

doi: 10.6046/zrzyyg.2023049

引用格式: 刘永新, 张思源, 边鹏, 等. 1989—2020年黄河流域巴彦淖尔段地表覆盖类型时空演变研究[J]. 自然资源遥感, 2024, 36(2): 207–217. (Liu Y X, Zhang S Y, Bian P, et al. Exploring the spatio-temporal evolution of land cover types in the Bayan-nur section of the Yellow River basin from 1989 to 2020[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2024, 36(2): 207–217.)

1989—2020年黄河流域巴彦淖尔段 地表覆盖类型时空演变研究

刘永新, 张思源, 边鹏, 王丕军, 袁帅

(中国地质调查局呼和浩特自然资源综合调查中心, 呼和浩特 010010)

摘要: 地表覆盖类型变化对研究区域生态环境变化具有重要意义。为准确掌握黄河流域巴彦淖尔段 1989—2020 年间地表覆盖类型变化, 该文利用 Landsat 卫星数据影像, 以目视解译和随机森林监督分类相结合的方法, 对黄河流域巴彦淖尔段内各旗县 1989—2020 年平均每隔 10 a 的地表覆盖类型进行解译分类。经过精度验证总体分类精度均大于 85%, Kappa 系数均大于 0.80。通过地表覆盖类型转移变化矩阵, 发现黄河流域巴彦淖尔段 1989—2020 年间沙地减少 22.17%, 草地减少 26.18%, 耕地增加 20.83%, 水面变化不明显; 不同区域地表覆盖类型变化情况各不相同, 荒漠草原区表现为沙地与草地之间的相互转化, 耕地区区和沙地区区主要表现为沙地向耕地的转化, 其中磴口县最为显著, 2020 年较 1989 年沙地减少了 32.17%, 耕地增加了 57.48%。荒漠草原区以社会因素和自然因素共同驱动地表覆盖类型变化, 耕地及沙地分布区主要以社会因素驱动地表覆盖类型变化。研究结果可为更加合理地规划利用土地空间提供有力的数据参考和支撑。

关键词: 地表覆盖类型; 监督分类; 随机森林

中图法分类号: TP 79; TP 751.1 **文献标志码:** A

文章编号: 2097-034X(2024)02-0207-11

0 引言

地表覆盖类型变化对研究区域生态环境变化有着重要的意义。遥感技术作为宏观、综合、动态、快速监测和评价自然资源的一种有效手段^[1], 在研究地表覆盖类型变化及其分布方面得到了广泛的应用。利用遥感技术进行长时序的地表覆盖类型变化研究, 可以揭示区域地表覆盖类型及其变化趋势, 为下一步更加合理地规划、利用土地空间提供有力的数据参考和支撑。国内外学者利用遥感技术对土地利用/土地覆盖变化进行了深入地分析研究, 取得了一系列显著成果^[2-6]。目视解译和监督分类(包括支持向量机、最大似然法、决策树、随机森林、偏最小二乘法和线性回归等方法)是土地利用/土地覆盖类型分类中常用的方法^[7-10], 此外研究人员还尝试利用深度学习的方法与传统方法对土地利用及变化监测的分析进行对比, 表明深度学习方法可以用中

空间分辨率遥感卫星影像分析土地利用及变化监测^[11]。

黄河流域巴彦淖尔段分布着河套平原的后套平原, 是内蒙古自治区重要的商品粮基地之一。研究黄河流域巴彦淖尔段地表覆盖类型分布及变化情况, 对推动黄河流域高质量发展具有十分重要的研究意义。张金良等^[12]、张静等^[13]对黄河流域土地利用和植被覆盖时空演变规律进行了研究, 表明人类活动对植被覆盖度会产生一定的影响。孙永军等^[14]研究表明黄河流域土地荒漠化主要分布在流域西北部, 地质背景和气候条件是影响荒漠化的主要因素, 人类活动会加速荒漠化进程; 刘希朝等^[15]利用生态风险评价模型, 将黄河流域划分为生态风险重点管控区、严格管控区和一般管控区, 并提出差别化管控建议; 肖东洋等^[16]利用土地利用/土地覆盖数量、空间变化轨迹模型对黄河流域(河南段)土地利用格局时空演变进行了研究, 研究表明土地利用/土地覆被变化具有明显的时空分异性; 卫新东

收稿日期: 2023-03-08; **修订日期:** 2023-05-16

基金项目: 内蒙古重点研发和成果转化项目“融合无人机技术的草甸草原生态修复区健康定量评价及功能评估技术研发与应用”(编号: 2022YFDZ0026)和中国地质调查局地质调查项目“黄河流域巴彦淖尔地区地表基层质层调查”(编号: DD20211591)共同资助。

第一作者: 刘永新(1986-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为遥感数据处理与应用。Email: 3775226986@163.com。

通信作者: 张思源(1991-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为自然资源综合调查。Email: zhangsy5@qq.com。

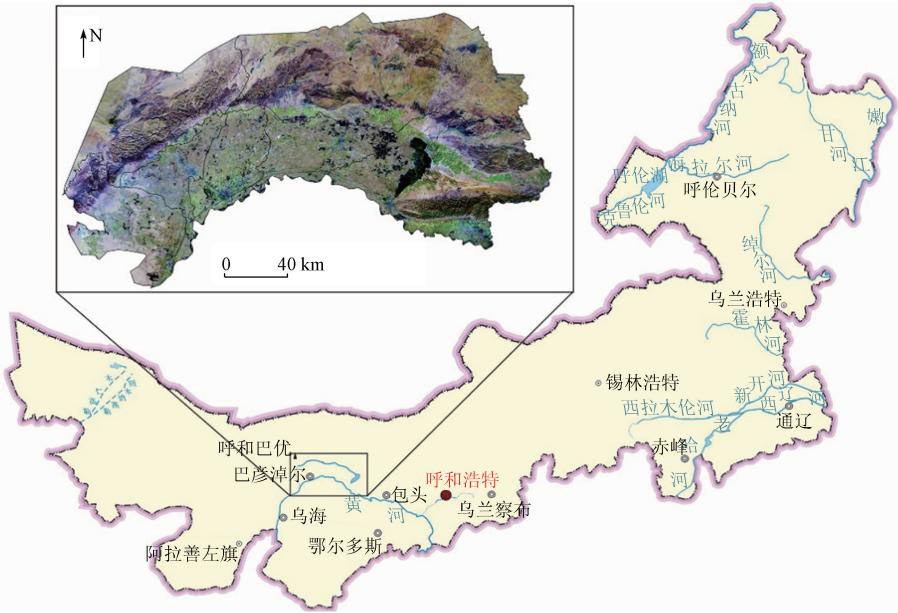
等^[17]利用生态状况指数对黄河流域 2000—2020 年生态用地格局进行变化分析,结果表明上游地区生态质量最好,下游地区生态质量最差。关于研究区内部分地区,张银辉等^[18]研究表明,1985—2000 年间,河套灌区土地退化现象严重,26.9%的高覆盖度草原转变呈中覆盖度草原,部分低覆盖度草原转为荒漠地,耕地退化主要表现为盐碱化;贾鹏^[19]利用分层提取法和监督分类的方法,对 2000—2013 年磴口县土地利用类型时空变化情况进行研究,结果表明沙地向耕地和林地转化明显,沙地总体减少 81.65%,林地增长 55.97%,耕地增长 38.73%。

虽然研究者对黄河流域土地利用/地表覆盖类型进行了多种研究,但是对黄河流域巴彦淖尔段系统性、长时序的研究相对较少,对研究区地表覆盖类型整体分布和变化情况探索较少。本文利用 1989—2020 年平均每隔 10 a 的遥感数据,采用目视解译和随机森林监督分类相结合的方法,对黄河流域巴彦淖尔段地表覆盖类型分布及变化情况进行研究,总结地表覆盖类型历史变化规律,对地表覆盖类型变化驱动力进行简要分析,以期为进一步更加合理的规划利用土地空间提供有力的数据参考和支撑。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

研究区黄河流域巴彦淖尔段位于内蒙古自治区中西部(图 1),黄河几字湾顶端,地理坐标为 E105°12′~109°53′,N40°13′~42°28′之间。行政区隶属巴彦淖尔市,下辖 7 个区县中,乌拉特中旗与乌拉特后旗部分地区属于黄河流域范围。地貌特征北部为乌拉特草原,中部为阴山山地,南部为河套平原。研究区以阴山山脉为分水岭,形成 2 个水系,阴山山脉以南为黄河水系,阴山以北为内陆河水系。研究区地处中纬度内陆,属典型的中温带大陆性季风气候,全年大部分时间受高空西风环流控制,天气系统多自西向东移动。受地貌和气候等因素影响,研究区内地表覆盖类型多样,北部主要以裸岩石砾地为主,间或分布草地;中部主要为河套平原,以耕地为主;西部的磴口县和杭锦后旗部分地区主要以沙地为主,少量分布耕地;东部乌梁素海主要为水面,水面以东为岩石砾地、草地、耕地条带状间或分布;研究区最南端以黄河为界,分布黄河河道为主的水面。



注:图中内蒙古自治区行政区划基于自然资源部国家地理信息公共服务平台下载的标准地图,审图编号 GS(2019)3333,底图边界无修改。

图 1 研究区位置图

Fig.1 Location of study area

1.2 数据来源

本次研究使用的遥感数据来源于从美国地质调查局网站(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)下载的 Landsat 系列数据,共 4 期,每期包含影像 6 景。由

于历史数据的质量问题,1990 年获取的数据难以满足研究要求,改用 1989 年数据进行研究。1989 年、2010 年为 Landsat5 TM 数据,2000 年为 Landsat7 ETM+数据,2020 年为 Landsat8 OLI 数据。为更加

准确地反映各地表基质类型的光谱特征,方便对比分析,空间分辨率均统一为 30 m。为提高地表覆盖类型分类解译精度,结合研究区气候特征,数据的时间主要集中在地表植被生长相对旺盛的 6—8 月。

气象数据(降水量、昼夜温差、年均气温)来自气候研究组网站(CLEARING VACANCIES AVAILABLE: <https://sites.uea.ac.uk/cru/>),社会经济指标(人口、国民生产总值、粮食产量)来自 1990—2021 年内蒙古自治区各年度统计年鉴。

2 研究方法

本文利用目视解译和监督分类相结合的方法对地表覆盖类型进行分类(图 2),其中 2020 年地表覆盖类型采用目视解译加野外验证的方法进行;1989 年、2000 年和 2010 年地表覆盖类型中的重裸岩石砾地和乌梁素海水域范围采用目视解译方法进行分类,沙地、草地、耕地、水面(除乌梁素海水域)采用

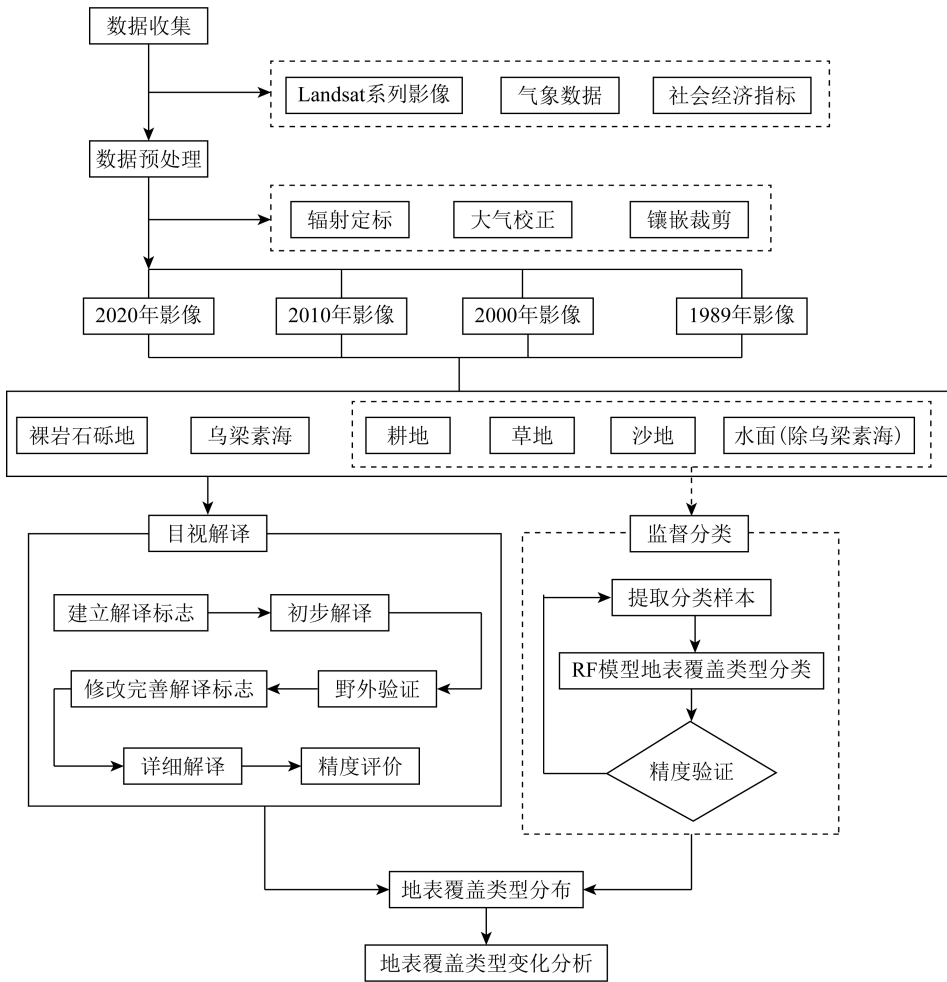


图 2 地表覆盖分类技术流程

Fig. 2 Technology flowchart for the surface coverage types classification

监督分类中的随机森林分类方法进行分类。

2.1 遥感数据处理

本次研究的遥感数据处理主要有辐射定标、大气校正、镶嵌裁剪等,通过以上数据处理流程,分别制作 1989 年、2000 年、2010 年和 2020 年工作区多光谱遥感影像。Yu 等^[20]研究发现利用 Landsat8 OLI 数据进行土地利用分类数据提取时,B4,B5,B6 波段是最好的 3 波段数据组合。根据 Landsat5 TM 数据、Landsat7 ETM+数据和 Landsat8 数据波段对应特征,最终 Landsat5 TM 数据和 Landsat7 ETM+数据

选择波段组合 B3(B)B4(G)B5(R),Landsat8 数据选择波段组合 B4(B)B5(G)B6(R)进行假彩色合成。

2.2 地表覆盖类型分类

2.2.1 研究区地表覆盖类型划分

在遥感影像 30 m 空间分辨率前提下,根据大气校正后各类地物光谱特征,通过目视解译和基于随机森林分类法的监督分类,结合研究区地类分布情况,参考《土地利用现状分类》(GB/T21010—2017)标准,将研究区地表覆盖类型分为 5 类(表 1)。

表 1 研究区地表覆盖类型分类信息

Tab. 1 Classification information of surface coverage type in study area

地表覆盖类型	分布特征	分类方法	分类代码
裸岩石砾地	主要分布在研究区中部阴山-狼山一带,连片出露面积较大,根据岩性不同,影像特征变化较大,与其他地类可区分度较低	目视解译	0
沙地	大面积沙地主要分布在研究区西部的博克特沙漠及其周边,以及乌梁素海东侧山间平原地带,小面积分布在河套灌区内及乌拉特草原	监督分类	1
草地	主要分布在乌梁素海东部山间平原和北部的乌拉特草原,研究区主要为草原类型荒漠草原,植被生长状况受降水影响较大	监督分类	2
耕地	耕地主要分布在研究区南部河套平原,主要以黄河水灌溉的水浇地为主,分布面积较大	监督分类	3
静水水面	静水水面主要为研究区内一些小面积湖泊,一般不具流动性,且水生植物生长较少,在假彩色影像上通常呈暗绿色或黑色	监督分类	4
流动水面	流动水面主要指黄河河道内水域,由于黄河高流动性和高含沙量,在假彩色影像上通常呈土黄色	监督分类	
含水生植物水面	主要为乌梁素海水域,由于乌梁素海水域水体流动性较差,水域内水生植物生长茂密,在影响特征上与耕地相类似,为提高解译精度,本次研究将乌梁素海水域范围单独进行目视解译	目视解译	

2.2.2 地表覆盖类型目视解译

为提高地表覆盖类型分类精度,本次研究对2020年研究区地表覆盖类型进行室内目视解译。目视解译按照建立解译标志—初步解译—野外验证—修改完善解译标志—详细解译—精度评价的技术流程进行。

由于裸岩石砾地在较短的时间内其地表覆盖分布情况基本不会发生变化,且根据对制作的遥感影像中各类地表覆盖类型的光谱特征进行分析,裸岩石砾地光谱特征变化较大,易与其他地表覆盖类型产生“同谱异质”现象,因此,本次研究认为1989—2020年间裸岩石砾地分布范围不会发生较大的变化。

研究区内较大的水域主要分布在东部的乌拉特前旗境内,其为黄河河道变迁形成的河迹湖,水体流动性较差,水生植物茂盛。通过观察发现,水域遥感特征易与耕地相混淆,鉴于其分布区域连续稳定,也采用了目视解译方法进行解译。

2.2.3 地表覆盖类型监督分类

对于研究区内除裸岩石砾地和乌梁素海水域外的范围,主要利用监督分类方法中的随机森林分类方法^[21-24]对地表覆盖类型进行分类。

2.3 分类精度评价方法

本次研究选择基于混淆矩阵的总体分类精度和Kappa系数。总体分类精度是指被正确分类的像元总数占像元总数的比例,可以对分类精度进行总体性的评价。Kappa系数是真实一致与变化一致之间差异的测度,真实一致是指参照数据与某个自动分类器之间的一致,变化一致是指参照数据与一个随机分类器之间的一致,其表达式为:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p X_{ij} - \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p (X_{i+} X_{j+})}{N^2 - \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p (X_{i+} X_{j+})} \quad , \quad (1)$$

式中: K 为 Kappa 系数; N 为样本总数; p 为误差矩阵的行数; X_{ij} 为行 i 和列 j 的观察样本; x_{i+} 为行 i 的观察样本综合; x_{j+} 为列 j 的观察样本综合。在现实应用中, K 值在 $0 \sim 1$ 之间变化,越接近 1 说明分类精度越高,当 K 值小于 0.4 时,说明一致性程度不够理想;当 K 值介于 $0.4 \sim 0.75$ 时,说明两者一致程度一般;当 K 值大于 0.75 时,说明两者具有很好的 consistency^[6]。

2.4 地表覆盖类型变化研究

为更加直观地分析地表覆盖类型的时空变化情况,利用地表覆盖类型转移矩阵^[25]对其在数量上的变化进行定量的分析,其表达式为:

$$A_{mn} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad , \quad (2)$$

式中: n 为地表基质利用类型; a_{mn} 为地表基质利用类型 m 转化为土地利用类型 n 的转移比率; a_{11} 为 2 个时期地表基质利用类型没有发生变化的比率。为更加直观地反映转移矩阵的变化情况,后续将转移矩阵以桑基图形式表示。

2.5 驱动力分析方法

主成分分析(principal component analysis, PCA)是无监督学习常用的一种方法,是数据降维的一种较常用方法^[26-27]。其核心思想是利用正交变换把线性相关的变量转换为少数几个线性无关变量表示的数据,这些较少的线性无关的变量可以保存原数

据的大部分信息。本次研究利用 PCA 方法对可能影响地表覆盖类型变化的社会影响因素和自然影响因素中共 6 个影响因子进行主成分分析。

3 结果与分析

3.1 分类精度评价

为验证 2020 年地表覆盖类型解译精度,共完成野外验证点 200 个,涵盖了研究区所有地表覆盖类型,验证结果总体解译精度 91%,其中草地总体解译精度 85%,其他覆盖类型均在 90% 以上,具体验证精度如图 3 所示。为验证监督分类结果精度,本次研究通过生成随机点进行目视解译的方法对分类结果进行评价,每类地表覆盖类型随机样本数不少

于 50 个,具体评价结果见表 2。

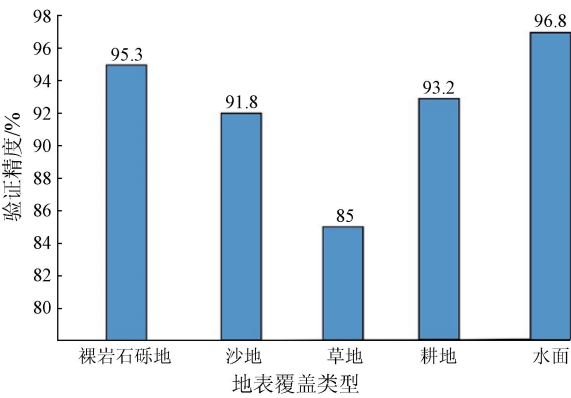


图 3 2020 年地表覆盖类型解译精度

Fig.3 Precision of surface coverage type interpretation in 2020

表 2 1989—2020 年黄河流域巴彦淖尔地区影像监督分类精度评价结果

Tab.2 Evaluation results of image supervised classification accuracy in Bayannur area of Yellow River Basin from 1989 to 2020

分类区域	1989 年		2000 年		2010 年		2020 年	
	总体分类精度/%	Kappa 系数	总体分类精度/%	Kappa 系数	总体分类精度/%	Kappa 系数	总体分类精度/%	Kappa 系数
乌拉特前旗	88.41	0.83	91.61	0.87	95.33	0.93	87.49	0.82
乌拉特中旗	95.13	0.91	96.03	0.94	96.26	0.92	88.52	0.82
乌拉特后旗	82.23	0.81	83.33	0.84	85.65	0.82	87.45	0.86
五原县	97.80	0.96	95.40	0.92	97.89	0.96	96.80	0.93
临河区	96.32	0.94	95.65	0.91	93.86	0.93	93.43	0.90
杭锦后旗	89.98	0.89	90.23	0.96	91.60	0.95	90.02	0.89
磴口县	93.36	0.92	94.28	0.93	94.46	0.91	95.28	0.93

从评价结果看,总体分类精度均大于 85%,Kappa 系数均大于 0.80,证明本次分类结果总体满足精度要求。从旗县分类结果精度来看,地表覆盖类型分布多样的乌拉特前旗总体分类精度和 Kappa 系数相对其他旗县相对较低,说明地表覆盖类型的多样性在一定程度上会影响分类结果的精度。

3.2 地表覆盖类型分布情况

由于裸岩石砾地在较短时间内发生变化的面积很小,所以本次解译一次性将裸岩石砾地进行目视解译,得到研究区裸岩石砾地面积约为 14 057 km²,具体分布范围见图 4。

利用各年遥感影像图,采用随机森林监督分类法,对研究区内平均每隔 10 a 的地表覆盖类型分布情况进行了解译,结合目视解译得到的裸岩石砾地分布范围,最终得到 1989—2020 年黄河流域巴彦淖尔段地表覆盖类型分布图(图 5)。观察分析解译结果发现,研究区不同旗县区内地表覆盖类型差异较大。乌拉特前旗地表覆盖类型最为多样,东部乌拉山、查石太山和白音察汉山地区主要为裸岩石砾地,裸岩石砾地之间耕地、草地、沙地间或分布;中部为黄河河迹湖乌梁素海,主要地表覆盖类型为水面;西部为河套平原,主要地表覆盖类型为耕地。乌拉特中旗和乌拉特后旗主要位于研究区北部,主要为阴山山脉山地,地表覆盖类型以裸岩石砾地为主,山前少量分布的河套平原边缘耕地,山地中间或少量分布荒漠草原,地表覆盖类型为草地和沙地间或分布。五原县、临河区和杭锦后旗位于研究区中部,为河套平原核心地带,主要地表覆盖类型以耕地为主,少量分布裸岩石砾地、沙地和草地。磴口县位于研究区西部,其北部为狼山山脉,主要地表覆盖类型为裸岩石砾地;西部为乌兰布和沙漠,主要地表覆盖类型为沙地;东部为河套平原边缘,主要地表覆盖类型为耕地;南面为黄河河道水面,主要地表覆盖类型为水面。

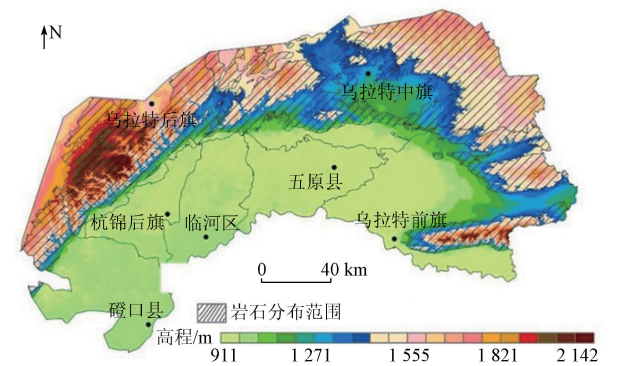


图 4 黄河流域巴彦淖尔段裸岩石砾地分布范围

Fig.4 Distribution range of bare rock gravel in Bayannaoer section of Yellow River Basin

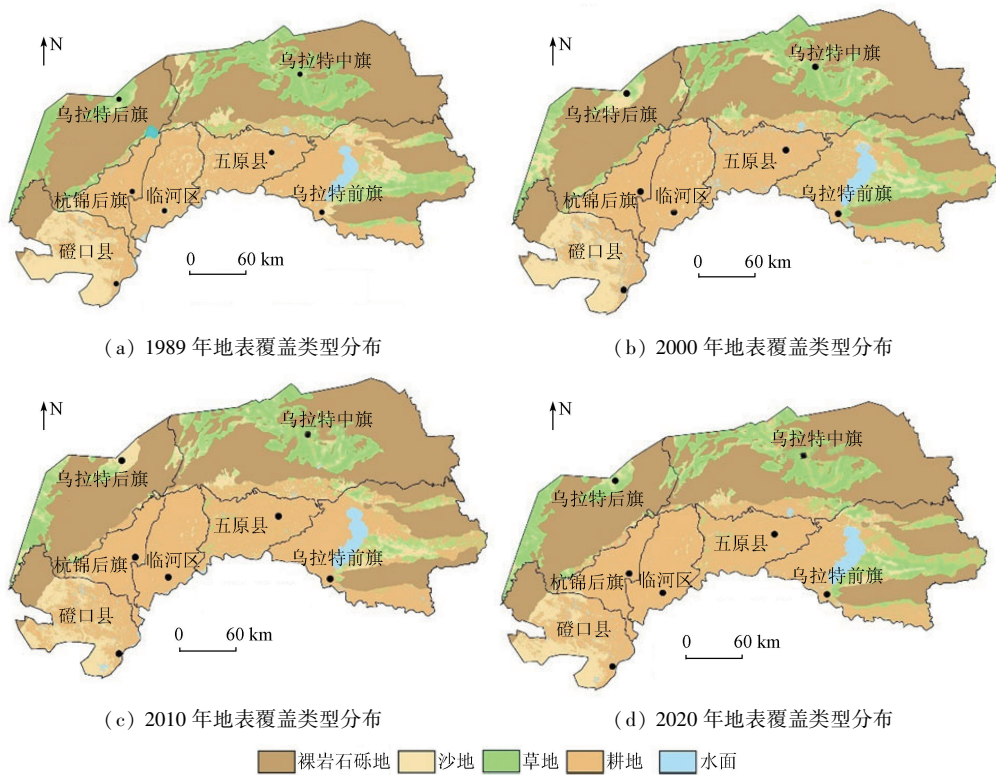


图 5 1989—2020 年黄河流域巴彦淖尔段地表覆盖类型分布

Fig. 5 Distribution of surface coverage types in Bayannaoer section of Yellow River Basin from 1989 to 2020

3.3 地表覆盖类型时空演变

3.3.1 总体变化趋势

根据解译结果得到的各年度地表覆盖数据, 计算得出整个研究区地表覆盖类型转移矩阵, 利用转

移矩阵制作出地表覆盖类型变化桑基图(图 6), 图中注记格式为: 地表覆盖类型-年份(分布面积, 单位为 km^2)。

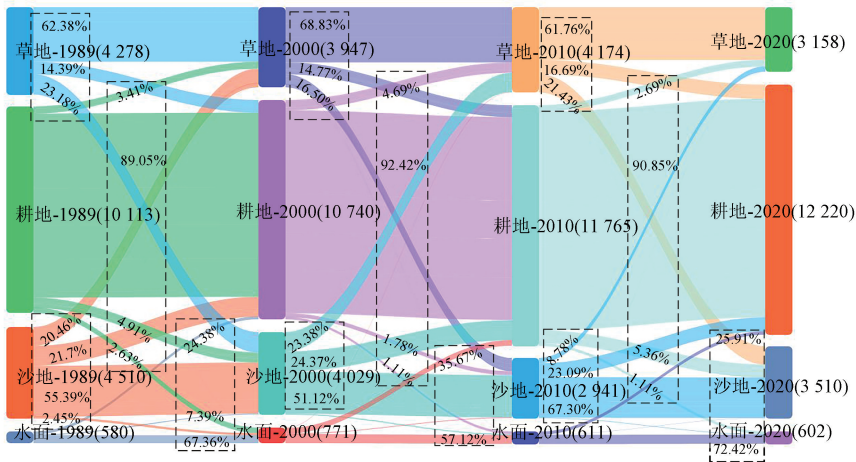


图 6 黄河流域巴彦淖尔段 1989—2020 年地表覆盖类型变化情况

Fig. 6 Changes of land cover types in Bayannaoer section of the Yellow River Basin from 1989 to 2020

从图 6 可以看出, 近 30 a 间研究区沙地面积呈先减少后少量增加、总体减少的趋势, 2020 年较 1989 年沙地面积总体减少 $1\,000\text{ km}^2$, 占比 22.17%; 沙地减少的流向中主要以耕地和草地为主, 总体耕地占比大于草地, 其中 2010—2020 年沙地的增加部分大多来自占比较高的草地, 主要为荒漠化草原因降水等原因导致的土地沙化。草地变化起伏较大, 但总体面积呈减少趋势, 2020 年较 1989 年减

少 $1\,120\text{ km}^2$, 占比 26.18%; 草地减少部分主要流向耕地与沙地, 流向沙地的占比各年段均高于流向耕地占比。耕地面积一直呈增长态势, 2020 年较 1989 年增加 $2\,107\text{ km}^2$, 占比 20.83%; 耕地增加的部分主要来自沙地和草地, 其中沙地占比相对较高。水面分布面积相对较小, 变化并不明显。

3.3.2 分区域地表覆盖类型变化

为更加准确分析地表覆盖类型变化情况, 将地

表覆盖类型多样的乌拉特前旗划分为东部,以裸岩石砾地和荒漠草原为主的乌拉特中旗和乌拉特后旗划分为北部,以耕地为主的五原县、临河区、杭锦后旗划分为中部,以沙地和耕地为主的磴口县划分为西部,并对 4 个研究区域进行单独分析。

1) 东部: 乌拉特前旗。从乌拉特前旗地表覆盖类型变化情况(图 7)中可以看出,沙地面积呈先减少后少量增加、总体减少的趋势,2020 年较 1989 年总体减少 304 km²,占比 31.80%; 沙地的流向主要为耕地和草地,其中 1989—2000 年间有 50.19% 的沙地转化为草地,21.15% 沙地转为耕地; 2010—

2020 年沙地转为草地的占比较小,只有 6.33%,与整个黄河流域巴彦淖尔段的变化趋势相同。草地面积整体呈先增加后减少,总体减少的趋势,1989—2020 年总体减少 411 km²,占比 45.01%; 草地减少的流向主要以耕地占比最高,其中 2010—2020 年间占比达 45.17%。耕地面积总体呈增加趋势,2020 年较 1989 年增加 632 km²,占比 23.18%; 增加部分主要来自沙地和草地,其中草地整体占比比沙地高。水面面积总体变化较小,水面主要集中在乌梁素海水域,主要变化为乌梁素海周边水域被开发利用为耕地,或耕地转换为水面。

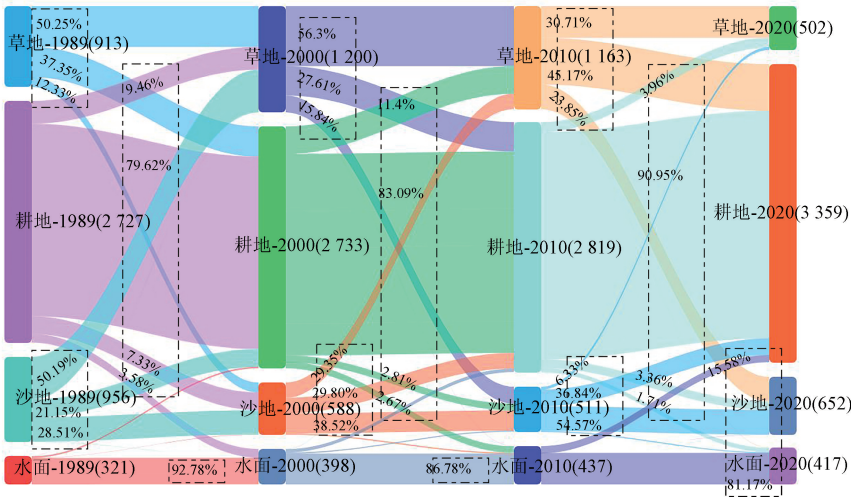


图 7 乌拉特前旗 1989—2000 年地表覆盖类型变化情况

Fig. 7 Changes of land cover types in Urad Front Banner from 1989 to 2000

2) 北部: 乌拉特中旗和乌拉特后旗。从乌拉特中旗和乌拉特后旗地表覆盖类型变化情况(图 8)可

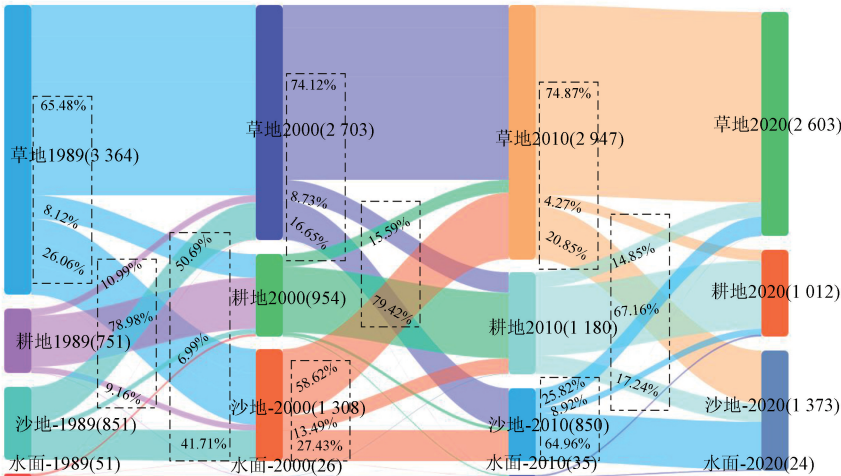


图 8 乌拉特中旗、乌拉特后旗 1989—2020 年地表覆盖类型变化情况

Fig. 8 Changes of surface coverage types in Urat Middle Banner and Urat Rear Banner from 1989 to 2020

以看出,沙地面积总体变化起伏较大,2020 年较 1989 年总体增加 522 km²,占比 61.33%; 但各年度增减变化较大,增加和减少部分主要都为草地,而流向耕地和来自耕地的占比均相对较小。草地的面积

变化趋势正好和沙地相反,2020 年较 1989 年减少 76 km²,占比 22.62%; 同样是增减变化起伏较大,增加和减少部分主要来自沙地。乌拉特中旗和乌拉特后旗耕地面积分布占比相对较小,总体呈增加趋

势,2020 年较 1989 年增加 261 km²,占比 34.75%。由于水面面积较小,其转换关系不具太大的代表意义。

3)中部:五原县、临河区和杭锦后旗。从地表覆盖类型桑基图(图 9)可以看出,五原县、临河区和杭锦后旗内沙地分布面积占比较小,总体呈大面积

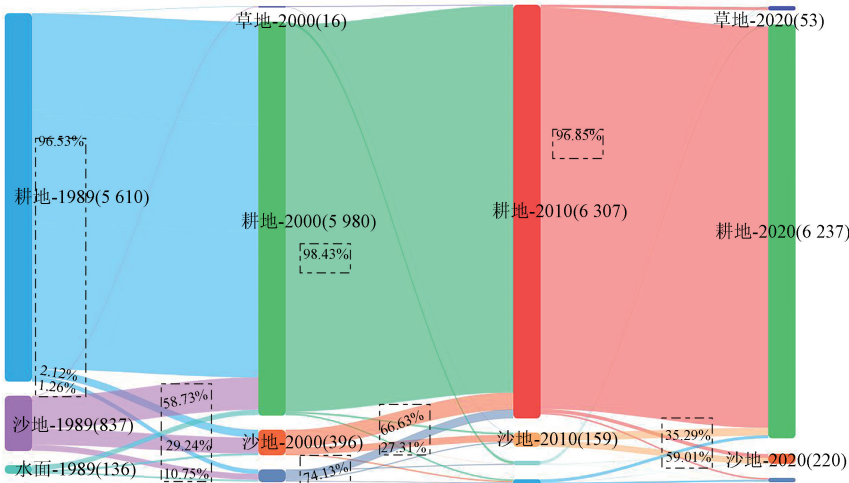


图 9 五原县、临河区和杭锦后旗 1989—2020 年地表覆盖类型变化情况

Fig. 9 Changes of land cover types in Wuyuan County, Linhe District and Hangjinhou Banner from 1989 to 2020

减少的趋势,2020 年较 1989 年减少 617 km²,占比 73.72%;减少部分主要流向为耕地,其中 1989—2000 年占比最高,达 58.73%。耕地面积总体呈大幅度增加的趋势,2020 年较 1989 年增加 627 km²,

占比 11.18%。草地和分布面积占比较小,总体呈增加趋势。水面分布面积较小,总体变化波动较大。

4)西部:磴口县。从各地表覆盖类型变化情况(图10)可以看出,沙地面积整体呈逐年下降趋势,

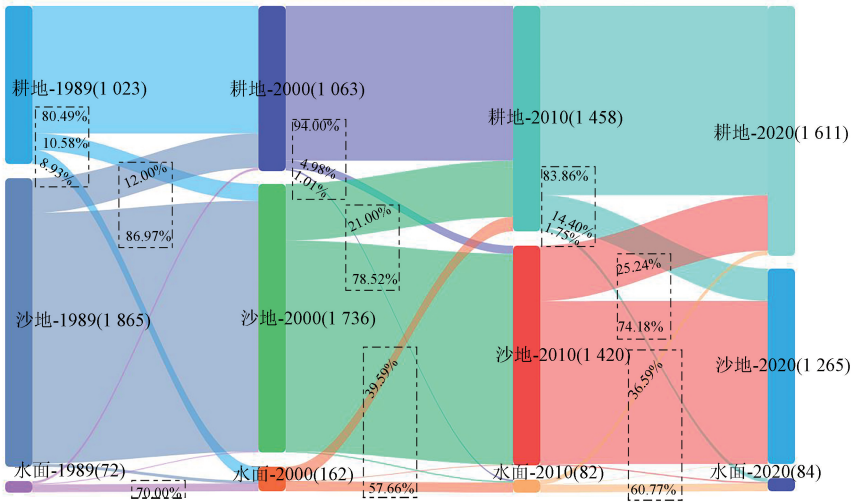


图 10 磴口县年地表覆盖类型变化情况

Fig. 10 Changes of land cover types in Dengkou County from 1989 to 2020

从 1989—2020 年减少 600 km²,占比 32.17%;减少部分主要流向均为耕地,其中 2010—2020 年间有 25.24%的沙地转化为耕地。耕地面积呈逐年增加趋势,1989—2020 累计增加 588 km²,占比 57.48%,这与沙地变化趋势正好对应,说明沙地主要转出方向为耕地。

3.4 驱动力分析

黄河流域巴彦淖尔段大部分为耕地区,生态结构相对单一,受自然环境变化和人类活动影响较大。

为分析各类地表覆盖类型转化的驱动力,选取社会影响因素(人口、国民生产总值、粮食产量)和自然影响因素(年平均气温、昼夜温差、降水量)对驱动力进行简要分析。为避免各驱动因素相互影响,对选定的 6 个驱动因子进行主成分分析,计算其特征值和主成分贡献率(表 3)。从表 3 中可以得出,前 3 个主成分的累计贡献率达 87%,说明前 3 个主成分可以代表选取的驱动因子的绝大部分信息。

表 3 PCA 中的特征值和累计贡献率

Tab. 3 Eigenvvalues ,contribution rate and cumulative contribution rate in PCA

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	2.467	41.109	41.109
2	1.552	25.859	66.968
3	1.203	20.055	87.023
4	0.416	6.936	93.959
5	0.300	5.002	98.961
6	0.062	1.039	100.000

主成分荷载矩阵如表 4 所示。从表 4 可以看出,第一主成分的主要影响因子是粮食总产量、国民生产总值,第二主成分主要影响因子为昼夜温差,第三主成分主要影响因子为降水量。综上分析得知社会影响因素为地表覆盖类型改变的主导因素,自然影响因素次之。

表 4 驱动因子主成分分析

Tab. 4 Principal component analysis of driving factors

影响因子	第一主成分	第二主成分	第三主成分
粮食总产量	0.942	0.196	0.115
国民生产总值	0.841	0.354	0.327
年均气温	0.766	-0.171	-0.362
昼夜温差	0.007	0.923	-0.114
降雨量	0.229	-0.505	0.772
人口	0.482	-0.502	-0.586

4 讨论与结论

4.1 讨论

1)整体地表覆盖类型变化的原因。通过对研究区整体地表覆盖类型的变化研究,可以发现整个研究区内耕地的面积总体呈增加趋势,分析其直接原因是粮食产量的增加,根本原因则是人口增长导致对粮食需求的增加,迫使人们不断改良耕种技术,加大对未开发利用土地的开发,从而导致耕地面积逐年增加;草地面积呈总体减少的变化趋势,其减少部分主要流向为耕地和沙地,其中流向耕地主要是因为人为开发利用,流向沙地主要是由于人为过度放牧和气象降雨等因素共同导致;沙地面积总体呈减少变化趋势,其中流向耕地部分证明 1989—2020 年 30 a 间人类对土地沙化的治理成效明显,流向草地的部分主要是荒漠草原区由于降水充足导致植被覆盖度提升而引起的变化。

2)地表覆盖类型变化趋势及驱动因素的区域性。由于整个研究区各区域地表覆盖类型的多样性,分区域讨论更能体现出地表覆盖类型变化的趋势及驱动因素。以荒漠草原为主的乌拉特中旗和乌拉特后旗,草地和沙地的变化趋势及变化量呈负相

关,说明荒漠草原区生态环境相对脆弱,易受降水和人为因素干扰,沙地和草地呈相互转化趋势,需要加大对荒漠草原区的保护力度,保持适当的放牧强度,确保荒漠草原区的生态系统稳定;以耕地为主的五原县、临河区和杭锦后旗,地表覆盖类型的变化主要体现在沙地的减少和耕地的增加,其主要原因是机械化耕种水平的提高和水利设施的完善,使得部分原来不能被用作耕地的沙地得到开发利用;以沙地占主要类型的磴口县,则明显表现为耕地面积的增加和沙地面积的减少趋势,其主要原因是大量人工干预措施如喷淋、喷灌设施的布设,使得对沙漠化土地的治理得到了明显的成效,但同时也需要注意,这部分由沙化土地治理来的耕地其生态稳定性相当脆弱,一旦失去人为干扰,很容易再次沙化。

4.2 结论

本次研究选取黄河流域巴彦淖尔段为研究区域,以 Landsat 遥感数据作为数据源,以目视解译加监督分类的方法对黄河流域巴彦淖尔段 1989—2020 年地表覆盖类型分布与变化情况进行了研究,同时对驱动力进行了简要分析,初步得出以下结论:

1)黄河流域巴彦淖尔段在 1989—2020 年间地表覆盖类型中耕地面积整体呈增加变化趋势,增幅达 20.83%;沙地面积呈减少变化趋势,2020 年较 1989 年减少 22.17%;草地面积整体呈减少趋势,减少 26.18%;水面面积变化相对较小。

2)不同地表覆盖类型呈现的区域变化规律各不相同。荒漠草原区为主的乌拉特中旗和乌拉特后旗,地表覆盖类型变化主要为沙地和草地之间的转化,驱动力主要为自然因素和社会因素共同驱动;以耕地为主的五原县、临河区和杭锦后旗,地表覆盖类型变化主要体现为耕地面积的增加和沙地面积的减少,主要驱动力社会因素占主导地位;以沙地为主的磴口县沙地面积大幅度减少,2020 年较 1989 年减少了 32.17%,耕地增加了 57.48%,主要驱动力社会因素占主导地位,30 a 间磴口县土地沙化治理成效显著。

3)黄河流域巴彦淖尔地区地表覆盖类型易受社会因素和自然因素影响而发生组成变化,特别是荒漠草原区和沙地区及沙地开发利用耕地的区域,生态系统稳定性相对脆弱,在之后国土空间开发利用中,应注意对该类地表覆盖类型的合理利用。

本文利用每 10 a 遥感数据对地表覆盖类型变化进行了分析,但对每 10 a 内的地表覆盖类型变化情况没有具体体现。下一步对该区域地表覆盖类型的研究应采用时间间隔更短的遥感影像,从而能更加全面地反映地表覆盖类型变化的细节。

参考文献 (References) :

[1] 刘永新,姜琦刚,刘 伟,等. 利用 GRSFAI 预测内蒙古北部干旱地区浅层地下水分布[J]. 世界地质,2019,38(4):1142-1151.
Liu Y X,Jiang Q G,Liu W,et al. Prediction of shallow groundwater distribution in arid region of northern Inner Mongolia using GRSFAI[J]. Global Geology,2019,38(4):1142-1151.

[2] Pedruzzi R, Andreão W L,Baek B H,et al. Update of land use/land cover and soil texture for Brazil:Impact on WRF modeling results over São Paulo[J]. Atmospheric Environment,2022,268:118760.

[3] Cho M S,Qi J. Quantifying spatiotemporal impacts of hydro-dams on land use/land cover changes in the Lower Mekong River Basin[J]. Applied Geography,2021,136:102588.

[4] Rodriguez-Caballero E,Reyes A,Kratz A,et al. Effects of climate change and land use intensification on regional biological soil crust cover and composition in southern Africa[J]. Geoderma,2022,406:115508.

[5] 高宇婷,于 洋,孙凌霄,等. 塔里木盆地南缘绿洲土地覆盖变化及驱动力[J]. 干旱区研究,2021,38(4):1172-1183.
Gao Y T,Yu Y,Sun L X,et al. Land coverage change and driving forces of an oasis in the southern margin of Tarim Basin[J]. Arid Zone Research,2021,38(4):1172-1183.

[6] 贾丹阳,熊祯祯,高 岩,等. 近 30 台特玛湖地区土地利用/土地覆被变化及其影响因素[J]. 干旱区地理,2021,44(4):1022-1031.
Jia D Y,Xiong Z Z,Gao Y,et al. Land use/Land cover change and influencing factors in the TaiTema Lake in the past 30 years[J]. Arid Land Geography,2021,44(4):1022-1031.

[7] 李石华,周峻松,王金亮. 1974—2014 年抚仙湖流域土地利用/覆盖时空变化与驱动力分析[J]. 国土资源遥感,2017,29(4):132-139. doi:10. 6046/gtzyyg. 2017. 04. 20.
Li S H,Zhou J S,Wang J L. Spatio-temporal LUCC and driving force in Fuxian Lake watershed from 1974 to 2014[J]. Remote Sensing for Land Resources,2017,29(4):132-139. doi:10. 6046/gtzyyg. 2017. 04. 20.

[8] 黄鹏程,张明明,王新宇,等. 基于 Landsat8 OLI 的西安市土地利用类型遥感分类研究[J]. 测绘与空间地理信息,2020,43(1):85-88,92.
Huang P C,Zhang M M,Wang X Y,et al. Remote sensing classification of land use in Xi'an based on Landsat8 OLI[J]. Geomatics & Spatial Information Technology,2020,43(1):85-88,92.

[9] 宋 奇,冯春晖,高 琪,等. 阿拉尔垦区近 30 年耕地变化及其驱动因子分析[J]. 国土资源遥感,2021,33(2):202-212. doi:10. 6046/gtzyyg. 2020183.
Song Q,Feng C H,Gao Q,et al. Change of cultivated land and its driving factors in Alar reclamation area in the past thirty years[J]. Remote Sensing for Land Resources,2021,33(2):202-212. doi:10. 6046/gtzyyg. 2020183.

[10] 王 敏,高新华,陈思宇,等. 基于 Landsat8 遥感影像的土地利用分类研究——以四川省红原县安曲示范区为例[J]. 草业科学,2015,32(5):694-701.
Wang M,Gao X H,Chen S Y,et al. The land use classification based on Landsat8 remote sensing image: A case study of Anqu demonstration community in Hongyuan County of Sichuan Province [J]. Pratacultural Science,2015,32(5):694-701.

[11] 袁盼丽,汪传建,赵庆展,等. 基于深度学习的寒旱区多时序影像土地利用及变化监测——以新疆莫索湾垦区为例[J]. 干旱区地理,2021,44(6):1717-1728.
Yuan P L,Wang C J,Zhao Q Z,et al. Dynamic monitoring of land-use/land-cover change in cold and arid region based on deep learning: A case study of Mosuowan reclamation area in Xinjiang [J]. Arid Land Geography,2021,44(6):1717-1728.

[12] 张金良,王 炜,付 健,等. 黄河流域内流区土地利用与植被覆盖时空演变规律[J]. 人民黄河,2022,44(11):1-5,19.
Zhang J L,Wang W,Fu J,et al. Spatial-temporal dynamic characteristics of land use and vegetation cover in inland flow area of Yellow River Basin[J]. Yellow River,2022,44(11):1-5,19.

[13] 张 静,杜加强,盛芝露,等. 1982—2015 年黄河流域植被 NDVI 时空变化及影响因素分析[J]. 生态环境学报,2021,30(5):929-937.
Zhang J,Du J Q,Sheng Z L,et al. Spatio-temporal changes of vegetation cover and their influencing factors in the Yellow River Basin from 1982 to 2015[J]. Ecology and Environmental Sciences,2021,30(5):929-937.

[14] 孙永军,周 强,杨日红. 黄河流域土地荒漠化动态变化遥感研究[J]. 国土资源遥感,2008,20(2):74-78,121. doi:10. 6046/gtzyyg. 2008. 02. 17.
Sun Y J,Zhou Q,Yang R H. A study of land desertification dynamic change in Yellow River Basin[J]. Remote Sensing for Land Resources,2008,20(2):74-78,121. doi:10. 6046/gtzyyg. 2008. 02. 17.

[15] 刘希朝,李效顺,蒋冬梅. 基于土地利用变化的黄河流域景观格局及生态风险评估[J]. 农业工程学报,2021,37(4):265-274.
Liu X Z,Li X S,Jiang D M. Landscape pattern identification and ecological risk assessment using land-use change in the Yellow River Basin[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2021,37(4):265-274.

[16] 肖东洋,牛海鹏,闫弘轩,等. 1990—2018 年黄河流域(河南段)土地利用格局时空演变[J]. 农业工程学报,2020,36(15):271-281,326.
Xiao D Y,Niu H P,Yan H X,et al. Spatiotemporal evolution of land use pattern in the Yellow River Basin(Henan section) from 1990 to 2018[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2020,36(15):271-281,326.

[17] 卫新东,张健,王筛妮,等. 黄河流域 2000—2020 年生态用地格局变化与分异趋势[J]. 生态学杂志,2021,40(11):3424-3435.
Wei X D,Zhang J,Wang S N,et al. The evolution and differentiation trend of ecological land pattern in the Yellow River Basin from 2000 to 2020[J]. Chinese Journal of Ecology,2021,40(11):3424-3435.

[18] 张银辉,罗 毅,刘纪远,等. 内蒙古河套灌区土地利用与景观格局变化研究[J]. 农业工程学报,2005,21(1):61-65.
Zhang Y H,Luo Y,Liu J Y,et al. Land use and landscape pattern change in Hetao Irrigation District, Inner Mongolia Autonomous Region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2005,21(1):61-65.

[19] 贾 鹏. 基于遥感的磴口县土地利用/覆盖变化研究[D]. 兰

州：兰州大学,2016.

Jia P. A study of LUCC in Dengkou based on remote sensing[D]. Lanzhou: Lanzhou University,2016.

[20] Yu Z,Di L, Yang R, et al. Selection of Landsat8 OLI band combinations for land use and land cover classification[C]// 2019 8th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics) Istanbul, Turkey, IEEE,2019:1-5.

[21] 李明洁,王明常,王凤艳,等. 基于多特征随机森林算法的深圳市土地利用分类[J]. 世界地质,2022,41(3):632-640.

Li M J, Wang M C, Wang F Y, et al. Land use classification in Shenzhen based on multi-features random forest algorithm[J]. World Geology,2022,41(3):632-640.

[22] Breiman L. Random forests[J]. Machine Learning,2001,45(1):5-32.

[23] 王德军,姜琦刚,李远华,等. 基于 Sentinel -2A/B 时序数据与随机森林算法的农耕地土地利用分类[J]. 国土资源遥感,2020,32(4):236-243. doi:10. 6046/gtzyyg. 2020. 04. 29.

Wang D J, Jiang Q G, Li Y H, et al. Land use classification of farming areas based on time series Sentinel -2A/B data and random forest algorithm[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2020,32(4):236-243. doi:10. 6046/gtzyyg. 2020. 04. 29.

[24] 高文龙,苏腾飞,张圣微,等. 矿区地物分类及土地利用/覆盖变化动态监测——以海流兔流域为例[J]. 国土资源遥感,2020,32(3):232-239. doi:10. 6046/gtzyyg. 2020. 03. 30.

Gao W L, Su T F, Zhang S W, et al. Classification of objects and LUCC dynamic monitoring in mining area: A case study of Hailiutu watershed[J]. Remote Sensing for Land Resources,2020,32(3):232-239. doi:10. 6046/gtzyyg. 2020. 03. 30.

[25] 谷彦斐,徐泮林,高明超. 1987—2017 年南京市土地利用/覆被变化及驱动力分析[J]. 测绘与空间地理信息,2021,44(7):131-133,143.

Gu Y F, Xu P L, Gao M C. Analysis of land use and land cover change and driving forces in Nanjing from 1987 to 2017[J]. Geomatics & Spatial Information Technology,2021,44(7):131-133,143.

[26] 李航. 统计学习方法[M]. 2 版. 北京:清华大学出版社,2019:297-298.

Li H. Statistical learning method[M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press,2019:297-298.

[27] 张洪敏,张艳芳,田茂,等. 基于主成分分析的生态变化遥感监测——以宝鸡市城区为例[J]. 国土资源遥感,2018,30(1):203-209. doi:10. 6046/gtzyyg. 2018. 01. 28.

Zhang H M, Zhang Y F, Tian M, et al. Dynamic monitoring of eco-environment quality changes based on PCA: A case study of urban area of Baoji City[J]. Remote Sensing for Land Resources,2018,30(1):203-209. doi:10. 6046/gtzyyg. 2018. 01. 28.

Exploring the spatio-temporal evolution of land cover types in the Bayannur section of the Yellow River basin from 1989 to 2020

LIU Yongxin, ZHANG Siyuan, BIAN Peng, WANG Pijun, YUAN Shuai
(Hohhot General Survey of Natural Resources Center, China Geological Survey, Hohhot 010010, China)

Abstract: Changes in land cover types play a significant role in investigating the changes in regional ecological environments. This study aims to accurately determine the changes in land cover types in the Bayannur section of the Yellow River basin from 1989 to 2020. Based on Landsat data images, and combining visual interpretation with supervised random forest classification, this study interpreted and classified the land cover types of banners/counties within the Bayannur section at an average interval of 10 years from 1989 to 2020. The accuracy verification reveals an overall classification accuracy of above 85% and a Kappa coefficient of above 0. 80. As demonstrated by the transfer change matrix of land cover types, the Bayannur section during the study period saw a decrease of 22. 17% in sandy land, a reduction of 26. 18% in grassland, an increase of 20. 83% in cultivated land, and subtle variations in water surfaces. Different areas exhibited distinct changes in land cover types. Desert steppe areas were characterized by mutual transformation between sandy land and grassland. Cultivated and sandy land areas primarily exhibited a shift from sandy land to cultivated land, significantly represented by Dengkou County, where the sandy land decreased by 32. 17% and the cultivated land increased by 57. 48% in 2020 compared to 1989. Changes in land cover types of desert steppe areas were driven by both social and natural factors, whereas those of cultivated and sandy land areas were predominantly subjected to social factors. The results of this study will provide effective data reference and support for more rational planning and utilization of land space.

Keywords: land cover type; supervised classification; random forest

(责任编辑: 陈昊旻)