

# 青藏高原草地植被指数时空变化特征

马琳雅, 黄晓东, 方金, 梁天刚

(兰州大学草地农业科技学院 农业部草地农业生态系统学重点实验室, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:**以位于青海和西藏两省内的青藏高原牧区为研究区域,利用新一代卫星遥感数据 TERRA/MODIS,统计分析不同草地类型 2002—2008 年的植被指数(MODIS-EVI)时空变化特征,并结合 2006 年 8 月地面实测数据,研究草地植被指数与草地覆盖度、草群高度的关系。结果表明,草地覆盖度和草群高度均与 EVI 呈高度正相关。各种草地类型的植被指数均呈先上升后下降的趋势,符合自然条件下植被的生长变化情况,植被特征相近的草地类型 EVI 差异较小,体现出不同草地类型地域上的连续性、过渡性和时空上的差异性。

**关键词:**青藏高原;MODIS;增强型植被指数;动态变化

**中图分类号:**S812

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-0629(2011)06-1106-11

\*<sup>1</sup> 自 1999 年起,美国开始了第二阶段对地观测系统(earth observation system, EOS)计划, TERRA-MODIS 数据将逐步取代 NOAA-AVHRR 数据。相对于 AVHRR 传感器来说, MODIS 数据在保留了 AVHRR 功能的同时,在数据波段数目和数据应用范围、数据分辨率、数据接收和数据格式等方面都作了相当大的改进<sup>[1-2]</sup>。增强型植被指数(enhanced vegetation index, EVI)是对 AVHRR-NDVI 的继承和改进,它依托 MODIS 提供的丰富信息,以及过去 10 年对植被指数的研究,在植被指数和合成算法方面都作了改进。增强型植被指数 MODIS-EVI 原理和特点:(1)MODIS-EVI 对基础数据进行全面的大气校正;(2)MODIS-EVI 采用“大气抵抗植被指数”对残留的气溶胶做了进一步校正;(3)MODIS-EVI 采用“抗土壤植被指数”对土壤背景影响做了校正;(4)MODIS-EVI 综合处理土壤、大气饱和问题。此外还发现, EVI 计算对原始数据质量有严格要求,如果有残留云雾或其他大气噪音,可能产生异常大的 EVI 值,为后续合成增加了困难。所以,严格的去云处理和大气校正是 EVI 计算和合成的前提。此外,对 EVI 性能改善检验,还需要用其他生物物理参数(如 NPP, LAI),尤其是对地面实测数据进行验证。MODIS-EVI 的合成算法的确提高了选择小视角最佳像元的机会。MODIS-EVI 使植被指数与不同覆盖程度植被的线性关系得到明显改善,尤其在高覆盖区表现良好<sup>[3]</sup>。

鉴于青藏高原独特的植被地域特征,本研究对青藏高原的不同草地类型植被指数的时空变化特征

进行全面分析。研究过程中选择各种草地类型的地面实测样点,以实测的草地覆盖度、草群高度等辅助数据分析植被指数的变化特征,为植被指数的时空变化特征分析提供参照信息,对草地类型监测、草地产量估测具有十分重要的意义。

## 1 研究区域概况

研究区草地植被的覆盖面积为 117.7 万 km<sup>2</sup>, 占其植被总面积的 63.9%。研究区草地类型以及地面实测样点数据具体分布如图 1 所示,草地类型图的比例尺为 1:400 万。青藏高原面积最大的生态系统是草地生态系统,而青藏高原草地类生态系统的稳定性,关系着我国气候的稳定<sup>[4-5]</sup>。虽然青藏高原平均海拔超过 4 000 m,高寒草地类占草地总面积的 94%,但因辐射特强,日照丰富,牧草品质优良,营养丰富,具有高蛋白、高脂肪、高无氮浸出物及产热值和低纤维素“四高一低”的特点,成为我国发展草地畜牧业的主要基地之一<sup>[6-7]</sup>。草地是发展畜牧业的重要物质基础,开展草地畜牧业可持续发展的研究具有十分重要的意义<sup>[6]</sup>。近年来,人为活动的干扰,草地生态系统受到严重破坏,土壤水分保持功能逐渐减弱,江河源头日渐干涸,青藏高原自然生态环境呈现恶化的趋势<sup>[8-9]</sup>。

\* 收稿日期:2010-06-04 接受日期:2010-10-23  
基金项目:中央高校基本科研费小额探索项目(lzujbky-2009-106);教育部科技创新工程重大项目培育资金项目(708089)  
作者简介:马琳雅(1988-),女,吉林白山人,在读硕士生,研究方向为草地遥感与地理信息系统。  
E-mail:710078700@qq.com  
通信作者:黄晓东 E-mail:huangxd@lzu.edu.cn

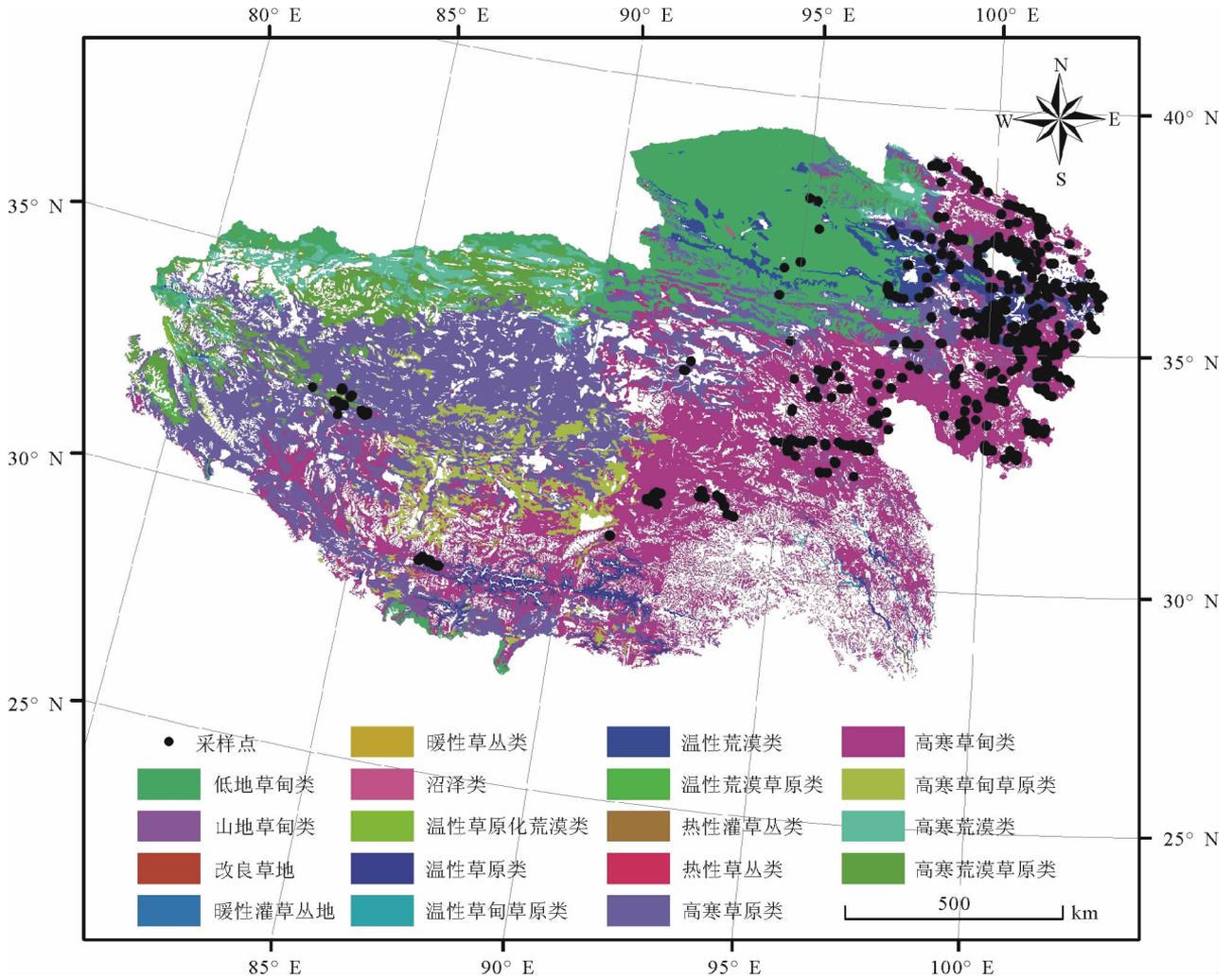


图1 研究区草地类型以及地面实测样点分布

## 2 数据获取与处理

**2.1 MODIS 数据处理及 EVI 提取** 目前广泛应用的植被指数 NDVI 的缺陷主要表现在:由于对原始数据大气噪音处理有限,被迫采用可以部分消除大气噪音但有明显缺陷的比值算式,结果 NDVI 在高植被覆盖区容易饱和。此外,NDVI 也没有考虑背景土壤噪音的影响,MMVC(monthly maximum value composite)合成方法也不能确保选取最小视角内的最佳像元等。这些缺陷可能使某些定量研究的质量受到一定影响。MODIS 增强型植被指数——EVI 对原始数据经过较好的大气校正,所以 EVI 的设计避免了基于比值的植被指数的饱和问题。同时,利用蓝光和红光对气溶胶的差异,采用“抗大气植被指数”可进一步减小气溶胶的影响,采用“土壤调节植被指数”可减少土壤背景的影响,耦

合以上两种植被指数,开发了同时减少大气和土壤背景影响的“增强型植被指数(EVI)”。EVI 在这些方面的改进,为遥感定量研究提供了较好的基础<sup>[10]</sup>。综上所述,本研究选择 MODIS-EVI 数据。采用月最大值合成方法 MMVC 生成,其中 EVI 优先选择晴天时传感器视角最小的像元进行合成<sup>[3]</sup>。

$$EVI = 2.5 \times (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + C_1 \rho_{Red} - C_2 \rho_{Blue} + L)$$

式中, $\rho_{NIR}$ 、 $\rho_{Red}$  和  $\rho_{Blue}$  分别为经过大气校正的地面反射率; $L=1$ ,为土壤调节参数; $C_1$  和  $C_2$  分别为 6.0 和 7.5,可通过  $\rho_{Blue}$  修正大气对  $\rho_{Red}$  的影响。对提取出来的 EVI 值作归一化处理,计算各月相同草地类型的 EVI 的平均值、标准偏差和波动系数<sup>[11]</sup>。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2};$$

$$C_v = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

式中,  $\sigma$  为标准偏差,  $C_v$  表示波动系数,  $n$  为样点数,  $x_i$  是每个样点的 EVI 值,  $\bar{x}$  表示相同草地类型所有采样点 7 年逐月的 EVI 平均值。

由于 5—10 月的数据变化幅度大, 能够表现出草地植被的生长变化趋势, 因此选择 5—10 月的数据进行分析。不同月份的标准差和波动系数的数值均在正常范围内浮动(表 1), 说明植被指数数据离

散程度不大, 距离植被指数平均值的变化幅度合理。

总体上看, 各种草地类型植被指数波动系数变化不大, 各种草地类型植被指数波动系数最大值平均为 11.606%, 最小值平均为 1.973%, 沼泽类的植被指数平均波动最大, 为 8.662%; 高寒草原类的植被指数平均波动最小, 为 3.672%(表 2)。说明沼泽类植被指数距离平均值变化幅度较大, 高寒草原类植被指数距离平均值变化幅度较小, 其他草地类型植被指数的变化幅度在两者之间。

表 1 各种草地类型 7 年月均 EVI 值统计特征

草地类型	项目	5月	6月	7月	8月	9月	10月
高寒草甸	平均值	0.200	0.327	0.423	0.438	0.347	0.205
	标准差	0.071	0.095	0.115	0.120	0.097	0.063
	波动系数(%)	7.629	7.801	4.278	2.838	5.505	7.804
高寒草原	平均值	0.137	0.209	0.264	0.275	0.227	0.148
	标准差	0.068	0.117	0.151	0.153	0.117	0.067
	波动系数(%)	6.682	5.013	3.308	2.523	4.194	4.349
温性草原	平均值	0.159	0.239	0.288	0.296	0.246	0.164
	标准差	0.045	0.078	0.094	0.095	0.073	0.043
	波动系数(%)	8.355	7.771	4.755	6.950	7.005	7.458
高寒草甸草原	平均值	0.133	0.198	0.258	0.281	0.230	0.151
	标准差	0.049	0.096	0.115	0.115	0.090	0.047
	波动系数(%)	4.629	7.250	3.913	4.188	4.901	3.392
山地草甸	平均值	0.231	0.344	0.421	0.410	0.321	0.188
	标准差	0.073	0.093	0.130	0.144	0.109	0.054
	波动系数(%)	9.951	6.690	4.924	5.650	5.702	11.527
高寒荒漠草原	平均值	0.081	0.098	0.126	0.139	0.123	0.095
	标准差	0.021	0.031	0.054	0.061	0.048	0.027
	波动系数(%)	2.684	8.965	6.890	3.456	4.627	3.394
温性荒漠	平均值	0.069	0.087	0.102	0.108	0.097	0.079
	标准差	0.019	0.029	0.036	0.040	0.033	0.023
	波动系数(%)	1.680	3.962	5.794	6.656	4.289	3.374
沼泽	平均值	0.167	0.300	0.386	0.416	0.321	0.187
	标准差	0.045	0.089	0.104	0.108	0.082	0.050
	波动系数(%)	6.144	13.339	3.957	2.793	3.952	7.238
低地草甸	平均值	0.091	0.128	0.163	0.176	0.156	0.111
	标准差	0.039	0.072	0.096	0.104	0.087	0.053
	波动系数(%)	5.562	4.492	3.872	3.136	5.798	2.473
山地草原	平均值	0.173	0.256	0.315	0.317	0.262	0.162
	标准差	0.066	0.094	0.111	0.094	0.071	0.035
	波动系数(%)	10.802	8.766	5.952	4.955	6.289	6.877
高寒灌丛草甸	平均值	0.267	0.397	0.506	0.496	0.371	0.211
	标准差	0.077	0.053	0.057	0.072	0.055	0.041
	波动系数(%)	13.267	6.162	2.959	3.171	7.112	8.280

表2 不同草地类型的植被指数波动特征

草地类型	波动系数最大值(%)	波动系数最小值(%)	波动最大月	波动最小月	平均波动(%)
高寒草甸	17.786	1.989	11	1	6.580
高寒草原	6.682	1.534	5	4	3.672
温性草原	8.355	1.635	5	3	4.888
高寒草甸草原	10.947	2.218	11	4	4.660
山地草甸	11.527	1.939	10	11	5.242
高寒荒漠草原	8.965	0.968	6	2	3.747
温性荒漠	7.489	1.680	2	5	4.842
沼泽	21.875	2.710	11	1	8.662
低地草甸	9.974	2.473	2	10	4.677
山地草原	10.802	3.094	5	4	5.509
高寒灌丛草甸	13.267	1.466	5	1	4.821

**2.2 地面实测数据** 地面观测数据来自青海和西藏的样点(图1),样方总数1690个。共11种草地类型,包括高寒草甸草原、高寒草甸、高寒草原、高寒荒漠草原、高寒灌丛草甸、山地草甸、山地草原、温性草原、沼泽、温性荒漠、低地草甸,各种草地类型的具体样点统计情况见表3,样方面积均为1m<sup>2</sup>。实测数据包括草地盖度和高度,用来辅助分析遥感数据(根据样点提取2002—2008年共84个月的MODIS数据),时间范围为2005和2006年7—9月,因为研究区7—9月达到最大盛草期<sup>[12]</sup>。

表3 不同草地类型样点统计

草地类型	样方数	调查时间
高寒草甸	855	2006-07-07—09-12
高寒草原	268	2006-07-15—09-14
温性草原	91	2006-07-25—08-13
高寒草甸草原	109	2006-07-10—09-12
山地草甸	95	2006-07-26—08-17
高寒荒漠草原	41	2005-08-17—09-10
温性荒漠	39	2006-07-17—08-13
沼泽	30	2006-07-26—08-15
低地草甸	24	2006-07-19—07-27
山地草原	23	2006-08-01—08-17
高寒灌丛草甸	15	2005-08-08—08-17

### 3 草地植被指数月际以及年际变化分析

#### 3.1 植被指数月际变化动态

**3.1.1 高寒草甸类植被指数月际变化特征** 高寒草甸类草地的气候属于高原大陆性气候,具有气温低、雨量充沛、日照充足、辐射强、无绝对无霜期等特点,主要出现在高寒草甸土上。高寒草甸类是青藏高原

草地的主体,约占青藏高原天然草地的1/3左右,由多年生中生草本植物为主而形成的低草草地<sup>[13-14]</sup>,是长期适应所处的气候条件而形成的以嵩草属(*Kobresia*)植物为建群种或优势种的植物群落,草地生态系统极其脆弱,以嵩草(*K. bellardii*)为主的草甸是青藏高原和亚洲中部高山带的一个特有类型。该草地类型主要植物种类包括嵩草、委陵菜(*Potentilla chinensis*)、早熟禾(*Poa annua*)、苔草(*Carex tristachya*)、蓼科(*Polygonaceae*)植物、羊草(*Leymus chinensis*)等。根据植物生活型特点,草地植被可以分为禾草(*Gramineae*)、杂草和豆科(*Leguminosae*)草<sup>[15]</sup>。5月牧草开始返青,EVI值由0.2000增至0.3270,增幅明显,表明植被在5—6月生长迅速,平均每日增长0.0042(图2)。EVI峰值出现在8月,为0.4380。5—10月草地植被茂盛,植被指数呈现出先上升后下降的趋势,符合自然条件下植被的生长变化情况,10月后草地开始枯黄,植被指数开始明显下降,进入休眠期,1—4月和11、12月相比植被指数变化不明显。此种草地类型波动系数11月最大,1月最小(表2)。

**3.1.2 山地草甸类植被指数月际变化特征** 山地草甸类草地因分布范围广,面积大,草质好,产草量高,被各地视为优良的天然草地,不仅可以用来放牧各种家畜,而且还是各地的天然割草地。山地草甸类的生产力随水、热条件的变化而变化,在植物种类组成上,以中生的多年生草本植物为主,但山地草甸类的形成主要决定于大气降水和大气湿度<sup>[13-16]</sup>。以针茅(*Stipa capillata*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)和冰草(*Agropyron cristatum*)为主要优势种,

赖草(*L. dasystachys*)、中华羊茅(*Festuca sinensis*)和冷地早熟禾(*P. crymophila*)为常见种<sup>[17]</sup>。地面实测植物种有嵩草、苔草、针茅、委陵菜、早熟禾、披碱草(*Elymus dahuricus*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)等。EVI为0.104 0~0.421 0,峰值均出现在7月。5月草地返

青后,植被指数在7月达到最大值。8月仍是盛草期,由于气候转冷,植被指数下降,但变化缓慢。9月植被指数下降明显,EVI每日降幅为0.003 0(图2)。随着天气进入冬季,山地草甸类进入枯草期。EVI波动最大在10月,波动最小在11月(表2)。

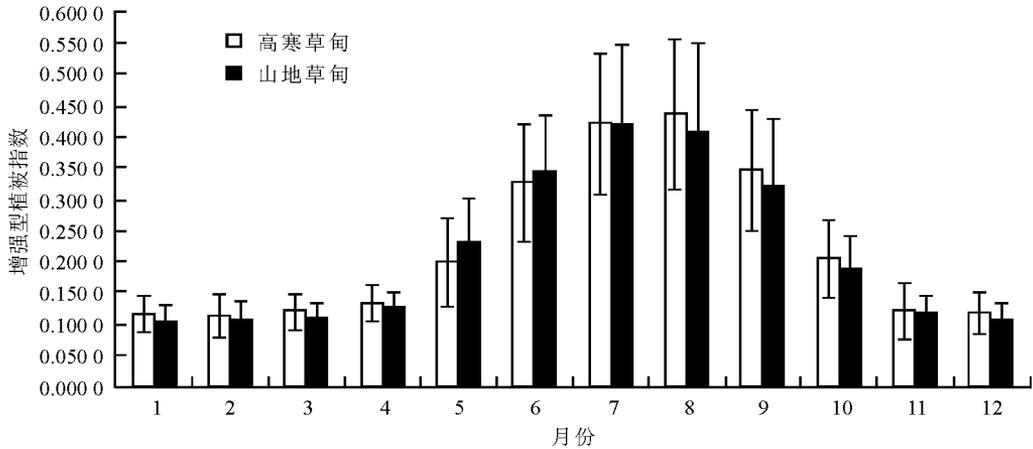


图2 高寒草甸与山地草甸 EVI 月际变化比较

**3.1.3 高寒草原类植被指数月际变化特征** 高寒草原类是青藏高原广泛水平地带性分布的植被类型之一,它不仅是亚洲中部高寒环境中典型的生态系统之一,而且在世界高寒地区也极具代表性<sup>[18]</sup>。生态系统为以紫花针茅(*S. purpurea*)为建群种的丛生禾草或根茎苔草高寒草原,群落混生有较多青藏苔草(*C. moorcroftii*),形成二者共优的高寒草原生态系统,此区主要土壤类型为莎嘎土(高寒草原土)<sup>[19-20]</sup>。草群稀疏,低矮;生长季节短,草产量低;营养价值高,适口性好<sup>[13]</sup>。研究区该类草地主要有早熟禾、委陵菜、披碱草、黄芪(*Astragalus* sp.)等植被种类。EVI为0.092 0~0.275 0,峰值出现在8月(图3)。高寒草原类5月返青,此时EVI值为0.137 0,之后的6和7月植被指数不断增加,至8月达最大值,但明显小于青藏高原高寒草甸类最大值。9-10月气温逐渐降低,植被指数变小,平均每日EVI降幅是0.002 6。11月开始进入冬季,植被指数继续降低,但11月后植被指数降幅较小,趋于不变,11月EVI为0.101 0,草地进入休眠期。植被指数波动最大值出现在5月,最小值出现在4月(表2)。

**3.1.4 温性草原类植被指数月际变化特征** 温性草原类是由典型旱生或广旱生植物组成的,以旱生丛

生禾草为优势,伴生着少量中旱生牧草,有时混生旱生灌木或小半灌木群落<sup>[21]</sup>。主要伴生植物有银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)、唐古特韭(*Allium tanguticum*)、异叶青兰(*Dracocephalum heterophyllum*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、黄芪、藜(*Chenopodium album*)、冷蒿等<sup>[22]</sup>。地面实测还有冰草、固沙草(*Orinus thoroldii*)、蒿草等植物种。草地群落中多年生非草类植物占优势,多年生禾草次之,一年生非禾草类植物最少<sup>[23]</sup>。EVI为0.102 0~0.296 0(图3)。与高寒草甸类、高寒草原类相比,温性草原类植被指数整个生长期内变化趋势相似,EVI最大值出现在8月。EVI值5月开始增长,在7-8月增幅较小,8月达到最大值后开始减小,9月植被指数开始下降,进入草原的休眠期。11月后EVI值趋于不变。植被指数最大波动在5月,最小波动在3月(表2)。

**3.1.5 高寒草甸草原类植被指数月际变化特征** 在青藏高原东部地区,与其他植被类型相比高寒草甸草原类退化相对严重。高寒草甸草原类是退化草原的主要代表类型,面积占研究区草原总面积的80%。包括嵩草、苔草、珠芽蓼、头花蓼(*P. capitatum*)、蒿、委陵菜、甘青虎耳草(*Saxifraga tanguti-*

ca)、黄帚橐吾(*Ligularia virgaurea*)、短穗兔耳草(*Lagotis brachystachys*)、毛茛(*Ranunculus japonicus*)、铁棒锤(*Aconitum pendulum*)、异针茅(*S. aliena*)、火绒草(*Leontopodium leontopodioides*)、落草(*Koeleria cristata*)、唐松草(*Thalictrum* spp.)、铁棒锤和龙胆(*Gentiana scabra*)等<sup>[24]</sup>。地面实测还有早熟禾、车前(*Plantago asiatica*)、披

碱草等植物种。EVI为0.1010~0.2810,峰值出现在8月(图3)。5月草地EVI是0.1330,到8月为0.2810,增加111.2%。随后气温下降,牧草开始枯黄,11月牧草完全枯黄,EVI每日降幅为0.0015。植被指数波动最大值为11月,最小值为4月(表2)。

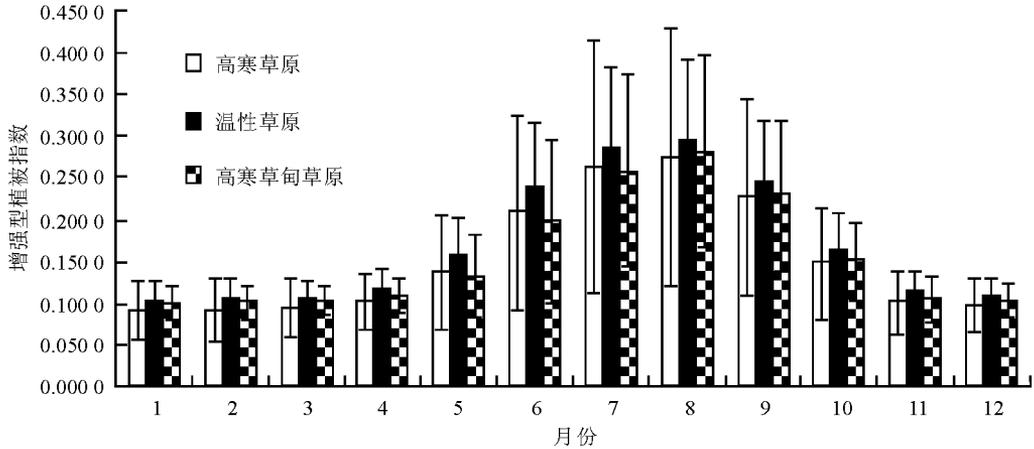


图3 高寒草原、温性草原、高寒草甸草原 EVI 月际变化比较

**3.1.6 高寒荒漠草原类植被指数月际变化特征** 青藏高原西部,平均海拔4500 m以上分布有高寒荒漠草原类,该地区气候寒冷干旱,植物群落结构简单,产草量极低<sup>[14]</sup>。研究区该类草地实测主要植物种类有苔草、嵩草、火绒草、针茅、委陵菜等。EVI为0.0750~0.1390,峰值出现在8月(图4)。高寒荒漠草原5月EVI值为0.0810,之后的6和7月植被指数虽不断增加,但升幅较小,至8月达最大值,但较前几种草地类型明显偏低。9-10月气温逐渐降低,植被指数变小。11月开始进入冬季,植被指数继续降低,但11月后植被指数趋于稳定,11月EVI为0.0790,草地进入休眠期。植被指数波动最大值出现在6月,最小值出现在2月(表2)。

**3.1.7 温性荒漠类植被指数月际变化特征** 温性荒漠类草地是在极端干旱的气候条件下,由旱生的灌木和半灌木植物组成的植被类型<sup>[25]</sup>。温性荒漠类草地土壤种子库与草甸草原、矮嵩草草原及荒漠草原相比种子数量贫乏<sup>[26-28]</sup>。这一方面是因为温性荒漠草地植被稀疏,盖度较小;另一方面长期的过度放牧利用和砍伐薪柴导致一些植物不能形成生殖枝,不能正常开花结实。蒿类半灌木荒漠草地是主要类型,蒿类半灌木春季返青晚,生长势弱,一年生草萌

发早,生长快,早春在草群中占据一定地位<sup>[29]</sup>。地面实测有冷蒿、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、狗哇花(*Heteropappus hispidus*)、合头草(*Sympegma regelii*)、猪毛菜、黄毛头(*K. sinicum*)等植物种类。研究区温性荒漠5月牧草开始返青,EVI值由0.0630增至0.0690,增幅不明显(图4)。EVI峰值出现在8月,为0.1080,与其他草地类型比较是最低值。5-10月草地植被相对茂盛,虽然植被指数也呈现出先上升后下降的趋势,但变化较小,10月后草地开始枯黄,植被指数在11月下降到0.0690,进入休眠期,1-4月和11、12月植被指数都处于极其低下的水平。此种草地类型波动系数2月最大,5月最小(表2)。

**3.2 不同草地类型植被指数月际变化特征分析** 11种草地类型在2002-2008年EVI平均值由大到小依次为:高寒灌丛草甸类、高寒草甸类、山地草甸类、沼泽类、山地草原类、温性草原类、高寒草原类、高寒草甸草原类、低地草甸类、高寒荒漠草原类、温性荒漠类(图5)。研究区不同草地类型在4月开始返青,5-6月期间,植被指数增长最快,特别是高寒灌丛草甸类和沼泽类,增幅相对较大。不同草地类型EVI值多在8月达全年最大值,只有高寒

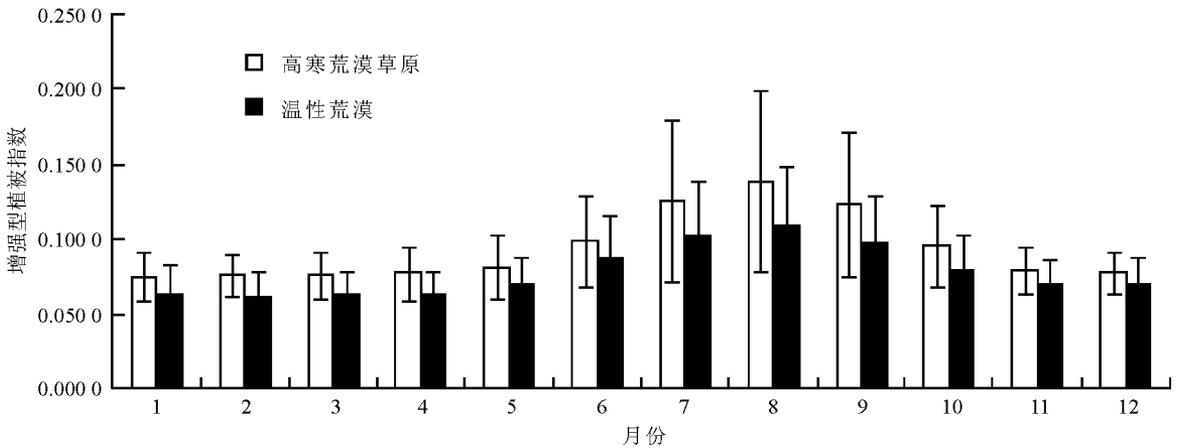


图 4 高寒荒漠草原类与温性荒漠类 EVI 月际变化比较

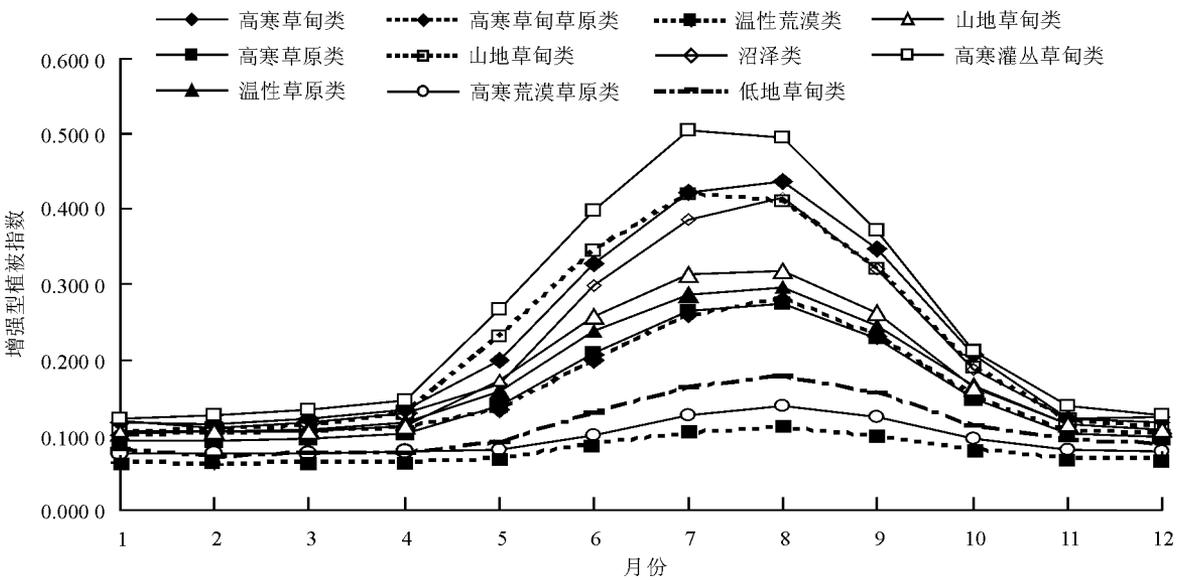


图 5 不同草地类型 EVI 变化曲线

灌丛草甸类和山地草甸类在 7 月达最大值,之后植被指数开始下降,在各种草地类型中高寒灌丛草甸类 EVI 的变化最大。11 种草地类型的植被指数月变化趋势相似,符合草地的自然生长状况。同其他植被类型相比,温性荒漠类植被指数在生长季的各个时期均最低,植被指数变化较小。在草地进入枯草期的几个月中,各种草地类型的 EVI 值均在 0.1 左右,从 4 月开始,部分草地类型植被指数增幅相对较高但并不明显,5—7 月,植被指数增长迅速的草地类型与缓慢的草地类型之间差距加大。在盛草期,EVI 值出现分层,第 1 层是高寒灌丛草甸类,EVI 值最大;高寒草甸类、山地草甸类、沼泽类次之,这 3 种草地 EVI 较接近,为第 2 层;山地草原

类、温性草原类、高寒草原类、高寒草甸草原类 4 种草地类型为第 3 层;低地草甸类、高寒荒漠草原类、温性荒漠类为第 4 层,这 3 种草地类型 EVI 最低。

### 3.3 植被指数与草地覆盖度和草群高度的关系

#### 3.3.1 植被指数与草地覆盖度的关系

已有研究表明,植被指数与植被的盖度有较好的相关性<sup>[30-31]</sup>,也能指示植被的宏观类型、生长状况和季候特征变化<sup>[32-33]</sup>。通过比较 2006 年 8 月的实地测量的草地覆盖度发现,随着草地覆盖度的增加,EVI 值也逐渐变大,且升幅较稳定,呈线性关系,其相关性高达 0.996 5(图 6)。植被指数与草地覆盖度的高度相关,印证了前人的研究结果,说明植被指数对于植被覆盖度有极强的指示作用。

**3.3.2 植被指数与草群平均高度的关系** 目前缺乏对于草群高度和 EVI 关系的研究资料,但已知草地覆盖度与 EVI 高度正相关,而一般草地覆盖度较高的区域,其草地生长状况较好,植被也较为茂盛,草群较为高大,所以推断草群高度与 EVI 的关系可能为正相关。分析草群高度与增强型植被指数的关系

可以发现,在草群平均高度为 20 cm 以下时,草群平均高度与 EVI 平均值相关性为 0.864 1,呈高度正相关(图 7),草群高度在 30 cm 以下时 EVI 为 0.435 8,而当草群高度达到 70 cm 时 EVI 反而下降为 0.400 4,可能是由于随着高度的增加其覆盖度趋于稳定。

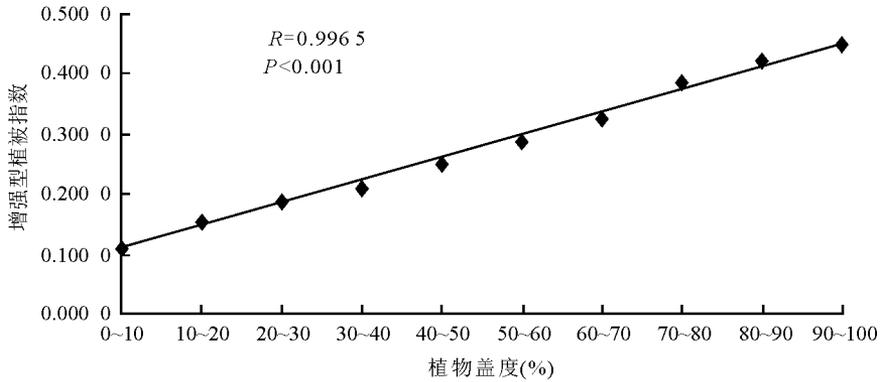


图 6 草地盖度与增强型植被指数的关系

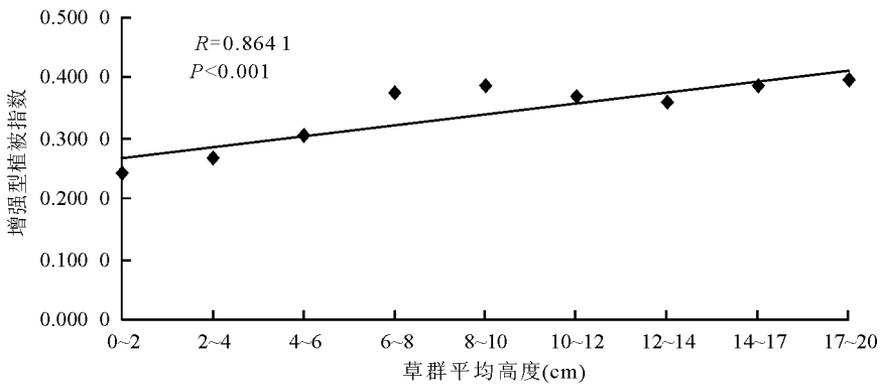


图 7 草群平均高度与增强型植被指数的关系

通过上述分析,草地盖度和草群高度是影响植被指数变化的两个主要因子。相同草地类型因为立地条件不同,草地盖度和草群高度亦有差别,这也是导致不同地区相同草地类型植被指数变化差异较大的一个原因。所以,分析草地盖度和草群高度对植被指数变化的影响,可以对有效地利用植被指数动态监测草地健康状况以及草地生产力具有十分重要的意义。

**4 青藏高原牧区植被指数时空变化特征**

选取植被状况最好的 8 月份 MODIS 数据生成的 EVI 合成图像,得到 2002—2008 年 8 月青藏高原草地 EVI 分级分布图(图 8)。将 EVI 值按照 0~

0.09、0.09~0.19、0.19~0.31、0.31~0.45、0.45~0.70 的值域划分为 5 级,这种分级基本可以较详细地体现不同草地类型的空间差异和过渡性。如果分级过于简单,不能切实反映类别间的差异,而不同草地类型在地域上有连续性;分类过于精细不利于反映草地生长状况的空间变化趋势。每年的植被指数分级分布图都体现了青藏高原各类草地的空间分布差异性、连续性和过渡性,体现了各类草地空间分布的实际特征。通过 7 年的植被指数分级图之间相互比较可以发现,5 种等级的草地类型随时间变化显现出差异性,2002—2008 年 7 年间,植被指数变化不大,说明青藏高原各种等级草地植被面积在

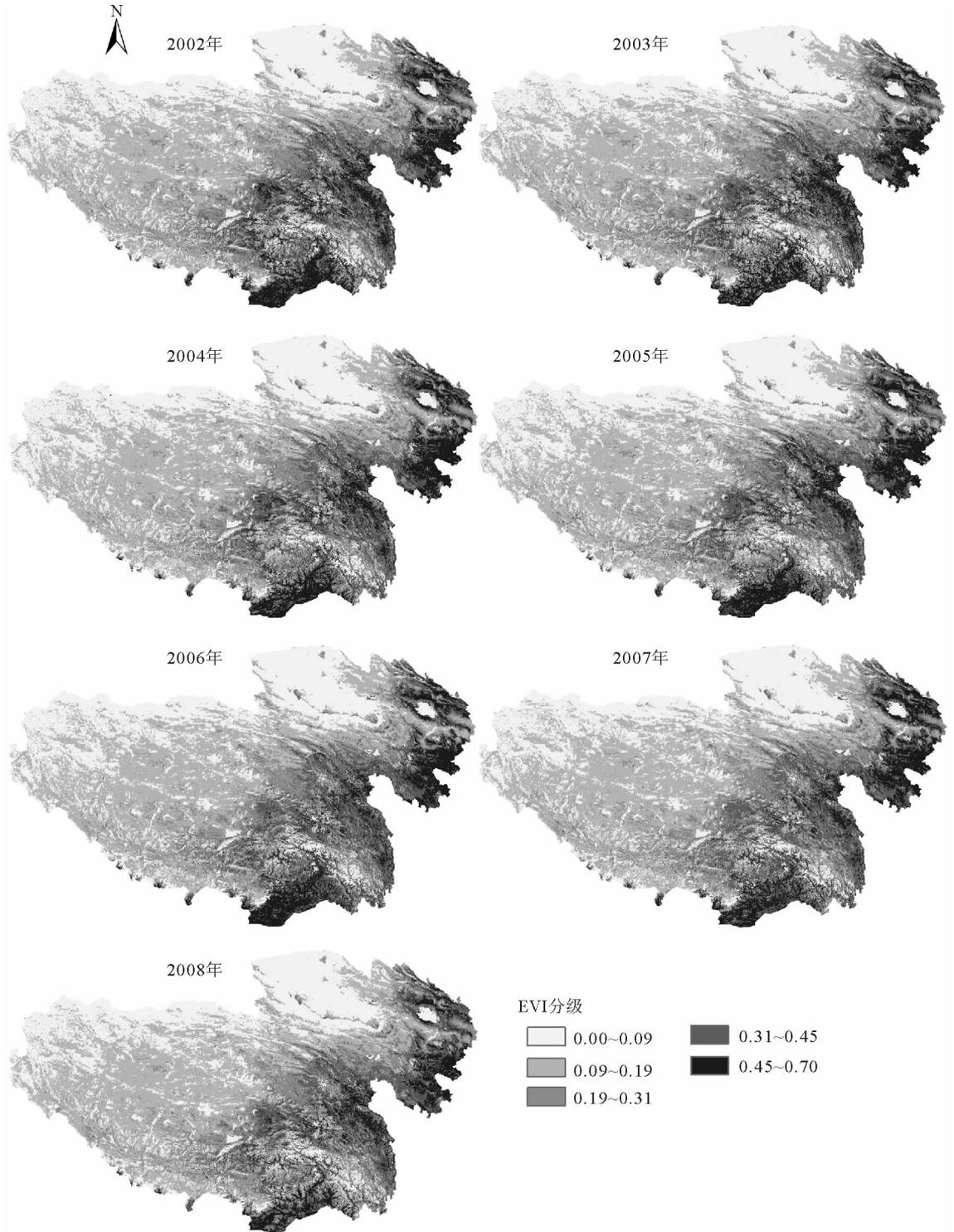


图 8 2002—2008 年研究区 8 月植被指数分级图

7 年间无显著变化。各个级别 EVI 值域对应不尽相同的草地类型区,而在各种草甸草原与荒漠之间无明显的界线,有一定重叠,所以通过 EVI 分级分布所显示的空间差异也不是很明显,而是渐变性的,

EVI 值由小到大,对应的草地类型为荒漠→草原→草甸的变化趋势。虽然所反映的草地类型有重叠,但其变化趋势是相同的,正好反映了各类草地之间在特征上的过渡性和在空间上的重叠性。其中当

EVI 值为 0 时,一般代表水体,比如青海湖;0~0.09 值域区间主要为荒漠,散布于青藏高原西北部边境;0.09~0.19 值域区间主要散布于青藏高原中西部的草原化荒漠地区,基本呈裸地,在北部也有分布,但面积较小;0.19~0.31 值域区间为大面积分布于中部和西南部的荒漠草原区,但在东北部也有零星分布,这些地区由于邻近荒漠草原,植被覆盖较低,体现了荒漠和草原之间的过渡性;0.31~0.45 值域区间主要分布于东南部,东北部也有少量分布,为典型草原区,体现了草原和草甸之间的过渡性。与 0.19~0.31 值域区不同,它在相对位置上表现为远离荒漠区和接近草甸草原区;0.45~0.70 值域区间主要分布于青藏高原东北部和东南部的草甸区,即与 0.31~0.45 值域区间同时分布,基本上反映了二者的同一性。这说明草甸草原和典型草原在生长特征上的共性和在空间上的连续性,植被覆盖相对稠密,在草甸草原区域有零星分布。从分级图整体分析可以看出,植被指数由西北到东南方向逐渐增加,在交错部分零星散布着不同植被指数分级区域,体现出不同草地类型在地域上的连续性、过渡性和空间上的差异性。

## 5 结论与展望

结合 2006 年 8 月的地面实测数据,对青藏高原 2002—2008 年的植被指数(MODIS-EVI)数据进行统计分析,得出了不同草地类型植被的时空变化情况,以及草地植被指数与草地覆盖度、草群高度的关系。

MODIS-EVI 能最大限度地减少环境因子的影响,具有较高的时间和空间分辨率,能很好地反映各草地类型的生长过程及其空间差异性。本研究选用 MODIS-EVI 植被指数数据,对青藏高原不同草地类型 2002—2008 年共计 84 个月的植被变化进行了分析。研究发现,草地盖度和草群高度是影响植被指数变化的两个重要因子。MODIS 植被指数对季节变化、土地覆盖变化和生物物理参数变化比较敏感。本研究选用 8 月的合成数据,通过对 MODIS-EVI 值域分级可以反映荒漠草原、典型草原和草甸草原的变化趋势,在此基础上加上草地覆盖度、草群高度信息就可以从多个角度更详尽、准确地反映各草地类型的空间地域分布特征,而且可以更具体、更精确地把握各种草地类别的实际状况,达到更有效

地动态监测青藏高原草地的目标。在以后的研究工作中,通过利用新一代卫星遥感数据 MODIS,结合气候因子和实测数据,分析影响草地生物量变化的主导因素,监测草地生产力的时空变化动态,为研究区草地资源的合理利用提供科学依据。

## 参考文献

- [1] 刘良明,梁益同,马慧云,等. MODIS 和 AVHRR 植被指数关系的研究[J]. 武汉大学学报,2004,29(4):307-310.
- [2] 梁天刚,崔霞,冯琦胜,等. 2001—2008 年甘南牧区草地地上生物量与载畜量遥感动态监测[J]. 草业学报,2009,18(6):12-22.
- [3] 王正兴,刘闯,Huete A. 植被指数研究进展:从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI [J]. 生态学报,2003,23(5):979-987.
- [4] 于格,鲁春霞,谢高地. 青藏高原草地生态系统服务功能的季节动态变化[J]. 应用生态学报,2007,18(1):47-51.
- [5] 王无怠. 青藏高原草地生产发展战略商榷[J]. 科学·经济·社会,2000,18(78):12-15.
- [6] 赵新全,张耀生,周兴民. 高寒草甸畜牧业可持续发展理论与实践[J]. 资源科学,2000,22(4):50-61.
- [7] 鲍文. 青藏高原草地资源发展面临的问题及战略选择[J]. 农业现代化研究,2009,30(1):20-23.
- [8] 于格,鲁春霞,谢高地,等. 基于 RS 和 GIS 的青藏高原草地生态系土壤水分保持功能及其经济价值评估[J]. 山地学报,2006,24(4):498-503.
- [9] 王志伟,王平,王迅,等. 中国农牧交错带生态评价研究[J]. 草业科学,2009,26(4):64-73.
- [10] 孟晓峻,冯丽萍. 不同 MODIS 植被指数优劣的探讨[J]. 内蒙古气象,2007(6):50.
- [11] 李霞,崔霞,黄晓东,等. 北疆不同草地类型 MODIS 植被指数的时空变化研究[J]. 草业科学,2007,24(9):5-11.
- [12] 王秀红,郑度. 青藏高原高寒草甸资源的可持续利用[J]. 资源科学,1999,21(6):38-42.
- [13] 章祖同,刘起. 中国重点牧区草地资源及其开发利用[M]. 北京:中国科学技术出版社,1992:70-180.
- [14] 王启基,景增春,王文颖. 青藏高原高寒草甸草地资源环境及可持续发展研究[J]. 青海草业,1997,6(3):1-11.
- [15] Diaz S, Lavorel S, Ntyre S, et al. Plant trait responses to grazing—a global synthesis [J]. Global Change Biology, 2007, 13, 313-341.

- [16] 柴琦,李霞,梁天刚. 北疆牧区山地草甸草地生产力动态监测与评价[J]. 草业科学, 2009, 26(4): 12-15.
- [17] 孙小玲,刘荣堂,杨予海,等. 青海刚察县山地草甸草原植物种类和土壤吸附水与海拔高度的关系[J]. 草原与草坪, 2006(6): 26-30.
- [18] 王建林,欧阳华,王忠红,等. 青藏高原高寒草原土壤活性有机碳的分布特征[J]. 地理学报, 2009, 64(7): 771-781.
- [19] 张宪洲,石培礼,刘允芬,等. 青藏高原高寒草原生态系统土壤 CO<sub>2</sub> 排放及其碳平衡[J]. 中国科学: 地球科学, 2004, 34(增刊 II): 193-199.
- [20] 郑度,张荣祖,杨勤业. 试论青藏高原的自然地带[J]. 地理学报, 1979, 34(1): 1-11.
- [21] 甘肃省草原总站. 甘肃草地资源[M]. 甘肃: 甘肃科学技术出版社, 1999: 30-90.
- [22] 杨生妹,淮虎银,张德铨,等. 青藏铁路温性草原区铁路运营对啮齿动物群落结构的影响[J]. 兽类学报, 2006, 26(3): 267-273.
- [23] 淮虎银,魏万红,张德铨. 青藏铁路温性草原区路域植被自然恢复过程中群落组成和物种多样性变化[J]. 山地学报, 2005, 23(6): 657-662.
- [24] 涂军,石承苍. 青藏高原退化高寒草甸草原分类的遥感研究[J]. 草地学报, 1998, 6(3): 226-233.
- [25] 赵萌莉,许志信. 内蒙古乌兰察布西部温性荒漠草地土壤种子库初探[J]. 中国草地, 2000(2): 46-48.
- [26] 邓自发,周兴民,王启基. 青藏高原矮高草草甸种子库的初步研究[J]. 生物学杂志, 1997, 16(5): 19-23.
- [27] 杨允菲,祝玲,张宏一. 松嫩平原两种碱蓬群落土壤种子库通量及幼苗死亡率的研究[J]. 生态学报, 1995, 15(1): 66-71.
- [28] Henderson C B, Petersen K E, Redak R A. Spatial and temporal patterns in the seed bank and vegetation of a desert grassland community[J]. Journal of Ecology, 1988, 76: 717-728.
- [29] 刘长娥,许鹏,安沙舟. 土质温性荒漠草地植物生育节律分析[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(1): 11-15.
- [30] Sellers P J. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration[J]. International Journal of Remote Sensing, 1985, 6(3): 1335-1372.
- [31] 丁建丽,塔西埔拉提·特依拜. 策勒绿洲植被覆盖动态变化遥感研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23(1): 79-83.
- [32] 盛永伟,陈维英,肖乾广,等. 利用气象卫星植被指数进行我国植被的宏观分类[J]. 科学通报, 1995, 40(1): 68-71.
- [33] 卢玲,李新,程国栋. 利用 NOAA/AVHRR 植被指数数据集分析黑河流域季候特征[J]. 中国沙漠, 2002, 22(2): 187-191.

## Temporal and spatial change of grassland vegetation index in Tibetan Plateau

MA Lin-ya, HUANG Xiao-dong, FANG Jin, LIANG Tian-gang

(College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University;

Key Laboratory of Grassland and Agro-Ecosystems, Ministry of Agriculture, Gansu Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** The new generation of satellite remote sensing data of Terra/MODIS from 2002 to 2008 was applied to determine the temporal and spatial change characteristics of the EVI (Enhanced Vegetation Index) in the pastoral region of Qinghai-Tibetan Plateau. Based on field data in August 2006, the relationship between EVI and cover and height was discussed in this study. The results of this study indicated that the EVI was positively related to grassland cover and height, and those of different grassland types firstly increased, and then decreased, which were consistent with the natural changes of plant growth. The EVI showed a small difference between the different grassland types when these grassland types shared the similar characteristics, implying that different grassland types not only had the continuity and transitivity in different region, but also had the differences of different grassland types.

**Key words:** Tibetan Plateau; MODIS; EVI; change