

基于 LANDSAT 的辽宁省朝阳市 1985—2020 年退耕还林工程动态监测

帅艳民^{1,2,3,4}, 霍燃¹, 曲歌¹, 邵聪颖¹, 田艳君¹

(1.辽宁工程技术大学 测绘与地理科学学院, 辽宁 阜新 123000; 2.浙江师范大学 地理与环境科学学院, 浙江 金华 321004; 3.中国科学院 中亚生态与环境研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830011; 4.中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: [目的] 分析辽宁省朝阳市退耕还林工程作用下的土地覆被情况, 跟踪监测年际间地类变动趋势, 探讨退耕还林工程对朝阳市荒山、耕地、林地和草地的影响, 为朝阳市土地资源合理规划利用提供科学支撑。[方法] 基于 1985—2020 年逐期 Landsat 影像, 利用 C5.0 算法提取该地区地表覆被时空分布信息, 借助土地利用动态度、土地利用转移矩阵等分析 36 a 间山田林草的动态变化及其驱动因素。[结果] ① 36 a 间朝阳市荒山绿化面积达 2 745.5 km², 退耕还绿的面积约 933 km², 工程成效较为显著。② 退耕区和还林区主要分布在坡度 >25° 和海拔超过 500 m 的地区, 二者变化主要表现在内部结构的转换, 即增加海拔低于 500 m 和坡度 <25° 的耕地比例, 基本符合退耕还林政策要求。[结论] 5 个阶段内朝阳市的山田林草在年际间都存在相互转换的情况, 相比前 3 个阶段, 后两个阶段在政策实施的加持下“逆过程”现象减少, 工程实施方面仍需加强监督, 精确理解国家政策和项目技术规程, 因地制宜地贯彻有关政策。

关键词: 退耕还林工程; 土地利用; 卫星监测; 地形因子; 辽宁省朝阳市

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2023)03-0113-10

中图分类号: F301.21, P23

文献参数: 帅艳民, 霍燃, 曲歌, 等. 基于 LANDSAT 的辽宁省朝阳市 1985—2020 年退耕还林工程动态监测 [J]. 水土保持通报, 2023, 43(3): 113-122. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.03.015; Shuai Yanmin, Huo Ran, Qu Ge, et al. Dynamic monitoring of grain for green program at Chaoyang City, Liaoning Province based on Landsat images during 1985—2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(3): 113-122.

Dynamic Monitoring of Grain for Green Program at Chaoyang City, Liaoning Province Based on Landsat Images During 1985—2020

Shuai Yanmin^{1,2,3,4}, Huo Ran¹, Qu Ge¹, Shao Congying¹, Tian Yanjun¹

(1. School of Geographic Information and Science, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China; 2. School of Geography and Environmental Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321000, China; 3. Chinese Academy of Sciences Research Center for Ecology and Environment of Central Asia, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: [Objective] The land cover during the grain for green project (GGP) at Chaoyang City, Liaoning Province were analyzed, and the trend of inter annual land class changes were tracked and monitored, and the impact of the project on barren hills, cultivated land, woodlands, and grasslands at Chaoyang City were discussed, in order to provide scientific support for the rational planning and utilization of land resources at Chaoyang City. [Methods] We used the C5.0 algorithm with Landsat images from 1985 to 2020 to extract the spatial-temporal distribution information of land cover in the region. The dynamic changes and driving factors of forest and grassland in a mountainous area during the 36-year study period were determined by means of land use dynamic attitude and a land use transfer matrix. [Results] ① During the past 36 years, the afforestation area of barren hills at Chaoyang City reached 2 745.5 km², and the afforestation area of cultivated land was about 933 km². GGP had achieved remarkable benefits. ② The returned farmland and reforestation areas were mainly located in areas with slopes >25° and altitudes over 500 m. The changes were mainly reflected in the transformation of the internal structure, that is, increasing the proportion of arable land with elevations

收稿日期: 2022-06-10

修回日期: 2022-10-01

资助项目: 辽宁工程技术大学项目“智慧农业遥感监测创新培育团队”(LNTU20TD-23)

第一作者: 帅艳民(1973—), 女(汉族), 山东省菏泽市人, 博士, 教授, 主要研究方向为植被定量遥感、地表辐射、卫星遥感数据产品。Email: shuaiym@gmail.com.

通信作者: 霍燃(1999—), 女(汉族), 辽宁省朝阳市人, 硕士研究生, 研究方向为植被遥感。Email: ran3323884534@163.com.

below 500 m and slopes $<25^\circ$, basically meeting the requirements of the GGP policy. [Conclusion] The barren hills, cultivated land, forests and grassland of Chaoyang City in the five GGP stages were transformed from one year to another. Compared with the first three GGP stages, the “reverse process” phenomenon in the latter two GGP stages was reduced in response to policy adjustments and implementation. In terms of project implementation, it will still be necessary to strengthen supervision, accurately understand national policies and project technical regulations, and implement policies according to local conditions.

Keywords: grain for green project; land use; satellite monitoring; topographic factors; Chaoyang City, Liaoning Province

“退耕还林”的客观执行情况是生态评价、工程规划和政策实施等决策所亟需的基本数据。而地方退耕还林统计数据在人为干预下可潜在提高生态效益客观评价^[1-2]。因此需要监测工程具体实施情况,以期适时发现问题故而合理调整政策。

退耕还林工程监测方法可归为统计汇总法、固定站监测法、抽样调查法和遥感手段参与的综合监测法^[3],不包括遥感监测的传统监测手段存在客观性不足,耗费大量资源及易受外界影响等缺点,而遥感监测凭借其可以“快”而“全”的优势获取大幅度同步、动态信息和可量化的土地利用变化信息而极具发展前景。

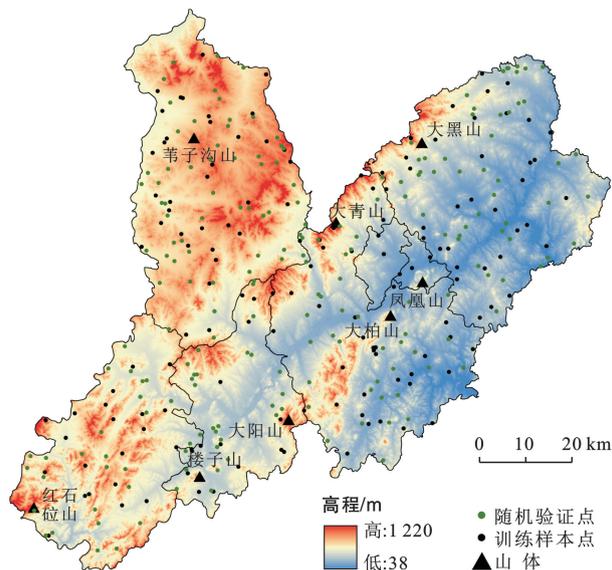
在退耕还林工程监测研究中,学者们多从土地覆被出发,用土地利用转移模型研究工程期间土地利用结构变化、动态变化和影响因素^[4-7]。此外,Bai等^[8]用萨克拉门托(Sacramento, GSAC)模型模拟 20 世纪 50—70 年代黑龙江东部(适)耕地、草地和落叶针叶林的变化,对流域径流如何影响耕地变化进行定量评价。部分研究将归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)、遥感数据和气候数据结合,选取 NDVI 和植被覆盖度(fractional vegetation cover, FVC)为评价指标监测工程实施情况^[9-12]。部分学者将研究重点落于成效监测,除土地利用类型和植被覆盖度外,还重点监测坡耕地变化和土壤侵蚀程度^[13-15],在已有研究基础进一步丰富退耕还林工程的监测意义。综合而言,前人对退耕还林工程的监测侧重于坡耕地与林地间的转换,忽视了退耕后复垦、荒山绿化及绿化后未成活的情况,很少反映研究的动态变化过程。

朝阳市还林政策推行困难且生态位置重要,“退耕还林”研究相对空白,因此,本文使用长时间序列的 Landsat 数据,通过 C5.0 算法获取朝阳市 1985—2020 年的土地覆被信息,根据年际间主要地类变化划分朝阳市退耕还林工程的成果,对其实施过程和“逆过程”监测评价及影响因素分析。

1 研究区域概况

朝阳市是连接东北与中原的枢纽地区,位于辽宁省“马蹄”形的西南部(图 1),地势西部偏高东部较低。境内努鲁儿虎和松岭两大山脉呈东北—西南走

向,其间多低山和丘陵及盆地地貌,并伴有大小凌河等冲击而成的带状平原。朝阳地处半干旱区,属温带大陆性季风气候,年日照时数在 2747~2 947 h 间,年均降水达 453~500 mm。朝阳地处内蒙古风沙区和东北重要粮食播区交界处,全市全年起风沙日数可达 200 d 多。在境内多山区和半干旱温带大陆性气候的综合影响下,荒山、耕地、林地和草地(山田林草)成为朝阳市的主要地物类型。因水土流失和风沙侵蚀严重,生态系统易受扰动且不易恢复,朝阳市成为辽宁省首批退耕还林工程的试点地区。



注:本图地理底图源于 USGS 官方网站,并基于自然资源部标准地图服务系统 GS(2016)1569 号标准地图校准制作。下同。

图 1 辽宁省朝阳市地理位置、高程及样本点分布

Fig.1 Geographical location, elevation and sample points distribution of Chaoyang City, Liaoning Province

2 研究方法及数据

2.1 数据及预处理

根据区域尺度监测需求、卫星数据质量及开放程度,选取 1985—2012 年 Landsat 系列 30 m TM 及 2013—2020 年 OLI 地表反射二级产品为数据源,几何精度达到亚像素级^[16-17]。每年皆选取 2,6,8,9,10 月多时相数据,捕获植被主要生育期信号的同时避开常年云量较多月份(3—5 月)和冰雪潜在覆盖期(1,11,

12月)共获取360景影像。并对数据进行镶嵌和裁剪,使其完整覆盖研究区。为满足后续研究需求,对影像数据进行缨帽变换、纹理提取和归一化指数运算。

高程数据选取更适合中小区域的 ASTER GDEM 数据,在美国地质勘探局官网下载 30 m 空间分辨率数据,其垂直精度为 20 m,水平精度达 30 m。试验中镶嵌和裁剪高程数据从而与 Landsat 数据匹配,随后将高程数据转换成坡度数据用于后续分类规则的构建。

而后获取 450 个数量均匀的 2020 年实测样本,空间位置分散,避免携带区域特征(其中耕地、林地和不透水面 90 个,草地、荒山和水体 60 个),并以 3:2 的比例划分为训练样本和验证样本。其余年份样本以 2020 年为基准,对照历史影像剔除变化样本,并补充相同数量的对应地物样本点。参考《土地利用现状分类》(GB/T21010-2017)制定样本选取规则。

本研究使用的统计年鉴数据来自《辽宁年鉴》^[18]以及历年政府工作报告记载的 1985—2020 年退耕还林还草、荒山绿化和复垦数据。统计年鉴记录了年鉴发布前一年各省、市的主要农业生产情况、粮食播种面积、作物受灾情况、造林及育苗情况和林牧业生产情况等信息。

2.2 研究方法

2.2.1 分类方法 现有土地利用产品的地类不能满足退耕还林工程监测研究,故本文采用 C5.0 算法自行

分类。C5.0^[19]利用信息增益比(Info-Gain-Ratio, IGR)寻找最佳分割点,以最大信息增益判定向下生长的分割节点,直到获得最佳方案。IGR 的计算公式如下:

信息熵用于度量样本集纯度,数值越小,纯度越高。 p_k 表示数据集 S 中是 k 类的比例, n 为 S 的分类号,被定义为:

$$E(S) = - \sum_{k=1}^n p_k \log_2^k \quad (1)$$

新节点与旧节点的熵差是信息增益,一般情况下 $E(S) > E(S_i)$,表示为:

$$G(S, B) = E(S) - \sum_{i=1}^l \frac{|S_i|}{|S|} E(S_i) \quad (2)$$

把样本集划为子集时,变量取值存在偏差,为减少偏差进行如下计算:

$$P(S, B) = - \sum_{i=1}^l \frac{|S_i|}{|S|} \log_2 \frac{|S_i|}{|S|} \quad (3)$$

C5.0 选择最大信息增益率的分组完成生长,定义为:

$$IGR(S, B) = G(S, B) / P(S, B) \quad (4)$$

(1) 训练样本选取。试验整合了 2020 年训练样本时序指数曲线的阈值范围(图 2),山田林草曲线趋势大体相似,阈值集中在特定范围,类内差异易于辨别;其余地类时序曲线阈值固定,且单凭曲线走向可见类间差异。分类时剔除超出标准误差允许范围的异常点,在确保各类样本个数充足的情况下保留 240 个高精度样本。其余 35 a 采取同种方法精选样本。

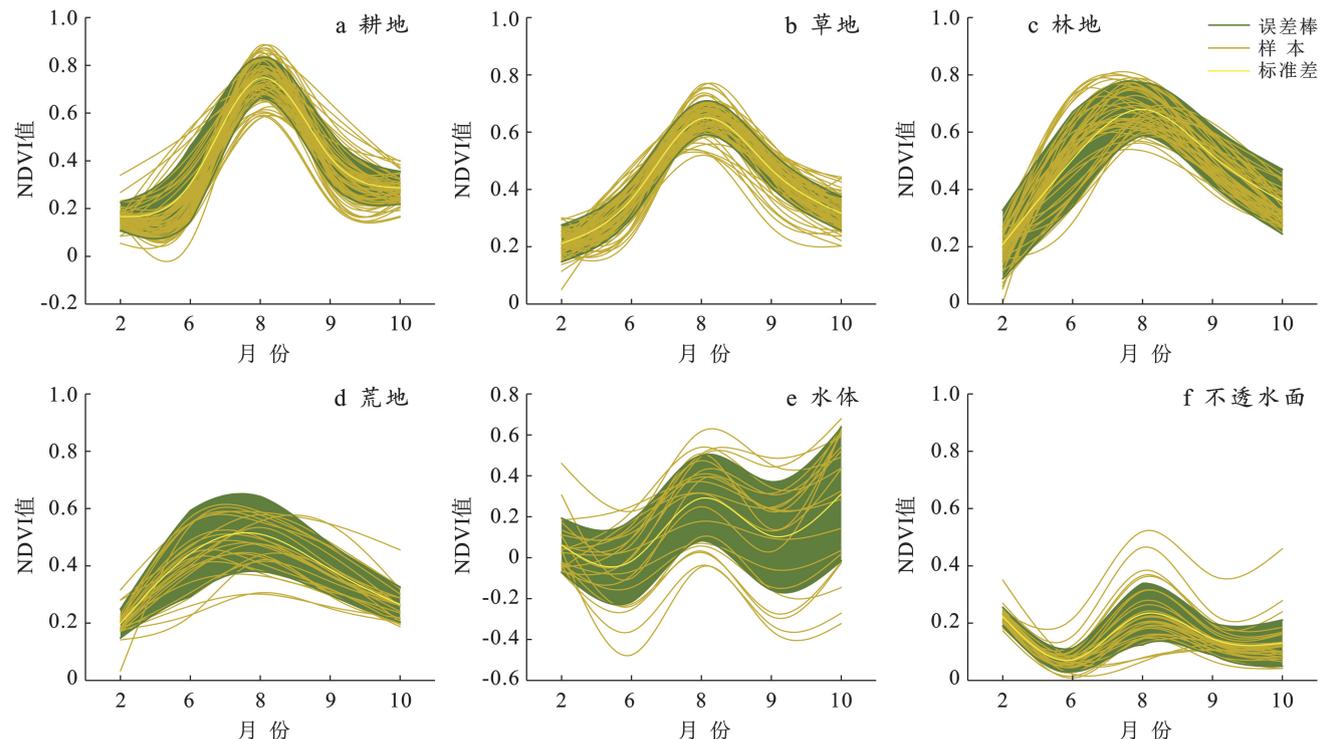


图 2 朝阳市 2020 年退耕还林工程监测统计数据训练样本时序指数曲线

Fig.2 Time sequence exponential curve of training samples of monitoring statistics for grain for green project in Chaoyang City

(2) 分类规则确定。综合信息增益、维数和特征出现频率,选取 NDVI, MNDWI, BCI, 同质度和均值特征进行分裂,并加入坡度和高程特征构成训练数据集。在图 2 的基础上统计了不同时相下各地类指数的频率正态分布,选取某地物频率对应的最大数值选

作分类阈值。根据筛选样本携带的地形信息确定坡度和高程阈值,结合指数阈值构成分类规则。以样本长时序一致为前提,其余年份参照 2020 年分类规则制定,最终获得朝阳市退耕还林工程的长时序静态阈值 C 5.0 分类机制,分类规则见表 1。

表 1 朝阳市退耕还林工程监测统计数据静态阈值分类规则

Table 1 Classification rules of static thresholds for monitoring statistical data of grain for green project in Chaoyang City

地物类型	分类规则	计算公式	描述信息	规则选取范围	特征类型
水体	MNDWI ^[20] Homogeneity ^[21]	$\frac{\text{Green}-\text{MIR}}{\text{Green}+\text{MIR}}$ $\sum_h \sum_k \frac{m_{hk}}{1+(h-k)^2}$	对影像进行归一化差值处理,凸显水体信息 度量图像纹理的局部变化情况,反映纹理的规律性	$\text{MNDWI}_{\text{June}} > 0.007$ 且 $\text{MNDWI}_{\text{Aug}} > 0.258$ 且 $0.238 < \text{MNDWI}_{\text{Sep}} < 0.304$, $\text{Hom} > 0.033$ 提取水体,反之为非水体	光谱特征 纹理特征
不透水面	BCI ^[22] Mean ^[21]	$\frac{(H+L)/2-V}{(H-L)/2+V}$ $\frac{1}{n} \sum_1^n x_i$	对影像进行缨帽变换后的归一化差值处理,突出不透水面信息 表征图像的纹理变化信息	$\text{BCI}_{\text{Jun}} > 0.095$ 且 $\text{BCI}_{\text{Aug}} > 0.195$ 且 $\text{BCI}_{\text{Sep}} > 0.125$, $\text{Mean} > 1.2$ 提取不透水面	光谱特征 纹理特征
荒山	Slope Elevation	$\frac{\text{NIR}-\text{Red}}{\text{NIR}+\text{Red}}$ 坡面垂直高度 坡面水平距离 $(W_0-W)/G$	检测植被生长状态和植被覆盖度等表示丘陵、屋顶等的斜度 某点沿铅垂方向到绝对基面的距离	$\text{NDVI}_{\text{Feb}} < 0.191$ 且 $\text{NDVI}_{\text{Aug}} < 0.497$ 且 $\text{NDVI}_{\text{Sep}} < 0.402$ 且 $\text{NDVI}_{\text{Oct}} < 0.253$ 且 $\text{Slope} < 20$ 且 $\text{Elevation} > 300$ 提取荒山,反之则为植被	光谱特征 地形特征
耕地	NDVI slope	$\frac{\text{NIR}-\text{Red}}{\text{NIR}+\text{Red}}$ 坡面垂直高度 坡面水平距离	检测植被生长状态和植被覆盖度等表示丘陵、屋顶等的斜度	$\text{NDVI}_{\text{Feb}} < 0.181$ 且 $\text{NDVI}_{\text{June}} < 0.221$ 且 $\text{NDVI}_{\text{Aug}} < 0.752$ 且 $\text{NDVI}_{\text{Sep}} < 0.402$ 且 $0.214 < \text{NDVI}_{\text{Oct}} < 0.403$ 提取耕地	光谱特征 地形特征
林地	NDVI	$\frac{\text{NIR}-\text{Red}}{\text{NIR}+\text{Red}}$	检测植被生长状态和植被覆盖度等	$0.209 < \text{NDVI}_{\text{Feb}} < 0.403$ 且 $0.572 < \text{NDVI}_{\text{June}} < 0.708$ 且 $0.716 < \text{NDVI}_{\text{Aug}} < 0.803$ 且 $0.506 < \text{NDVI}_{\text{Sep}} < 0.713$ 且 $0.402 < \text{NDVI}_{\text{Oct}} < 0.610$ 提取林地	光谱特征
草地	NDVI	$\frac{\text{NIR}-\text{Red}}{\text{NIR}+\text{Red}}$	检测植被生长状态和植被覆盖度等	$\text{NDVI}_{\text{Feb}} < 0.251$ 且 $\text{NDVI}_{\text{June}} < 0.350$ 且 $\text{NDVI}_{\text{Aug}} < 0.654$ 且 $\text{NDVI}_{\text{Sep}} < 0.487$ 且 $\text{NDVI}_{\text{Oct}} < 0.305$ 提取草地	光谱特征

根据上述规则建立分类层次:为避免水体和不透水面的影响,在分类第一层优先提取水体,随即在第二层将不透水面分离,荒山处于第三层,最后逐层提取耕地、林地和草地。

(3) 分类后处理。基于像元的分类结果存在细小图斑和内部结构不饱满现象。后处理阶段通过人机交互核查,手动赋予错分和漏分地物的正确类别,而后作为样本重新归类,提高分类的精度。并将细小图斑划入相邻的最大图斑类,去除分类结果中的“孤岛”。

(4) 精度验证。总体精度和 kappa 系数用于一致性检验^[24],量化分类结果的优良程度。试验验证了 36 a 分类结果,综合工程施行期间研究区变动情形和相关政策实施节点将 1985, 1999, 2002, 2004, 2014, 2020 年作为典型年份展示,其总体精度分别为 82.1%, 85.6%, 83.5%, 86.2%, 87.9%, 90.6%, kappa 系数对应为 0.82, 0.81, 0.82, 0.86, 0.87, 满足研

究精度要求。

2.2.2 分析方法 本文从类间转换、类间转移率、土地利用动态度以及土地利用活跃度指标监测退耕还林工程的施行效果。具体指标信息见表 2。

3 结果与分析

3.1 山田林草整体变化

图 3 显示了朝阳市 1985—2020 年地类时空分布,耕地主要分布在北部低山区、东部丘陵区和水系两岸,林地则以努鲁儿虎山一带为主,草地除 2014 年外主要生长在西北部,荒山散落在苇子沟山附近。1985—1999 年山田林草重心基本不变。1999—2002 年西、南部林草增加,林地重心西移,草地重心南迁,耕地面积减少且重心东移,荒山变化较小,重心轻微南移。2002—2004 年山草变化轻微,中部林地转为耕地。2004—2014 年大量林地转成草地,草地重心在努鲁儿虎西南角,田、林变化不大,西南部荒山大幅

减少。2014—2020 年林地重心保持在朝阳南部,草地重心回迁至努鲁儿虎山东北,耕地面积小幅减少,

重心偏向西南部的丘陵区域,荒山重心仍处于东移状态。

表 2 退耕还林分析指标汇总结果

Table 2 Summary results of analysis indicators of grain for grain program

项 目	公 式	变量含义	描述信息
马尔科夫模型(Markov) ^[25]	$M = \sum_1^n P_{ij} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} \end{pmatrix}$	M 为 t 到 $t+1$ 时间内迁移矩阵, P_{ij} 表示 t 时的 i 类像素在 $t+1$ 时过渡为 j 类像素的条件概率, n 是土地覆被类别数	定量显示不同地类间的转换和转移率
单一土地利用动态度 ^[26]	$K = \frac{L_{nf}}{A_{i0}} \times \frac{1}{T} \times 100\%$	K_i 为单一土地利用动态度, L_{nf} 为土地转移流净值, A_{i0} 为地类初期面积, T 为土地利用变化时间	表征研究区某时间内某地类数量变化情况
综合土地利用动态度 ^[26]	$L_s = \frac{\sum_{i=1}^n L_{fi}}{2A} \times \frac{1}{T} \times 100\%$	L_s 为综合土地利用动态度, L_{fi} 为土地利用转移流, A 为研究区总面积	显示研究区某时间内各地类数量变化情况
土地利用活跃度 ^[27]	$L_Q = \frac{L_f}{A_{i0} + L_{fin}} \times \frac{1}{T} \times 100\%$	L_Q 为土地利用活跃度, L_{fin} 为转入流	反映土地利用类型对整个系统的影响程度

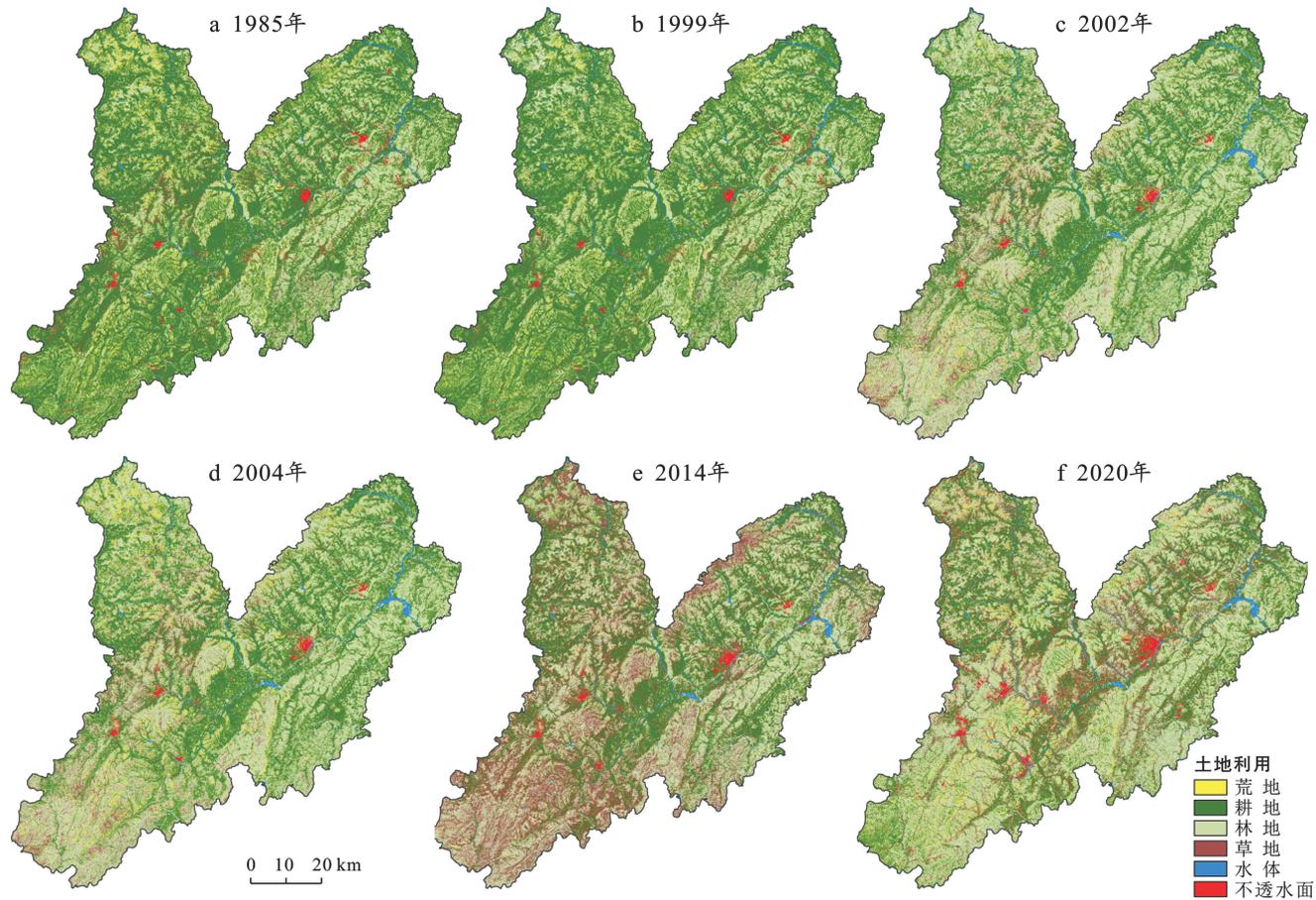


图 3 1985—2020 年朝阳市土地利用分类

Fig.3 Land use classification at Chaoyang City from 1985 to 2020

从图 4 可知,工程实施期间山田林草的面积上下波动,林草在积年的工程中面积占比上升,耕地和荒山面积减少。1985 年林地面积为 9 065.92 km², 2020 年达到 10 068.10 km²,增幅为 11.05%;草地由 1985 年的 1 026.35 km² 变化到 2020 年的

2 825.06 km²,净增长 1 798.71 km²;1985 年耕地面积为 5 446.08 km², 2020 年耕地面积为 5 378.75 km²,减幅为 1.24%;1985—2020 年荒山从 3 900.40 km² 减少了 3 445.70 km²。总体而言,草地和荒山受工程影响更大。

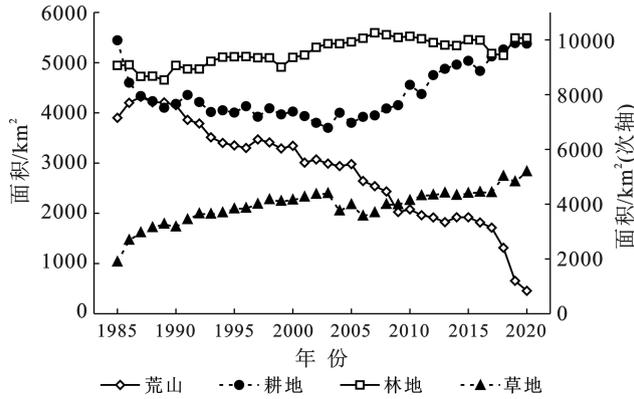


图 4 1985—2020 年朝阳市主要地类变化信息

Fig.4 Land use classification of Chaoyang City from 1985 to 2020

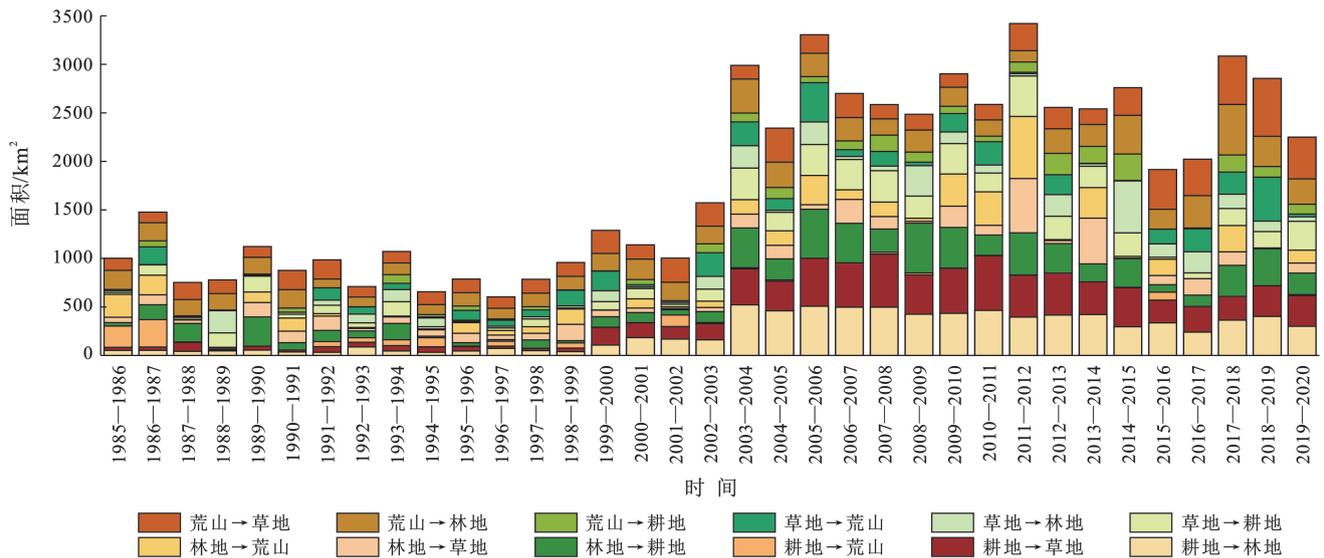


图 5 1985—2020 年朝阳市主要土地利用类型转移

Fig.5 Transfer of main land use types at Chaoyang City from 1985 to 2020

3.2 地形影响下退耕还林特点

根据中国山地地貌分类方案,将朝阳市高程 > 500 m 的区域定义为中高山区进行工程成效监测。另按照退耕还林条例,重点关注坡度超过 25° 范围的退耕、还林区。

3.2.1 退耕区 1985—2020 年耕地减少 1.24%,耕地变化主要为利用结构的转换而非面积增减。通过表 3 可知坡度 $> 25^\circ$ 的土地退耕比最高,相比 1985 年,2020 年近半数坡耕地完成退耕。朝阳市退耕政策偏重调整耕地结构,对于 $0^\circ \sim 2^\circ$ 和 $> 2^\circ \sim 6^\circ$ 的水土流失不强烈的坡耕地,在保持原有面积的基础上尽量增加占比,优化土地利用。坡度 $> 6^\circ \sim 15^\circ$ 的林下耕地尽数还林,而 $> 15^\circ \sim 25^\circ$ 的耕地因农户不满政府补贴而停止退耕,该范围内坡耕地小幅度增加。

海拔低于 300 m 的低山丘陵和高阶岗地是农田主要分布区域;海拔超过 300 m 的努鲁儿虎山西麓、河谷盆地及松岭东麓和南部丘陵区不宜耕作,需轮

1985—2020 年,朝阳市荒山与林草之间的转移流在土地转移关系中占绝对优势(图 5)。由图 5 可以看出,此间山林草的转移流共占 40.49%,荒山转林地流为 1 409.06 km²,占地类转移流的 21.62%;荒山转草地流占比 20.50%;耕地转林、草流对应比例为 10.04% 和 4.27%。期间单一土地利用动态变化度差异较大,林地 为 0.31%,草地 为 1.59%,耕地 为 -0.34% ,荒山 为 -2.45% ;综合土地利用动态变化度呈现阶段特征,1985—2002 年最低(4.59%),后快速增加在 2011—2012 年达到最高(7.75%);荒山的活跃度最高(为 19.72%),其他 3 种土地利用类型活跃度均在 10% 以下。

(间)作或植树种草、封山育林减少水土流失。故退耕范围主要在海拔 $> 500 \sim 1\ 234$ m 土质层更薄的范围,变化比率为 54.13%, $> 21 \sim 500$ m 范围内耕地面积不减反增。整体来看,退耕区域集中在坡度 $> 25^\circ$ 和海拔在 $> 500 \sim 1\ 234$ m 之间更宜退耕的坡耕地。

3.2.2 还林区 如图 6 所示,1985—2020 年全市海拔超过 500 m 的耕地减少 440.81 km²,苇子沟山西侧耕地逐年减少,红石砬山及大柏山和大阳山之间的耕地增加;工程重点关注松岭和努鲁儿虎山脉的绿化情况,期间林地增加 816.54 km²,与耕地变化趋势相反,荒山减少 431.83 km²,在努鲁儿虎和松岭山脉(除去凤凰山、大柏山和楼子山)变化一致;海拔超过 500 m 的区域在朝阳市主粮食产地建平,故草地面积微微上涨了 56.10 km²。坡度 $> 25^\circ$ 与海拔超过 500 m 区域在大柏山和红石砬山一带重合,全境坡度超过 25° 的面积为 516.77 km²,占海拔 > 500 m 的 4.32%。1999 年坡度 $> 25^\circ$ 的区域内耕地占比最大,林地面积 136.90 km²

位居第二,荒山面积达 122.99 km²,草地占比最小,仅占 11.2%。2020 年耕地占 34.17%,仍是该区域内最大地类,林草在工程影响下分别增至 173.42 km²,

79.56 km²,因岩体外漏或土质薄弱保留了 87.21 km² 荒山。综合而言,坡度 > 25° 和海拔超过 500 m 的区域还林效果更显著。

表 3 不同地形分级下朝阳市耕地变化

Table 3 Cultivated land change under different topographic classification at Chaoyang City

项目	海拔高度/m	面积/km ²			变化率/%
		1985 年	2020 年	面积变化	
坡度/(°)	0~2	1 742.74	1 981.20	238.46	13.68
	>2~6	878.43	995.60	117.17	13.34
	>6~15	1 089.22	940.75	-148.72	-13.65
	>15~25	1 091.21	1 132.75	41.54	3.81
	>25	644.61	328.46	-316.15	-49.05
海拔/m	21~304	1 389.22	1 651.50	262.28	18.88
	>304~500	964.54	1 075.75	111.21	11.53
	>500~646	2 178.43	1 954.20	-224.23	-10.29
	>646~1 234	913.89	697.31	-216.58	-23.70

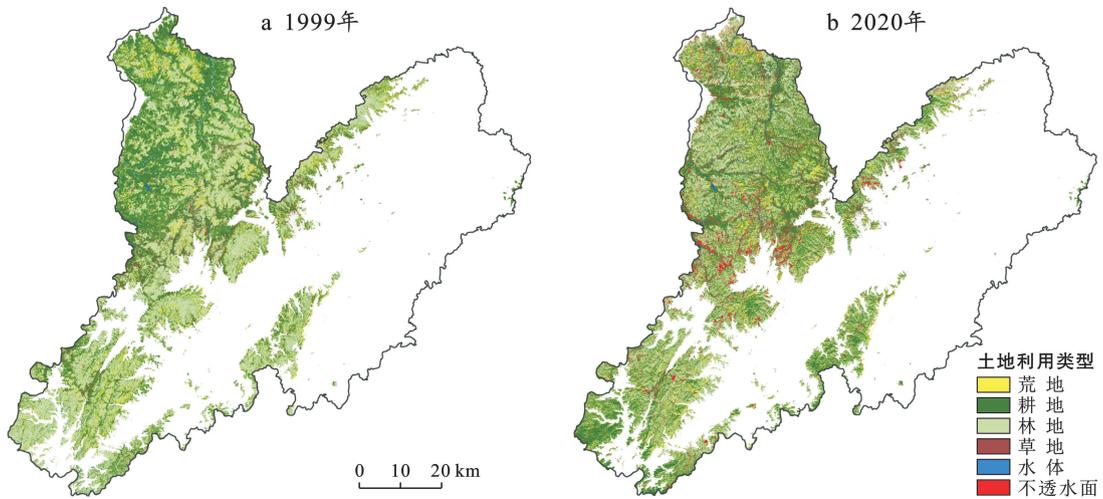


图 6 1999,2020 年朝阳市海拔超过 500 m 的地类分布

Fig.6 Distribution of terrestrial species above 500 m at Chaoyang City in 1999 and 2020

3.3 1985—2020 年退耕还林动态进展

由图 7 可知,5 个阶段的工程主要作用区都在努鲁儿虎一带,1985—2014 年以退耕绿化为主要任务,2014—2020 年荒山绿化占重要地位,第 5 阶段的保持效果最佳,生态修复效果良好。结合表 4 可知 5 个阶段的“退耕还林”各具特色。

(1) 1985—1999 年是“退耕还林”的探索阶段^[28],目标完成良好但保持较差。此间全国尚未推出成型政策,但该市政府结合林情开展“三北工程”、封山育林工程并制定荒山承包政策,阶段绿化 1 101.75 km²,超出目标 8.71%。但工程缺乏保护措施,又时受灾害影响,近半数林草失活,成活率低至 54.56%。为保护耕地资源,朝阳市确定 1 200 km² 的退耕目标,但农户退耕热情不高,退耕面积仅超出目标 68.79 km²,仅

仅完成目标且复垦现象频发。

(2) 北票和建平作为辽宁省第一批工程试点,1999—2002 年初显政策加持的良好成效,复垦现象减少、林草保持度增加。为达成 900 km² 的还绿目标,朝阳市实施“德援”项目和“4321”工程,试点新增绿化 852 km²,占目标任务 94.67%。3 a 共发生 7 起林草火灾,虫灾毁坏过半沙棘,林草整体成活率为 65.07%,耕地在工程和灾害影响下减少 1 282.94 km²,复垦占比大大减小。3 a 内农户积极参与四荒治理,完成粮食产量目标并掀起退耕绿化热潮。

(3) 吸取前两阶段的教训后,2002—2004 年朝阳市开启全市场“退耕还林”,完成荒山绿化 1 100 km² 和退耕绿化 1 500 km² 的目标。本阶段更注重灾害预防,病虫害防护 839 km²,占新增绿化 30.40%,林草巡

护次数增多,林地过火面积低至 0.419 km^2 ,草地并未受灾,工程阶段性成果保持良好。2 a 内退耕 $1\,657.32 \text{ km}^2$,于 2003 年达到单年内退耕高潮,退耕面积高达 967.52 km^2 ,但中部大凌河两岸的高质量阶地复垦现象频发,退耕保存率仅为 55.70% 。2004—2014 年工程更偏向政策调整,制定荒山绿化 $3\,500 \text{ km}^2$ 和退耕还绿 $2\,000 \text{ km}^2$ 的目标,10 a 内分别完成目标的 110.70% 和 94.53% 。政策调整促进了工程进程,以

三北工程、绿廊工程、德援项目和 $3\,333.33 \text{ km}^2$ 荒山工程为典型的多项工程圆满结束,其中:2001—2007 年共完成“德援”造林 413.33 km^2 ,超出目标 12% ;2007 年年内完成京四高速公路(朝阳段)“绿廊”建设,共造林 30.47 km^2 ;辽西北边界防护林体系建设工程于 2008 年 2 月启动,历经 15 个月荒山造林 346.67 km^2 ,封山育林 40 km^2 ,沙化耕地造林 60 km^2 ;自 2009 年始历经两年半时间全面完成 $3\,333.33 \text{ km}^2$ 荒山工程。

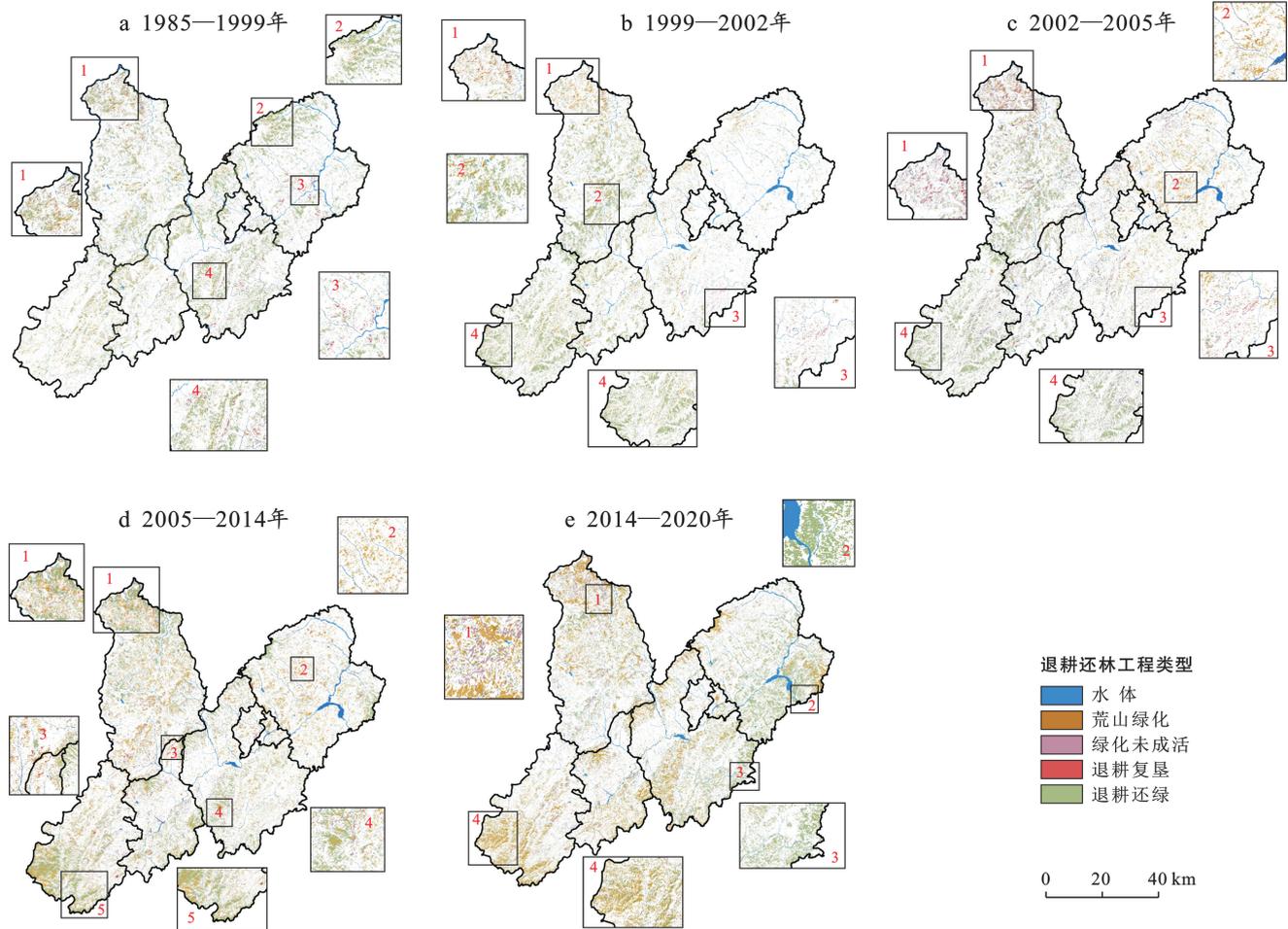


图 7 1985—2020 年朝阳市退耕还林工程变化

Fig.7 Changes of GGP at Chaoyang City from 1985 to 2020

表 4 朝阳市退耕还林工程面积变化分析

Table 4 Data comparison of GGP at Chaoyang City

项目	退耕还林工程类型	面积变化/ km^2				
		1985—1999 年	1999—2002 年	2002—2004 年	2004—2014 年	2014—2020 年
年鉴数据	荒山绿化	1 417.85	1 925.16	1 158.38	3 321.53	4 112.72
	退耕还绿	1 569.88	1 526.76	1 679.31	1 884.84	3 054.40
	绿化未成活	510.32	436.55	104.96	1 403.25	1 026.37
	退耕复垦	744.68	320.67	734.45	756.23	986.31
实测数据	荒山绿化	1 101.75	1 252.67	1 102.72	3 874.67	3 941.79
	退耕还绿	1 268.79	1 633.35	1 657.32	1 890.67	2 809.21
	绿化未成活	500.64	400.67	100.31	1 387.24	1 103.45
	退耕复垦	768.34	350.41	734.23	1 733.58	1 024.76

(4) 2014—2020 年朝阳市积极响应“十三五”规划号召继续实施退耕还林并进入巩固阶段,期间新增绿化 2 838.34 km²,退耕保持 1 984.45 km²,阶段工程实施成效最佳。全阶段共发生火灾 33 起,毁坏 3.50 km² 的新造林地,虫灾毁坏 167.12 km² 新造林地,相比之下,并未遭受灾害的新增草地面积保持良好,成活率高达 97.7%。复垦区域主要分布在大、小凌河附近,6 a 间政府补贴发放偶有滞后,河道边的退耕地频繁复耕,退耕复垦面积相对较多。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本文分析了工程影响下山田林草的变化,对 5 个阶段绿化“返荒”和退耕复垦现象跟进监测。对比退耕还林工程实施前后变化可得出,山田整体减少,林草增加,说明朝阳市的工程实施有效阻止了林草的减少,但 1985—2020 年存在毁林开荒和林草复垦现象,长时期的工程成效不彰。该结论与王丹^[29] 1993—2013 年研究区内林地持续减少不同,可能因为该市土地资源利用不合理,土地结构在逐年的“退耕还林”中实现优化,如大幅减少荒山面积进行还林草,保持少量的优质耕地其余耕地用于退耕。与郑雪等^[30] 的结论相似,朝阳市工程实施期间重点退耕、还林区和非重点区域山田林草变化幅度不同,工程主要影响区域满足工程文件中规定的坡度 > 25° 和海拔超过 500 m 的地形范围,但与山西省退耕还林实施情况不同,朝阳市重点退耕区耕地面积减少但非重点区耕地增加,通过内部结构转换实现退耕任务并完成耕地优化任务。由本文动态监测结果得知,工程实施并非单向过程,年际间地类变化存在波动性,自然条件、经济情况和农户意愿制约着工程,政策规定的工程目标会因为财政拨款不足、自然灾害发生和农户热情不高无法达成,这与杨亮彦等^[31] 的结论相似,综合 5 个阶段的工程执行情况得知政策导向在朝阳市退耕还林中起主导作用。但本研究仅停留在按阶段划分的退耕还林工程定量监测的层面上,并未进行后续的生态效益监测和综合效益研究,在后续的研究中将进一步完善和补充。

4.2 结论

(1) 1985—2020 年朝阳市退耕还林工程成效显著。期间耕地面积净减少 67.33 km²;林地净增加 1 002.18 km²;草地净增加 1 798.72 km²;荒山净减少 3 445.42 km²;荒山转林地流为 1 409.06 km²,转草地流为 1 336.43 km²;耕地转林地流和转草地流分别为 654.01,278.98 km²。

(2) 1985—2020 年朝阳市退耕区与还林区变化满足工程规定的退耕还林(草)的坡度和海拔标准,主要表现在内部结构的转换而非面积的增减。退耕区域主要集中在坡度 > 25° 和海拔在 > 500~1 234 m 之间更宜退耕的坡耕地,坡度 > 25° 和海拔超过 500 m 的还林区内工程实施效果相对显著。

(3) 5 个阶段朝阳市退耕还林工程的主要作用于努鲁儿虎山脉一带,此间 1985—2014 年以退耕绿化为主要任务,2014—2020 年荒山绿化占据主要地位。总体来看,除去第 4 阶段退耕任务未完成,其余阶段任务均超额完成,且第 5 阶段的工程保持效果最佳。

[参 考 文 献]

- [1] Ramankutty N, Foley J A, Olejniczak N J. People on the land: Changes in global population and croplands during the 20th century [J]. *Ambio a Journal of the Human Environment*, 2002,31(3):251-257.
- [2] Young A. Is there really spare land? A critique of estimates of available cultivable land in developing countries [J]. *Environment Development and Sustainability*, 1999,1(1):3-18.
- [3] 陈永富.退耕还林工程定量监测与评价研究[D].北京林业大学,2006.
- [4] 汪滨,张志强.黄土高原典型流域退耕还林土地利用变化及其合理性评价[J].*农业工程学报*,2017,33(7):235-245,316.
- [5] Zhou Decheng, Zhao Shuqing, Zhu Chao. The grain for green project induced land cover change in the Loess Plateau: A case study with Ansai County, Shanxi Province, China [J]. *Ecological Indicators*, 2012,23:88-94.
- [6] 杨亮彦,黎雅楠,范鸿建.榆林市土地利用/覆被时空格局变化及退耕还林工程对其的效应[J].*自然资源情报*,2022(9):37-44.
- [7] 田璐,许月卿,孙丕苓.退耕还林还草工程对土地利用/覆被变化及景观格局的影响:以张家口市为例[J].*中国农业大学学报*,2015,20(4):205-213.
- [8] Bai Xuefeng, Wang Bin, Qi Ying. The effect of returning farmland to grassland and coniferous forest on watershed runoff: A case study of the Naoli River basin in Heilongjiang Province, China [J]. *Sustainability*, 2021,13(11):6264.
- [9] 李登科,王钊.退耕还林后陕西省植被覆盖度变化及其对气候的响应[J].*生态学杂志*,2020,39(1):1-10.
- [10] 张玉东,谭红兵.黄土高原典型干旱区退耕还林后植被覆盖变化研究[J].*生态科学*,2017,36(1):139-146.
- [11] 刘逸滨,刘宝元,成城,等.退耕还林草 20 年来榆林市植被覆盖度时空变化及影响因素分析[J].*水土保持学报*,2022,36(2):197-208,218.
- [12] Liu Zuying, Wang Bing, Zhao Yusen, et al. Monito-

- ring and evaluation of the effects of grain for green project in the upper and middle reaches of China's Yangtze River [J]. *The Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(8):2463-2469.
- [13] 刘祖英, 王兵, 赵雨森, 等. 长江中上游地区退耕还林成效监测与评价[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(8):2463-2469.
- [14] 汪芳甜, 安萍莉, 蔡璐佳, 等. 基于 RS 与 GIS 的内蒙古武川县退耕还林生态成效监测[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(11):269-277.
- [15] 孙智辉, 雷延鹏, 卓静, 等. 延安北部丘陵沟壑区退耕还林(草)成效的遥感监测[J]. *生态学报*, 2010, 30(23):6555-6562.
- [16] U. S. Geological Survey. *Landsat Surface Reflectance Climate Data Records* [R]. Reston, VA, USA: U. S. Geological Survey, 2014.
- [17] U. S. Geological Survey. *Landsat Surface Reflectance Climate Data Records* [R]. Reston, VA, USA: U. S. Geological Survey, 2019.
- [18] 辽宁省统计局. *辽宁统计年鉴* [M]. 北京: 中国统计出版社, 2007-2017.
- [19] Malthouse E C, Mulhern F J. Book review: *Handbook of data mining and knowledge discovery* [J]. *Journal of Marketing Research*, 2003, 40(3):372-374.
- [20] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. *遥感学报*, 2005, 9(5):589-595.
- [21] Haralick R M, Shanmugam K, Dinstein I. Textural features for image classification [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1973, SMC-3(6):610-621.
- [22] Deng Chengbin, Wu Changshan. BCI: A biophysical composition index for remote sensing of urban environments [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 127:247-259.
- [23] Rouse J W, Haas R H, Deering D W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation [R]. *Nasa/gsfct Type Final Report*, 1973.
- [24] 侯西勇, 邸向红, 侯婉, 等. 中国海岸带土地利用遥感制图及精度评价[J]. *地球信息科学学报*, 2018, 20(10):1478-1488.
- [25] 盛辉, 万红, 崔建勇, 等. 基于 TM 影像的城市热岛效应监测与预测分析[J]. *遥感技术与应用*, 2010, 25(1):8-14.
- [26] 付建新, 曹广超, 郭文炯. 1980—2018 年祁连山南坡土地利用变化及其驱动力[J]. *应用生态学报*, 2020, 31(8):2699-2709.
- [27] 马彩虹, 任志远, 李小燕. 黄土台塬区土地利用转移流及空间集聚特征分析[J]. *地理学报*, 2013, 68(2):257-267.
- [28] 于泽民, 郭建英. 我国的退耕还林研究进展[J]. *内蒙古环境科学*, 2009, 21(S1):119-123.
- [29] 王丹, 夏建新, 郭砾, 等. 基于 RS 和 GIS 的黔东南地区退耕还林工程成效监测[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2015, 23(S1):30-40.
- [30] 郑雪, 姚顺波, 鲁亚楠. 退耕还林工程对粮食生产的影响: 以山西省为例[J]. *水土保持通报*, 2020, 40(2):239-246, 254.
- [31] 杨亮彦, 黎雅楠, 范鸿建. 榆林市土地利用/覆被时空格局变化及退耕还林工程对其的效应[J/OL]. *自然资源情报*, 2022, (9):37-44.

(上接第 112 页)

- [25] Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM⁺, and EO-1 ALI sensors [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(5):893-903.
- [26] Xu H. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29(14):4269-4276.
- [27] Rikimaru A, Roy P, Miyatake S. Tropical forest cover density mapping [J]. *Tropical Ecology*, 2002, 43:39-47.
- [28] Hu Xisheng, Xu Hanqiu. A new remote sensing index for assessing the spatial heterogeneity in urban ecological quality: A case from Fuzhou City, China [J]. *Ecological Indicators*, 2018, 89:11-21.
- [29] 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.
- [30] 谢余初, 巩杰, 张玲玲. 基于 PSR 模型的白龙江流域景观生态安全时空变化[J]. *地理科学*, 2015, 35(6):790-797.
- [31] 齐姗姗, 巩杰, 钱彩云, 等. 基于 SRP 模型的甘肃省白龙江流域生态环境脆弱性评价[J]. *水土保持通报*, 2017, 37(1):224-228.