

祁连山 NDVI 的时空变化及其对海拔的响应

杨鹤^{1,2}, 朱淑娟^{1,2,3}, 李丽^{1,2*}, 吴巩胜^{1,2}, 国洪艳^{1,2} (1. 云南财经大学城市与环境学院, 云南昆明 650221; 2. 云南财经大学野生动植物管理与生态系统健康研究中心, 云南昆明 650221; 3. 和平县国土整治中心, 广东河源 517200)

摘要 基于 2000、2005、2010、2015 和 2020 年的 5 期 MODIS NDVI 数据, 运用均值法、线性趋势分析法和 GIS 空间分析法, 研究分析了祁连山年平均植被生长趋势、不同海拔差异对植被覆盖变化的影响。结果表明: 祁连山整体植被覆盖度由西向东增加, 西部稀疏、东部茂盛; 主要植被类型为高山灌丛草甸。祁连山年际植被覆盖度有明显的改善, 低覆盖度面积由 34.70% 降低到 25.29%, 高覆盖度面积从 15.21% 增加到 23.97%, 整体覆盖程度逐渐上升; 2000—2020 年祁连山年平均植被 NDVI 总体呈良好发展趋势, 改善的植被占比 28.19%, 主要分布在东部和南部; 海拔偏高和海拔偏低植被覆盖度均很低, 海拔在 2 000 m 以上植被覆盖度较高, 尤其是在海拔高度 3 500~4 000 m 时, 植被覆盖度最高, 适宜植物生长。

关键词 MODIS NDVI; 祁连山; 植被覆盖度; 海拔; GIS

中图分类号 Q 948 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)21-0090-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.21.022



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

The Spatiotemporal Change of NDVI in the Qilian Mountains and Response to Altitude

YANG He^{1,2}, ZHU Shu-xian^{1,2,3}, LI Li^{1,2} et al (1. School of Urban and Environment, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming, Yunnan 650221; 2. Wildlife Management and Ecosystem Health Center, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming, Yunnan 650221; 3. Heping County Land Improvement Center, Heyuan, Guangdong 517200)

Abstract Based on the MODIS NDVI data from 2000 to 2020, through the extraction and analysis of pixel-by-pixel information, the average value method, linear trend analysis and GIS spatial analysis are used to study and analyze the Qilian Mountains' annual average, vegetation growth trends, and differences in altitudes leading to the degree of vegetation coverage changes. The results of the study showed: The overall vegetation coverage of Qilian Mountains increases from west to east, sparse in the west and luxuriant in the east, and the main vegetation type is alpine scrub meadow. The inter-annual vegetation cover of Qilian Mountains has improved significantly, with the area of low cover decreasing from 34.70% to 25.29% and the area of high cover increasing from 15.21% to 23.97%, with the overall cover gradually increasing. In the past 20 years, the overall average annual vegetation NDVI of Qilian Mountains has shown a good development, with 28.19% of the improved vegetation, mainly distributed in the east and south. The vegetation coverage is very low at high altitude and low altitude, and the vegetation coverage is higher at an altitude of more than 2 000 meters, especially when the altitude is 3 500-4 000 meters, the vegetation coverage is the highest, which is suitable for plant growth.

Key words MODIS NDVI; Qilian Mountains; Vegetation coverage; Altitude; GIS

植被覆盖是作为反映区域性生态环境发展状况的重要衡量指标之一, 对于物质的生态化学循环和全球能量循环有着至关重要的影响^[1]。归一化植被指数(NDVI)是植被长势和营养信息的重要参数, 是植被和生态环境变化最重要的指标之一, 近年来许多国内外学者对不同时空尺度上地表植被覆盖变化长时间序列的 NDVI 数据集进行了深入分析^[2]。李茜茜等^[3]结合 2000—2018 年成渝经济圈气象站点气温、降水等气候指标, 分析了该地区 NDVI 的时空变化特征及气候对其的影响。Shabanov 等^[4]利用 AVHRR 数据分析了我国北部植被的变化。张华等^[5]基于祁连山国家公园植被 NDVI 等数据, 运用地理探测器模型分析 2000—2019 年祁连山国家公园植被 NDVI 时空变化特征和植被 NDVI 变化的驱动因素。李卓等^[6]基于 MODIS NDVI 数据, 预测了 2005—2015 年京津冀植被未来发展趋势, 得出京津冀地区植被以持续恢复为主的结论; 李玉琼等^[7]基于 MODIS NDVI 数据, 研究了 2000—2014 年榆林地区植被的季节变化、年际变化和空间变化, 结果表明退耕还林还草取得明显成效。

祁连山是我国西部重要的生态安全屏障, 是冰川与水源涵养国家重点生态功能区, 对于祁连山我国实行国家公园体制, 目的是为了保持祁连山自然生态系统的原真性和完整性, 保护生物多样性和生态安全屏障。虽然祁连山拥有得天独厚的自然资源, 但目前对于祁连山植被仍缺乏研究, 存在林地、草地数据不清晰, 资源空间重叠, 自然资源价值的实现目前仍存在诸多困难。研究祁连山植被覆盖的变化, 在保护和维持自然生态多样性及气候的稳定性等方面起着重要作用^[8], 这不仅可以更深入地了解祁连山植被的生长条件和影响因素, 也为监测其稳定性、预警灾害的发生和减缓退化的过程提供科学依据, 同时还为特殊动植物保护提供参考价值。笔者利用 NDVI 和 DEM 数据研究 2000—2020 年祁连山 NDVI 的时空变化, 了解祁连山植被的生长条件及其受海拔的影响, 运用均值法、线性趋势分析法和 GIS 空间分析法对祁连山整个区域植被 NDVI 的数据进行了空间分析, 并综合分析了祁连山植被覆盖动态变化的特点与影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 祁连山是我国西北部主要山脉, 坐落在青海省和甘肃省, 西与当金山口接壤, 北部为河西走廊, 南部是柴达木盆地, 东南部为秦岭和六盘山(图 1)。祁连山西北高东南低, 从东到西长约 1 000 km, 从北到南宽

基金项目 2018 年林业改革发展资金珍稀濒危野生动物保护救助补助项目“大型兽类分布变迁调查专题”(80026091687)。

作者简介 杨鹤(1997—), 女, 云南保山人, 从事景观生态学研究。
* 通信作者, 教授, 从事基于濒危物种的生态学研究。

收稿日期 2021-11-01

300 km,总面积约 $18.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,大多数祁连山脉的平均海拔为 3 500~5 000 m。祁连山的累计降水量相对较小,年平均累计降水量的整体分布从东南到西北呈现逐渐递减趋

势^[9]。植被分布呈现垂直地带性特征,海拔由低到高分布有灌丛地、荒漠草原、高山草原、高山灌丛草甸、高寒草甸、高寒稀疏草甸。

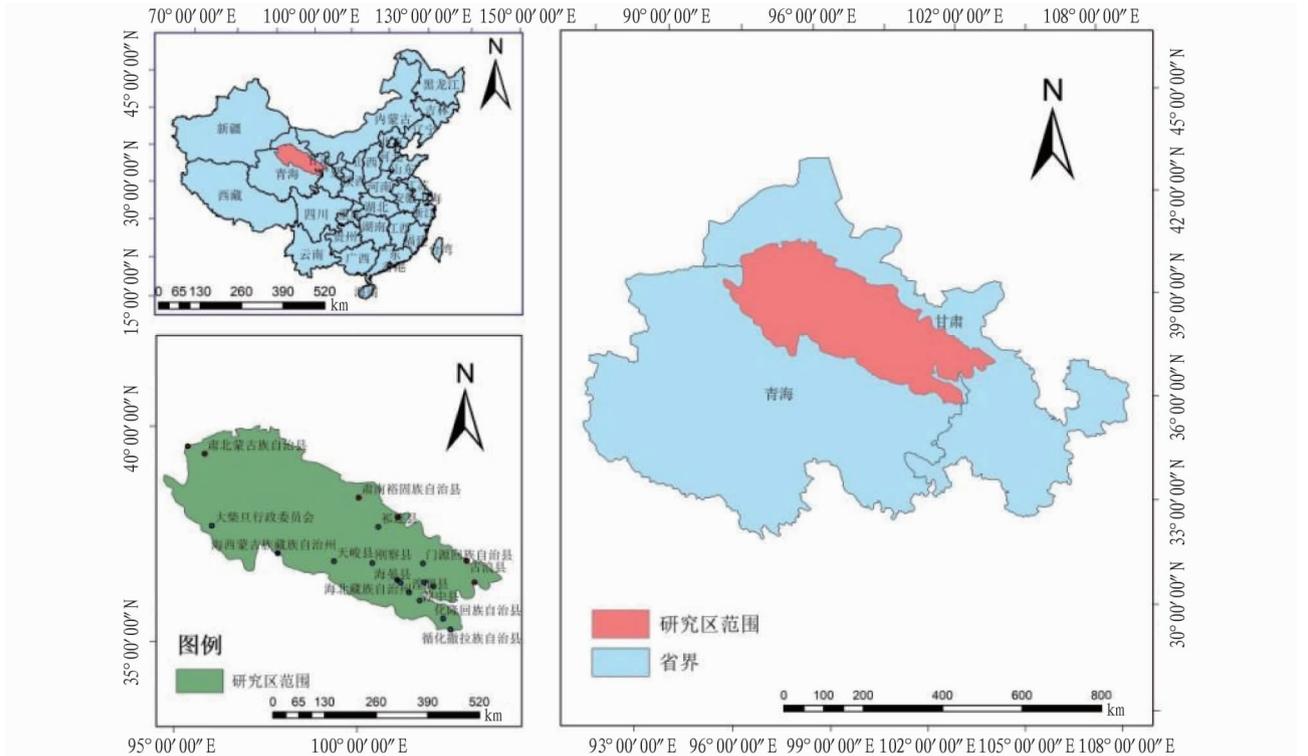


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographic location of the study area

1.2 数据来源与处理 数据来源于 NASA (<https://landsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>) 2000、2005、2010、2015 和 2020 年的 MOD13Q1 数据,空间分辨率为 $250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$,时间为每年 8 月,排除了冬天被冰雪覆盖的可能性,且此时也是全年植被生长最好的季节。将 MODIS 的原始数据计算方法应用于 ENVI 的 band 数学中,NDVI 为 $-1 \sim 1$ 。图像经过拼接,重新开始进行图像投影并再次使用新的 MRT 进行图像裁剪;然后通过最大的图像合成切割方式重新获得月份的图像 NDVI_{max},以 tif 的格式重新进行图像输出。全球数字空间高程数据 (DEM, $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$) 来源于中国科学数据云地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn>),在 ArcGIS 中利用空间特征分析模块结合实际观测的数据将海拔地形特征因子进行提取。

1.3 研究方法

1.3.1 均值法。均值法是把祁连山植被各年累计 NDVI 值归在一起计算的平均值,并用植被的年累积平均 NDVI 值反映 2000—2020 年祁连山生长期植被覆盖度的总体特征^[10],公式为

$$\overline{\text{NDVI}} = \sum_{j=1}^{20} \sum_{i=1}^{12} \text{NDVI}_{ji} / 20 \quad (1)$$

式中, $\overline{\text{NDVI}}$ 为植被年累计平均 NDVI; NDVI_{ji} 表示第 j 年第 i 月的 NDVI。

年平均 $\overline{\text{NDVI}}$ 周期分析是指 2020—2020 年祁连山地区

NDVI 年均变化,持续时间约 12 个月,代表整个年度的 NDVI 及其直接反映的祁连山地区植被覆盖率的平均年际周期性及其变化特征。公式为

$$\overline{\text{NDVI}}_x = (\sum_{i=1}^{12} \text{NDVI}_{ji}) / 12 \quad (2)$$

式中, $\overline{\text{NDVI}}_x$ 表示年平均 NDVI, $j=2000, 2001, \dots, 2020$ 年。

由于每个研究区植被覆盖和研究方法的不同,对于植被覆盖的分级学术界目前仍存在多种方法及标准。笔者结合前人研究,根据祁连山植被覆盖的特点,根据植被覆盖度类型的重分类(表 1),将植被覆盖度分为低覆盖度、中低覆盖度、中覆盖度、中高覆盖度和高覆盖度 5 类,分别从不同角度分析祁连山植被覆盖的变化情况。

表 1 祁连山植被覆盖类型的重分类

Table 1 Reclassification of vegetation cover types in Qilian Mountains

序号 No.	植被覆盖度类型 Vegetation coverage type	NDVI
1	低覆盖度	$>0 \sim 0.10$
2	中低覆盖度	$>0.10 \sim 0.30$
3	中覆盖度	$>0.30 \sim 0.55$
4	中高覆盖度	$>0.55 \sim 0.75$
5	高覆盖度	$>0.75 \sim 1.00$

1.3.2 线性趋势分析法。利用线性趋势分析法模拟 2000—2020 年祁连山植被 NDVI 年平均值的空间变化。根据趋势线斜率 S 的改变幅值范围^[11-12],定义显著增加、轻微增加、显著减少、轻微减少、基本不变的变化区间,分别计算 5 个变化

区间的面积和变化百分比,并通过对数据进行比较和仿真的结果,进行了 $S < 0.05$ 的明显显著性水平检验。使用图像差分法分析NDVI的空间变化,综合分析祁连山植被覆盖动态变化的特点与影响,计算公式为

$$S = \frac{n \cdot \sum_{j=1}^n \text{NDVI}_j - \sum_{j=1}^n j \sum_{j=1}^n \text{NDVI}_j}{n \cdot \sum_{j=1}^n j^2 - (\sum_{j=1}^n j)^2} \quad (3)$$

式中, n 为监测年数;NDVI_{*j*}为第*j*年NDVI的一个倾向平均值; S 为趋势图曲线的斜向曲率,其中, $S > 0$,说明NDVI在*n*~*j*年间的倾向变动使其倾向通常呈逐渐性增加,反之则可能逐渐减小^[13]。同时根据 S 的季度变动幅值范围,使用标准差法定义为极度变差、显著变差、基本不变、显著变好和极度变好5个变化区间,并统计面积及其面积百分比。

2 结果与分析

2.1 植被的基本特征 图2反映了祁连山地区2000—2020年分阶段植被覆盖的基本空间特征。根据祁连山植被土地覆盖的重分类情况可知(表2),森林植被及其覆盖范围主要有高山灌丛草甸与高山草原。祁连山东南部地区,年累计平均NDVI最大,值接近于1,主要植被类型为高山灌丛草甸。在祁连山中部地区和东部地区,年累计平均NDVI值位居第2,接近于0.6,主要植被类型高山草原。在祁连山西部,年累计平均NDVI值接近于0,植被覆盖度相对较小,主要高原地区植被覆盖的类型有寒冻风化带和裸地,最西端的荒漠草原地区植被覆盖的程度最小,年累积植被平均值在NDVI中逐渐减少出现负值,主要部分于大沙漠地区^[14]。

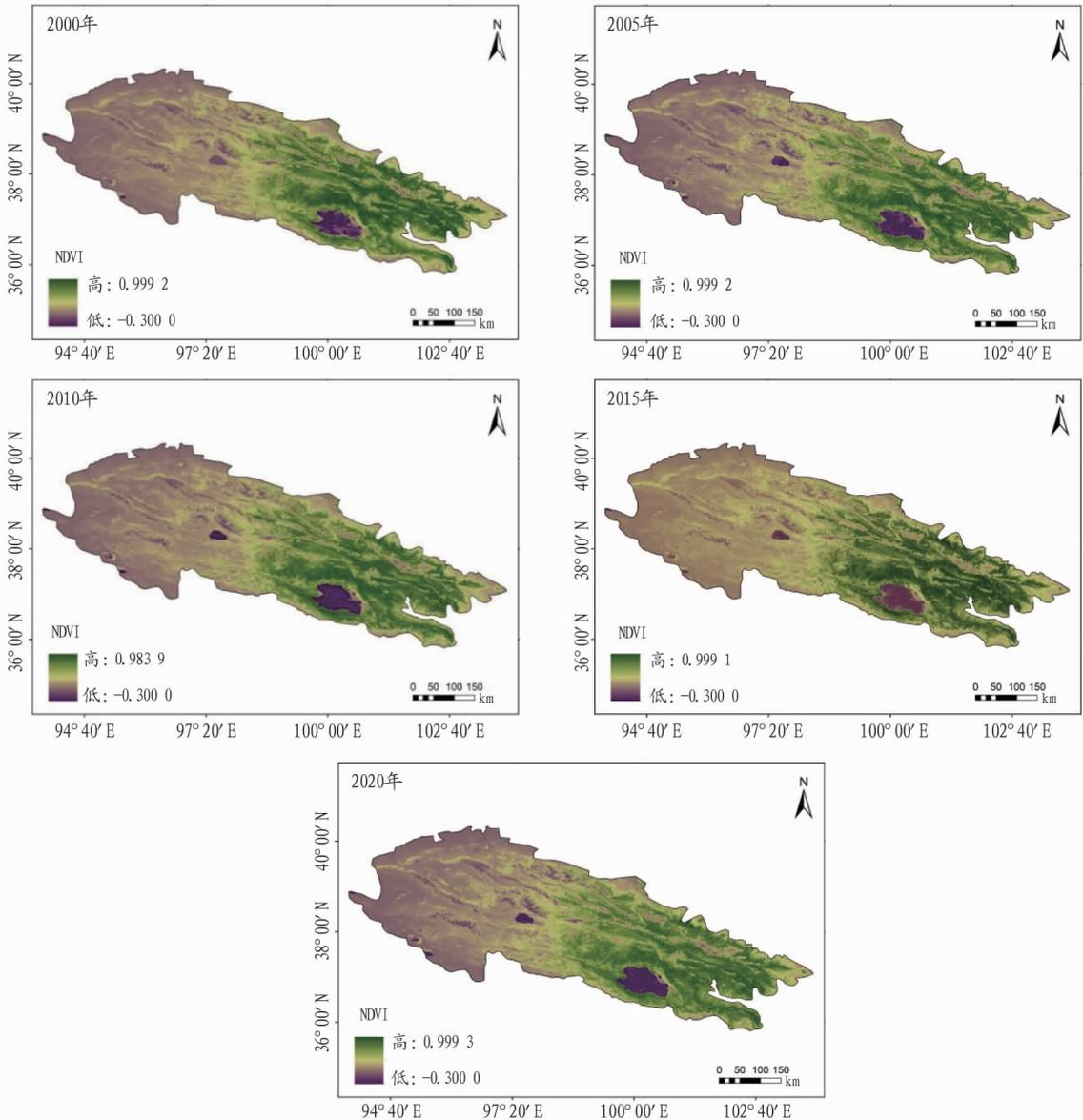


图2 2000—2020年NDVI值变化情况

Fig. 2 Changes of NDVI values from 2000 to 2020

2.2 NDVI的时间变化 植被覆盖度变化不显著,但从低覆盖度来看,有明显的改善,低覆盖度面积明显减少,整体

的覆盖程度逐渐上升^[15]。从2000年的覆盖度来看,中高覆盖度和高覆盖度占均较低,二者加起来27.11%,而低覆盖

度占 34.70%，植被覆盖度情况偏差；2005 年高覆盖度有明显的上升，从 2000 年的 15.21% 上升为 20.75%，整体情况有良好的改善；2010 年整体情况变化不明显，高覆盖度增加到 21.54%；2015 年低覆盖度占比减少，中覆盖度和中高覆盖度有所上升；到 2020 年高覆盖度达到 23.97%，基本与低覆盖度(25.29%)持平。总体来说，祁连山植被整体呈上升趋势，其中植被低覆盖度总体逐渐减少，高覆盖度逐渐增加(表 3、图 3)。由此可见，2000—2020 年的生态环境变化过程中，祁连山的植被和森林覆盖率以缓慢的速度逐年改善，祁连山高覆盖度面积总体呈逐步上升趋势，2000—2005 年变化较大，该段时间低覆盖面积和高覆盖面积变化均较为明显。

表 2 祁连山植被区域土地覆盖的重分类

Table 2 Reclassification of land cover in vegetation area of Qilian Mountains

土地覆盖类型 Land cover type	海拔 Altitude//m	NDVI
裸地 Naked	>1 353~3 500	>0~0.1
灌丛地 Bush land	>1 353~3 500	>0.1~0.2
荒漠草原 Desert steppe	>1 353~3 500	>0.2~0.4
高山草原 Alpine grassland	>1 353~3 500	>0.4~0.6
高山灌丛草甸 Alpine scrub meadow	>3 500~4 000	>0.6~1.0
高寒草甸 Alpine meadow	>4 000~5 587	>0.4~0.6
高寒稀疏草甸 Alpine sparse meadow	>4 000~5 587	>0.2~0.4
寒冻风化带 Cold frozen weathering zone	>4 000~5 587	>0~0.1

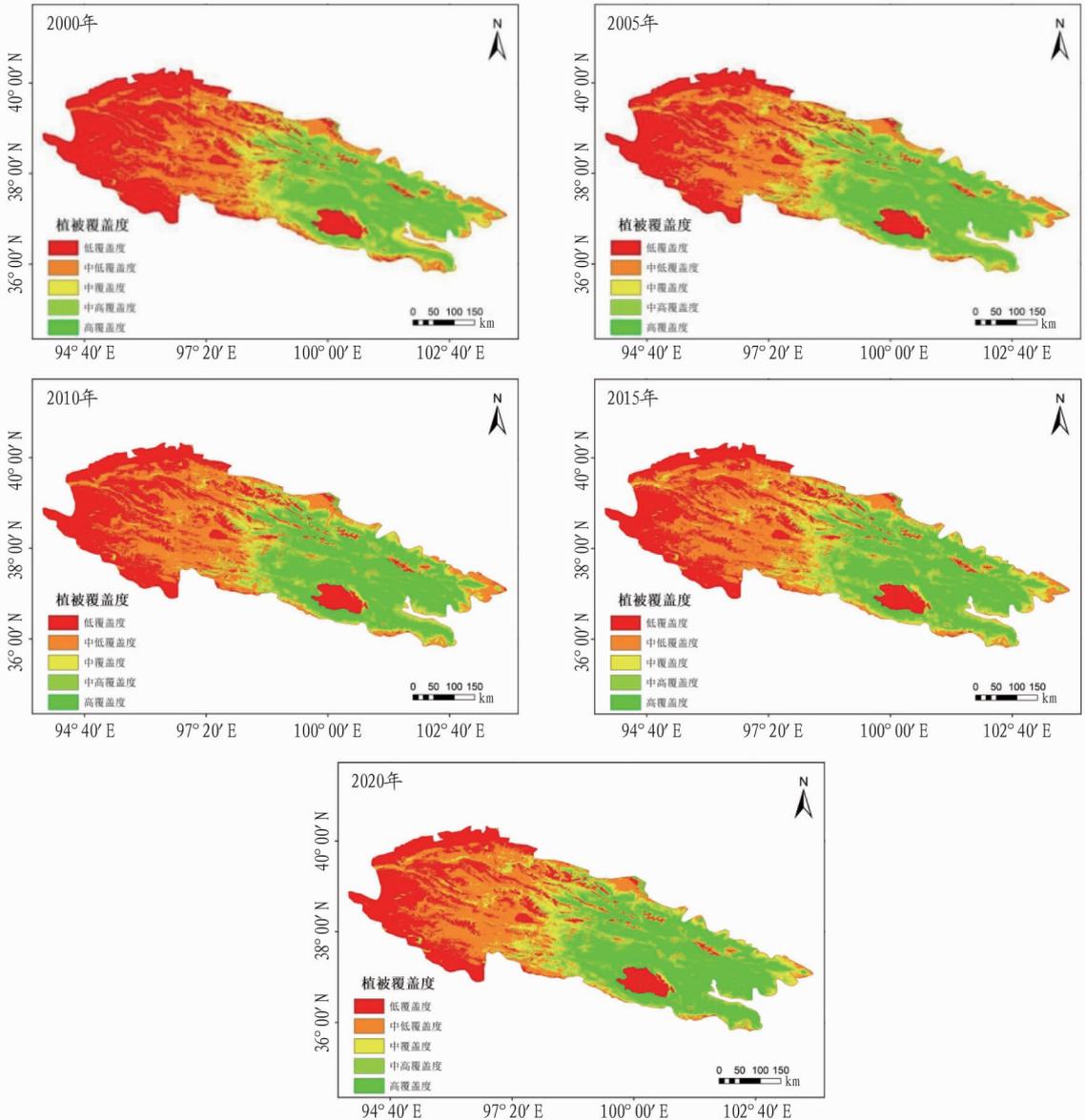


图 3 2000—2020 年植被覆盖变化情况

Fig.3 Vegetation cover change from 2000 to 2020

2.3 NDVI 的空间变化 由图 4、表 4 可知，2000—2020 年祁连山年平均植被 NDVI 总体呈良好发展趋势(图 4)，改善的植被占比 28.19%。森林植被 NDVI 值极度变好的部分总

面积 1 359.76 km²，占总面积的 0.59%，在古浪、湟中等县区分布；显著变好的面积 63 393.43 km²，占总面积的 27.60%，分布于天峻、民乐、海晏、海北、渭源、化隆等县区；祁连山地

区基本不变的植被 NDVI 总面积 161 007.72 km²,占祁连山植被总面积的 70.10%,主要分布在肃北县、大柴旦、海西等多个县区;祁连山森林植被 NDVI 值极度变差的面积为 234.37 km²,占祁连山森林总面积的 0.10%,集中分布在刚察县等部分地区。祁连山 NDVI 值极度变差的区域主要分布在门源回族自治县等地区,这些地区受到人类活动的极大影响,植被呈现出退化的趋势;显著变差的总面积为 3 683.90 km²,占总面积的 1.60%,分布在祁连山中段,门源和刚察周边零星分布。

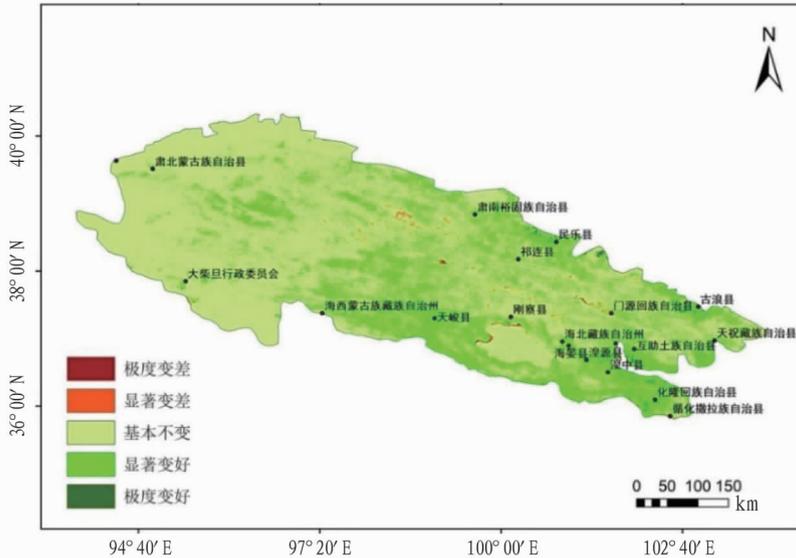


图 4 2000—2020 年植被覆盖趋势变化情况

Fig. 4 Distribution of vegetation cover trend from 2000 to 2020

表 4 2000—2020 年植被覆盖趋势变化面积及其占比

Table 4 The change area and proportion of vegetation cover from 2000 to 2020

植被覆盖度类型 Vegetation coverage type	面积 Area km ²	面积占比 Area ratio %
极度变差 Extreme deterioration	234.37	0.10
显著变差 Significant variation	3 683.90	1.60
基本不变 Basically unchanged	161 007.72	70.10
显著变好 Significantly improved	63 393.43	27.60
极度变好 Extremely good	1 359.76	0.59

2.4 NDVI 受海拔的影响 海拔升高 100 m, 年均气温下降 0.6℃, 雨量和相对湿度一般都会有一定高度的基础上随着当地海拔的不断提升而缓慢增加^[16]。从图 5 来看, 祁连山中西部地区海拔高度相对于整个祁连山较高, 而西北以及沿边地区海拔高度较低, 东部地区与南部地区海拔高度相对较低。

从图 5、6 来看, 海拔偏高和海拔偏低区域对应的 NDVI 值均较低, 而海拔高度相对适中的地区, 对应的 NDVI 值较高^[17]。根据分析得出, 植被和其他森林覆盖度低的祁连山地区平均海拔为 1 353~<2 000 m, 这些地区因其所处的地位是处于祁连山东北部边缘地带, 受到人类生产和经济活动的干扰影响较大, 森林的砍伐严重、农田的开垦及过度放牧等

表 3 2000—2020 年植被覆盖度占比

Table 3 Percentage of vegetation coverage from 2000 to 2020 %

植被覆盖度类型 Vegetation coverage type	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年
低覆盖度 Low coverage	34.70	28.10	28.64	25.44	25.29
中低覆盖度 Medium low coverage	24.42	26.39	27.50	28.73	26.09
中覆盖度 Medium coverage	13.77	13.74	12.42	14.65	13.91
中高覆盖度 Medium high coverage	11.90	11.01	9.90	11.40	10.73
高覆盖度 High coverage	15.21	20.75	21.54	19.78	23.97

原因, 致使当地的自然资源和土地逐渐趋于荒漠化, 植被的流失也变得严重, 对应的 NDVI 值偏低; 海拔为 2 000~<3 000 m 时, 对应的 NDVI 值相对较高, 大部分分布在祁连山中段地区; 植被覆盖率较高的区域对应海拔为 3 000~<3 500 m, 在祁连县中段零星分布, 具体为天骏、刚察和祁连县附近。海拔为 3 500~<4 000 m 时, 是植被覆盖度最高的海拔高度, 该高度的海拔适宜植物的生长, 在祁连山中段和大柴旦附近也分布广泛。植被和森林覆盖率相对较低的地区海拔为 4 000~<4 500 m, 这些地区位于祁连山东南部, 位于海晏、刚察和门源县等附近, 以及西南地区也有大部分涉及, 这些地区为人类活动范围。植被覆盖率低的地区所对应的平均海拔 4 500~<5 587 m, 该区域属于祁连山西北部高寒气候区域^[18], 由于受到强烈的自然气候和环境的影响, 植被覆盖率低, 生长稀疏。

3 结论

(1) 祁连山植被覆盖度呈现东茂西疏的分布状态。祁连山东部地区年累积平均 NDVI 值最大, 越往西 NDVI 值越小。植被类型为高山灌丛草甸和高山草原对应的 NDVI 值较高, 此外, 裸地和寒冻风化带对应的 NDVI 值较低。

(2) 祁连山年际植被覆盖度有明显的改善, 低覆盖度面积占比由 34.70% 降低到 25.29%, 高覆盖度面积占比由 15.21% 增加到 23.97%, 覆盖度整体呈逐渐上升趋势。

笔者采用不同的嫁接方法(胚芽劈接法、胚芽切接法、胚根劈接法)选择相同的嫁接时间(2018年夏5月)进行嫁接育苗试验,经过1年的成效观察可知,嫁接方法是油茶优良无性系芽苗砧嫁接苗的成活率、初生长(苗高和地径)的关键影响因素;胚芽劈接法嫁接苗平均成活率最高,达91.88%,分别比胚根劈接法和胚芽切接法提高125.47%和26.94%;胚芽切接法平均成活率达到72.38%,比胚根劈接法(40.75%)提高77.62%;3种方法对油茶嫁接苗的苗高和地径影响程度不同,其中胚芽劈接法和胚芽切接法2种方法嫁接口愈合好,对嫁接苗的地径、苗高生长有促进作用,2种嫁接方法生产的嫁接苗成活率和苗木初生长都表现良好。

胚芽接(包括胚芽劈接法和胚芽切接法)时保留了砧木种子,胚根接(胚根劈接法)未保留砧木种子,胚芽接苗木的长势明显优于胚根接,胚芽接的嫁接苗成活率明显高于胚根接,提高了101.55%,说明砧木种子中含有充足的营养,在嫁接口愈合后,通过木质部、韧皮部向接穗输送水分和营养,促进嫁接苗根系和苗木生长。吴习安等^[9]研究认为,胚根接、胚芽接与嫁接成活率不相关,这与该试验结果不同,推测可能是嫁接技术员熟练程度不同而造成嫁接后成活率结果差异不显著;与后期苗木生长相关,胚根接苗木生长量明显小于胚芽接,这与该试验结果相同。邝先松等^[10]研究认为,胚芽接、胚根接与嫁接成活率及苗木长势均不相关,这与该试验结果不同,推测因嫁接时砧木种子均未保留而无差异^[11]。

试验发现,先嫁接的苗木生长量明显大于后嫁接的,但具体提早的天数有待进一步试验研究^[12]。因此,生产上为了提高苗木出圃质量和出圃率,只要穗条达到半木质化,前期工作准备充分,掌握芽苗砧嫁接技术后,就可以开始嫁接工作,且越早越好。

3.2 不同季节对油茶芽苗砧嫁接的影响 嫁接用穗条的木质化程度直接与嫁接季节相关,接穗的木质化程度与油茶芽

苗砧嫁接成效极显著相关,因此嫁接季节也与油茶芽苗砧嫁接成效极显著相关,利用相同的嫁接方法在不同嫁接时间(2018年3、5、9、12月)进行嫁接育苗试验,试验结果表明,不同季节对芽苗砧嫁接苗木成活率和苗高生长的影响差异极显著,对地径生长的影响差异不显著。因此,嫁接季节主要影响嫁接成活率^[13],与穗条木质化程度的影响一致,但对油茶嫁接苗生长的影响结论不明确,需要进一步研究。

大规模实施宜宾本地良种油茶芽苗砧嫁接育苗时,宜选择时间在5月,嫁接成活率可达91.19%,油茶前3年初生长(地径和苗高)良好,嫁接前要做好充分准备工作,特别是砧木的选择与培育显得尤为重要,该试验研究对其他地区的油茶芽苗砧嫁接有一定的参考作用。

参考文献

- [1] 李绍会. 广南县油茶产业发展现状与对策[C]//第二届云南省科协学术年会暨高原特色农业发展论坛论文集. 昆明: 云南省科学技术协会, 2012:331-335.
 - [2] 黎先进. 四川经济林资源特点及综合区划[J]. 经济林研究, 2001, 19(1): 33-36.
 - [3] 张清. 两种油茶芽苗砧嫁接方法田间育苗试验研究[J]. 绿色科技, 2014(4): 107-109.
 - [4] 张卫建. 不同处理对油茶芽苗砧嫁接成活率和生长量的影响[J]. 安徽林业科技, 2012, 38(3): 26-29.
 - [5] 章早霞. 油茶胚芽嫁接技术[J]. 现代农业科技, 2009(13): 52, 54.
 - [6] 叶淑英. 不同嫁接时间对油茶闽43#优良无性系芽苗砧嫁接育苗成效的影响[J]. 林业勘察设计, 2011(2): 75-78.
 - [7] 续九如, 李颖岳. 林业试验设计[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
 - [8] 陈仲堂, 赵德平, 李彦平, 等. 数理统计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014.
 - [9] 吴习安, 陈凤翔, 彭新春. 油茶芽苗砧嫁接试验[J]. 湖南林业科技, 2010, 37(5): 50-52.
 - [10] 邝先松, 宋祥兰, 宋和浩, 等. 油茶芽苗根嫁接试验[J]. 江西林业科技, 2003, 31(6): 5-7.
 - [11] 何芳婷, 唐伟祁, 陈顺秀, 等. 优良无性系油茶芽苗砧嫁接比较试验[J]. 现代农业科技, 2016(12): 165, 178.
 - [12] 王瑞, 陈永忠, 陈隆升, 等. 油茶优良无性系芽苗砧嫁接技术体系的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(7): 77-80.
 - [13] 刘文国, 黄萍, 陈宏, 等. 文山白花油茶老龄低产大树大砧高头嫁接技术研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(22): 101-103.
-
- (上接第95页)
- [17] 吴英, 张万幸, 张丽琼, 等. 基于DEM的地形与植被分布关联分析[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(11): 96-98.
 - [18] 王海军, 张勃, 靳晓华, 等. 基于GIS的祁连山区气温和降水的时空变化分析[J]. 中国沙漠, 2009, 29(6): 1196-1202.
 - [19] 王玲, 刘海隆. 重庆岩溶地区气候变化对植被的影响[J]. 气象与环境学报, 2007, 23(1): 6-11.
 - [20] 王红岩, 李强子, 吴利桥, 等. 基于RS和GIS的水土流失敏感性评价及动态监测[J]. 水土保持研究, 2015, 22(2): 64-68.
-
- (上接第110页)
- [18] YAMAUCHI M, BISWAS J K. Rice cultivar difference in seedling establishment in flooded soil[J]. Plant Soil, 1997, 189: 145-153.
 - [19] 刘艳, 宋兆强, 夏祥华, 等. 大田模拟环境下水稻种子耐缺氧能力遗传研究[J]. 西南农业学报, 2016, 29(10): 2279-2283.
 - [20] 饶玉春, 林晗, 肖飒清, 等. 水稻耐淹性的QTL定位与候选基因分析[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2020, 43(3): 312-319.
 - [21] 孙志广, 王宝祥, 周振玲, 等. 水稻萌发耐淹性种质资源筛选及QTL定位[J]. 作物学报, 2021, 47(1): 61-70.