

赵伟,张义,赵婷,等. 近 15 年北方 6 省(区)草地覆盖度时空变化及其与气温、降水的关系[J]. 江苏农业科学,2018,46(10):266–271.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2018.10.065

近 15 年北方 6 省(区)草地覆盖度时空变化及其与气温、降水的关系

赵伟¹, 张义², 赵婷¹, 程帅¹, 程积民², 刚成诚²

(1. 西北农林科技大学动物科技学院, 陕西杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要:基于 2001—2015 年的中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 植物均一化指数 (NDVI) 数据, 反演中国北方 6 省(区)草地覆盖度的空间格局和变化趋势, 结合同期北方 6 省(区)气象站点气温和降水数据, 分别从不同时空尺度和不同草地类型分析草地覆盖度的年际动态及其对气候变化的响应。结果表明: (1) 我国北方 6 省(区)草地覆盖度总体上呈东南高西北低的特征, 15 年间平均草地覆盖度为 46.14%, 其中草甸覆盖度最高, 平均为 63.13%, 荒漠草地覆盖度最低, 平均为 19.15%。(2) 2001—2015 年间我国北方 6 省(区)草地覆盖度呈上升趋势, 平均为 0.39%/年。其中坡面草地覆盖度增加趋势最明显, 平均为 1.01%/年; 平原草地和草甸增加趋势次之, 平均值分别为 0.46%/年和 0.45%/年; 荒漠草地为 0.35%/年, 高山亚高山草甸最小, 平均为 0.28%/年。整个草地覆盖度增加趋势面积比例为 80.48%, 其中坡面草地覆盖度呈极显著增加趋势的面积最大 (75.95%), 草甸草地次之 (53.93%), 高山亚高山草甸、荒漠草地和平原草地分别为 53.12%、50.57%、45.59%。(3) 2001—2015 年间, 我国北方 6 省(区)温度变化较小, 温度平均降低速率为 $-0.01\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{年}$, 降水量平均增加速率为 $3.38\text{ mm}/\text{年}$ 。(4) 我国北方 6 省(区)草地覆盖度与降水的相关性大于温度, 与温度呈正相关的面积占草地总面积的 40.61%, 而与降水量呈正相关的面积占草地总面积的 86.86%。

关键词: 草地覆盖度; 气温; 降水; 植被均一化指数; 时空动态; 相关性

中图分类号: S812.29 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2018)10–0266–06

植被是生态系统的重要组成部分, 具有调节生态平衡功能, 在碳循环中发挥至关重要的作用。植被覆盖度是表征植被质量和植被群落生长动态的重要参数, 与降水、气温等气候因子密切相关, 其变化对区域气候变化具有重要的指示作用^[1]。因此, 研究草地覆盖度变化及其与降水、气温的关系, 有助于深入分析陆地生态系统与全球气候变化的关系。近年来, 国内外学者借助遥感数据获取植被均一化指数 (normalized difference vegetation index, NDVI), 打破了目估法、采样法、仪器法和模型法等传统方法的局限^[2–4]。阿多等认为, 年均温对农业生态区和森林生态区植被覆盖度的影响更大, 草原生态区的植被覆盖度对年降水量的依赖性更强^[5]。李晓兵等认为, 地处西北内陆的温带荒漠植被覆盖度受降水和温度的影响较为明显, 而东南部地区主要农业、森林植被类型植物覆盖度变化与气候条件变化的相关性较小^[6]。

草地是陆地生态系统的主要植被类型之一, 由于全球气候变化和人类活动干扰的增加, 草地成为对环境变化响应更为敏感的生态系统类型^[7–8]。穆少杰等研究了内蒙古近些年草地覆盖度与净初级生产力时空变化^[9–10]。隋悦等分析了多尺度下新疆地区植被覆盖变化^[11]。刘少华等研究了全国草地覆盖度及其影响因子^[12]。但针对我国北方 6 省(区)不同草地类型覆盖度变化及其与气温、降水关系的研究较少。

北方草地是我国重要的生态屏障, 草地面积大, 处于气候敏感带, 20 世纪 50 年代以来全球各地地表平均温度一直升高, 其中北半球中纬度地区升温最快。预计至 2040 年, 北方地区升温增幅 $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。施雅风等研究发现, 西北地区年际降水量呈增加趋势^[13–14]。气候显著变化必将导致草地生态环境发生重大变化。本研究利用 2001—2015 年中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 植物均一化指数 (NDVI) 数据, 结合土地覆盖类型图和数字高程模型 (DEM) 图获取我国北方 6 省(区)草地覆盖度, 分析我国北方 6 省(区)草地覆盖度的时空变化规律, 并结合研究区气温和降水数据, 分析不同草地类型覆盖度与气候因子在年际尺度上的相关性, 有助于进一步监测该地区生态系统的稳定性, 以期对生态系统保护措施的制定及实施提供决策参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

本研究区在行政区域上包括陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、内蒙古等 6 个省(区) (图 1)。该区以温带大陆性干旱和半干旱气候为主, 年均气温 $0\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。高山降水相对丰富, 平

收稿日期: 2017–09–07

基金项目: 国家重点专项宁夏农牧交错区侵蚀草地治理模式与示范项目 (编号: 2016YFC050700); 国家自然科学基金 (编号: 31602004、41601586); 中国科学院“西部之光”人才培养引进计划 (编号: XAB2016B05); 中央高校基本科研业务费 (编号: 2452017184)。

作者简介: 赵伟 (1992—), 男, 山西吕梁人, 硕士研究生, 主要从事草地生态研究。E-mail: z18235412925@163.com。

通信作者: 程积民, 研究员, 博士生导师, 主要从事草地生态与恢复生态学研究, E-mail: gyzcjm@ms.iswc.ac.cn。刚成诚, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事生态系统遥感研究, E-mail: gangcheng024@gmail.com。

原盆地区域降水相对较少;该地区降水主要集中于夏季,7 月降水量达高峰,春季、秋季降水量相当,冬季降水量最少^[15]。根据 Global Land Cover 2000 (GLC2000) 数据集的中国区域子集,我国北方 6 省(区)草地被划分为 5 类,包括高山亚高山草甸、坡面草地、平原草地、荒漠草地、草甸。我国北方 6 省草地面积 238 万 km², 占我国国土面积的 25%, 占我国草地面积的 71%。

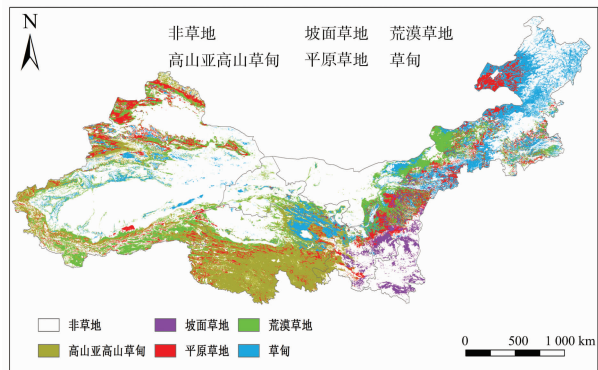


图1 研究区位置及草地分布

1.2 数据获取及预处理

1.2.1 NDVI 数据获取 MODIS 数据采用美国航天局 NASA 的 EOS/MODIS NDVI 数据中的 MOD13A2 级数据产品,时间序列为 2001—2015 年,MODIS 数据为每 16 d 最大合成的 NDVI 数据产品,空间分辨率为 1 km × 1 km。应用 MODIS Reprojection Tools (MRT) 软件对下载的数据进行数据格式转换、裁剪、拼接与重投影。将数据 HDF 格式转换为 TIFF 格式,采用 WGS_1984 地理坐标系统和 Albers Equal - Area Conic 投影系统进行重投影和校正,采用最大值合成法减少云团、大气、太阳高度角等的影响,获得月 NDVI 数据,用北方 6 省(区)行政边界图抠剪获得北方 6 省(区)逐月的 NDVI 数据。

经过几何纠正、大气校正、辐射校正等预处理的 MODIS 数据仍不能消除大气中霾、云等噪声以及数据合成过程的影响,导致 NDVI 数据呈现不规则的锯齿状变化,因此本研究采用三点平滑方法对 MODIS_NDVI 数据进行处理,减少数据拟合误差。

1.2.2 植被类型数据获取 GLC2000 数据由地理空间数据云下载,分辨率 1 km,通过 ArcGIS 10.3 软件对北方 6 省(区)的植被类型数据进行投影变换,实现与 MODIS 数据相同的投影方式。

1.2.3 气象数据获取 本研究采用的气象数据由中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn>) 下载,筛选剔除异常数据,获取 2001—2015 年北方 6 省(区)气象数据。利用 AUSPLINE 软件对气温和降水量数据插值,使气象数据与 MODIS_NDVI 数据分辨率一致、投影系统相同,通过掩膜、剪切获得北方 6 省(区)月平均温度和月降水量栅格数据。

1.3 研究方法

1.3.1 草地覆盖度的计算 植被覆盖度和 NDVI 之间存在极显著的线性相关关系,通常采用像元二分模型建立二者之间的转换关系来提取植被覆盖度。像元二分模型假定像元由 2 个部分组成,一部分为地表绿色植被覆盖的纯像元所得遥感信息,另一部分为无植被覆盖裸土纯像元提供的遥感信息,

其计算公式如下:

$$C_i = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s}$$

式中:NDVI_v 为植被覆盖部分的 NDVI 值;NDVI_s 为土壤部分的 NDVI 值;C_i 为植被覆盖度。NDVI_v 与 NDVI_s 的取值是像元二分模型的关键,理论上纯裸土地像元 NDVI_s 值应该接近 0,纯植被地像元 NDVI_v 值接近于 1,但由于大气云层、太阳光照、地表温度等条件的影响,NDVI_s 并不是一个定值,同样由于植被类型、空间分布以及生长季变化等都会造成 NDVI_v 值变化。本研究根据整幅影像上 NDVI 的灰度分布,以 0.5% 置信度截取 NDVI 的上下限阈值分别近似代表 NDVI_v 和 NDVI_s。在实际计算过程中,分别用生长季内植被 NDVI 最大值和最小值代替 NDVI_v 和 NDVI_s,植被覆盖度公式如下:

$$C_i = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

式中:NDVI_{max} 为整个生长季植被 NDVI 最大值;NDVI_{min} 为整个生长季植被 NDVI 最小值;C_i 为植被覆盖度。

1.3.2 草地覆盖度年际变化趋势的计算 一元线性回归分析可以在每个像元的基础上模拟其变化趋势,2001—2015 年各年份年最大植被覆盖度的变化趋势,计算公式为:

$$\theta_{slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times C_i - (\sum_{i=1}^n i) (\sum_{i=1}^n C_i)}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2}$$

式中:θ_{slope} 为趋势斜率;n 为监测时间段的年数(n=15);C_i 为第 i 年的年最大植被覆盖度。利用多年植被覆盖度序列和时间序列的相关关系进行草地覆盖度年际间变化的显著性分析,斜率为正值时表示植被覆盖度上升,斜率为负值时则表示植被覆盖度降低。采用 F 检验进行变化趋势的显著性检验,显著性仅代表趋势性变化可信程度,与变化速度无关。统计量计算公式为:

$$F = U \times \frac{n-2}{Q}$$

式中:U = $\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$ 为回归平方和;Q = $\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ 为剩余平方和,是第 i 年覆盖度值;ŷ_i 为其回归值;ȳ 为 15 年覆盖度平均值;n=15 年,为年数。将草地覆盖度变化趋势分为极显著增加(θ_{slope} > 0, P < 0.01)、显著增加(θ_{slope} > 0, P < 0.05)、不显著增加(θ_{slope} > 0, P > 0.05)、不显著减少(θ_{slope} < 0, P > 0.05)、显著减少(θ_{slope} < 0, P < 0.05)、极显著减少(θ_{slope} < 0, P < 0.01)等 6 个变化等级。

1.3.3 草地覆盖度与气候因子相关性的计算 采用基于像元的空间分析法,分析年植被覆盖度与各气候因子的相关性,植被覆盖度与温度或降水量的相关系数计算公式如下:

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

式中:R_{xy} 为 x、y 两变量的相关系数;x_i 为第 i 年的植被覆盖度;y_i 为第 i 年的温度或降水量;ȳ 为多年植被覆盖度的平均值;ȳ 为多年温度或降水量的平均值;i 为样本数。其中,年草地覆盖度为年内 12 个月覆盖度经过最大值合成(MVC)得到的年内最大草地覆盖度,温度为年平均温度,降水量为年总降水量。

2 结果与分析

2.1 北方 6 省草地面积及分布

我国北方 6 省(区)草地总面积约 238 万 km²。各类草地面积大小依次是高山亚高山草甸>荒漠草地>草甸>平原草

地>坡面草地(表 1)。高山亚高山草甸主要分布在新疆西南部及青海省大部分地区;坡面草地主要分布在甘肃省、宁夏的南部以及陕西省大部分地区;平原草地主要分布在新疆西北部及内蒙古中部;荒漠草地主要分布在内蒙古中西部及新疆南部;草甸主要分布在内蒙古东北部地区。

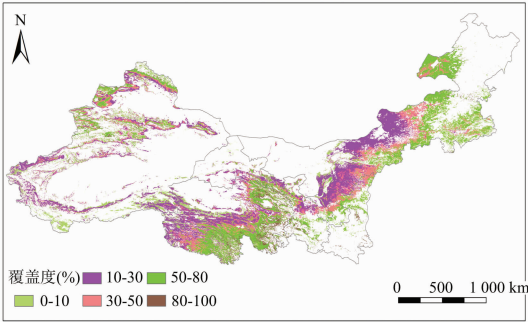
表 1 北方 6 省各类型草地面积分布

草地类型	面积(km ²)						总面积
	内蒙古	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆	
高山亚高山草甸	1 798.24	12.49	51 915.62	381 814.48	727.83	146 751.52	729 771.71
坡面草地	6 578.61	39 717.39	24 625.53	0	4 938.64	0	75 860.18
平原草地	124 773.88	14 052.69	15 838.44	52 452.91	11 971.24	121 227.39	461 543.94
荒漠草地	132 885.21	5 007.37	19 918.05	33 672.94	9 177.57	198 591.13	597 843.41
草甸	282 253.39	4 041.09	33 175.23	42 732.85	8 535.12	70 883.01	512 503.70
总面积	548 289.34	62 831.03	145 472.87	510 673.18	35 350.40	537 453.06	2 377 522.94

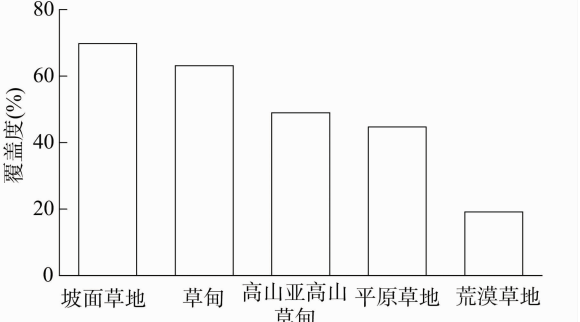
2.2 2001—2015 年北方 6 省草地覆盖度的空间分布

将北方 6 省(区)2001—2015 年草地覆盖度进行空间叠加求平均值,根据植被覆盖度的变化,将草地植被覆盖度(*Fc*)分为 5 个等级,即: $Fc \leq 0.1$ 为极低植被覆盖度, $0.1 < Fc \leq 0.3$ 为低植被覆盖度, $0.3 < Fc \leq 0.5$ 为中植被覆盖度, $0.5 < Fc \leq 0.8$ 为高植被覆盖度, $Fc > 0.8$ 为极高植被覆盖度,逐级分类生成北方 6 省草地覆盖度空间变化分布图。由图 2 可以看出,北方 6 省草地覆盖度总体上呈东南高西北低的特征。15 年间平均草地覆盖度为 46.14%,其中草甸覆盖度最高,荒漠草地覆盖度最低。高山亚高山草甸草地覆盖度 15 年

间平均值为 48.97%,位于青藏高原南部以及祁连山地区,昆仑山脉北部、天山南坡和阿尔泰山地区。坡面草地分布区 15 年间平均草地覆盖度为 69.77%,分布在黄土高原地区,主要集中于秦岭山区,降水量丰富,植被茂密。平原草地在呼伦贝尔地区、内蒙古中部、宁夏南部以及天山北部、阿尔泰山地区均有分布,其草地覆盖度 15 年间平均值为 44.70%。荒漠草地 15 年间平均覆盖度为 19.15%,主要分布于内蒙古中西部以及昆仑山地区。草甸植被覆盖度平均为 63.13%,主要分布在温带半湿润气候区的内蒙古东北部地区、祁连山地区及塔里木盆地周边地区。



a. 草地覆盖度空间分布



b. 2001—2015 年北方 6 省地区不同类型草地年平均覆盖度

图2 2001—2015 年北方 6 省地区不同类型草地覆盖度情况

2.3 2001—2015 年我国北方 6 省草地覆盖度的时间动态分析

为了直观地分析 2001—2015 年我国北方 6 省草地植被覆盖的变化情况,统计每个等级的面积及其占北方 6 省草地总面积的比例,由此可以看出我国北方 6 省(区)极低覆盖度草地所占面积小且比例有降低趋势,极高覆盖度草地所占面积也较小且比例趋于稳定,高覆盖度草地面积有增加趋势,我国北方 6 省草地覆盖度整体由低向高过渡(图 3-a)。

2001—2015 年间我国北方 6 省草地覆盖度总体呈上升趋势(图 3-b),平均为 0.39%/年。其中,坡面草地覆盖度增加趋势最明显,平均为 1.01%/年;平原草地和草甸覆盖度增加趋势次之,荒漠草地覆盖度仅为 0.35%/年;高山亚高山草甸覆盖度最小,平均为 0.28%/年。整个草地覆盖度增加趋势面积远远超过草地覆盖度减少的面积,其中极显著增加的面积超过草地总面积的一半,显著增加和不显著增加的面

积分别占总面积的 14.32%、13.92%。草地覆盖度极显著减少、显著减少和不显著减少的面积占比分别为 10.08%、3.92%、5.33%。各类草地类型的植被覆盖度呈增加趋势的面积均大于呈减少趋势的面积(图 3-c)。

15 年间草地覆盖度极显著增加区域的面积主要分布在天山南坡、昆仑山地区、青海省南部、内蒙古毛乌素沙地、呼伦贝尔地区、陕北部分地区;草地覆盖度呈显著增加区域主要分布在青藏高原中部、甘肃省中部;草地覆盖度不显著增加区域主要分布在内蒙古浑善达克沙地、宁夏东北部和青藏高原中部地区。草地覆盖度呈极显著减少的区域主要分布在天山、阿尔泰山地区以及青藏高原东南部地区;草地覆盖度呈显著减少的区域主要集中在内蒙古锡林郭勒地区及科尔沁沙地地区;草地覆盖度减少不显著地区主要分布在新疆西北部、内蒙古浑善达克沙地及陕内宁交界处的毛乌素沙地(图 3-d)。

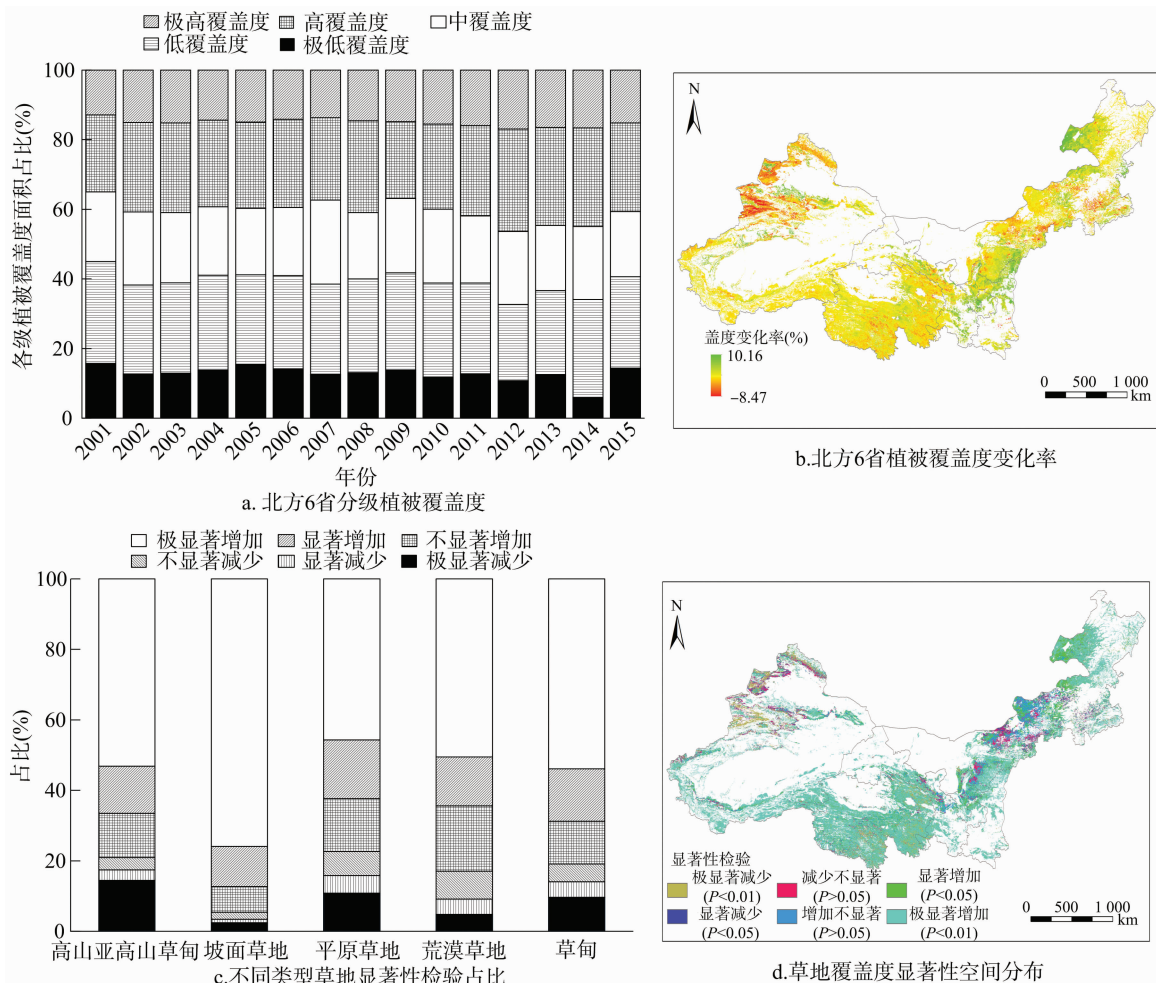


图3 2001—2015 年北方 6 省草地覆盖度的时间动态分析

2.4 草地覆盖度年际变化与温度、降水量变化的关系

总体来说,2001—2015 年间我国北方 6 省(区)温度变化较小,平均降低速率为 $-0.01\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{年}$,其中 56% 草地面积气温呈降低趋势,主要包括内蒙古东部至蒙陕宁交界、青海省西南和东南区域、塔里木盆地等。44% 草地面积气温呈增加趋势,主要包括新疆的阿尔泰山、天山南侧与昆仑山系等区域、青海省西北部柴达木盆地、甘肃省的河西走廊区域(图 4-a)。我国北方 6 省(区)降水量平均增加速率为 $3.38\text{ mm}/\text{年}$,80% 草地分布区降水量呈增加趋势,尤其是内蒙古东部、青海省大部分地区、昆仑山系东部、天山及阿尔泰山等草地分布区降水量增加明显(图 4-b)。

相关性研究表明,我国北方 6 省 40.61% 草地面积与温度呈正相关,并且分别有 0.65%、0.10% 的草地面积通过 0.05、0.01 水平的显著性检验(图 4-c)。这些区域主要分布在阿尔泰山、天山南坡及昆仑山北侧地区,这些高海拔地区有较好的持水蓄水能力以及受冰川融雪的影响,植物生长所需水分较为充沛,温度成为制约植被生长的主要影响因素。且这些区域 2001—2015 年间年平均温度也呈增加趋势。北方 6 省有 56% 草地面积覆盖度与温度呈负相关,原因是适当的温度会促进植物生长,但气温过高会导致地表蒸发大,植被生长所需水分加速流失,最终引起植被覆盖度降低,北方 6 省(区)属干旱半干旱气候,该现象普遍存在。近 15 年,我国北

方 6 省草地覆盖度与降水量整体呈正相关关系,正相关的面积占草地总面积的 86.86%,并且分别有 20.69%、7.02% 的草地面积通过 0.05、0.01 水平的显著性检验(图 4-d)。呈显著正相关的区域主要分布新疆西部地区、内蒙古中部及东北部等区域,这些分布区域常年温度高,干旱少雨,草地类型主要为荒漠草地,因此降水成为限制草地生长的主要因子。我国北方 6 省(区)大部分区域草地覆盖度与降水量呈正相关,表明降水量是北方 6 省(区)草地生长的主要影响因素。

3 结论与讨论

3.1 气候变化对草地覆盖度变化的影响

近 15 年我国北方 6 省整体草地覆盖度增加趋势明显且增加面积比例为 80.48%,已有研究表明,近些年我国北方 6 省(区)植被活动有较明显增加趋势^[1,16],这与本研究结果一致。我国北方 6 省草地分布区域温度略有降低,有 56% 草地分布面积气温呈降低趋势,平均降低速率为 $-0.01\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{年}$,有研究表明近些年青藏高原东部气温呈下降趋势^[17],科尔沁沙地周边温度也呈下降趋势^[18]。新疆的阿尔泰山、天山南侧与昆仑山系等区域、青海省西北部柴达木盆地、甘肃的河西走廊等区域温度呈升高趋势,这与郭锐等的研究结果^[19-20]一致。我国北方 6 省(区)80% 草地分布区降水量呈增加趋势,降水量平均增加速率为 $3.38\text{ mm}/\text{年}$,尤其是内蒙古东部、青海省

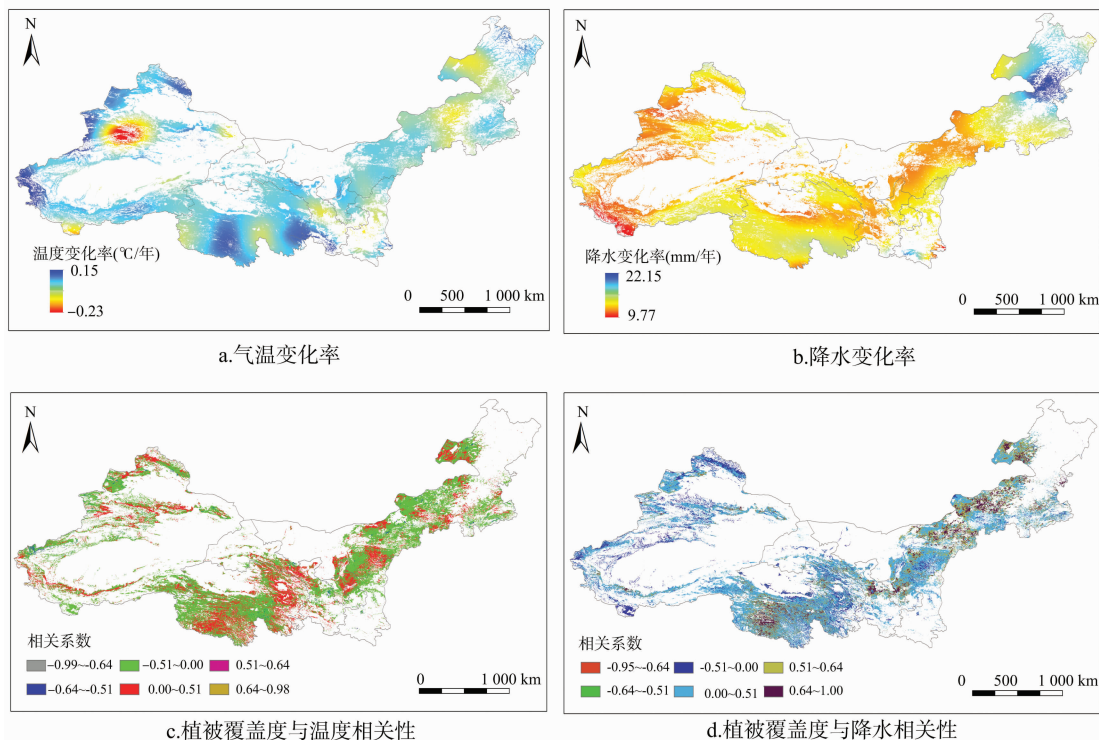


图4 草地覆盖度年际变化与温度、降水量变化的关系

大部分地区、昆仑山系东部、南疆盆地、新疆西部的天山及阿尔泰山等草地分布区降水量增加明显,这与黄小燕等研究结果^[21-22]一致。

温度和降水量是植被覆盖度变化的主要影响因子,植被覆盖度的动态变化与同期的水热条件改变有紧密联系,本研究表明,我国北方6省(区)草地覆盖度与降水量的相关性大于温度。其中与温度呈正相关的面积占草地总面积的40.61%,而与降水量呈正相关的面积占草地总面积的86.86%。北方6省(区)气候干旱、气温高、降水少,所以大部分地区降水量是制约牧草生长的主要因子^[23]。

3.2 人类活动对草地覆盖度变化的影响

温度与降水量是影响植被生长的重要因素,气候变化影响草地覆盖度变化,但是人类活动对草地的影响也不可忽略。研究表明,受人为活动干扰,北方6省(区)草地生态环境发生重大变化,20世纪50年代以来受人类活动影响,部分地区草地退化严重^[24],如由于大面积的垦荒开田,垦荒后弃耕导致科尔沁沙地草地退化^[25];青海省三江源区由于超载放牧导致草地大面积退化等^[26]。近些年来,随着国家生态工程的实施,北方6省(区)草地植被生长趋势增强,如伴随着“三北防护林”“京津风沙治理工程”“退耕还林工程”等生态工程的实施,内蒙古西部浑善达克沙地植被覆盖度明显增加,沙尘暴灾害减轻^[27];再如自1999年黄土高原地区植被逐渐恢复,陕北地区植被状况明显好转^[28]。由此表明,人为因素在植被覆盖度上的研究不可忽略,如陕北有25个县植被盖度与造林率显著相关,与气候变化呈不相关关系^[29]。内蒙古黄河河套区域植被生长强烈依赖黄河水灌溉,与降水量不相关^[30]。因此,在植被覆盖度研究中应将人类活动因素考虑在内。

3.3 主要结论

本研究表明,我国北方6省(区)草地覆盖度有明显的空

间异质性,总体上呈东南高、西北低的特征,此外昆仑山地区、天山山脉及阿尔泰山等高海拔地区草地覆盖度也比较高。15年间平均草地覆盖度为46.14%,其中草甸覆盖度最高,平均为63.13%,荒漠草地覆盖度最低,平均覆盖度19.15%。2001—2015年间,我国北方6省草地覆盖度总体呈上升趋势,平均为0.39%/年。其中坡面草地覆盖度增加趋势最明显,平均为1.01%/年;平原草地和草甸增加趋势次之,荒漠草地仅为0.35%/年,平均值分别为0.46%/年和0.45%/年,高山亚高山草甸最小,平均为0.28%/年。整个草地覆盖度增加趋势面积比例为80.48%,其中坡面草地覆盖度呈极显著增加趋势的面积最大(75.95%),草甸草地次之(53.93%),高山亚高山草甸为53.12%,荒漠草地为50.57%,平原草地为45.59%。2001—2015年间,我国北方6省(区)温度变化较小,温度平均降低速率为-0.01℃/年,其中草地分布区域有56%面积气温呈降低趋势,降水量平均增加速率为3.38 mm/年,80%草地分布区降水量呈增加趋势。我国北方6省草地覆盖度与温度和降水量在年尺度上相关系数均呈不显著相关,且覆盖度与降水量的相关性大于温度,与温度呈正相关的面积占草地总面积的40.61%,而与降水量呈正相关的面积占草地总面积的86.86%。

参考文献:

- [1] 周伟,刚成诚,李建龙,等. 1982—2010年中国草地覆盖度的时空动态及其对气候变化的响应[J]. 地理学报,2014,69(1):15-30.
- [2] 章文波,符素华,刘宝元. 目估法测量植被覆盖度的精度分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2001,37(3):402-408.
- [3] 胡健波,张璐,黄伟,等. 基于数码照片的草地植被覆盖度快速提取方法[J]. 草业科学,2011,28(9):1661-1665.

- [4] 温庆可, 张增祥, 刘 斌, 等. 草地覆盖度测算方法研究进展[J]. 草业科学, 2009, 26(12): 30–36.
- [5] 阿 多, 赵文吉, 宫兆宁, 等. 1981—2013 华北平原气候时空变化及其对植被覆盖度的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 576–592.
- [6] 李晓兵, 史培军. 中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温、降水变化的敏感性分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 379.
- [7] 井光花, 程积民, 苏纪帅, 等. 黄土区长期封育草地优势物种生态位宽度与生态位重叠对不同干扰的响应特征[J]. 草业学报, 2015, 24(9): 43–52.
- [8] 周 萍, 刘国彬, 薛 蕙. 草地生态系统土壤呼吸及其影响因素研究进展[J]. 草业学报, 2009, 18(2): 184–193.
- [9] 穆少杰, 李建龙, 陈奕兆, 等. 2001—2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. 地理学报, 2012, 67(9): 1255–1268.
- [10] 戴尔阜, 黄 宇, 吴 卓, 等. 内蒙古草地生态系统碳源/汇时空格局及其与气候因子的关系[J]. 地理学报, 2016, 71(1): 21–34.
- [11] 隋 悦, 鹿琳琳, 张 熙, 等. 2000—2013 年新疆植被覆盖变化多尺度遥感分析[J]. 气象与环境科学, 2016(3): 1–8.
- [12] 刘少华, 严登华, 史晓亮, 等. 中国植被 NDVI 与气候因子的年际变化及相关性研究[J]. 干旱区地理, 2014, 37(3): 480–489.
- [13] 施雅夫, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152–164.
- [14] 王艳姣, 闫 峰. 1960—2010 年中国降水区域分异及年代际变化特征[J]. 地理科学进展, 2014, 33(10): 1354–1363.
- [15] 于淑秋, 林学椿, 徐祥德. 我国西北地区近 50 年降水和温度的变化[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 9–18.
- [16] 刘宪锋, 任志远. 西北地区植被覆盖变化及其与气候因子的关系[J]. 中国农业科学, 2012, 45(10): 1954–1963.
- [17] 李生辰, 徐 亮, 郭英香, 等. 近 34 年青藏高原年气温变化[J]. (上接第 265 页)
- 的双季稻面积估算[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 177–183.
- [7] 龙 毅, 李晶晶, 龚长东, 等. 近 20 年湖北省水稻产量变动及其原因分析[J]. 安徽农业科学, 2012(7): 3953–3955, 3960.
- [8] 唐鹏钦, 杨 鹏, 陈仲新, 等. 利用交叉信息熵模拟东北地区水稻种植面积空间分布[J]. 农业工程学报, 2013, 29(17): 96–104.
- [9] 刘珍环, 李正国, 唐鹏钦, 等. 近 30 年中国水稻种植区域与产量时空变化分析[J]. 地理学报, 2013, 68(5): 680–693.
- [10] 朱文亚. “东北地区的地理位置与自然环境”教学设计[J]. 地理教育, 2015(增刊1): 70–71.
- [11] 申双和, 杨沈斌, 李秉柏, 等. 基于 ENVISAT ASAR 数据的水稻估产方案[J]. 中国科学(地球科学), 2009(6): 763–773.
- [12] 丁 颖. 中国水稻栽培学[M]. 北京: 农业出版社, 1961.
- [13] 杜朝正. 基于 GIS 的中国水稻产量时空格局变化研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2010.
- [14] 王秀珍, 王人潮, 黄敬峰. 微分光谱遥感及其在水稻农学参数测定上的应用研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 9–13.
- [15] Xiao X M, Boles S, Liu J Y, et al. Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 95(4): 480–492.
- [16] 张路科, 杨会霞, 葛京凤, 等. 中国主要城市地价重心迁移及驱动因素研究[J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30(6): 70–74.
- [17] 邓 文, 谭杰扬, 刘 英, 等. 湖南双季稻生产重心移动轨迹及发展对策[J]. 湖南农业科学, 2016(11): 87–90.
- [18] 杨万江, 陈文佳. 中国水稻生产空间布局变迁及影响因素分析[J]. 经济地理, 2011, 31(12): 2086–2093.
- [19] 郭柏林. 我国粮食分布重心轨迹特征及动力[J]. 上海农业学报, 1992(1): 68–74.
- [20] 马 骏, 李昌晓, 魏 虹, 等. 三峡库区生态脆弱性评价[J]. 生态学报, 2015, 35(21): 7117–7129.
- [21] 宋 怡, 马明国. 基于 SPOT VEGETATION 数据的中国西北植被覆盖变化分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 89–93, 173.
- [22] 叶宝莹, 祝 艳, 季 玮, 等. 基于遥感和 GIS 的三江平原农业景观空间格局与土地利用变化研究[J]. 国土资源遥感, 2007, 19(3): 78–81.
- [23] 潘文博. 东北地区水稻生产潜力及发展战略研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009.
- [24] 孙岩松. 我国东北水稻种植快速发展的原因分析和思考[J]. 中国稻米, 2008(5): 9–11.
- 中国沙漠, 2006, 26(1): 27–34.
- [18] 张永民, 王云霞, 席桂萍. 科尔沁沙地及其周围地区降水与气温变化的多时间尺度分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2006, 27(2): 30–33.
- [19] 郭 锐, 朱燕君, 王介民, 等. 近 22 年来西北不同类型植被 NDVI 变化与气候因子的关系[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 319–327.
- [20] 任朝霞, 杨达源. 近 50 年西北干旱区气候变化趋势研究[J]. 第四纪研究, 2006, 26(2): 299–300.
- [21] 黄小燕, 李耀辉, 冯建英, 等. 中国西北地区降水量及极端干旱气候变化特征[J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1359–1370.
- [22] 杨 绚, 李栋梁. 中国干旱气候分区及其降水量变化特征[J]. 干旱气象, 2008, 26(2): 17–24.
- [23] 张仁平, 冯琦胜, 郭 靖, 等. 2000—2012 年中国北方草地 NDVI 和气候因子时空变化[J]. 中国沙漠, 2015, 35(5): 1403–1412.
- [24] 樊江文, 钟华平, 陈立波, 等. 我国北方干旱和半干旱区草地退化的若干科学问题[J]. 中国草地学报, 2007, 29(5): 95–101.
- [25] 蒋德明, 刘志民, 寇振武, 等. 科尔沁沙地生态环境及其可持续管理——科尔沁沙地生态考察报告[J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 179–185.
- [26] 汪诗平. 青海省“三江源”地区植被退化原因及其保护策略[J]. 草业学报, 2003, 12(6): 1–9.
- [27] 魏兴琥, 雷 俐, 邹学勇, 等. 京津风沙源浑善达克沙地治理区退耕还林地的植被变化[J]. 中国沙漠, 2013, 33(2): 604–612.
- [28] 王 朗, 傅伯杰, 吕一河, 等. 生态恢复背景下陕北地区植被覆盖的时空变化[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 2109–2116.
- [29] 李旺君, 吕昌河. 生态建设对陕北植被变化的影响分析[J]. 干旱区地理, 2014, 37(2): 318–324.
- [30] 孙艳玲, 郭 鹏, 延晓冬, 等. 内蒙古植被覆盖变化及其与气候、人类活动的关系[J]. 自然资源学报, 2010, 25(3): 407–414.