

基于 SPOT NDVI 的 2010–2018 年青海省草地资源动态监测研究

王福成^{1,2}, 魏学红¹, 雷延民², 孙成良², 马素洁^{1*}

(1. 西藏农牧学院动物科学学院, 西藏 林芝 860000; 2. 青海省自然资源综合调查监测院, 青海 西宁 810000)

摘要:【目的】动态监测草地资源对草地资源的合理利用及生态建设具有重要意义, 可实现对青海省草地资源的动态监测, 为草原管理提供决策依据。【方法】选择植被覆盖度和地上生物量作为研究指标, 利用 2010–2018 年青海省 8 月 NDVI、年降水量、年均气温和 2015–2017 年实测地上生物量数据, 反演植被覆盖度(FVC)时空变化趋势, 分析植被覆盖度与气候因子的相关性, 获得地上生物量反演模型并分析其时空变化趋势。【结果】1) 近 9 a 青海省平均 FVC 呈极显著下降趋势($P < 0.05$), 平均地上生物量呈增长趋势; 2) 近 9 a 青海省 16.90% 区域的 FVC 呈极显著降低($P < 0.01$), 15.42% 区域显著降低($P < 0.05$); 极显著好转($P < 0.01$)面积占 0.94%, 显著好转($P < 0.05$)面积占 1.43%; 3) 年降水量和年均气温在近 9 a 均呈起伏上升趋势, 年际间呈负协同现象; 4) FVC 与年降水量、年均气温呈弱显著相关区域占 20% 左右($P < 0.1$); 5) 指数模型 $y = 496.21e^{2.4497x}$ 为青海省地上生物量反演的最优模型($R^2 = 0.42, P < 0.01$)。6) 地上生物量减少趋势最大为 276.71 kg/hm^2 , 增加趋势最大为 544.68 kg/hm^2 , 占比为 69.18%、30.82%。【结论】青海省草地资源在逐步恢复, 且其变化与人类活动有重要关系。

关键词: 时空变化趋势; 气候因子; 地上生物量; 反演模型

中图分类号: S812 文献标志码: A 文章编号: 1009-5500(2023)03-0100-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2023.03.013



草地资源是可再生自然资源的重要组成部分, 是发展畜牧业的主要生产资料之一, 还具有调节气候、涵养水源、防风固沙、防止水土流失等生态功能^[1]。青海省草地面积辽阔, 天然草地面积约 $4.19 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 约占全省面积的 58.2%, 草地类型复杂多样且资源丰富^[2], 为世界“第三极”青藏高原的重要组分, 是我国乃至整个亚洲生态屏障的至高点。然而, 因长期受极端气候的胁迫和超载过牧、过度开发利用等人类活

动的影响, 青海省草地生态系统敏感而脆弱, 生态环境遭到破坏, 荒漠化、“黑土滩化”日趋严重^[2-3]。草地资源动态监测是实施草地资源保护和建设的前提条件, 通过分析不同年度草地资源时间、空间变化规律, 为当地草地资源的利用、修复和建设提供理论依据, 对当地生态环境保护具有重要意义。

植被覆盖度(Fractional Vegetation Cover, FVC)和地上生物量是草地资源监测中重要的两个指示环境生态和草地长势的指标^[4]。归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)是草地遥感监测中最常用的植被指数, 可反演 FVC、估算草地地上生物量, 反映草地资源空间分布变化和草地资源量, 可为大尺度的草地植被时空分布特征的定量化、模型化研究提供参考^[5]。关于草地资源动态的遥感监测研究多直接采用 NDVI 代替植被情况, 未对 FVC、地上生物量进行反演。扬鑫等^[6]利用 MODIS NDVI

收稿日期: 2022-05-07; 修回日期: 2022-07-01

基金项目: 西藏自治区自然科学基金(XZ202101ZR0021 G); 国家自然科学基金(31760692)

作者简介: 王福成(1990-), 男, 青海民和人, 硕士, 主要从事草地保护和动物营养调控研究。

E-mail: fcwang2010@163.com

*通信作者。E-mail: yixianshilly@163.com

日数据对青海省进行 2000—2019 年草地资源动态监测,以 NDVI 代表植被生长状况,分析 NDVI 的日、旬、月、年的动态变化。关于青海省分析 FVC 年际变化规律、反演地上生物量的研究多在 2010 年以前^[7-8],近年研究数据较少,且多为青海湖流域、黄河源、州县区等局部区域研究^[9]。如高黎明^[10]等基于 MODIS NDVI 和高精度气象数据获得了青海湖流域 2001—2017 年 FVC 分布格局及动态变化,并探讨气候、冻土等影响因素。赵慧芳等^[11]利用 NDVI 数据建立模型估算青海省 2003—2017 年地上生物量,并分析与气候因素的相关性,但实地监测点只有 20 个,模型反演精度低。因此,本研究利用 2010—2018 年的青海省生长季最大 NDVI 数据 (SPOT/VEGETATION NDVI 卫星遥感数据合成) 和同期年降水量、年均气温数据反演 FVC 时空变化趋势,分析其与植被覆盖度的相关性,结合 2015、2017 年获得的 456 个实测地上生物量数据筛选估算地上生物量的最优模型,并反演 2010—2018 年地上生物量时空变化趋势,以实现青海草地资源的动态监测,为草原管理提供决策依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

青海省位于我国西北部,地理坐标为 E 89°35′~103°04′、N 31°36′~39°19′,全省东西长约 1 200 km,南北宽约 800 km,总面积约 $7.22 \times 10^5 \text{ km}^2$,是青藏高原的重要组成部分,也是世界高海拔地区生物多样性最集中的自然保护区之一。青海省气候属高原大陆性气候,年平均气温为 $-6.0 \sim 9.0 \text{ }^\circ\text{C}$,东部农业区无霜期为 3~5 月,三江源部分地区无绝对无霜期,其他地区无霜期为 1~2 月;年降水主要集中在 7—9 月,且降水量为 250~750 mm^[8]。全省可利用草地面积约 $3.16 \times 10^7 \text{ hm}^2$,有高寒草甸类、高原草原类、高寒荒漠类、温性草原类等类型,其中高寒草甸和高寒草原类是青海省天然草原的主体,大部分天然草地分布在海拔 3 000 m 以上的地区,冬季常年被雪覆盖,夏季雨水较多,是重要的水源涵养区^[12]。

1.2 数据采集

研究采用的数据包括 2010—2018 年最大生长季 (8 月) 的 SPOT/VEGETATION NDVI 合成数据,分

辨率为 1 000 m,数据来源为中国科学院资源环境科学数据中心 (<https://www.resdc.cn/>)^[13]; 2010—2018 年青海省及周边省区的 147 个有效气象站点的降水和气温监测数据,数据来源为中国气象数据网 (<http://data.cma.cn/>); 地上生物量实测数据为 2015、2017 年青海省草地植被最大生长季期间调查实测数据。

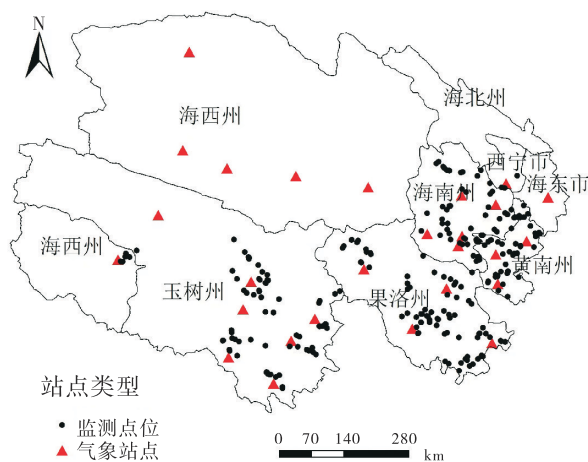


图 1 研究区域及青海省气象站点空间分布图

Fig. 1 Spatial distribution of research regions and monitoring sites

1.3 研究方法

1.3.1 植被覆盖度反演 根据像元二分模型原理,遥感影像中 1 个像元的 NDVI 值表示为由无植被覆盖部分和有植被覆盖部分组成,利用 NDVI 估算植被覆盖度的计算公式^[10]为:

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}}$$

式中:FVC 表示植被覆盖度,NDVI 表示像元的 NDVI 值,NDVI_{soil} 表示没有植被覆盖的纯土壤像元的 NDVI 值,NDVI_{veg} 表示完全由植被所覆盖的纯植被像元的 NDVI 值。

1.3.2 地上生物量调查与模型建立 于 2015、2017 年 7 月 20 日至 8 月 30 日进行草地地上生物量野外调查,地面采样点运用 GPS 定位。根据青海省草地植被类型分布图,选择面积大于 10 km² 的草地作为调查样地,综合考虑交通、植被长势、草地恢复情况等,在全省共设置 228 个调查样地,每个样地设置 3 个样方,样方之间的距离不小于 250 m,2 年总计获取 456 个样地数据。设置草本植被样方大小为 1 m×1 m,灌木植被

样方大小为 5 m×5 m,采用刈割称重法测定地上生物量^[14]。该次测定的生物量为植物鲜重,地上生物量为草本植物生物量和灌木植物生物量之和^[15]。

利用实测地上生物量数据的经纬度坐标,分别提取 2015、2017 年 NDVI 数据,剔除异常值后分别建立线性、指数、乘幂、对数和二次多项式 5 种回归模型,并利用决定系数(R^2)、F 检验(F)、均方根误差(RMSE)和各模型的估算精度(A ,实测值与估算值之间的误差)对反演模型进行精度评价。

1.3.3 时空变化趋势 利用时间变化分析模型获得 FVC 变化趋势、地上生物量变化趋势;利用相关分析模型获得 FVC 变化趋势置信空间、地上生物量变化趋势置信空间和年降水量、年均气温与 FVC 的空间相关性。

1.3.3.1 时间变化分析模型 时间变化趋势是利用线性回归分析实现的,通过最小二乘法原理求得植被覆盖度的时空变化趋势,计算公式^[16]如下:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

式中: b 表示斜率; $i=1, 2, \dots, 9$; $n=9$; $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$, y_i 表示第 i 年的植被覆盖度数据; $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, x_i 表示年份,即 $x_i=2010, 2011, \dots, 2018$ 。

1.3.3.2 相关分析模型 利用 Pearson 相关系数分析植被覆盖度与时间因子的相关性、年均气温和年降水量与植被覆盖度的相关性,显著性检验采用相关系数检验法,相关系数计算公式^[16]为:

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

式中: $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 分别表示进行相关分析的两个要素的平均值,即 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$;

R 表示 x 和 y 要素之间的相关系数。

1.4 数据处理

利用 ArcGIS 进行植被覆盖度、地上生物量的反演和变化趋势分析及 FVC 与年降水量、年均气温相关性等数据分析与制图;利用 Excel 软件进行地上生物量模型建立、数据拟合、精度评价等数据处理。

2 结果与分析

2.1 植被覆盖度时空变化趋势

青海省近 9 a(2010—2018)平均植被覆盖度变化显著,总体呈显著下降趋势($P<0.05$)(图 2)。2010 年植被覆盖度均值为 51.63%,2011 年略有降低,2012 年又恢复至 2010 年原有水平,2012—2015 年呈显著下降趋势($P<0.05$),年均降低 1.4%,2015 年降至最低值 45.88%。2015—2018 年呈显著增加趋势($P<0.05$),年均增加 1.1%,2018 年植被覆盖度均值增加至 49.14%。

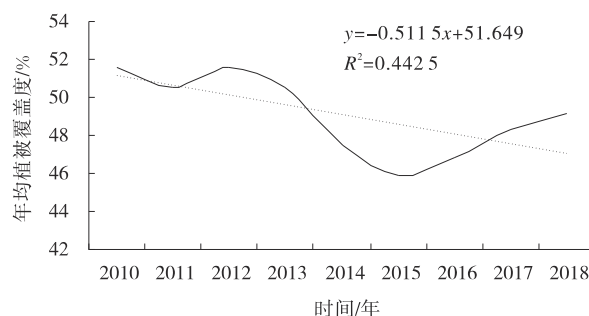


图 2 青海省 2010—2018 年年均植被覆盖度

Fig. 2 Changes of average vegetation cover in Qinghai province from 2010 to 2018

根据时间变化分析模型和相关系数检验法将 FVC 变化趋势分为极显著降低($R<0, P<0.01$)、显著降低($R<0, P<0.05$)、降低($R<0, P>0.05$)、好转($R>0, P>0.05$)、显著好转($R>0, P<0.05$)和极显著好转($R>0, P<0.01$)6 个区段(图 3)。FVC 减少趋势最大为 15%,增加趋势最大为 13%,占比分别为 77.5%、22.5%。通过空间统计分析得出,极显著降低区域占全省面积的 16.90%,显著降低区域占全省面积的 15.42%,主要分布在青海北部柴达木盆地、玉树州、格尔木市昆仑山脉周围以及零星的分布在祁连山等东部地区;降低区域面积最大,占全省的 45.18%,好转区域面积次之,占全省的 20.13%,降低和好转均不具备显著性;极显著好转区域占 0.94%,显著好转区域占全省面积的 1.43%,面积占比较小,主要分布在海北州南部、海东市、黄南州、果洛州东部等气候较好地区以及柴达木盆地沿 G109 和 S303 道路两侧、河湖以及自然保护区。青海西部(柴达木盆地、玉树州西部以及格尔木市昆仑山脉周围)的植被覆盖度虽出现极显著降低趋势,但变化趋势幅度小,为 $-0.01 \sim 0$ 。

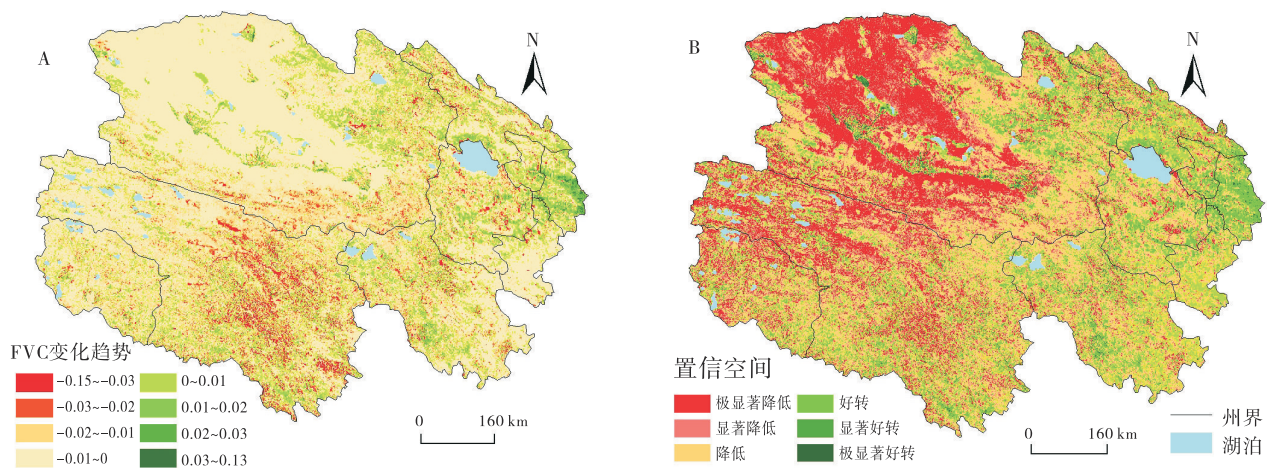


图 3 青海省 2010—2018 年植被覆盖度时空变化趋势

Fig. 3 Temporal and spatial variation trend of vegetation coverage in Qinghai Province from 2010 to 2018

2.2 年降水量和年均气温年际变化

青海省年降水量和年均气温在近 9 a 均呈起伏上升趋势,水热条件年际间大致呈负协同现象(图 4)。年降水量年际变化较大,在 2012—2015 年出现下降趋势,在 2015 年达到最低值为 345 mm,在 2015—2018 年呈现显著上升趋势。年均气温年际变化较年降水量小,在 2010—2012 年出现显著下降趋势并在 2012 年达到最低温度 2.21 °C,在 2012—2018 年呈缓慢上升趋势。

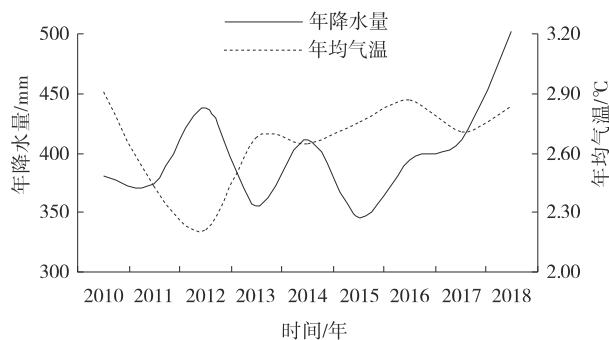


图 4 青海省 2010—2018 年降水量和年均气温

Fig. 4 Annual average precipitation and temperature of Qinghai Province during 2010—2018

2.3 植被覆盖度与年降水量、年均气温的关系

根据相关系数检验法将 FVC 与年降水量、年均气温相关性显著性特点分为正相关、负相关和不相关(极显著相关($P < 0.01$)、显著相关($P < 0.05$)、弱显著相关($P < 0.1$)、不相关($-0.01 < R < 0.01$)(图 5)。FVC 与年降水量不相关区域占 4.77%;正相关区域占 57.15%,其中弱显著相关($P < 0.1$)及以上区域占 13.51%;负相关区域占 38.08%,其中弱显著相关($P < 0.1$)及以上区域占 4.46%。FVC 与年均气温不相关区域占 4.22%;正相关区域占 36.21%,其中弱显著相关($P < 0.1$)及以上区域占 3.66%;负相关区域占 59.56%,其中弱显著相关($P < 0.1$)及以上区域占 16.48%。FVC 与年降水量呈弱显著正相关区域面积大于弱显著负相关的区域面积($P < 0.1$),而与年均气温则相反。FVC 与年降水量呈显著正相关($P < 0.05$)区域主要分布在海西州都兰县的南部、格尔木市东部、玉树州的曲麻莱县以及海东市的乐都市、民和县等地区;FVC 与年均气温呈显著负相关($P < 0.05$)区域主要分布在海西州的乌兰县、都兰县、德令哈市的东部等地区。全省仅有 2.3% 区域表现出植被覆盖度与降水与气温均有显著相关关系。

2.4 地上生物量遥感估算

2.4.1 基于 NDVI 的地上生物量反演模型

青海省草地地上生物量和 NDVI 的五种反演模型均通过极显著的相关性检验($P < 0.01$)。指数模型为最优模型(表 1)。指数模型的均方根误差和总估算精度略低于对数模型,但决定系数大于对数模型,且对数模型在 $NDVI < 0.22$ 时,地上生物量时估算值为负值。因此指数模型 $y = 496.21e^{2.4497x}$ 为青海省地上生物量反演的最优模型。

地上生物量实测数据随 NDVI 的变化表现为逐渐增大,呈三角形(图 6)。NDVI 为 0.7~0.9 的地上生物量实测数据为 616~7 975 kg/hm²,标准偏差达到 1 700 kg/hm² 以上,其中地上生物量大于 4 000 kg/hm² 的比例占总实测数据量的 38.85%。

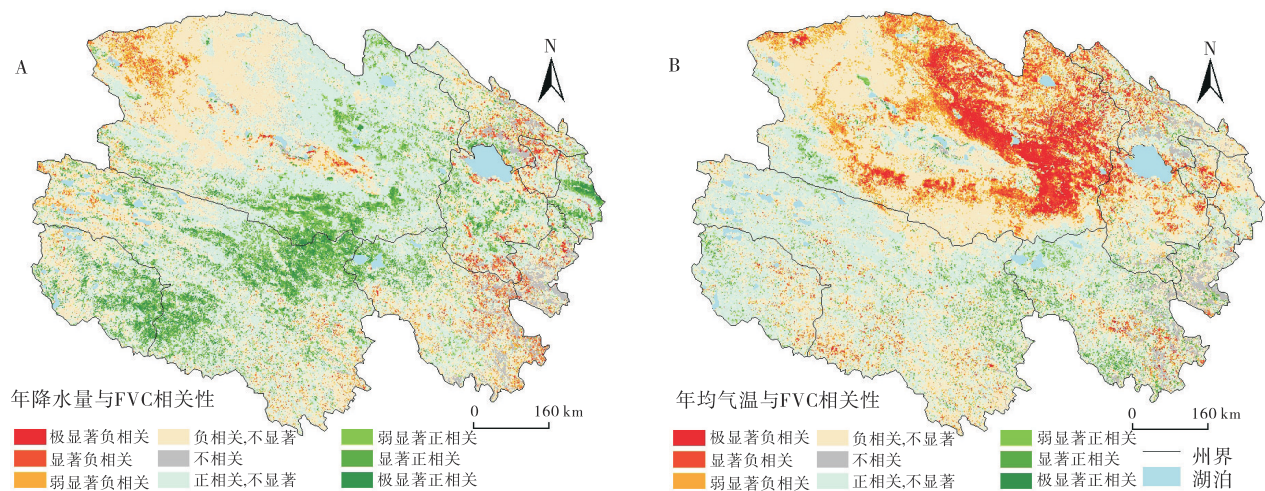


图5 年降水量、年均气温与FVC的空间相关性

Fig. 5 The spatial correlation of FVC with annual precipitation and with annual average temperature

表1 基于NDVI的草地地上生物量反演模型及精度评价

Table 1 Inversion model and precision evaluation of aboveground biomass of grassland basedon NDVI

回归模型	模拟方程	R^2	F	RMSE/	A/%
线性模型	$y=5821.1x-886.31$	0.33	224.10***	1380.59	49.96
二次多项式模	$y=7725.8x^2-2883.3x+1328.5$	0.35	245.00***	1403.47	49.13
对数模型	$y=2804.2\ln(x)+4195.5$	0.29	185.85***	1361.45	50.65
指数模型	$y=496.21e^{2.4497x}$	0.42	329.48***	1376.22	50.12
乘幂模型	$y=4323x^{1.2312}$	0.40	303.33***	1415.72	48.69

注:y为地上生物量估计值,x分别为NDVI值,n=456;***表示极显著($P<0.01$)

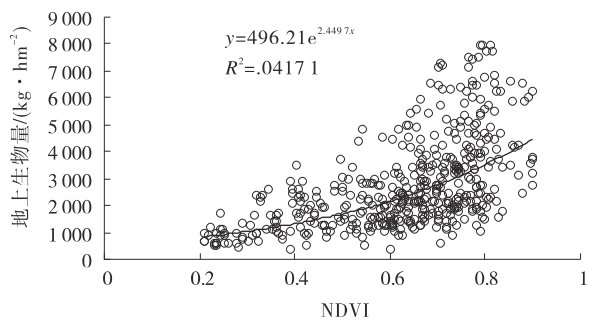


图6 地上生物量与NDVI的拟合结果

Fig. 6 Fitting result of aboveground biomass and NDVI

2.4.2 地上生物量时空变化趋势 以获得的最优模型反演青海省近9 a(2010—2018年)地上生物量可知,平均地上生物量总体呈增长趋势(图7)。年均地上生物量变化与年均植被覆盖度(图2)一致,在2011年、2015年出现低谷,年均地上生物量分别为1 392.02、1 352.58 kg/hm²,2015—2018年呈显著增加趋势($P<0.05$),年均增加199.73 kg/hm²,2018年植被覆盖度均值增加至1 552.32 kg/hm²。

利用基于NDVI的最优地上生物量反演模型得到青海省2010—2018年地上生物量,并根据时间变化分

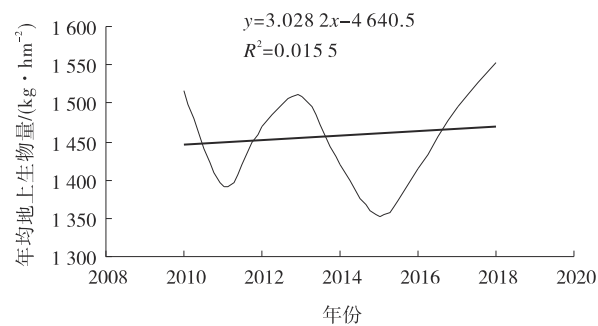


图7 青海省2010—2018年年均地上生物量

Fig. 7 Average above-ground biomass in Qinghai province- from 2010to 2018

析模型和相关系数检验法获得地上生物量变化趋势和置信空间(图8)。地上生物量总体呈东南高,西北低的空间分布,减少趋势最大为276.71 kg/hm²,增加趋势最大为544.68 kg/hm²,占比分别为69.18%、30.82%。其中极显著降低区域占全省面积的1.34%,显著降低区域占全省面积的14.98%,主要分布在青海省北部柴达木盆地、共和盆地、玉树州中西部等高寒干旱区域;降低区域面积占全省面积的52.85%,增加区域面积占全省面积的28.97%,降低

和增加均不具备显著性;极显著好转区域占 0.18%,显著好转区域占全省面积的 1.68%,面积占比较小,主要零星分布在西宁市、海东市、海北州东端及柴达

木盆地沿 G109 和 S303 道路两侧区域。地上生物量呈显著降低区域的变化趋势减少幅度较少,在 -20 kg/hm^2 内。

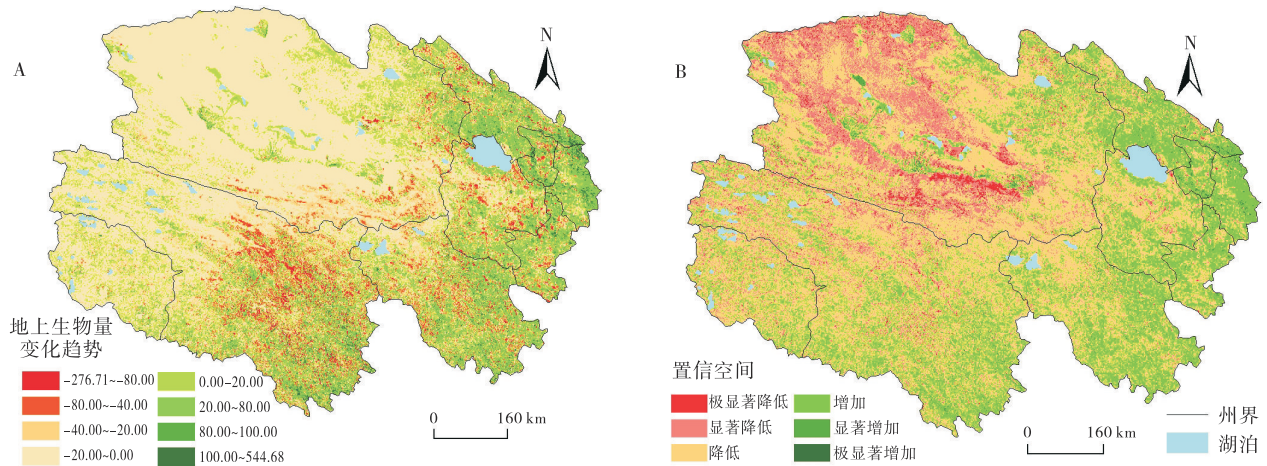


图 8 青海省 2010—2018 年地上生物量时空变化趋势

Fig. 8 Temporal and spatial variation trend of above-ground biomass in Qinghai Province from 2010 to 2018

3 讨论

草地资源不仅是重要的土地资源,在生态安全中也占有重要地位^[3]。草地资源动态监测是建立“数字草原”的重要基础,植被覆盖度和地上生物量是其最重要的 2 个指标^[18]。本研究利用 SPOT NDVI 数据对青海省草地资源进行研究,反演得到 2010—2018 年 FVC 变化趋势并分析其变化因素,构建并选择地上生物量最优反演模型,反演 2010—2018 年地上生物量变化趋势,以期为青海省草地资源综合治理、合理利用以及构建“数字草原”提供基础资料。

青海省 2010—2018 年年均 FVC 呈先下降后上升趋势,2011 年、2015 年为低谷值,2015 年后逐步恢复,这与赵慧芳等^[19]和代子俊等^[20]等的研究结果相同。赵慧芳等^[19]通过实测得到 2012—2016 年为青海省牧草歉收年,代子俊等^[20]研究中 2010—2015 年青海省年均植被覆盖度也是呈总体下降趋势。本研究中青海省地上生物量总体趋势为上升趋势,与大多数研究相同^[20-21]。FVC 和地上生物量的总体变化趋势与研究年限、研究区域有关,研究年限和区域不同,总体趋势也不相同,因此扩大研究的时间尺度、减小研究区域的空间范围将能得到更高精度的时空变化趋势。

本研究发现柴达木盆地、玉树州西部等高寒、干旱地区虽然 FVC、地上生物量变化趋势降低幅度较小,分别为 $-0.01 \sim 0$ 、 $-20 \sim 0 \text{ kg/hm}^2$,但置信空间均

为极显著降低($P < 0.01$)或显著降低($P < 0.05$)。这可能与该区域为温性荒漠类草原、高寒荒漠类草原有关。温性荒漠类草原和高寒荒漠类草原的草地 FVC、地上生物量值均较小^[22],因此年际变化趋势幅度小,但其生态环境脆弱极易受气候、人类活动等影响,因此年际间变化表现出了显著降低。本研究同时发现柴达木盆地大部分区域 FVC 与年均气温呈负相关,与年降水量呈正相关关系,近 9 a 来该区域降水减少,气温增加,对气候变化的响应较明显,也证明了该区域 FVC 年际趋势为显著降低。杨鑫等^[6]研究同样发现青海柴达木盆地自 2010 年后,气候呈现“暖干化”,气温增加,降雨减少,该区域有一半以上面积处于退化状态。但柴达木盆地沿道路的冲积扇、河湖区及自然保护区 FVC、地上生物量均呈显著好转趋势,这部分显然有异于气候因子的驱动,与人类活动对草地生态系统的建设密不可分。本研究发现玉树州中西部 FVC、地上生物量均表现为显著降低趋势。赵慧芳等^[11]研究认为 2003—2017 年玉树州曲麻莱县草地地上生物量明显减少。研究同时发现该区域 FVC 与年降水量呈显著正相关,与年均气温呈正相关,且平均海拔在 4 500 m 以上,较高的海拔影响水热组合^[9],从而影响 FVC 和地上生物量。

青海省 2010—2018 年水热条件年际间大致呈负协同现象,2010—2015 年年降水量持续降低,气温升高,这与杨鑫等^[6]的研究结果相同,气候呈现“暖干

化”。青海省大部分区域FVC与年降水量间以正相关为主,与年均气温呈负相关,因此青海省在2010—2015年FVC、地上生物量因水热条件不均而总体呈下降趋势,2015年后气候逐渐呈现“暖湿化”^[11],FVC和地上生物量将逐步恢复。本研究仅定性分析了FVC变化对气候因子变化的响应,未具体分析人类活动对植被盖度的影响,而研究人类活动并量化其对草地资源的影响对青海省草地资源动态监测及生态建设具有重要意义。

本研究在进行生物量估算时选择的线性、二项式、对数、指数和乘幂5种回归模型均在0.01水平上通过了F检验,其中指数模型为基于NDVI的地上生物量反演的最优模型。刘建红等^[8]研究认为青海省高寒草原和高寒草甸的最优模型是指数模型。渠翠平等^[23]研究同样认为指数模型反演草地地上生物量、总生物量较优,而线性模型在低植被覆盖时有较大误差。本研究中也发现非线性模型的反演精度普遍高于线性模型。不少学者^[24-25]认为二次多项式或三次多项式函数模型估算效果更佳,次数越高,拟合效果越好,但同样失去了模型的应用意义。另外,大多数评价生物量估算模型效果时仅采用 R^2 ,本研究还参考了均方根误差(RMSE)和估算精度(A),样地数达456个,得到了较为准确的反演模型。地上生物量实测数据随NDVI的变化表现为标准偏差逐渐增大,NDVI饱和现象更为明显,这可能是没有进行植被类型分类造成的。因此,为进一步提高地上生物量反演模型精度,构建多因素多类别的反演单元,收集更多更长时像数据是研究的重点。

4 结论

1) 2010—2018年以来青海省平均植被覆盖度总体呈现下降趋势,2015年之后开始恢复,到2018年恢复到49.14%。2015年后气候好转,年均气温和年降水量均呈增长趋势,因此青海省植被覆盖状况将逐渐恢复。

2) 基于NDVI植被指数的青海省地上生物量的最优反演模型为指数模型,通过了0.01水平的F检验,得到2010—2018年青海省平均地上生物量总体呈增长趋势。平均地上生物量该模型在NDVI大于0.7后标准差较大,使反演结果偏小,模型趋于饱和。植被类型、植被株高等因子应在今后的地上生物量反演

模型建立中予以考虑。

参考文献:

- [1] 徐世晓,赵新全,孙平. 青海省草地生态系统现状及可持续发展对策[J]. 草业科学,2001,18(5):58—61.
- [2] 李旭谦. 青海省自然地理区域退化草地分布[J]. 青海草业,2017,26(3):49—51.
- [3] 谈俊忠,张梅,谈心,等. 1995—2010年中国西部草地资源动态变化监测研究[J]. 地理与地理信息科学,2015,31(4):60—64.
- [4] 赵翊含,侯蒙京,冯琦胜,等. 基于Landsat 8和随机森林的青海门源天然草地地上生物量遥感估算[J]. 草业学报,2022,31(7):1—14.
- [5] HANG B H, ZHANG L, YIN X L, *et al.* Application of synthetic NDVI time series blended from Landsat and MODIS data for grassland biomass estimation[J]. Remote Sensing, 2015, 8(1):10.
- [6] 杨鑫,曹文侠,鱼小军,等. 基于近20年MODIS NDVI日数据的青海省草地资源动态监测及其对环境因子的响应[J]. 草业学报,2021,30(9):1—14.
- [7] 颜亮东,殷青军,张海珍,等. 遥感资料在青海草地资源监测及评价中的应用研究[J]. 自然资源学报,2007,22(4):640—648+675—676.
- [8] 刘建红,黄鑫,何旭洋,等. 基于MODIS的青海草原产草量及载畜平衡估算[J]. 草业科学,2018,35(10):2520—2529.
- [9] 孙蕊,郭颖,张旭,等. 2017~2019年海北州植被覆盖度时空动态变化分析研究[J]. 科技促进发展,2020,16(Z1):430—439.
- [10] 高黎明,张乐乐. 青海湖流域植被盖度时空变化研究[J]. 地球信息科学学报,2019,21(9):1318—1329.
- [11] 赵慧芳,李晓东,张东,等. 基于MODIS数据的青海省草地地上生物量估算及影响因素研究[J]. 草业学报,2020,29(12):5—16.
- [12] 肖锋. 青海省草地资源现状及保护利用对策[J]. 草业与畜牧,2006(11):37—39.
- [13] 徐新良. 中国月度植被指数(NDVI)空间分布数据集[EB/OL]. 中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统(<http://www.resdc.cn/DOI>), 2018. DOI:10.12078/2018060602.
- [14] 除多,德吉央宗,姬秋梅,等. 青藏高原典型草地地上生物量遥感估算[J]. 国土资源遥感,2013,25(3):43—50.
- [15] 王贵珍,马素洁,杨思维,等. 基于RUE的不同草地类生态评价研究——以河西走廊为例[J]. 自然资源学报,2017,32(4):582—594.

- [16] 马素洁,花蕊,张飞宇,等. 基于 RUE 和 NDVI 的三江源区草地生态评价[J]. 草原与草坪,2018,38(2):33—40.
- [17] 陈建军,黄莹,赵许宁,等. 黄河源区高寒草地植被覆盖度反演模型精度评价[J]. 科学技术与工程,2019,19(15):37—45.
- [18] 王加亭. 草地资源信息共享系统的设计与研究[D]. 北京:中国农业科学院,2006.
- [19] 赵慧芳,陈国茜,石明明. 2017 年青海省草地长势遥感监测及影响因素分析[J]. 青海草业,2018,27(3):45—48.
- [20] 代子俊,赵霞,李冠稳,等. 2000—2015 年青海省植被覆盖的时空变化特征[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(7):54—65.
- [21] 马昊翔,陈长成,宋英强,等. 青海省近 10 年草地植被覆盖动态变化及其驱动因素分析[J]. 水土保持研究,2018,25(6):137—145.
- [22] 费迎霞,晁永芳. 海西州天然草地资源年间动态分析[J]. 青海草业,2018,27(3):41—44+48.
- [23] 渠翠平,关德新,王安志,等. 基于 MODIS 数据的草地生物量估算模型比较[J]. 生态学杂志,2008,27(11):2028—2032.
- [24] 杜玉娥,刘宝康,郭正刚. 基于 MODIS 的青藏高原牧草生长季草地生物量动态[J]. 草业科学,2011,28(6):1117—1123.
- [25] 牛志春,倪绍祥. 青海湖环湖地区草地植被生物量遥感监测模型[J]. 地理学报,2003,58(5):695—702.

Monitoring grassland resource dynamics in Qinghai Province from 2010 to 2018 based on SPOT NDVI

WANG Fu-cheng^{1,2}, WEI Xue-hong¹, LEI Yan-min², SUN Cheng-liang², MA Su-jie^{1*}

(1. College of Animal Science, Tibet Agricultural and Animal Husbandry University, Nyingchi 860000, China;

2. Qinghai Provincial Natural Resources Survey and Monitoring Institute, Xining 810000, China)

Abstract: Monitoring grassland resource dynamics is of great significance for its rational utilization and ecological construction. This study selected fractional vegetation cover and above-ground biomass of grassland in Qinghai province as indicators. NDVI, annual precipitation, average annual temperature from August 2010 to 2018, and the above-ground biomass data measured 2015 and 2017 were used to simulate the trend of the spatial and temporal variation of fractional vegetation cover. The correlation between fractional vegetation coverage and climatic factors was analysed to find a inversion model to simulate its spatial and temporal variation trend. The results showed that: (1) In the recent 9 years, the average fractional vegetation cover of Qinghai province showed an extremely significant downward trend ($P < 0.05$), and the average above-ground biomass showed an increasing trend. (2) The fractional vegetation cover in 16.90% regions of Qinghai province decreased very significantly ($P < 0.01$) and 15.42% regions decreased significantly ($P < 0.05$). By contrast only 0.94% regions increased very significantly ($P < 0.01$) and 1.43% regions increased significantly ($P < 0.05$). (3) The annual precipitation and the average annual temperature showed a fluctuating upward trend in the past 9 years with a negative synergy between years. (4) About 20% regions of Qinghai province showed weak correlation between average fractional vegetation and annual precipitation or annual temperature ($P < 0.1$). (5) The exponential model $y = 496.21e^{2.4497x}$ was the optimal model for above-ground biomass inversion in Qinghai province ($R^2 = 0.42$, $P < 0.01$). (6) The maximum decreasing trend of above-ground biomass was 276.71 kg/hm^2 , and the maximum increasing trend was 544.68 kg/hm^2 , the proportions were 69.18% and 30.82% respectively. It was concluded that grassland resources in Qinghai province were gradually recovering, and its change was closely related to human activities.

Key words: Temporal and spatial trends; Climate factors; Above-ground biomass; Inversion model