap X12(0.971\ 4)$	$X5 \cap X8(0.971\ 4)$	$X8 \cap X13(0.971\ 4)$	$X11 \cap X12(0.942\ 9)$
	$X3 \cap X4(0.628\ 6)$	$X5 \cap X10(0.857\ 1)$	$X9 \cap X10(0.971\ 4)$	$X11 \cap X13(0.971\ 4)$
2010	$X1 \cap X13(0.971\ 4)$	$X2 \cap X9(0.942\ 9)$	$X5 \cap X11(0.971\ 4)$	$X9 \cap X10(0.542\ 9)$
	$X1 \cap X11(0.942\ 9)$	$X2 \cap X11(0.942\ 9)$	$X6 \cap X9(0.971\ 4)$	$X9 \cap X11(0.971\ 4)$
	$X1 \cap X10(0.742\ 9)$	$X2 \cap X3(0.885\ 7)$	$X6 \cap X7(0.942\ 9)$	$X11 \cap X13(0.942\ 9)$
	$X2 \cap X5(0.971\ 4)$	$X2 \cap X4(0.885\ 7)$	$X7 \cap X9(0.971\ 4)$	$X9 \cap X13(0.514\ 3)$
	$X2 \cap X13(0.971\ 4)$	$X3 \cap X4(0.742\ 9)$	$X8 \cap X9(0.428\ 6)$	$X10 \cap X12(0.542\ 9)$
2020	$X1 \cap X7(1.000\ 0)$	$X2 \cap X7(0.971\ 4)$	$X3 \cap X13(0.885\ 7)$	$X7 \cap X12(0.971\ 4)$
	$X1 \cap X8(0.542\ 9)$	$X2 \cap X9(1.000\ 0)$	$X4 \cap X12(0.885\ 7)$	$X8 \cap X11(0.542\ 9)$
	$X1 \cap X9(1.000\ 0)$	$X3 \cap X4(0.742\ 9)$	$X4 \cap X13(0.885\ 7)$	$X9 \cap X11(0.971\ 4)$
	$X1 \cap X12(1.000\ 0)$	$X3 \cap X11(1.000\ 0)$	$X5 \cap X13(1.000\ 0)$	$X9 \cap X13(0.971\ 4)$
	$X2 \cap X5(0.971\ 4)$	$X3 \cap X12(0.885\ 7)$	$X7 \cap X9(0.885\ 7)$	$X12 \cap X13(0.857\ 1)$

2) 2010 年开始,政策宏观调控因素一直发挥着重要作用,主要表现为政策宏观调控因素与自然地理环境因素及社会经济发展因素之间的交互作用逐渐加强.产生这种变化的主要原因与同时期国家实施生态环境保护政策有关.

3) 自然地理环境因素与社会经济发展因素之间有明显的协同增强效应,尤其是人均 GDP、农民人均纯收入与自然地理环境因素之间的协同作用最强.当政策宏观调控因素与社会经济发展因素共同作用时,政策宏观调控因素会增强社会经济因素对生境质量变化影响的力度,当自然地理环境因素与社会经济发展因共同作用时,社会经济发展因素会增强自然地理环境因素对生境质量影响的力度^[11],正是由于这些因素间的共同作用导致阿克苏地区生境质量发生了变化.

4 结论

1) 土地利用变化上,1980—2020 年,阿克苏地区耕地、草地、未利用地处于研究区土地利用的主导地位,且土地利用变化的主要特征是耕地、林地、建设用地及未利用地面积增加,草地和水域面积减少.

2) 在景观水平上,研究时段内景观的破碎化程度逐步提高,优势景观类型未利用土地不断扩展变化,景观的优势斑块类型逐渐形成了良好的连接,景观分布聚集程度增加,景观多样性整体上增强且各斑块类型趋于均匀分布,优势景观类型对整体景观的主导力逐渐下降.在分类水平上,不同的土地利用类型也呈现出差异化的景观格局变化.

3) 整体上来看,阿克苏地区生境质量处于偏低水平.除乌什县外,其他县、市平均生境质量均经历波动下降的变化趋势,其中,下降最明显的为温宿县.空间上看,高生境质量区和较高生境质量区面积明显减少.

4) 2000—2020 年,平均斑块面积、景观分裂指数、人口密度的贡献率对生境质量的影响占据主导地位.随着时间推移,影响生境质量的第一主因子由自然地理环境方面变为社会经济发展方面.生境质量影响因子之间的交互关系表现为非线性增强作用,且自然地理环境因子与社会经济发展因子的交互强于自然地理环境因子内部交互及社会生产与经济发展因子内部交互.整个研究时段政策宏观调控因素、自然地理环境因素及社会经济发展因素之间的交互作用逐渐加强,尤其是人均 GDP、农民人均纯收入与自然地理环境因素之间的协同作用最强.这些因素之间的共同作用导致阿克苏地区生境质量发生了变化.

阿克苏地区总体上生境质量较低,且 5 个时间节点的生境质量呈逐年下降趋势.在阿克苏地区未来发展中,如果不改变现有的土地利用结构以及发展模式,未来其生态环境可能会出现进一步的恶化.文献[34-36]结合 CA Markov 模型和 InVEST 模型对未来生境质量进行模拟和分析,均发现在自然增长

情景下,随着经济发展与城市化进程,生境质量呈现下降趋势。

采用土地利用数据揭示阿克苏地区近 40 a 生境质量的变化,未来可利用物种分布模型对此进行修正。由于政策因子难以量化,文中并未考虑政策因素,且使用的相关参数是借鉴模型用户手册,相关文献,未来将继续开展有关该方法参数改进方面的研究。另外,考虑到数据获取的限制,后续对于驱动因子的分析可以考虑基于格网尺度开展,预测未来生境质量的变化等,以丰富生境质量的研究内容。

参考文献:

[1] ZHANG Hong,ZHANG Chi,HU Tao,*et al.* Exploration of roadway factors and habitat quality using InVEST[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, 87(10): 10255(1-12). DOI: 10. 1016/j. trd. 2020. 102551.

[2] MARON M,FITZSIMONS J A. Agricultural intensification and loss of matrix habitat over 23 years in the West Wimmera, South-eastern Australia[J]. Biological Conservation, 2007, 135(4): 587-593. DOI: 10. 1016/j. biocon. 2006. 10. 051.

[3] GIAM X,BRADSHAW C,TAN H,*et al.* Future habitat loss and the conservation of plant biodiversity[J]. Biological Conservation, 2010, 143(7): 1594-1602. DOI: 10. 1016/j. biocon. 2010. 04. 019.

[4] UPADHAYA S,DWIYEDI P. Conversion of forestlands to blueberries: Assessing implications for habitat quality in Alabama river watershed in Southeastern Georgia, United States[J]. Land Use Policy, 2019, 89: 104229. DOI: 10. 1016/j. landusepol. 2019. 104229.

[5] 魏伟,石培基,雷莉,等. 基于景观结构和空间统计方法的绿洲区生态风险分析: 以石羊河武威、民勤绿洲为例[J]. 自然资源学报, 2014, 29(12): 2023-2035. DOI: 10. 11849/zrzyxb. 2014. 12. 004.

[6] 刘琪. 基于土地利用变化的延河流域景观生态风险评价[D]. 西安: 西北大学.

[7] 孙桂丽,王立,李雪,等. 2000—2015 年吐鲁番市高昌区景观格局及生态风险变化分析[J]. 江西农业学报, 2021, 33(8): 78-86. DOI: 10. 19386/j. cnki. jxnyxb. 2021. 08. 014.

[8] LIU Changjiang,ZHANG Fei,VERNER C J,*et al.* Spatio-temporal variation of oasis landscape pattern in arid area: Human or natural driving? [J]. Ecological Indicators, 2021, 125(1): 107495. DOI: 10. 1016/j. ecolind. 2021. 107495.

[9] HALL L S,KRAUSMAN P R,MORRISON M L. The habitat concept and a plea for standard technology[J]. Wildlife Society Bulletin, 1997, 25(1): 173-182. DOI: 10. 2307/3783301.

[10] 钟莉娜,王军. 基于 InVEST 模型评估土地整治对生境质量的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1): 250-255. DOI: 10. 11975/j. issn. 1002-6819. 2017. 01. 034.

[11] 刘春芳,王川,刘立程. 三大自然区过渡带生境质量时空差异及形成机制: 以榆中县为例[J]. 地理研究, 2018, 37(2): 419-432. DOI: 10. 11821/dlyj201802014.

[12] ZHANG Xueru,SONG Wei,LANG Yanqing,*et al.* Land use changes in the coastal zone of China's Hebei Province and the corresponding impacts on habitat quality[J]. Land Use Policy, 2020, 99: 104957. DOI: 10. 1016/j. landusepol. 2020. 104957.

[13] ZHU Congmou,ZHANG Xiaoling,ZHOU Mengmeng,*et al.* Impacts of urbanization and landscape pattern on habitat quality using OLS and GWR models in Hangzhou, China[J]. Ecological Indicators, 2020, 117(3): 106654. DOI: 10. 1016/j. ecolind. 2020. 106654.

[14] GOMES E,INACIO M,BOGDZEVI K,*et al.* Future scenarios impact on land use change and habitat quality in Lithuania[J]. Environmental Research, 2021, 197: 111101. DOI: 10. 1016/j. envres. 2021. 111101.

[15] WEBER D,SCHAEPMAN S G,ECKER K. Predicting habitat quality of protected dry grasslands using Landsat NDVI phenology[J]. Ecological Indicators, 2018, 91(3): 447-460. DOI: 10. 1016/j. ecolind. 2018. 03. 081.

[16] PAULAY T,PRIESTLEY M N. Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings[M]. New York: Wiley-Interscience, 1992.

[17] 马鑫苗,徐华君,古丽娜尔·麦麦提. 土地利用功能转型及其生态环境效应研究: 以吐鲁番市高昌区为例[J]. 干旱区地理, 2022, 45(2): 445-455.

[18] 张华,韩武宏,宋金岳,等. 祁连山国家公园生境质量时空演变[J]. 生态学杂志, 2021, 40(5): 1419-1430. DOI: 10. 13292/j. 1000-4890. 202105. 029.

[19] 王超,常勇,侯西勇,等. 基于土地利用格局变化的胶东半岛生境质量时空演变特征研究[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(10): 1809-1822. DOI: 10. 12082/dqxxkx. 2021. 190545.

- [20] 王军,严有龙,王金满,等. 闽江流域生境质量时空演变特征与预测研究[J]. 生态学报,2021,41(14):5837-5848.
- [21] DING Yuekui, SHAN Baoqing, ZHAO Yu. Assessment of river habitat quality in the Hai River Basin, Northern China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2015,12(9):11699-11717. DOI:10.3390/ijerph120911699.
- [22] YAN Shengjun, WANG Xuan, CAI Yanpeng, *et al.* An integrated investigation of spatiotemporal habitat quality dynamics and driving forces in the upper basin of Miyun reservoir, North China[J]. Sustainability,2018,10(12):4625-4641. DOI:10.3390/su10124625.
- [23] POLASKY S, NELSON E, PENNINGTON D, *et al.* The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: A case study in the state of Minnesota[J]. Environmental and Resource Economics,2011,48(2):219-242. DOI:10.1007/s10640-010-9407-0.
- [24] 党国锋,秦雯. 陇南山区乡村聚落空间格局研究[J]. 中国农学通报,2018,34(4):154-164.
- [25] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2007.
- [26] 张学儒,周杰,李梦梅. 基于土地利用格局重建的区域生境质量时空变化分析[J]. 地理学报,2020,75(1):160-178. DOI:10.11821/dlxb202001012.
- [27] 刘春艳,朱康文,刘吉平. 三峡库区重庆段土地覆盖和生物多样性功能演化及预测[J]. 农业工程学报,2017,33(19):258-267. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2017.19.034.
- [28] SHARP R, TALLIS H T, RICKETTS T. VEST3.2.0 user's guide[EB/OL]. (2017-10-08) [2022-03-01]. [https://storage.googleapis.com/invest-users-guides/InVEST%](https://storage.googleapis.com/invest-users-guides/InVEST%203.2.0%20user's%20guide.pdf)
- [29] 樊影,王宏卫,杨胜天,等. 基于生境质量和生态安全格局的阿勒泰地区生态保护关键区域识别[J]. 生态学报,2021,41(19):7614-7626. DOI:10.5846/stxb202011202987.
- [30] 刘方田,许尔琪. 基于土地利用的新疆兵团与非兵团生境质量时空演变的对比[J]. 应用生态学报,2020,31(7):2341-2351. DOI:10.13287/j.1001-9332.202007.014.
- [31] 朱增云,卡斯木 阿里木江. 基于地理探测器的伊犁谷地生境质量时空演变及其影响因素[J]. 生态学杂志,2020,39(10):3408-3420. DOI:10.13292/j.1000-4890.202010.009.
- [32] 王劲峰,徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报,2017,72(1):116-134. DOI:10.11821/dlxb201701010.
- [33] YOHANNES H, SOROMESSA T, ARGAW M, *et al.* Changes in landscape composition and configuration in the Beressa watershed, blue Nile basin of Ethiopian highlands: Historical and future exploration[J]. Heliyon,2020,6(9):e04859. DOI:10.1016/j.heliyon.2020.e04859.
- [34] YANG Yuanyuan. Evolution of habitat quality and association with land-use changes in mountainous areas: A case study of the Taihang Mountains in Hebei Province, China[J]. Ecological Indicator,2021,129:107967. DOI:10.1016/j.ecolind.2021.107967.
- [35] HE Jianhua, HUANG Junlong, LI Chun. The evaluation for the impact of land use change on habitat quality: A joint contribution of cellular automata scenario simulation and habitat quality assessment model[J]. Ecological Modelling,2017,366(24):58-67. DOI:10.1016/j.ecolmodel.2017.10.001.
- [36] CHU Lin, SUN Tiancheng, WANG Tianwei, *et al.* Evolution and prediction of landscape pattern and habitat quality based on CA-Markov and InVEST model in Hubei section of Three Gorges Reservoir Area (TGRA)[J]. Sustainability,2018,10(11):3854. DOI:10.3390/su10113854.

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 刘源岗)