

1990—2015年乌苏里江流域土地覆被变化

康乾坤^{1,2}, 于皓³, 王宗明², 张柏², 任春颖², 毛德华²

(1. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙 410083; 2. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所 湿地生态与环境重点实验室, 吉林 长春 130102; 3. 吉林建筑大学 测绘与勘查工程学院, 吉林 长春 130118)

摘要: [目的] 分析1990—2015年乌苏里江流域内中国和俄罗斯两国区域土地覆被变化特征和差异, 为该流域内人地关系研究和土地资源管理提供科学参考。[方法] 以Landsat TM/OLI遥感影像为数据源, 采用基于面向对象的遥感分类方法, 提取乌苏里江流域1990年和2015年的土地覆被信息, 分析乌苏里江流域土地覆被变化的主要特征。[结果] 1990—2015年的26年间, 乌苏里江流域内农田、湿地面积变化较为明显。农田呈扩张趋势, 面积增加6 089.69 km², 增长率18.4%。其中, 5 416.7 km²农田由湿地转化而来, 农田扩张主要发生在中国境内区域。湿地、林地面积分别减少了5 683.51和844.09 km², 减少率分别为56.4%和3.51%。俄罗斯境内土地覆被变化作用强度较弱, 各土地覆被类型间变化率均不超过2%。[结论] 气候、地形、农业宏观政策和农业生产方式等是推动乌苏里江流域土地覆被变化的影响因素; 其中, 农业生产方式的转变和规模的扩大是该流域土地覆被变化的最主要驱动力。

关键词: 土地覆被变化; Landsat 遥感数据; 面向对象的图像分析方法; 乌苏里江流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)04-0312-09

中图分类号: TP79, F301.2

文献参数: 康乾坤, 于皓, 王宗明, 等. 1990—2015年乌苏里江流域土地覆被变化[J]. 水土保持通报, 2020, 40(4): 312-320. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.04.042; Kang Qiankun, Yu Hao, Wang Zongming, et al. Land cover change in Wusuli River basin from 1990 to 2015 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(4): 312-320.

Land Cover Change in Wusuli River Basin from 1990 to 2015

Kang Qiankun^{1,2}, Yu Hao³, Wang Zongming², Zhang Bai², Ren Chunying², Mao Dehua²

(1. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University,

Changsha, Hunan 410083, China; 2. Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment,

Northeast Institute of Geography and Agroecology, Changchun, Jilin 130102, China; 3. School of

Geomatics and Prospecting Engineering, Jilin University of Architecture, Changchun, Jilin 130118, China)

Abstract: [Objective] The characteristics and differences of land cover change between China and Russia in the Wusuli River basin from 1990 to 2015 were analyzed in order to provide a scientific reference for the study of human-environment interaction and land resource management in the basin. [Methods] The Landsat TM/OLI remote sensing image was used as the data source, and the object-oriented remote sensing classification method was used to extract the land cover information of 1990 and 2015 in Wusuli River basin, and the main characteristics of land cover change in Wusuli River basin were analyzed. [Results] During the 26 years from 1990 to 2015, the change of farmland and wetland area in Wusuli River basin was obvious. The area of farmland was expanded by 6 089.69 km² with an increase rate of 18.4%. Among them, 5 416.7 km² was transformed from wetland, and farmland expansion mainly occurred in China. The area of wetland and forest land decreased by 5 683.51 km² and 844.09 km², with a reduction rate of 56.4% and 3.51%, respectively. The intensity of land cover change in Russia was weak, and the change rate among land cover types was less than 2%. [Conclusion] Climate, topography, agricultural macro policy and agricultural production mode are the factors that promote the change of land cover in Wusuli River basin, among which the change of agricultural production mode and the expansion of scale are the main driving forces.

收稿日期: 2020-03-16

修回日期: 2020-05-24

资助项目: 中国科学院重点部署项目“周边国家及全球资源环境科学数据库建设与决策支持研究”(KZZD-EW-08-02)

第一作者: 康乾坤(1994—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 硕士研究生, 研究方向为生态遥感应用。Email: kangqiankun_nwsuaf@163.com。

通讯作者: 于皓(1989—), 女(汉族), 吉林省松原市人, 博士, 讲师, 主要从事资源环境遥感研究。Email: yuhao@jlju.edu.cn。

Keywords: land cover change; landsat remote sensing data; object-oriented image analysis method; Wusuli River basin; comparison between China and Russia

土地覆被是人类活动因素与自然环境耦合作用下形成的土地资源空间格局^[1]。土地覆被变化是全球环境变化研究中的重要组成部分,是直观表达人类活动及自然环境变化等对地表系统动态影响的度量^[2]。准确而高效的描述土地覆被变化的过程是土地资源管理与规划的基础^[3]。不同国家和地区受到自然环境及当地经济政策等综合因素影响,其土地覆被类型的分布和时空变化特征呈现明显的差异性,特别是在跨境区^[4]。乌苏里江流域横跨中俄两国,西侧位于中国境内,东侧位于俄罗斯境内;该流域具有独特的自然地理环境、丰富多样的物种和自然资源^[5]。近年来,随着全球规模的人口增长、气候变化、以及自然灾害的频发等种种因素,乌苏里江流域的生态系统也受到一定程度的影响,生态系统功能在逐渐的弱化^[6]。国内外学者^[7-9]在土地覆被变化方面已经进行了大量研究,但在乌苏里江流域的土地覆被变化分析较少。吴运军等人^[10]对乌苏里江流域中国境内部分水土流失效应进行分析,结果表明研究区内土地利用结构变化发展不利于水土保持,研究区承受水土流失加剧的危险。满卫东等人^[11]利用面向对象遥感影像分类方法对乌苏里江流域中国境内湿地景观动态进行研究分析,结果表明天然湿地正在逐渐减少、人工湿地不断集中化。张晓红等人^[12]对乌苏里江水文地理研究情况展开综述研究分析,概括了乌苏里江水文地理的主要概况。目前仅有的研究主要针对乌苏里江流域内部的单一的土地覆被类型进行研究和分析,缺少对该区土地覆被整体现状描述及其时空变化特征的整体分析,尤其是乌苏里江流域内中一俄两国的对比分析。因此,本研究以 Landsat TM/OLI 遥感影像为数据源,采用基于面向对象的遥感影像分类方法和动态监测方法,获取乌苏里江流域 1990 和 2015 年的土地覆被分布信息,实现对中俄跨境区域土地覆被变化特征的对比分析,探索土地覆被变化的主要原因,旨在为乌苏里江流域人地关系研究和土地资源管理提供参考,为中俄两国土地资源可持续利用和生态环境保护奠定基础,同时为中国东北边境地区的相关研究提供基础数据和科学依据。

1 研究区概况

乌苏里江是中国与俄罗斯两国的界江,同时也是中国东北地区黑龙江南岸的支流,地处北纬 43°24′—48°54′,东经 129°48′—138°6′^[12]。乌苏里江西侧位于中国境内,主要包括黑龙江省的佳木斯市、双鸭山市、

鸡西市以及七台河市等地区;东侧为俄罗斯领土,流经哈巴罗夫斯克边疆区和滨海边疆区。乌苏里江干流河道位于中国的完达山脉和俄罗斯锡霍特山脉之间的宽阔河谷中,河道宽度 100~300 m,弯曲系数约为 1.13,坡降系数为 0.06%~0.02%。绝大部分的河段位于低缓的平原,上中游为河谷谷地,下游多为洼地及沼泽湿地。乌苏里江 905 km 的全长中,由松阿察河河口至汇入黑龙江口处为 492 km,此部分为中俄两国的界河,其余 413 km 则位于俄罗斯境内。乌苏里江全长整体流域面积 1.96×10^5 km²。流域内年均气温约为 3.9℃,年均降水 520 mm 左右^[13]。

2 研究方法与数据来源

2.1 数据来源与预处理

本研究以 1990 年和 2015 年夏季覆盖流域全境、质量良好的 Landsat TM/OLI 遥感影像为基础源数据(<http://glovis.usgs.gov>);2009 年度空间分辨率为 300 m 的 GlobCover 土地覆被栅格数据为分类参考数据(欧空局 GlobCover 全球陆地覆盖数据,<http://globalchange.nasdc.cn>);辅助数据为空间分辨率为 30 m 的数字高程模型[ASTER-GDEM(v.2),<http://www.gscloud.cn/>]。气象数据是由中科院所提供的 1990—2015 年 1 km 分辨率栅格影像。研究区中国境内地区的经济、人口、农业等数据均取自黑龙江省 1990—2016 年的统计年鉴;俄罗斯境内相关数据取自世界银行数据平台(<https://data.worldbank.org.cn/>)和 1990—2016 年俄罗斯统计年鉴。数据预处理主要包括:对研究区遥感影像进行几何纠正、大气校正、辐射定标、图幅拼接和分幅等处理。对难以判别的地物进行图幅的增强处理,加强土地覆被目标类型的影响辨识度。

2.2 土地覆被信息提取方法及精度验证

本研究依据东北亚地区土地资源的空间分布特征,参考国内外相关的土地覆被遥感分类体系^[14-18],对乌苏里江流域建立土地覆被遥感分类规则集,主要包括:林地、草地、湿地、水体、火烧痕迹、裸土地、永久冰雪、农田和人工表面共计 9 个土地覆被类型。根据不同土地覆被类型的遥感影像特征、结合实地调查采样点信息、地形相关因子等辅助决策信息,采用波段反射率;NDVI,RVI,SAVI,LAVI 等植被指数;NDWI,mNDWI 等水体指数;以及形状、纹理等光谱特征,构建基于 Landsat TM/OLI 影像的土地覆被遥感分类规则集,主要土地覆被类型分类规则集如图 1 所示,

其中火烧痕迹、永久冰雪这两类信息一般最后进行提取,并结合目视解译的方法修改,最后将所有的

分类信息整合,同时通过目视解译的方法完善分类结果。

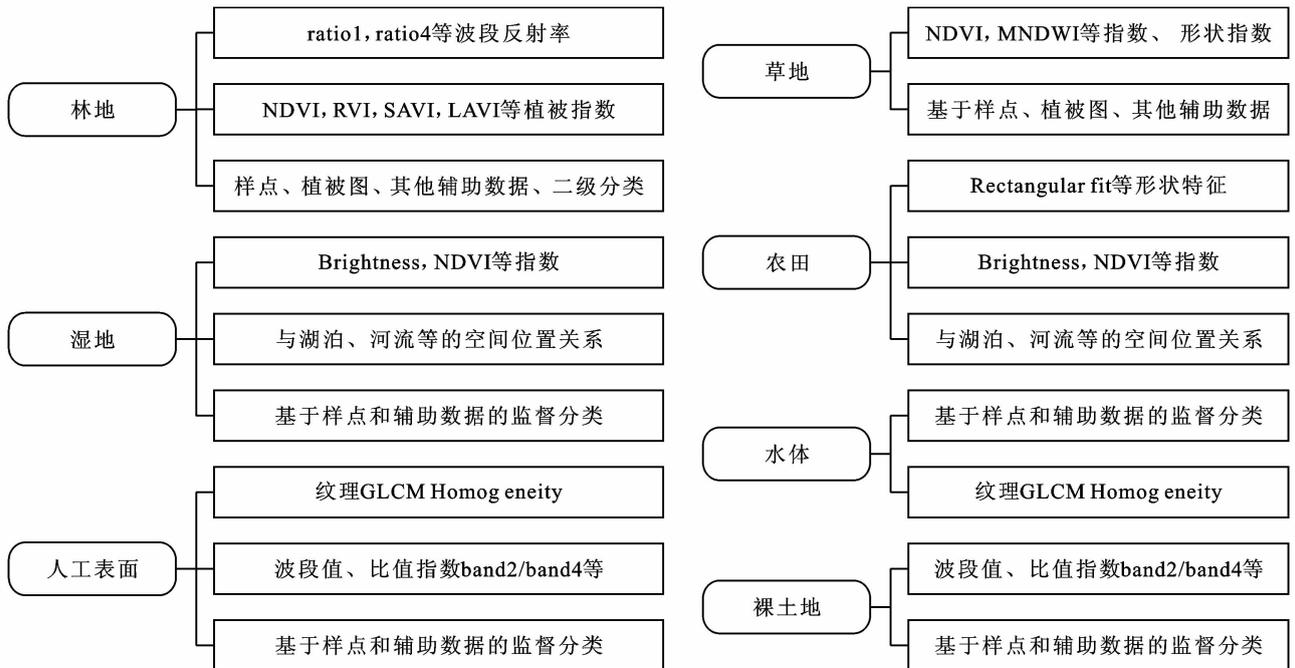


图 1 乌苏里江流域主要土地被覆类型遥感分类规则集

本研究采用基于面向对象的多尺度分割方法^[19],对研究区 1990 和 2015 年的遥感影像进行图像分割提取。面向对象分类方法改善了传统基于像元分类方法的局限性,以相邻的同质像元集合为处理单元,有效的避免了基于像元方法所产生的“椒盐现象”,有利于实现较高精度的图像分类和目标地物信息提取^[20-21]。采用德国 Definiens Imaging 公司所研发的 eCognition 8.64 软件对遥感影像及相关参考辅助数据进行面向对象的多尺度分割处理,通过测试和对比分析,确定图像的分割尺度、波段权重完成图像对象分割。结合多源辅助信息,运用分层分类、多时相辅助,变化检测的方法完成乌苏里江流域遥感影像的信息提取。依据分割对象的植被指数、水体指数、光谱特征、纹理形状、地形特征等参量进行不断调试并最终确定分类阈值。分类阈值的确立以农田覆被类型为例(见图 2),最终完成土地覆被信息的提取。

本研究利用 Google Earth 平台的高分辨率卫星影像选取覆被类型验证点的形式,对乌苏里江流域的分类结果进行验证。其中 Google Earth 平台上,采用 835 个均匀选点的形式获取验证点数据。在研究区内 1990 年验证点共计 361 个,2015 年验证点 474 个。验证结果表明,两期影像土地覆被分类总体精度分别为 93.5% 和 94.67%, kappa 系数分别为 0.89 和 0.92,总体分类精度满足本次研究需求。

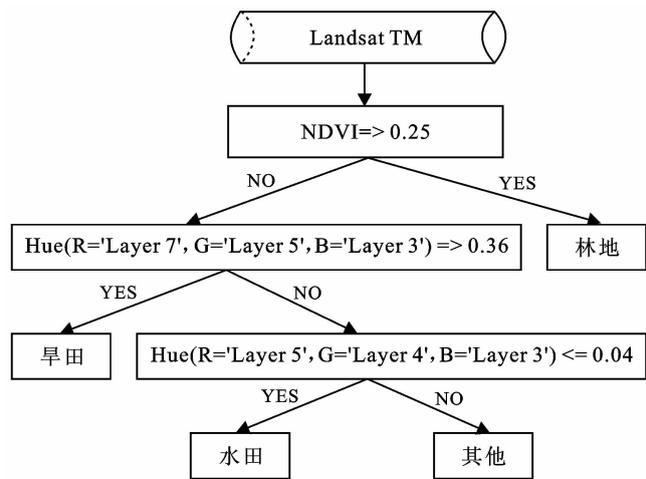


图 2 农田覆被类型信息提取分类树

2.3 土地覆被变化监测分析方法

土地覆被类型变化的差异可以通过土地覆被类型转出率和转入率来集中体现^[22],即对于某一单一土地覆被类型 X :

$$S_m = \frac{\Delta X_m}{X_i(t_2)} \times [1/(t_2 - t_1)] \times 100\% \quad (1)$$

$$S_{out} = \frac{\Delta X_{out}}{X_i(t_1)} \times [1/(t_2 - t_1)] \times 100\% \quad (2)$$

式中: ΔX_m 为后一时刻(t_2)条件下,其他土地覆被类型转为该土地覆被类型的总面积数; ΔX_{out} 为前一时刻(t_1)条件下,该土地覆被类型转为其他土地覆被类

型的总面积数; $X_i(t_1)$ 为 t_1 时刻第 i 项土地覆被类型的总面积。该模型主要针对于单一土地覆被类型的总体变化格局的度量。

利用土地覆被变化转移矩阵可以具体、精确地反映出土地覆被变化的动态特征^[20]。其主要表达在具体的时间间隔中,土地覆被变化的定量表述,其数学表达式为:

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

式中: S 为某时间间隔内的土地覆被转移矩阵; S_{ij} 为该时间间隔内由土地覆被类型 i 转化为类型 j 的具体定量表达; n 为土地覆被的类型数。

3 结果分析

3.1 乌苏里江流域土地覆被现状及动态变化

本研究对乌苏里江流域 1990, 2015 年的两期 Landsat 卫星影像进行遥感解译、处理后,得到乌苏里江流域土地覆被类型空间分布图(见封 3, 附图 6), 各个土地覆被类型面积统计特征详见表 1。2015 年乌

苏里江流域最主要的土地覆被类型为林地, 总面积 $1.18 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占流域总面积的 59.85%, 主要分布于乌苏里江东侧地区; 第二大土地覆被类型为农田, 总面积 $3.91 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占比 19.55%, 农田主要分布于乌苏里江干流的西侧以及兴凯湖周边地区; 湿地总面积为 $2.28 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占比 11.64%, 主要集中分布于中俄边界以东地区以及兴凯湖东侧地区; 水体面积 $6\,253.27 \text{ km}^2$, 占比 3.18%, 主要集中于兴凯湖地区; 人工表面积、裸土地、永久积雪等土地覆被类型在流域内相对较少, 占比均不超过 2%。依据乌苏里江流域 1990—2015 年的土地覆被类型面积变化以及其变化幅度, 可以看出, 农田是流域内变化幅度最大的覆被类型, 面积呈显著增长趋势 ($+6\,089.69 \text{ km}^2$), 增长率 18.40%。农田的变化区域主要分布于流域西北部、西部、以及中部中俄边界西侧等地区; 水体和人工表面也呈现增趋势 ($281.24, 159.2 \text{ km}^2$), 增长率为 4.74% 和 6.3%。以上 3 种覆被类型 26 a 间呈现增长趋势, 湿地、草地、林地等覆被类型呈现出不同程度的面积削减, 其中以湿地最为严重, 同 1990 年相比面积减少 $5\,683.51 \text{ km}^2$, 减少率为 19.91%。林地和草地变化幅度相对较小, 减少率分别为 0.71% 和 0.39%。火烧痕迹由于 2015 年未监测出其存在, 减少比例为 100%。

表 1 乌苏里江流域 1990 和 2015 年土地覆被类型面积统计结果

土地覆被类型	1990 年		2015 年		1990—2015 年	
	面积/ km^2	面积比例/%	面积/ km^2	面积比例/%	变化面积/ km^2	变化幅度/%
林地	118 381.3	60.28	117 537.2	59.85	-844.09	-0.71
草地	6 268.06	3.19	6 243.73	3.18	-24.33	-0.39
湿地	28 542.68	14.53	22 859.17	11.64	-5 683.51	-19.91
水体	5 972.03	3.04	6 253.27	3.18	281.24	4.71
火烧痕迹	0.96	0	—	—	-0.96	-100
裸土地	1 591.43	0.81	1 614.18	0.82	22.75	1.43
永久冰雪	18.22	0.01	18.22	0.01	—	—
农田	33 095.46	16.85	39 185.15	19.95	6 089.69	18.4
人工表面	2 526.12	1.29	2 685.32	1.37	159.2	6.3

3.2 乌苏里江流域中国境内区域土地覆被动态变化

乌苏里江流域中位于中国境内的区域总面积 $6.11 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占流域总面积的 1/3。通过对分类结果的分析, 农田是该区域最主要的土地覆被变化类型, 其次为林地和湿地。其余土地覆被类型转入转出率均在 5% 以下。具体的面积统计及土地覆被类型转化数据详见表 2—3。对比表 2 中各土地覆被类型的类型间转移矩阵可以看出, 1990—2015 年流域中国境内面积增加的土地覆被类型依次为: 农田、水体和人工表面, 农田是面积增长最大的覆被类型 ($+6\,089.59 \text{ km}^2$), 增长率 22.45%; 水体增加 14.38% ($+290.17 \text{ km}^2$), 人工

表面有所增长 ($+145.03 \text{ km}^2$), 增长率 12.4%。流域中国境内面积减少的土地覆被类型为: 湿地、林地、草地和裸土地, 湿地是面积减小最显著的土地覆被类型 ($-5\,685.28 \text{ km}^2$), 减少率为 56.40%; 其次为林地 (-720.22 km^2), 减少比例为 3.51%; 草地面积减少较小 (-116.82 km^2), 但相对于草地总体减少比例较高, 为 55.88%; 裸土地的变化面积最小 (-2.48 km^2), 但同样变化幅度较大, 减少率 53.6%。

对比表 3 中转入转出率数据, 湿地的减少主要转化为农田 ($-5\,416.77 \text{ km}^2$), 占区域内湿地总体面积的 53.74%, 产生变化的区域多集中在流域的北部地

区(抚远、密山、鸡东及宝清等地)。林地的削减也主要转化为农田(-1 206.2 km²),转出率 5.89%,但同时,26.87%的草地转化为林地;水体有所增加,主要

来源为湿地的转化(+245.46 km²)。流域中国境内,各类型间存在交替变化,既有转出又有转入,土地覆被变化作用较为广泛。

表 2 乌苏里江流域中国境内区域 1990—2015 年土地覆被类型间转化面积

km²

项目	2015 年面积							总计
	草地	林地	裸土地	农田	人工表面	湿地	水体	
1990 年 面积		56.171		47.134	0.338	23.941	0.559	209.054
草地	8.018		0.608	1 206.198	10.975	33.645	5.022	20 492.250
林地		0.220		0.691		1.056	1.151	4.625
裸土地	2.301	242.198	0.005		133.220	148.796	90.056	27 130.237
农田	0.003	4.031		20.697		1.711	0.830	1 169.503
人工表面	0.983	236.787	0.011	5 416.774	26.335		245.462	10 079.651
湿地	0.017	4.848	0.011	14.675	1.441	31.922		2017.351
水体	92.231	19 772.038	2.144	33 219.830	1 314.539	4 394.372	2 307.518	61 102.672
总计								

表 3 乌苏里江流域中国境内区域 1990—2015 年各土地覆被类型变化率转移矩阵

%

项目	草地	林地	裸土地	农田	人工表面	湿地	水体	
草地	转入率	8.69	0.00	2.49	0.00	1.07	0.02	
	转出率		26.87	0.00	22.55	0.16	11.45	0.27
林地	转入率	0.28	0.00	1.22	0.02	1.20	0.02	
	转出率	0.04		0.00	5.89	0.05	0.16	0.02
裸土地	转入率	0.00	28.37	0.25	0.00	0.51	0.51	
	转出率	0.00	4.75		14.93	0.00	22.83	24.89
农田	转入率	0.14	3.63	0.00		0.06	16.31	0.04
	转出率	0.01	0.89	0.00		0.49	0.55	0.33
人工表面	转入率	0.03	0.83	0.00	10.13		2.00	0.11
	转出率	0.00	0.34	0.00	1.77		0.15	0.07
湿地	转入率	0.54	0.77	0.02	3.39	0.04		0.73
	转出率	0.01	2.35	0.00	53.74	0.26		2.44
水体	转入率	0.02	0.22	0.05	3.90	0.04	10.64	
	转出率	0.00	0.24	0.00	0.73	0.07	1.58	

3.3 乌苏里江流域俄罗斯境内区域土地覆被动态变化

乌苏里江流域总面积的 2/3 位于俄罗斯境内,总面积 1.35×10⁵ km²,依据遥感分类结果对比分析,与中国境内地区农田占比近半数的情况不同,俄罗斯境内最主要的土地覆被类型为林地,总面积为 9.78×10⁴ km²,约占流域俄罗斯境内区域总面积的 72%,在区域内均匀分布,占主导地位。湿地是第二大土地覆被类型,总面积 1.85×10⁴ km²,占区域总面积的 13.65%,湿地集中分布于兴凯湖地区以及中—俄边境东侧的东南部地区,其他区域也有零散分布。其余的土地覆被类型面积较小,流域总面积占比均不足 5%,依所占比例大小依次为草地、农田、水体、裸土地、人工表面及永久冰雪。在 2015 年影像监测中亦未见有火烧痕迹覆被类型的出现,其具体数据见表 4。乌苏里江流域俄罗斯境内区域各个土地覆被

类型变化均不明显,去除 2015 年影像监测中未见有的火烧痕迹类型,其余土地覆被类型的面积变化率均不超过 2%,其中林地削减了 123.7 km²,是面积变化最大的覆被类型,减少率 0.13%,草地增长了 92.49 km²,是增长幅度最大的覆被类型,增长率 1.53%。两者均属于面积变化较大的覆被类型,相较于各自总体面积而言,变化幅度均不明显。其他土地覆被类型变化幅度与变化面积均远小于上述两者,转入转出率均低于 1%。

3.4 中—俄跨境区域土地覆被分布对比分析

中—俄两国乌苏里江流域土地覆被类型的时空分布具有较为明显的差异,依据上述结果:中国部分是以农田和林地为主要覆被类型,俄罗斯部分则以林地和湿地为主。流域内俄罗斯境内面积为中国境内面积的 2 倍有余,其林地和湿地面积更是远超中国

部分,约为中国部分的4倍;在中国境内占据主导地位的土地覆被类型是农田,其面积为俄罗斯部分的

5.5倍。中—俄两国在土地覆被类型的空间分布上存在巨大的差异(图3)。

表4 乌苏里江流域俄罗斯境内区域1990—2015年土地覆被类型间转化面积

km²

面积/km ²	2015年面积								总计
	草地	林地	裸土地	农田	人工表面	湿地	水体	永久冰雪	
草地		0.014	0.012			0.001			6 059.010
林地	91.329		26.383		1.280	6.807	0.003		97 889.074
裸土地	0.001	1.115			0.036		0.020		1 586.800
农田									5965.215
1990年 面积	0.178	0.088		0.018		0.004	0.078		1 356.621
湿地	0.927	0.692	0.018		4.473				18 463.028
水体	0.080	0.021		0.087	8.734	0.111			3 954.681
永久冰雪									18.218
火烧痕迹						0.958			0.958
总计	6 151.498	97 765.203	1 612.041	5 965.321	1 370.778	18 464.800	3 945.748	18.218	135 293.606

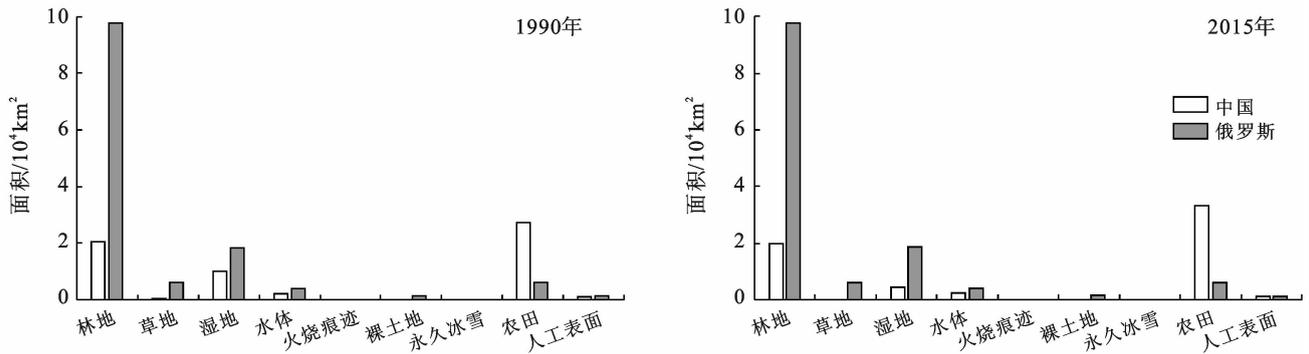


图3 乌苏里江流域中—俄境内区域1990—2015年土地覆被类型面积对比

3.5 中—俄跨境区域土地覆被类型间转化对比

中—俄两国境内区域的土地覆被类型间转化也存在明显差异,主要表现在农田、草地、林地和湿地这四种变化明显的土地覆被类型间:①农田转入。中国境内农田面积的增长主要来源于湿地(5 416.7 km²)和林地(1 206.2 km²)的转化;俄罗斯境内的农田变化微弱。②林地转出。中俄两国林地面积均有所缩减,中国境内1 206.2 km²的林地转化为农田,但同时544.25 km²的其它覆被类型转化为林地;俄罗斯境内的林地缩减面积的73.8%转化为草地。③草地转出。中国境内61.3%的草地转化为其他土地覆被类型,主要转化为林地、农田和湿地;俄境内草地呈现略微的增加了的趋势,主要是由于林地转化而来。④湿地转出。湿地在中国境内总面积的56.4%转化为其他覆被类型,主要转化为农田。俄境内基本无变化。

1990—2015年俄境内土地覆被的类型间的转入转出率均不超过2%,土地覆被类型的面积变化微弱,从而表现出俄罗斯地区土地覆被类型的空间格局稳定性较高。

4 中—俄跨境区域土地覆被变化驱动力分析

4.1 自然地理因素

近些年来乌苏里江流域气温的逐渐变冷、降水量的波动变化,是人烟稀少的乌苏里江流域土地覆被变化的重要自然地理因素^[24]。乌苏里江流域地区1990—2015年年均气温呈逐渐下降趋势(见图4),农作物霜冻期随之增加,不利于农业耕作;单位面积的耕作产出也会因此而减少,在农业不断发展的前提下,农田的需求会因此而增加,致使林地、草地以及湿地等转为耕地^[25]。

另一方面流域内降水虽整体以平缓增势增长,但年际间降水波动较大,通过对比中俄两国境内区域的土地覆被变化情况,在几近相同的气温、降水条件下,中国境内土地覆被类型变化明显,俄罗斯境内土地覆被类型变化微弱,由此可知自然地理因素虽然会对土地覆被变化产生一定的影响作用,但并不是该流域主要的驱动力因素。

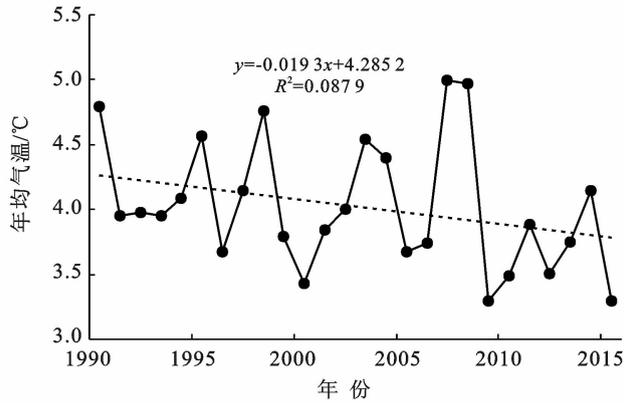
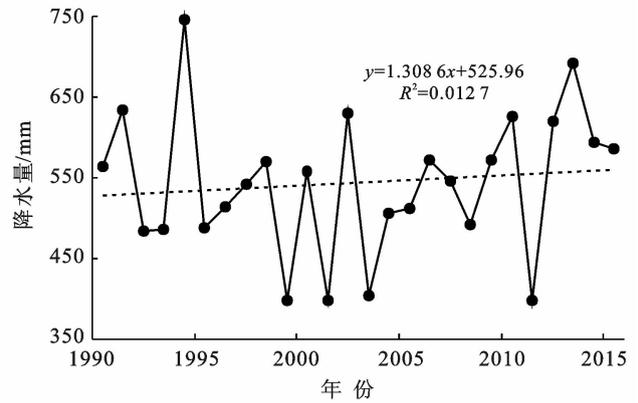


图 4 乌苏里江流域 1990—2015 年气温及降水变化趋势



地形因素也是影响土地覆被变化的重要因素之一^[26],随着坡度的升高,居住成本不断提升,水流由缓至快、水土流失加剧,导致农业耕作困难。乌苏里江流域 71.29%的土地集中在海拔 500 m 以下的区域,85.31%的土地集中于坡度 15°以下的区域(详见表 5)。

土地覆被类型发生转化的地区里主要以低海拔、低坡度等特征为主,林地由于其自身的特殊性较多地出现在高海拔和大坡度地区,农田和湿地的转化多发生在坡度 6°以下、海拔 150 m 以下的地区,占比均超过转化总面积的 90%。由此可见低海拔、低坡度是土地覆被转化的主要发生区域。

表 5 地形因子与土地覆被变化类型空间分析结果

									km ²	
项目	草地	火烧迹地	建筑用地	林地	裸地	农田	湿地	水体	总计	
坡度因子	0~2°	71.173	0.905	21.598	323.890	2.817	547.593	5 889.000	54.565	6911.541
	2~6°	26.734	0.053	5.279	622.288	0.350	49.683	35.855	6.323	746.566
	6~15°	28.178		0.744	402.848	0.282	17.698	6.247	0.935	456.932
	15~25°	1.993		0.017	39.476	0.505	1.494	0.599	0.076	44.158
	25~75°	0.015			4.085	0.330	0.039	0.000	0.005	4.474
总计	128.093	0.958	27.639	1 392.585	4.285	616.507	5 931.702	61.903	8 163.672	
高程因子	0~150 m	74.480		27.437	588.480	1.952	566.090	5 901.484	55.000	7 214.922
	150~300 m	33.834		0.192	436.710	1.220	31.813	22.908	5.106	531.782
	300~500 m	17.122	0.958	0.004	190.092	0.003	14.694	2.485	1.000	226.357
	500~1 000 m	2.718		0.006	176.560	1.114	3.974	5.467	0.837	190.677
	1 000~1 971 m				0.974					0.974
总计	128.154	0.958	27.639	1392.815	4.289	616.570	5932.343	61.943	8164.711	

4.2 人类活动因素

土地覆被变化是各种相关因素综合作用下的结果,自然因素主要影响土地覆被的空间格局,人类活动因素则作用于土地覆被的时空间变化^[27]。

本文通过人口因素、农业生产、和农业宏观政策三个方面来分析人类活动对乌苏里江流域土地覆被变化的影响。

4.2.1 人口因素 人口的增长是人类活动作用加剧的主要动力^[28]。根据黑龙江省 1990—2015 年的统计年鉴数据,乌苏里江流域中国境内 1990—2015 年人口变化呈现微弱下降趋势,从 1990 年的 494.63 万人到 2015 年的 472.6 万人,人口总数有所下降。农业人口所占比重由 1990 年的 52% 降至 2015 年的

41.2%,农业人口比例减少,城镇化迁移加剧,致使中国境内人工表面的增加。流域俄罗斯境内人口由 1990 年的 122.41 万人减至 2015 年的 119.04 万人。人工表面基本无变化。由此说明人口结构的变化导致人工表面的扩张,人口因素对土地覆被变化存在一定的影响作用,但不是乌苏里江流域土地覆被变化的主要驱动力因素。

4.2.2 农业生产 乌苏里江流域中国区域 26 a 以来在政策导向下农业的不断发展,与之对应的是农业总产值的稳步提升,流域中—俄境内农业总产值增长率的变化对比证实了两地区的农业发展水平的差异(图 5),流域中国境内人均农业总产值由 1990 年的 996.31 元增长至 2015 年的 18 541 元,26 a 来增长明

显。俄境内人均农业总产值则由 3 917.7 元增长至 3 960.8 元,增长趋势微弱。依据农业生产角度,俄罗斯境内多年来较为稳定,农田这一覆被类型未有明显变化;中国境内由于人口规模的小幅度降低,但农田面积呈现出较大幅度的增长,因此,农业生产方式的改变便成了农田扩张乃至土地覆被整体格局变化的主要驱动力因素(图 6)。

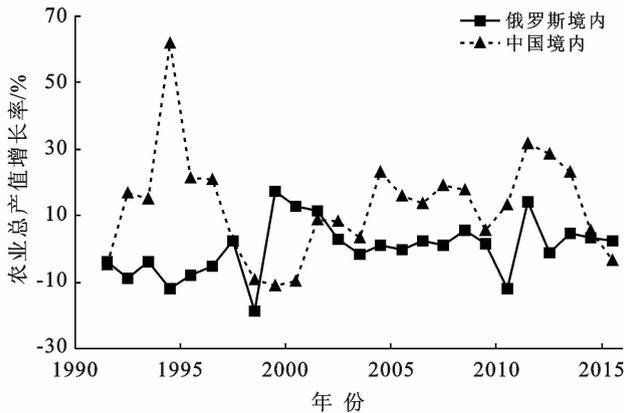


图5 乌苏里江流域中俄境内区域 1990—2015 年农业总产值增长率对比

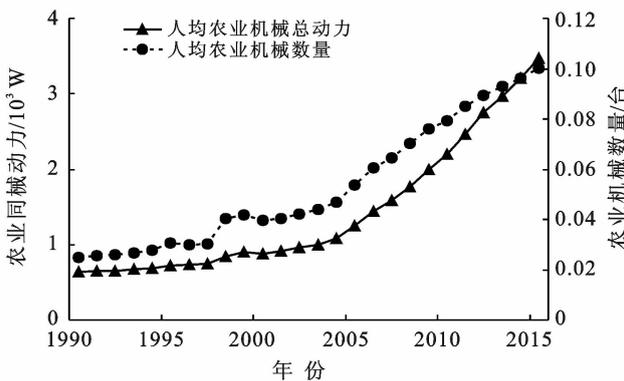


图6 乌苏里江流域中国区域 1990—2015 年农业生产总值以及农业机械总动力变化

农业机械总动力和农业机械数量的变化总体上呈相似的增长趋势,在总体人口规模略有缩减的情况下,农业机械的发展和规模的扩大化是农田扩张的主要影响因素,由于农业机械人均拥有量的增加,人均可耕作能力逐步提升,农田的需求也随之增加。伴随而来的便是农业活动的加剧,农田面积的增长,其他土地覆被类型的减少,最终农业总产值逐步提升,主要表现形式即为农田覆被类型的增长。由此可知农业生产方式和规模的改进是流域中国境内土地覆被变化的主要驱动力来源。

4.2.3 农业宏观政策 黑龙江省一直是中国粮食主产区。流域内双鸭山市、七台河市、牡丹江市均以大

豆为主要农作物,佳木斯市农作物则以大豆、玉米、水稻并重。1990年,黑龙江省扩大农业生产政策出台,全省范围内大面积种植水稻、大豆等农作物,全省耕地面积10 a间由 $8.73 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 增至 $9.40 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[29]; 2004年作为全国农村税费改革首批试点,黑龙江全省免征农业税,减轻农业人口税费压力,鼓励农业生产,扭转长期以来农业人口负担过重的局面;2013年国务院同意《黑龙江省“两大平原”现代农业综合配套改革试验总体方案》,先行在黑龙江省开始现代农业改革,明确了转变农业发展方式,提高农业综合生产能力和农民收入的目标。其后的2015年粮食产量 $7.62 \times 10^7 \text{ t}$,实现12 a连续增长,全国占比9.74%,产量位居全国首位。随着农业宏观政策的不断细化和完善,政策调控的影响效应已经全面带动农业的快速发展,同时也是整个乌苏里江流域土地覆被结构发生改变的重要驱动力因素。

5 结论

(1) 1990—2015年乌苏里江流域土地覆被变化呈现出跨境分割性的差异变化,中国境内变化强度大,土地覆被类型间转化较为广泛;俄罗斯境内由于人烟稀少,人类活动作用因素较弱,生态系统较为稳定,土地覆被变化不明显、强度低。乌苏里江流域的整体变化主要来自于中国境内的土地覆被变化,俄境内整体土地覆被变化较小,转入转出率均不超过2%。

(2) 乌苏里江流域土地覆被情况总体呈现出农田的显著增加($+6 089.59 \text{ km}^2$)、湿地的显著减少($-5 685.28 \text{ km}^2$)、林地、草地等生态系统面积也呈现减少。农田和湿地是乌苏里江流域内变化最突出的两个土地覆被类型。在流域内部,中国境内区域主要以农田的增加为主要变化类型;俄罗斯境内区域则是以林地的削减为主要变化类型。

(3) 土地覆被变化驱动力分析表明,气温和降水对流域内土地覆被变化的影响较小;低海拔、低坡度区域是乌苏里江流域土地覆被转化的集中区域。在流域内人口规模有所缩减的情况下,得益于良好的农业发展政策、农业生产方式的改进和规模的扩大提升了农业从业人员的个体耕作能力,从而加剧了对农田的需求,由农田扩张所带来的一系列土地覆被变化则是乌苏里江流域整体土地覆被变化的主要代表。农业宏观政策、农业生产方式的改进和规模的扩大是乌苏里江流域土地覆被变化的最主要驱动力。

[参 考 文 献]

[1] Turner II B L, Lambin E F, Reenberg A. The emergence

- of land change science for global environmental change and sustainability [J]. *PNAS*, 2007, 104(52): 20666-20671.
- [2] Dong Jinwei, Kuang Wenhui, Liu Jiyuan. Continuous land cover change monitoring in the remote sensing big data era [J]. *Science China Earth Sciences*, 2017, 60(12): 2223-2224.
- [3] Lambin E F, Turner B L. The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths [J]. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 2001, 11(4): 261-269.
- [4] 马恩朴, 蔡建明, 林静, 等. 远程耦合视角下的土地利用/覆被变化解释[J]. *地理学报*, 2019, 74(3): 421-431.
- [5] 曲春晖, 李长有, 朱丹. 乌苏里江流域水文概况[J]. *黑龙江水专学报*, 1999(2): 31-33.
- [6] 汪凌峰, 史蓉红, 张明海. 黑龙江流域中俄保护区现状及展望[J]. *野生动物*, 2006(6): 11-13.
- [7] Miettinen J, Shi C H, Liew S C. Land cover distribution in the peatlands of Peninsular Malaysia, Sumatra and Borneo in 2015 with changes since 1990 [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2016, 6(4): 67-78.
- [8] Song Wei, Deng Xiangzheng. Land-use/land-cover change and ecosystem service provision in China [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 576(1): 705-719.
- [9] Zhu Zhe, Fu Yingchun, Woodcock C E, et al. Including land cover change in analysis of greenness trends using all available Landsat 5, 7, and 8 images: A case study from Guangzhou, China (2000—2014) [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 11(185): 243-257.
- [10] 吴运军, 张树文, 侯伟, 等. 基于土地利用结构的乌苏里江水土流失效应分析[J]. *资源科学*, 2006, 30(1): 75-80.
- [11] 满卫东, 李春景, 王宗明. 基于面向对象分类方法的乌苏里江流域中俄跨境区域湿地景观动态研究[J]. *遥感技术与应用*, 2016, 31(2): 378-387.
- [12] 张晓红, 戴长雷, 王思聪. 乌苏里江流域水文地理研究进展[J]. *黑龙江水利*, 2017, 3(1): 32-36.
- [13] 戴长雷, 王思聪, 李治军, 等. 黑龙江流域水文地理研究综述[J]. *地理学报*, 2015, 70(11): 1823-1834.
- [14] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. *地理研究*, 2003, 22(1): 1-12.
- [15] Herold M. Land-cover observations as part of a global earth observation system of systems (GEOSS): Progress, activities, and prospects [J]. *IEEE Systems Journal*, 2008, 2(3): 414-423.
- [16] Loveland T R. Development of a global land cover characteristics database and IGBP Discover from 1 km AVHRR data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(6/7): 1303-1330.
- [17] Hansen M C. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 20(6/7): 1331-1364.
- [18] 欧阳志云, 张路, 吴炳方, 等. 基于遥感技术的全国生态系统分类体系[J]. *生态学报*, 2015, 35(2): 219-226.
- [19] 谭衢霖, 刘正军, 沈伟. 一种面向对象的遥感影像多尺度分割方法[J]. *北京交通大学学报*, 2007, 33(4): 111-114, 119.
- [20] Grebby S, Field E, Tansey K. Evaluating the use of an object-based approach to lithological mapping in vegetated terrain [J]. *Remote Sensing*, 2016, 8(10): 843.
- [21] 陈云浩, 冯通, 史培军, 等. 基于面向对象和规则的遥感影像分类研究[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2006, 31(4): 316-320.
- [22] Liu Jiyuan, Liu Mingliang, Tian Hanqin, et al. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990—2000: An analysis base on Landsat TM data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 98(4): 442-456.
- [23] 于皓, 张柏, 王宗明, 等. 1990—2015 年韩国土地覆被变化及其驱动因素[J]. *地理科学*, 2017, 37(11): 1755-1763.
- [24] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰, 等. 气候变化背景下中国东北三省农业气候资源变化特征[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(9): 2199-2206.
- [25] 王宗明, 宋开山, 刘殿伟, 等. 1954—2005 年三江平原沼泽湿地农田化过程研究[J]. *湿地科学*, 2009, 7(3): 208-217.
- [26] Song Fei, Yang Zhuoqian, Gao Xueyan, et al. Multi-scale feature based land cover change detection in mountainous terrain using multi-temporal and multi-sensor remote sensing images [J]. *IEEE Access*, 2018, 6: 77494-77508.
- [27] Wang Chengdong, Wang Yutao, Wang Renqing, et al. Modeling and evaluating land-use/land-cover change for urban planning and sustainability: A case study of Dongying City, China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 20(172): 1529-1534.
- [28] Zhang Hao, Qi Zhifang, Ye Xinyue, et al. Analysis of land use/land cover change, population shift, and their effects on spatiotemporal patterns of urban heat islands in metropolitan Shanghai, China [J]. *Applied Geography*, 2013, 44: 121-133.
- [29] 鞠金艳. 黑龙江省农业机械化发展的系统分析与对策研究[D]. 黑龙江 哈尔滨: 东北农业大学, 2011.