

doi: 10.6046/gtzyyg.2020.01.32

引用格式: 徐嘉昕,房世波,张廷斌,等. 2000—2016年三江源区植被生长季NDVI变化及其对气候因子的响应[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(1): 237-246. (Xu J X, Fang S B, Zhang T B, et al. NDVI changes and its correlation with climate factors of the Three River-Headwater region in growing seasons during 2000—2016[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2020, 32(1): 237-246.)

2000—2016年三江源区植被生长季NDVI 变化及其对气候因子的响应

徐嘉昕^{1,2}, 房世波², 张廷斌^{1,3}, 朱永超², 吴东², 易桂花⁴

(1. 成都理工大学地球科学学院, 成都 610059; 2. 中国气象科学研究院生态环境与农业气象研究所, 北京 100081; 3. 成都理工大学工程技术学院, 乐山 614000; 4. 成都理工大学管理科学学院, 成都 610059)

摘要: 植被与气候因子的相关性分析不仅反映气候变化背景下植被的长势, 还可以预测未来植被的变化趋势。基于2000—2016年间研究区MODIS13A1 C6归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)数据, 结合研究区1:100万植被类型图和气象站观测数据, 采用相关分析研究方法, 分别就三江源区17 a间植被时空分布特征、植被NDVI变化及气象站点缓冲区内植被生长季NDVI均值与逐月气候因子的相关性进行了研究。结果表明: ①三江源区生长季植被NDVI值在2000—2016年间整体上呈增加趋势, 全区生长季NDVI增速为0.8%/10 a, 在空间上具有显著的区域差异, 整体表现为由西北向东南逐渐增加的趋势; ②气候因子在生长季初期和中期对植被生长影响较大, 而在后期相关性则不明显; ③研究区植被生长季初期, 当月气温对高寒草甸草原、高寒草原NDVI变化的影响大于降水量对其的影响, 但在植被生长季中期, 当月降水量对高寒草甸草原、高寒草原和高寒草甸3种不同类型植被的生长影响均较大。

关键词: NDVI; 气候因子; 相关分析; 三江源区

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2020)01-0237-10

0 引言

作为陆地生物圈的重要组成部分, 植被不仅是地面生态系统状况以及区域和全球环境变化的直接指标^[1], 还是调节区域气候以及全球气候的重要因子^[2-3]。目前, 在全球气候变暖的背景下, 植被与气候因子之间的相互关系已成为地理学和生态学日益关注的问题^[4-8]。利用遥感手段监测长时间序列植被活动的年际变化和季节变化的特征、分析植被与气候因子的相关性有助于研究气候变化对植被的影响, 从而能更好地理解陆地生态系统的动态变化规律^[5]。归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)与植被覆盖度、叶面积指数、生物量和生产力等性状具有很好的相关关系^[9], 在大尺度植被活动的研究中有着广泛的应用^[10]。

近年来, 国内外众多学者对植被NDVI变化及其与气候因子之间的关系进行了深入的研究, 目前多数研究采用生长季内植被NDVI与气候因子进行比较的方法^[11-15], 也有部分采用生长季间植被NDVI与气候因子进行比较的方法^[16-18], 生长季内高温多雨期与高植被指数对应的多年重复必然造成高的相关性, 但这种相关性不一定真实反映出植被与气候因子的关系^[14], 本文讨论的生长季间植被气候因子与植被指数年际变化相关性分析则不存在水热与高植被指数同期问题, 其与气候因子关系的研究结果更具有科学性和说服力。

三江源区是中国影响范围最大的生态调节区, 同时也是中国生态系统最脆弱的地区之一^[19]。定期评价三江源区植被NDVI变化情况, 探讨植被活动与气候因子之间的关系, 有利于掌握生态建设项目的效果, 为适应全球变化政策的制定提供科学依

收稿日期: 2019-03-01; 修订日期: 2019-05-23

基金项目: 国家自然科学基金项目“气候变化与人类活动对若尔盖湿地景观格局影响的时空定量辨识”(编号: 41801099)和国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目“基于高分雷达遥感和快中子水分传感技术, 发展近实时的高时空分辨率的区域土壤湿度监测方法”(编号: 61661136005)共同资助。

第一作者: 徐嘉昕(1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向为生态、环境遥感。Email: xjxkiwi@163.com。

通信作者: 易桂花(1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为生态遥感。Email: yigh@cdut.edu.cn。

据。本文选择三江源区作为研究区,利用 MODIS NDVI 数据,以像元为基本计算单元,分析 2000—2016 年间三江源区植被 NDVI 空间及时间变化特点;将气象站点缓冲区内植被生长季 NDVI 均值同气温、降水量及日照时数等气象数据进行相关性计算,分析了三江源区植被 NDVI 对气候的响应。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

三江源区地处青藏高原腹地,是长江、黄河、澜沧江三大河流的发源地,地理位置大致位于 $N31^{\circ}39' \sim 36^{\circ}12'$, $E89^{\circ}45' \sim 102^{\circ}23'$ 之间,总面积约 30.25 万 km^2 ,东部为海拔 4 000 m 左右的黄河源区;中部和西部为海拔 4 500 m 以上的长江源区;澜沧江源区位于中南部(图 1),总体地势为西北高、东南低。区内气候为典型的高原大陆性气候,气温由东南向西北随着纬度和海拔的升高而逐渐下降,降水量分布总体上也呈现出由东南向西北逐渐递减的趋势。

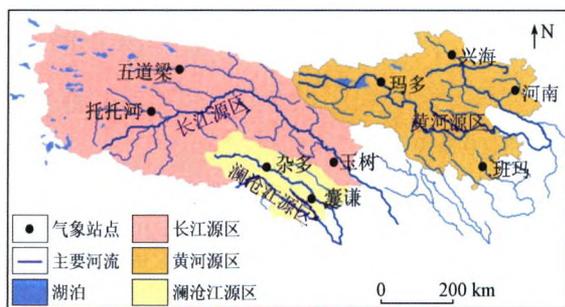


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Sketch of the study area

1.2 数据源及其预处理

三江源区绝大多数地区每年 5 月上旬气温已持续达到 $0^{\circ}C$ 以上,植被开始返青,到 9 月中、下旬气温开始降低,植被停止生长,故区内植被生长季为每年的 5—9 月^[20]。本研究选用 2000—2016 年间每年第 129 ~ 273 d 的 MOD13A1 合成数据为数据源,其时间分辨率为 16 d,空间分辨率为 500 m,为美国国家航空航天局的 MODIS 数据产品(www.earthdata.nasa.gov)。该数据已经过水、云、重气溶胶等的去除处理,首先对其进行镶嵌、格式和投影转换;其次,采用国际上惯用的最大合成法(maximum value composite, MVC)合成月 NDVI 数据,以消除异常值的影响;然后,由于 NDVI 数据在获取时还会受到亚像元残云、残霾及传感器噪声的干扰,简单的 MVC 处理无法展示植被真实的变化曲线,需使用 ENVI 软件对数据进行 Hants 滤波处理以消除原始数据中的随机误差;最后,生成研究区 NDVI 影像序列。

植被类型数据是由中国科学院资源环境科学数据中心(www.resdc.cn)提供的 1:100 万中国植被类型图,结合《中国植被及其地理格局》成果^[21],将区内植被类型大致划分为高寒草原、高寒草甸、高寒草甸草原和高山植被 4 种类型(图 2)。高寒草原主要分布于海拔 4 000 m 以上的高原和高山地带,其建群种为耐寒抗旱的多年生丛生禾草、根茎苔草和小半灌木,较广泛地分布在青藏高原的高原面上;高寒草甸是由适寒冷的中生多年生草本植物为优势组成的植物群落,广泛且连续地分布在青藏高原东部;高寒草甸草原是高山(高原)亚寒带、寒带、半湿润、半干旱地区的地带性草地,由耐寒的旱中生或中旱生草本植物为优势种组成的草地类型;高山植被一般指森林线或灌丛带以上到常年积雪带下限之间的、由耐寒旱与适冰雪的植物组成的各种群落类型。由于三江源区内的高山植被多分布在常年降水少、温度低、风速大、日照强的高海拔地区,且在整个源区内面积占比较少(13.1%),因此本研究中主要分析高寒草甸草原、高寒草甸和高寒草原 3 种主要植被与生长季气候因子的响应关系。其中,囊谦、杂多和玉树气象站点周围的主要植被类型为高寒草甸草原;班玛、河南和玛多气象站点周围的植被类型为高寒草甸;托托河、五道梁和兴海气象站点周围的植被类型为高寒草原。

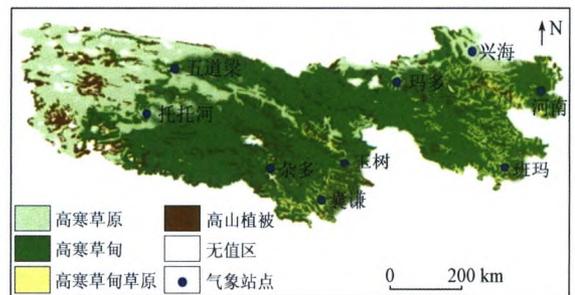


图 2 三江源区植被类型分布

Fig. 2 Distribution of different vegetation types in the Three River - Headwater region

气象数据来自中国气象科学数据共享服务网(http://data.cma.gov.cn/)。由于位于研究区内的 9 个气象站点的气象数据无法完全表现整个三江源区内的气温、降水及日照时数时空分布,因此选取了三江源区内及周边共 23 个气象站点(包含以上 9 个气象站点)2000—2016 年间的月平均气温、月累积降水量和月累积日照时数数据,并通过简单运算得到研究时间段内各气象数据。

1.3 研究方法

1.3.1 确定气象站点的 NDVI

为避免近气象站点区域建筑物和人类活动等因素的干扰,结合谷歌地图遥感影像,以气象站点为中

心,5~25 km为半径,取环形缓冲区内NDVI均值作为气象站点对应的NDVI。由于班玛、玛多和五道梁等气象站点附近存在明显的高山植被分布,囊谦、杂多和玉树气象站点附近也有少量高寒草甸分布,为避免结果受其影响,需进行掩模处理,由此得出以上6个气象站点对应的缓冲区面积分别为437 km², 498 km², 455 km², 501 km², 525 km²和538 km²,其余3个气象站点的缓冲区面积均为600 km²。

1.3.2 相关分析法

Pearson相关分析法是研究要素之间相关程度的方法,通过计算气温、降水量及日照时数等气候因子与NDVI之间的相关系数 R ,可以有效地指出两者之间的响应程度。 R 的范围为 $[-1, 1]$,若 $R > 0$,则两者呈正相关关系;若 $R < 0$,则两者呈负相关关系;若 $R = 0$,则两者不存在线性相关关系。变量 x 和 y 的Pearson相关系数 R_{xy} 计算公式为

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

式中: n 为样本数; x_i 和 y_i 为 x 和 y 这2个变量第 i 年的值; \bar{x} 和 \bar{y} 分别为 x 和 y 的均值。将2000—2016年间5月NDVI序列作为一组变量,同期气候因子作为另一组变量(2组样本数均为17),计算两者的相关系数。依此类推,计算生长季内其他月份NDVI与当月及前推月份气候因子的相关系数。

在多要素所构成的地理系统中,将暂不考虑其他要素的影响而单独研究某2个要素之间相关程度的方法称为偏相关分析,偏相关系数计算公式为

$$R_{xy \cdot z} = \frac{R_{xy} - R_{xz} R_{yz}}{\sqrt{(1 - R_{xz}^2)(1 - R_{yz}^2)}}, \quad (2)$$

式中: $R_{xy \cdot z}$ 为将变量 z 固定后变量 x 和变量 y 之间的偏相关系数,即 x 和 y 相关中剔除了 z 的影响; R_{xy} , R_{xz} 和 R_{yz} 分别表示变量 x 和 y 、变量 x 和 z 、变量 y 和 z 的Pearson相关系数。本文通过NDVI与同期气候因子的偏相关分析,得到两者之间的偏相关系数。

采用 t 检验对Pearson相关系数、偏相关系数进行显著性检验,计算公式为

$$t = \frac{R_{xy \cdot z}}{1 - R_{xy \cdot z}} \sqrt{n - m - 1}, \quad (3)$$

式中: n 为样本数; m 为自变量个数。

2 结果与分析

2.1 三江源区植被生长季NDVI空间分布特征

2000—2016年间三江源区植被生长季NDVI多

年均值的空间分布整体上呈由东南向西北递减的趋势(图3)。NDVI低值区主要分布于长江源区的西部、澜沧江源区的西北部以及黄河源区的北部;高值区主要分布在黄河源区的东部以及澜沧江源区的东南部等地区。这是由于三江源区地势由东南向西北逐渐升高,气温和降水量由东南向西北随纬度和海拔的升高而逐渐下降,导致区内植被生长季NDVI在空间分布上表现出较强的差异特征。

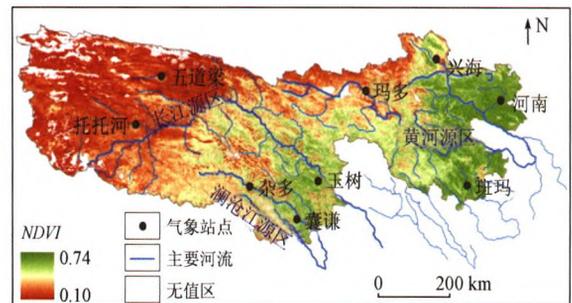


图3 2000—2016年间三江源区植被生长季NDVI空间分布
Fig. 3 Spatial distribution of NDVI in the Three River-Headwater region from 2000 to 2016

2.2 三江源区植被生长季NDVI时间变化特征

基于像元对三江源区17 a来5—9月NDVI值取平均得到每年生长季植被NDVI均值,如图4所示,其中, R^2 为决定系数; p 为针对检验原假设(即变量系数为0)成立的概率。结果表明,2000—2016年间三江源区生长季植被NDVI总体上呈波动上升趋势,增速为0.8%/10 a,未通过显著性检验。三江源区生长季植被NDVI在17 a间出现3个明显的减少阶段(2000—2003年、2005—2007年和2014—2016年)、2个增加阶段(2003—2005年和2007—2010年)和1个波动变化阶段(2010—2014年)。由图4可以看出,17 a间三江源区植被覆盖情况整体变好,NDVI值在2010年达到峰值,与刘宪锋等^[13]和范微维^[22]的研究结果相同。

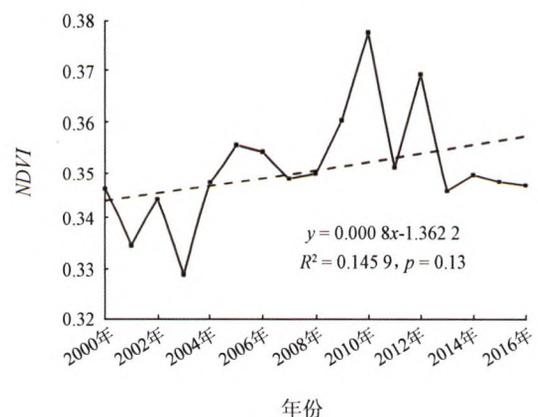
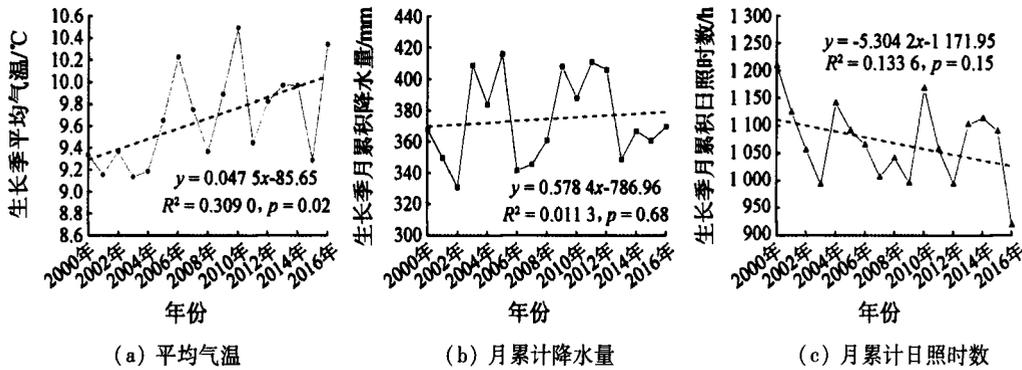


图4 2000—2016年间三江源区植被生长季NDVI年际变化
Fig. 4 Annual change of NDVI in the Three-River-Headwater region from 2000 to 2016

2.3 三江源区气候因子时间变化特征

基于三江源内及周边 23 个气象站点的气象数

据取平均得到生长季内平均气温、月累积降水量及月累积日照时数年际变化(图 5)。



(a) 平均气温 (b) 月累积降水量 (c) 月累积日照时数

图 5 2000—2016 年间三江源区生长季各气候因子年际变化

Fig. 5 Annual change of meteorological factors in the Three - River Headwater region from 2000 to 2016

由图 5 可知,生长季内平均气温与月累积降水量呈现出波动上升的趋势,每 10 a 平均线性增长率分别为 47.5% 和 578.4%,其中平均气温的趋势拟合通过了 0.05 显著性检验。平均气温在 2000—2001 年间、2002—2003 年间、2006—2008 年间、2010—2011 年间和 2014—2015 年间这 5 个时间段内呈现下降趋势,与三江源区生长季内 NDVI 年际变化趋势较吻合;生长季月累积降水量在 2000—2002 年间、2003—2004 年间、2005—2006 年间、2009—2010 年间、2011—2013 年间和 2014—2015 年间这 6 个时间段内呈现下降趋势,最大值出现在 2005 年,为 419.33 mm,最小值出现在 2002 年,为 331.80 mm,上升趋势不显著。生长季月累积日照时数整体呈现下降的趋势,线性增长率为 -5.304 h/a,未通过显著性检验。月累积日照时数最大值出现在 2000 年为 1 208.54 h,最

小值出现在 2016 年为 919 h。总体上生长季平均气温以及生长季月累积降水量在研究时间段内均表现为波动上升的趋势,月累积日照时数呈现下降的趋势,平均气温和月累积日照时数变化趋势较为明显,月累积降水量上升趋势不明显。

由于温度和降水量的增加,研究区内的环境向暖湿化方向发展,但研究区内的极端天气(极高温等)、灾害天气(冰雹、雪灾等)发生的次数也在增加^[23-24],造成 NDVI 曲线整体波动较大(图 4),尤其在 2016 年日照时数降至 17 a 间的最低值,这也是该年 NDVI 值较 2000 年 NDVI 降低的主要原因。

2.4 NDVI 与气候因子的相关性分析

2.4.1 生长季 NDVI 与气温的相关性分析

采用 2000—2016 年间研究区气象站点缓冲区内生长季植被 NDVI 与当月及前推月份平均气温开展相关分析,得到对应的相关系数见表 1。

表 1 生长季 NDVI 与当月及前推月份平均气温的相关系数^①
Tab. 1 Correlation coefficients between NDVI and current month and push - forward month mean air temperature in growing season

主要草地类型	气象站点	时段	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
	囊谦	n	0.636 * *	-0.182	-0.241	-0.259	0.316
		n - 1	-0.212	0.341	-0.202	-0.197	0.286
		n - 2	-0.239	0.100	-0.084	0.263	-0.224
高寒草甸草原	杂多	n	0.425	0.632 * *	0.565 *	0.084	0.138
		n - 1	0.055	0.105	0.468	0.118	0.195
		n - 2	0.281	-0.009	0.297	-0.257	0.095
	玉树	n	-0.397	0.092	0.208	0.355	0.394
		n - 1	-0.042	0.078	-0.224	0.051	-0.010
		n - 2	0.275	0.044	0.098	0.135	-0.214
	班玛	n	0.715 * * *	0.566 *	-0.259	-0.219	-0.212
		n - 1	-0.259	0.221	0.212	0.520 *	0.208
		n - 2	-0.045	-0.193	-0.251	-0.248	0.094
高寒草甸	河南	n	0.454	0.595 *	0.202	0.533 *	-0.063
		n - 1	-0.195	-0.224	0.202	-0.205	0.369
		n - 2	0.228	-0.241	0.311	0.332	-0.228
	玛多	n	0.435	0.389	0.215	-0.073	0.264
		n - 1	-0.099	0.233	0.324	0.133	-0.030
		n - 2	0.209	-0.066	0.484 *	-0.166	0.214

(续表)

主要草地类型	气象站点	时段	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
高寒草原	托托河	<i>n</i>	0.583 *	0.460	0.293	0.032	0.319
		<i>n</i> -1	0.270	0.327	0.308	0.187	0.179
		<i>n</i> -2	0.237	0.510 *	0.158	0.210	0.290
	五道梁	<i>n</i>	0.566 *	-0.114	-0.130	-0.219	-0.226
		<i>n</i> -1	-0.164	-0.232	0.230	0.295	-0.255
		<i>n</i> -2	-0.100	-0.223	-0.173	-0.214	-0.230
	兴海	<i>n</i>	0.084	0.241	-0.243	0.114	0.243
		<i>n</i> -1	0.105	0.179	0.134	-0.055	0.063
		<i>n</i> -2	0.219	0.390	0.251	-0.226	0.005

①: *n*, *n*-1 和 *n*-2 分别表示当月、前推 1 个月和前推 2 个月; *, ** 和 *** 分别表示 $p < 0.05$, $p < 0.01$ 和 $p < 0.005$ 。

由表 1 可知,在 5—6 月,除玉树和兴海之外的 7 个气象站点缓冲区内植被 NDVI 与当月气温的相关性最好,其中,囊谦、班玛气象站点植被 NDVI 与气温呈较显著相关($P < 0.01$); 7—8 月,杂多、河南气象站点植被 NDVI 与当月气温相关性最好,班玛气象站点植被 NDVI 与前推 1 个月(7 月)气温的相关性最好;在 9 月,各个气象站点植被 NDVI 与当月及前推月份的气温均无明显的相关性。以上的分析结果表明,在以高寒草甸草原、高寒草甸和高寒草原为主要植被类型的三江源区生长季初期(5—6 月),当月气温对植被生长的影响最为显著;生长季中期

(7—8 月),当月气温会促进高寒草甸草原和高寒草甸的生长,此外高寒草甸受前推月份气温的影响也较大;而到了生长季后期(9 月),NDVI 与当月气温的相关性均不明显。在环境条件中气温是影响植被生长最主要的因素^[25],三江源区位于高海拔地区,在 9 月区内气温整体下降,难以给植被提供适宜的温度环境。

2.4.2 生长季 NDVI 与降水量的相关性分析

将 2000—2016 年间研究区气象站点缓冲区内生长季植被 NDVI 与当月及前推月份降水量进行相关分析,对应的相关系数如表 2 所示。

表 2 生长季 NDVI 与当月及前推月份降水量的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients between NDVI and current month and push - forward month precipitation in growing season

主要草地类型	气象站点	时段	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
高寒草甸草原	囊谦	<i>n</i>	0.170	0.330	0.620 * *	0.496 *	0.214
		<i>n</i> -1	-0.247	0.118	-0.190	-0.243	-0.138
		<i>n</i> -2	-0.253	-0.253	-0.217	0.226	0.277
	杂多	<i>n</i>	0.197	0.071	0.377	0.583 *	0.045
		<i>n</i> -1	0.589 *	-0.176	-0.197	0.420	0.504 *
		<i>n</i> -2	0.006	0.417	0.021	0.095	-0.063
	玉树	<i>n</i>	0.494 *	0.517 *	0.515 *	-0.394	-0.102
		<i>n</i> -1	0.368	-0.395	0.543 * *	0.419	0.591 * *
		<i>n</i> -2	0.317	-0.055	-0.209	-0.013	0.063
高寒草甸	班玛	<i>n</i>	0.210	-0.018	-0.224	-0.169	0.381
		<i>n</i> -1	0.318	-0.249	-0.222	0.371	0.315
		<i>n</i> -2	-0.154	-0.185	-0.212	-0.185	-0.233
	河南	<i>n</i>	0.418	-0.230	0.528 *	0.239	0.259
		<i>n</i> -1	-0.210	0.332	-0.259	0.785 * * *	0.578 *
		<i>n</i> -2	0.259	-0.217	0.336	-0.095	0.481 *
	玛多	<i>n</i>	0.213	0.450	0.637	0.645 * * *	0.448
		<i>n</i> -1	0.179	0.146	0.209	0.409	0.429
		<i>n</i> -2	0.067	0.020	0.290	0.016	0.442
高寒草原	托托河	<i>n</i>	0.202	0.327	0.610 * *	0.502 *	0.239
		<i>n</i> -1	0.369	0.241	0.452	0.335	0.290
		<i>n</i> -2	-0.032	0.363	0.281	0.356	0.460
	五道梁	<i>n</i>	-0.251	-0.230	0.187	0.255	0.105
		<i>n</i> -1	-0.192	-0.141	-0.217	0.071	0.164
		<i>n</i> -2	-0.226	-0.237	-0.192	0.192	-0.182
	兴海	<i>n</i>	0.272	0.045	0.379	0.382	0.666 * * *
		<i>n</i> -1	0.689 * * *	0.421	0.355	0.307	0.657 * * *
		<i>n</i> -2	0.045	0.538 *	0.311	0.308	0.272

由表 2 可知,5—6 月,玉树气象站点植被 NDVI 与当月降水量的相关性最好,杂多、兴海气象站点植

被 NDVI 则与前推 1 个月降水量(4 月)有明显相关性;7—8 月,以高寒草甸草原、高寒草原为主要气象站点的植被 NDVI 与当月降水量显著相关,玉树、河南气象站点与前推 1 个月降水量相关性最好;9 月的降水量对兴海气象站点植被 NDVI 有明显促进作用,杂多、玉树、河南、兴海气象站点植被 NDVI 与前推 1 个月(8 月)降水量相关性最好。基于三江源区 17 a 间气象站点生长季植被 NDVI 与同期及前期降水量相关性的分析可知,在植被生长季初期(5—6 月),当月降水量对高寒草甸草原生长有明显的促进作用,而前推月份的降水量对高寒草原生长促进

作用显著;在植被生长的中期阶段(7—8 月),当月降水量及前推月份(6—7 月)对于 3 种不同类型植被 NDVI 都有良好的贡献作用;到了植被生长季后期(9 月),前推月份(8 月)降水量对其生长都有明显促进作用。这是由于降水渗透至土壤再经由植物根系吸收,反应在 NDVI 变化上的过程较缓慢^[5],降水对于植被的生长存在一定的滞后效应^[26]。

2.4.3 生长季 NDVI 与日照时数的相关性分析

2000—2016 年间研究区气象站点缓冲区内生长季植被 NDVI 与当月和前推月份日照时数的相关系数如表 3 所示。

表 3 生长季 NDVI 与当月及前推月份日照时数的相关系数

Tab.3 Correlation coefficients between NDVI and current month and push - forward month sunshine in growing season

主要草地类型	气象站点	时段	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	
高寒草甸草原	囊谦	<i>n</i>	0.071	0.293	0.134	0.187	-0.032	
		<i>n</i> -1	-0.184	0.310	0.524 *	-0.197	-0.404	
		<i>n</i> -2	-0.055	-0.089	-0.105	-0.152	0.241	
	杂多	<i>n</i>	-0.134	-0.205	-0.084	-0.292	-0.032	
		<i>n</i> -1	-0.265	-0.311	-0.277	-0.084	-0.480 *	
		<i>n</i> -2	-0.247	-0.351	-0.032	-0.205	-0.305	
		玉树	<i>n</i>	0.056	0.172	0.037	-0.189	-0.133
			<i>n</i> -1	0.053	0.171	0.370	-0.171	-0.676 * * *
			<i>n</i> -2	-0.208	-0.050	-0.260	-0.130	0.139
高寒草甸	班玛	<i>n</i>	-0.250	0.335	-0.258	-0.255	0.081	
		<i>n</i> -1	-0.257	-0.258	-0.079	0.385	0.276	
		<i>n</i> -2	-0.245	-0.202	0.184	-0.132	-0.224	
	河南	<i>n</i>	-0.386	-0.089	-0.540 *	-0.308	0.352 *	
		<i>n</i> -1	0.114	-0.283	-0.084	-0.221	-0.412	
		<i>n</i> -2	0.249	0.355	-0.221	-0.045	-0.045	
		玛多	<i>n</i>	-0.152	-0.483 *	-0.555 *	-0.397	-0.026
			<i>n</i> -1	0.354	-0.019	-0.605 * *	-0.501	-0.188
			<i>n</i> -2	0.080	0.171	-0.193	-0.551 *	-0.540 *
高寒草原	托托河	<i>n</i>	-0.319	-0.382	-0.745 * * *	-0.369	-0.290	
		<i>n</i> -1	-0.241	-0.581 *	-0.596 * *	-0.279	-0.202	
		<i>n</i> -2	-0.239	-0.152	-0.539 *	-0.383	-0.514 *	
	五道梁	<i>n</i>	0.077	-0.221	-0.679 * * *	-0.155	-0.055	
		<i>n</i> -1	-0.371	0.045	-0.205	-0.045	-0.084	
		<i>n</i> -2	-0.318	-0.032	0.089	-0.352	-0.381	
		兴海	<i>n</i>	-0.089	-0.063	-0.581 * *	-0.089	-0.063
			<i>n</i> -1	0.071	-0.197	-0.063	-0.259	-0.205
			<i>n</i> -2	-0.045	0.077	-0.134	-0.164	-0.224

由表 3 可知,在 5—6 月,除玛多气象站点植被 NDVI 与当月日照时数存在一定的显著相关性($P < 0.05$),托托河气象站点植被 NDVI 与前推 1 个月的日照时数负相关性明显之外,其余各个气象站点缓冲区内植被 NDVI 与气候因子无显著的相关性;在 7 月,以高寒草原、高寒草甸为主要植被类型的气象站点植被 NDVI 与当月日照时数呈负相关,其中托托河与五道梁气象站点植被 NDVI 与当月日照时数的相关系数还通过极显著相关($P < 0.005$);而在 9 月,不同类型植被 NDVI 与前推月份日照时数负相关性显著。由植被生长季 NDVI 与日照时数的相关

分析可知,植被生长季初期(5 月),当月及前推月份的日照时数对于植被 NDVI 的生长都无明显的作用;6 月份,高寒草甸当月的日照时数对于所在气象站点植被生长有明显的促进作用,高寒草原前推 1 个月的日照时数则对植被的生长起到了阻碍的作用;而在植被生长季中期(7—8 月),当月的日照时数对于高寒草甸草原、高寒草甸和高寒草原植被的生长抑制作用明显;前推 1 个月(6 月)的日照时数则对高寒草甸草原的生长促进作用明显,但对高寒草甸、高寒草原的生长阻碍作用明显;植被生长季后期(9 月),前推 1 个月(8 月)的日照时数是高寒

草甸草原生长的主要制约因子,前推2个月(7月)日照时数对于高寒草甸、高寒草原的生长亦产生了不利影响。在三江源区整个生长季,日照时数对于植被的生长几乎都呈现出阻碍作用,由于三江源区位于青藏高原,海拔整体较高,日照充足,甚至在一些特定的情况下,地表辐射强度高于太阳常数^[27],较长日照会对植被的生长产生抑制作用。此外,日照越多,太阳净辐射值便越大,土壤和植被本身水分

的蒸散量随之越大,在三江源研究区水分条件有限的情况下,也是影响植被NDVI下降的重要因素。

2.4.4 植被生长季NDVI与气候因子的偏相关分析

17 a间研究区气象站点缓冲区内生长季植被NDVI与当月气候因子的偏相关分析结果如表4。其中, T, S, P 分别为月平均气温、月累积日照时数、月累积降水量; $R_{PNDVI \cdot T}$ 为 T 固定, P 与 $NDVI$ 的偏

表4 生长季NDVI与当月气候因子的偏相关系数

Tab.4 Correlation coefficients between NDVI and current month meteorological factors in growing season

主要草地类型	气象站点	月份	$R_{PNDVI \cdot T}$	$R_{SNDVI \cdot T}$	$R_{TNDVI \cdot P}$	$R_{SNDVI \cdot P}$	$R_{PNDVI \cdot S}$	$R_{TNDVI \cdot S}$	
高寒草甸草原	囊谦	5月	0.228	-0.193	0.630 **	0.113	0.104	0.622 **	
		6月	0.142	0.196	0.241	0.393	0.293	0.021	
		7月	0.222	0.142	0.256	0.283	0.302	0.220	
		8月	-0.166	0.340	-0.196	0.072	0.016	-0.316	
		9月	-0.195	-0.117	0.088	-0.136	-0.247	-0.163	
	杂多	5月	0.320	-0.017	0.485	0.319	0.348	0.408	
		6月	0.286	-0.275	0.668 **	0.253	0.166	0.648 **	
		7月	0.403	0.092	0.579 **	0.336	0.483	0.566 *	
		8月	0.584 *	-0.281	0.095	0.252	0.569 *	-0.013	
		9月	0.094	-0.028	0.161	0.123	0.124	0.135	
	玉树	5月	-0.383	-0.096	0.485	-0.034	0.395	0.499 *	
		6月	0.145	0.385	0.526 *	0.102	0.041	0.564 *	
		7月	0.245	-0.149	0.527 *	0.275	0.338	0.529 *	
		8月	0.322	-0.089	-0.366	0.174	0.348	-0.362	
		9月	0.383	-0.086	0.010	0.129	0.393	0.007	
	高寒草甸	班玛	5月	-0.212	0.005	0.715 **	-0.082	0.216	0.714 **
			6月	-0.128	0.233	0.536	0.339	-0.050	0.477 *
			7月	0.125	0.010	-0.014	0.176	0.215	0.014
8月			-0.195	0.044	0.140	-0.175	-0.253	0.133	
9月			0.426	-0.305	0.011	-0.041	0.375	0.214	
河南		5月	-0.429	0.502 **	0.191	-0.286	0.407	0.444	
		6月	0.441	-0.258	0.711 **	-0.077	0.101	0.655 **	
		7月	0.567 **	-0.527 **	0.312	-0.367	0.417	0.288	
		8月	-0.031	-0.412	0.491	-0.289	0.324	0.620 **	
		9月	-0.115	0.323	0.267	0.353	-0.020	0.193	
玛多	5月	0.208	-0.204	0.433	-0.080	0.171	0.452		
	6月	0.630 **	-0.656 **	0.598 **	-0.356	0.303	0.608 **		
	7月	0.638 **	-0.516 *	0.220	-0.102	0.387	0.318		
	8月	0.663 **	-0.399	-0.211	-0.070	0.557 **	0.084		
	9月	0.416	-0.157	0.195	-0.116	0.459	0.303		
高寒草原	托托河	5月	0.215	-0.266	0.586 **	-0.252	-0.012	0.563 *	
		6月	0.377	-0.511	0.493	-0.278	0.189	0.565 *	
		7月	0.593 *	-0.833 ***	0.239	-0.574 *	0.228	0.610 *	
		8月	0.580 *	-0.437	0.336	0.059	0.371	0.253	
		9月	0.365	-0.570 *	0.418	-0.191	0.089	0.581 *	
	五道梁	5月	0.338	0.270	0.676	0.280	0.395	0.692 **	
		6月	0.475	-0.398	0.319	-0.013	0.349	0.378	
		7月	0.649 **	-0.687 **	-0.059	-0.418	0.343	0.167	
		8月	0.542 *	-0.163	0.036	0.077	0.529 *	0.051	
		9月	0.196	-0.206	0.416	0.069	0.142	0.435	
兴海	5月	0.366	-0.231	0.266	0.067	0.267	0.229		
	6月	0.229	-0.141	0.325	0.104	0.095	0.270		
	7月	0.430	-0.551 *	0.324	-0.541 *	0.291	-0.105		
	8月	0.378	0.090	0.099	0.346	0.492	-0.113		
	9月	0.642 **	-0.035	-0.071	0.385	0.726 **	0.245		

相关系数; $R_{S\text{NDVI}\cdot T}$ 为 T 固定, S 与 $NDVI$ 的偏相关系数; $R_{T\text{NDVI}\cdot P}$ 为 P 固定, T 与 $NDVI$ 的偏相关系数; $R_{S\text{NDVI}\cdot P}$ 为 P 固定, S 与 $NDVI$ 的偏相关系数; $R_{P\text{NDVI}\cdot S}$ 为 S 固定, P 与 $NDVI$ 的偏相关系数; $R_{T\text{NDVI}\cdot S}$ 为 S 固定, T 与 $NDVI$ 的偏相关系数。由表 4 可知, 在月平均气温 - 月累积降水量组合与月 $NDVI$ 的偏相关分析中, 5 月份囊谦、托托河、班玛气象站点的 $R_{T\text{NDVI}\cdot P}$, 7 月份杂多、玉树气象站点的 $R_{T\text{NDVI}\cdot P}$ 和 8 月份杂多、托托河、五道梁气象站点的 $R_{T\text{NDVI}\cdot P}$ 通过显著性检验 ($P < 0.05$), 6 月份通过显著性检验的偏相关系数所对应的气象站点中, 按 $R_{T\text{NDVI}\cdot P}$ 从大到小依次为河南、杂多、玛多、玉树气象站点。在月平均气温 - 月累积日照时数组合与月 $NDVI$ 的偏相关分析中, 5 月份囊谦、玉树、托托河、五道梁、班玛气象站点的 $R_{T\text{NDVI}\cdot S}$, 7 月份杂多、玉树、托托河气象站点的 $R_{T\text{NDVI}\cdot S}$ 和 7 月份兴海、河南、玛多、托托河、五道梁气象站点的 $R_{S\text{NDVI}\cdot T}$ 通过显著性检验 ($P < 0.05$), 6 月份按 $R_{T\text{NDVI}\cdot S}$ 从大到小依次为河南、玛多、杂多、托托河、玉树、班玛气象站点。而在月累积降水量 - 月累积日照时数组合与月 $NDVI$ 的偏相关分析中, 7 月份通过显著性检验 ($P < 0.05$) 的有兴海、托托河气象站点的 $R_{S\text{NDVI}\cdot P}$, 8 月份杂多、玛多、五道梁气象站点的 $R_{P\text{NDVI}\cdot S}$ 也通过显著性检验 ($P < 0.05$)。表明在三江源区植被生长季初期 (5—6 月), 高寒草甸草原、高寒草甸和高寒草原受当月气温的积极影响较大, 当月降水量及当月日照时数对于 3 种不同类型植被的生长作用很小; 植被生长季中期 (7—8 月), 当月气温对于高寒草甸草原、高寒草原的生长有很大的促进作用, 当月降水量对于 3 种植被的生长发育也有较好的积极影响, 与降水量作用相反, 当月日照时数则阻碍了高寒草甸、高寒草原的生长; 植被生长季后期 (9 月), 当月日照时数会抑制高寒草甸的生长。

通过对三江源地区月平均气温 - 月累积降水量组合与月 $NDVI$ 的偏相关分析可得出, 在植被生长季初期, 当月气温对高寒草甸草原、高寒草原 $NDVI$ 变化的影响大于降水量对其的影响。植被生长季中期, 当月降水量对 3 种植被的影响大于当月气温对其的影响, 在这一时期, 区内气温普遍在 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上, 在此背景下, 植被生长受水分的影响较大。而在植被生长季后期, 当月气温和降水量对于植被的生长发育影响均减弱, 这是因为植被的生长过程呈现出“慢 - 快 - 慢”的变化规律^[17], 当草地生长到一定的阶段后, 相对生长率下降, 气温、降水量及日照时数等气候因子对其的影响也在减弱。

2.4.5 相关分析结果讨论

简单相关分析研究结果表明, 在研究区植被生长季初期和中期, 当月气温、降水量对其生长影响最为显著; 偏相关分析结果表明, 在植被生长季初期, 在不同气候因子中, 气温对植被生长的影响最为显著, 到了植被生长季中期, 降水量则成为促进植被生长的主要因素。文中 2 种不同分析方法的结果出现差异: 一是因为本研究在分析植被生长季 $NDVI$ 与气候因子的关系时, 三江源区气象站点的客观分布导致区内样本数量有限致使本研究所用样本数量较少; 二是由于简单相关系数会受到其他因素的影响^[28], 如果相关分析中只考虑 2 个因子之间的线性相关程度, 不考虑其他因子对这 2 个因子的影响, 在实际的研究中可能会造成一定的误差出现。用偏相关分析法是在控制某一要素的情况下, 在分析中消除了该要素所产生的影响。在研究区植被的生长发育过程中, 单一气候要素所产生的影响有可能是在另一气候要素的媒介作用下所产生的, 因此, 偏相关分析的结果较简单相关分析的结果更具有参考意义。这与赵玉萍等^[15]的研究结果相似, 即相较于简单相关分析, 偏相关分析结果考虑到了各个气候要素之间的相关性, 可以消除气候要素之间的相互影响, 从而能够计算出某个气候要素与 $NDVI$ 的相关程度, 并且偏相关分析结果更有说服力。

3 结论

1) 三江源区生长季植被 $NDVI$ 具有显著的区域差异, 整体表现为由西北向东南逐渐增加; 区内生长季植被 $NDVI$ 在 2000—2016 年间整体上呈增加趋势, $NDVI$ 增速为 $0.8\% / 10\text{ a}$ 。随着一些相关草地保护政策的出台和合理利用草地措施的实施, 会促使植被状况逐步好转。研究期间三江源区水热条件变好, 气候暖湿化趋势明显, 同样利于植被的生长。但区域内极端天气和灾害天气次数的增加, 使得 $NDVI$ 降低且整体波动较大。

2) 对三江源区植被生长季 $NDVI$ 与气候因子的简单相关分析结果表明, 气候因子在生长季初期和中期对植被生长影响较大, 而在后期相关性则不明显。这是由植被的内在生长规律所影响的, 植被在其生长过程中表现出“慢 - 快 - 慢”的规律。在高寒草甸草原和高寒草原生长季初期, 当月气温、降水量对植被生长影响最为显著, 而在其生长季中期, 前推月份气温、降水量会促进高寒草甸的生长, 但当月日照时数对于高寒草甸草原的阻碍作用明显; 高寒草原的生长季初期, 当月及前推月份的气温对其生

长有明显促进作用,生长季中期,当月及前推月份的降水量促进作用更加明显。

3)三江源区植被生长季NDVI与气候因子的偏相关分析结果表明,研究区植被生长季初期,当月气温对高寒草甸草原、高寒草原NDVI变化的影响大于降水量对其的影响,这是因为在高原区植被生长初期,气温对植被生长的作用更为明显。植被生长季中期,当月降水量对3种不同类型植被的影响反超当月气温的影响,在该时期,区内气温普遍在5℃以上,植被生长受水分的影响较大。整个生长季,当月日照时数与三江源地区植被NDVI的变化呈显著负相关关系,主要原因是三江源区位于青藏高原,海拔整体较高,全年日照充足,较长日照会加快土壤和植被本身水分的蒸散,对于植被生长会产生不利影响。

参考文献 (References):

- [1] Pettorelli N, Vik J, Mysterud A, et al. Using the satellite - derived NDVI to assess ecological response to environmental change [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2005, 20(9): 503 - 510.
- [2] 孙红雨,王常耀,牛铮,等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系——基于 NOAA 时间序列数据 [J]. *遥感学报*, 1998, 2(3): 204 - 210.
Sun H Y, Wang C Y, Niu Z, et al. Analysis of the vegetation cover change and the relationship between NDVI and environmental factors by using NOAA time series data [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1998, 2(3): 204 - 210.
- [3] Bounoua L, Collatz G J, Los S O, et al. Sensitivity of climate to changes in NDVI [J]. *Journal of Climate*, 2000, 13(13): 2277 - 2292.
- [4] 李本纲,陶澍. AVHRR NDVI 与气候因子的相关分析 [J]. *生态学报*, 2000, 20(5): 898 - 902.
Li B G, Tao S. Correlation between AVHRR NDVI and climate factors [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 898 - 902.
- [5] Xiao J, Moody A. Geographical distribution of global greening trends and their climatic correlates: 1982—1998 [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26(11): 2371 - 2390.
- [6] Ma M G, Wang J, Wang X M, et al. Advance in the inter - annual variability of vegetation and its relation to climate based on remote sensing [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(3): 421 - 431.
- [7] Fang S B, Xu D Y, Zhang X S. Desertification process and its driving meteorological factors in Mu Us Sandland [J]. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(5): 796 - 801.
- [8] 王强,张廷斌,易桂花,等. 横断山区 2004—2014 年植被 NPP 时空变化及其驱动因子 [J]. *生态学报*, 2017, 37(9): 3084 - 3095.
Wang Q, Zhang T B, Yi G H, et al. Tempo - spatial variations and driving factors analysis of net primary productivity in the Hengduan Mountain area from 2004 to 2014 [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(9): 3084 - 3095.
- [9] Carlson T N, Ripley D A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 62(3): 241 - 252.
- [10] Zhou L M, Tucker C J, Kaufmann R K, et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981—1999 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106(D17): 20069 - 20083.
- [11] Leahy M G, Jollineau M Y, Howarth P J, et al. The use of Landsat data for investigating the long - term trends in wetland change at Long Point, Ontario [J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2005, 31(3): 240 - 254.
- [12] Fu B H, Burgher I. Riparian vegetation NDVI dynamics and its relationship with climate, surface water and groundwater [J]. *Journal of Arid Environments*, 2015, 113: 59 - 68.
- [13] 刘宪锋,任志远,林志慧,等. 2000—2011 年三江源区植被覆盖时空变化特征 [J]. *地理学报*, 2013, 68(7): 897 - 908.
Liu X F, Ren Z Y, Lin Z H, et al. The spatial - temporal changes of vegetation coverage in the Three - River Headwater region in recent 12 years [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(7): 897 - 908.
- [14] Shen B, Fang S B, Li G. Vegetation coverage changes and their response to meteorological variables from year 2000 to 2009 in Naqu, Tibet, China [J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2014, 40(1): 67 - 74.
- [15] 赵玉萍,张宪洲,王景升,等. 1982 年至 2003 年藏北高原草地生态系统 NDVI 与气候因子的相关分析 [J]. *资源科学*, 2009, 31(11): 1988 - 1998.
Zhao Y P, Zhang X Z, Wang J S, et al. Correlation analysis between NDVI and climatic factors of grassland ecosystems in the northern Tibetan Plateau from 1982 to 2003 [J]. *Resources Science*, 2009, 31(11): 1988 - 1998.
- [16] 崔林丽,史军,肖风劲,等. 中国东部 NDVI 的变化趋势及其与气候因子的相关分析 [J]. *资源科学*, 2010, 32(1): 124 - 131.
Cui L L, Shi J, Xiao F J, et al. Variation trends in vegetation NDVI and its correlation with climatic factors in eastern China [J]. *Resources Science*, 2010, 32(1): 124 - 131.
- [17] 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 - 382.
Li X B, Shi P J. Sensitivity analysis of variation in NDVI, temperature and precipitation in typical vegetation types across China [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(3): 379 - 382.
- [18] 林辉,熊育久,万玲凤,等. 湖南省 MODIS 遥感植被指数的时空变化 [J]. *应用生态学报*, 2007, 18(3): 581 - 585.
Lin H, Xiong Y J, Wan L F, et al. Temporal and spatial variation of MODIS vegetation indices in Hunan Province [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(3): 581 - 585.
- [19] 邵全琴,刘纪远,黄麟,等. 2005—2009 年三江源自然保护区生态保护和建设工程生态成效综合评估 [J]. *地理研究*, 2013, 32(9): 1645 - 1656.
Shao Q Q, Liu J Y, Huang L, et al. Integrated assessment on the effectiveness of ecological conservation in Sanjiangyuan National Nature Reserve [J]. *Geographical Research*, 2013, 32(9): 1645 - 1656.
- [20] 陈琼,周强,张海峰,等. 三江源地区基于植被生长季的 NDVI 对气候因子响应的差异性研究 [J]. *生态环境学报*, 2010, 26(6): 1284 - 1289.
Chen Q, Zhou Q, Zhang H F, et al. Spatial disparity of NDVI re-

- sponse in vegetation growing season to climate change in the Three - River Headwaters region [J]. *Ecology and Environment*, 2010, 26 (6): 1284 - 1289.
- [21] 张新时. 中国植被及其地理格局 [M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- Zhang X S. *Vegetation of China and Its Geographic Pattern* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [22] 范微维. 2000—2014年三江源区植被 NDVI 时空变化特征与气候变化响应分析 [D]. 成都: 成都理工大学, 2017.
- Fan W W. *Analysis of NDVI Changes and Its Climate Driving Factors in the Three River - Headwater Region During 2000—2014* [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2017.
- [23] 任雨. 青藏高原的极端气候: 变化事实与概率模拟 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2009.
- Ren Y. *Climate Extremes over the Qinghai - Tibetan Plateau: Observed Changes and Probability Simulation* [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2009.
- [24] 刘峰贵, 张海峰, 周强, 等. 三江源地区冰雹灾害分布特征及其成因 [J]. *干旱区地理*, 2013, 36 (2): 238 - 244.
- Liu F G, Zhang H F, Zhou Q, et al. *Distribution features of hail disasters and its formation analysis of the Three - River Headwaters region* [J]. *Arid Land Geography*, 2013, 36 (2): 238 - 244.
- [25] 王建林, 关法春. 高级作物生理学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2013.
- Wang J L, Guan F C. *Advanced Crop Physiology* [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2013.
- [26] 何奕萱, 易桂花, 张廷斌, 等. 红河流域“通道—阻隔”作用下 2000—2014年植被 EVI 变化趋势与驱动力 [J]. *生态学报*, 2018, 38 (6): 2056 - 2064.
- He Y X, Yi G H, Zhang T B, et al. *The EVI trends and driving factors in Red River basin affected by the “corridor barrier” function during 2000—2014* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38 (6): 2056 - 2064.
- [27] 毛飞, 卢志光, 张佳华, 等. 近 20 年藏北地区 AVHRR NDVI 与气候因子的关系 [J]. *生态学报*, 2007, 27 (8): 3198 - 3205
- Mao F, Lu Z G, Zhang J H, et al. *Relations between AVHRR NDVI and climate factors in northern Tibet in recent 20 years* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (8): 3198 - 3205.
- [28] 严丽坤. 相关系数与偏相关系数在相关分析中的应用 [J]. *云南财经大学学报*, 2003, 19 (3): 78 - 80.
- Yan L K. *Application of correlation coefficient and biased correlation coefficient in related analysis* [J]. *Journal of Yunnan Finance and Trade Institute*, 2003, 19 (3): 78 - 80.
- [29] 李辉霞, 刘国华, 傅伯杰. 基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究 [J]. *生态学报*, 2011, 31 (19): 5495 - 5504.
- Li H X, Liu G H, Fu B J. *Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three - River Headwaters region* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 (19): 5495 - 5504.

NDVI changes and its correlation with climate factors of the Three River - Headwater region in growing seasons during 2000—2016

XU Jiabin^{1,2}, FANG Shibo², ZHANG Tingbin^{1,3}, ZHU Yongchao², WU Dong², YI Guihua⁴

(1. *College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China*; 2. *Institute of Ecoenvironment and Agrometeorology, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China*; 3. *College of the Engineering and Technical, Chengdu University of Technology, Leshan 614000, China*; 4. *College of Management Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China*)

Abstract: The correlation analysis between climatic factors and vegetation indexes can not only reflect the impact of climate change on vegetation but also predict the trend of vegetation in the future. Based on the data of MODIS13A1 C6 NDVI of the Three River headwater region and combined with 1: 1 000 000 map of vegetation types and meteorological data, the authors analyzed spatial - temporal characteristics of NDVI and the relationship between vegetation indexes and climatic factors by using correlation analysis from 2000 to 2016. The results are as follows: ① NDVI increased with a rate of 0. 8%/10a in Three River headwater region during 2000—2016, whereas vegetation cover increased from the northwest to southeast. ② Climate factors had a greater influence on vegetation growth in the early and middle growing season, but the correlation between NDVI and climate factors was not obvious in the later growing season. ③ The partial correlation between NDVI and climate factors in the vegetation growing season of the study area showed that the influence of the air temperature on NDVI of the alpine meadow grasslands and alpine grasslands was greater than that of precipitation in the early growing season. However, during the middle of the growing season, the precipitation had a greater impact on the growth of three different types of vegetation.

Keywords: NDVI; climatic factors; related analysis; Three River headwater region

(责任编辑: 陈 理)