

青海湖流域草地产草量与 MODIS 植被指数的相关性分析

周薇薇, 殷青军

(青海师范大学生命与地理科学学院, 青海 西宁 810008)

摘要: 借鉴国内外基于遥感手段监测植被的方法, 利用 MODIS-NDVI 遥感影像数据, 探讨如何对草地变化进行监测。提取青海湖流域典型草原遥感影像植被指数, 并与野外调查获得的 79 个样方生物量数据进行对比分析, 建立了多个回归模型用于研究植被指数与草地产草量的相关关系。结果表明, 植被指数与草地产草量之间存在较好的相关性, 但是不同的回归模型与草地产草量相关性程度存在一定的差别, 非线性回归模型优于一元线性回归模型, 该方法的提出有助于监测青海湖流域草地变化情况。

关键词: 草地产草量; 植被指数; 回归模型

中图分类号: S812

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2012)04-0008-05

引言

草地作为陆地生态系统的一个重要组成部分, 具有调节气候、净化空气、防风固沙、保持土壤水分和肥力、减少水土流失和维持生态平衡的功能, 是畜牧业最重要的物质基础^[1]。青海省是中国的五大牧场之一, 近年来由于气候变化和人类活动的共同影响, 草场退化加剧, 荒漠化进程加快, 草地发生了较大的变化。因此, 及时动态监测牧草长势并估算其产量, 对引导牧民合理放牧和草地资源的可持续利用具有重要意义。

草原产草量的测定方法主要有三种, 一是刈割法, 是在草产量最高的时候进行测定^[2], 草产量是齐地面刈割所获得的产草量, 该方法的优点在于小区域测产准确, 缺点是测产周期长, 耗时费力, 大面积估产精度不高; 二是产量模拟模型, 兼顾了气候、土壤和技术等条件因素, 需要连续和详细的数据, 优点在于估产精度较高, 缺点是大尺度区域上的数据难以获取, 导

致在宏观尺度上的应用受到很大限制^[3]; 三是遥感模型, 利用遥感数据与地面调查草原数据, 通过一定的数学方法建立大面积遥感产草量预报模型, 本研究即属于此种范畴。自 20 世纪 80 年代, 新西兰学者^[4]采用 NOAA/AVHRR 数据监测草地植被生产力的动态变化以来, 遥感便成为全球草地生物量动态变化估测的主要手段^[5-7]。中国草地遥感研究始于 20 世纪 80 年代, 根据中国不同地域的草地类型, 利用遥感资料对生物量模型做了大量的研究工作, 并取得了一定的成果。黄敬峰等应用新疆北部牧草产量实测资料和 NOAA/AVHRR 资料, 建立了新疆北部不同类型天然草地牧草产量光谱监测模型、卫星遥感模型^[8-10]; 王正兴等利用 2002 年 5~9 月 MODIS 数据及同期地上生物量资料, 建立了 VI-ANPP 的线性模型和幂函数模型^[11]; 朴世龙等利用中国草地资源清查资料, 并结合同期的遥感影像, 建立了我国草地植被生物量估测的幂函数模型^[12]; 牛志春等利用青海湖环湖地区 2000 年 TM 遥感数据和同期样方产草量数据, 建立了监测青海湖环湖地区草

收稿日期: 2012-02-23; 修回日期: 2012-04-27

作者简介: 周薇薇(1986-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为遥感技术应用。E-mail: zww726@126.com。

地植被生物量的三次多项式回归模型^[3]。在前人研究成果的基础上,本文深入探讨了草原产草量与植被指数的相关关系,可进一步提高草地产草量遥感监测的精度。具体利用青海湖流域 MODIS 影像数据结合地面数据,对草地植被专题信息进行提取,通过构建草原植被的地面信息与遥感图像之间的关系,进行遥感估产研究,为当地监测大范围的草地动态变化提供依据。

1 研究概况及背景

1.1 研究区概况

青海湖流域位于青海省东北部,介于北纬 $36^{\circ}15' \sim 38^{\circ}20'$ 和东经 $97^{\circ}50' \sim 101^{\circ}20'$ 之间。海拔在 3 194 ~ 5 174 m 之间,青海湖是我国最大的内陆咸水湖,湖面海拔 3 194 m,面积 4 264 km²(图 1)。地貌多样,属于高原半干旱高寒气候,年均气温 $-4.6 \sim 4.0^{\circ}\text{C}$,无霜期 117 ~ 118 d,年日照时数 2 800 ~ 3 090 h,年蒸发量 1 300 ~ 2 000 mm,年降水量 291.0 ~ 579.0 mm,大部分集中在 6 ~ 9 月,年平均风速 2 ~ 4 m/s,湿地土壤为水成性的隐域性土壤,以草甸土和沼泽土为主。牧草种类繁多,营养价值丰富;主要草地类型有山地草原类草场(包括芨芨草原和西北针茅、短花针茅草原)及高寒草原类草场(包括紫花针茅草原和早熟禾等)。

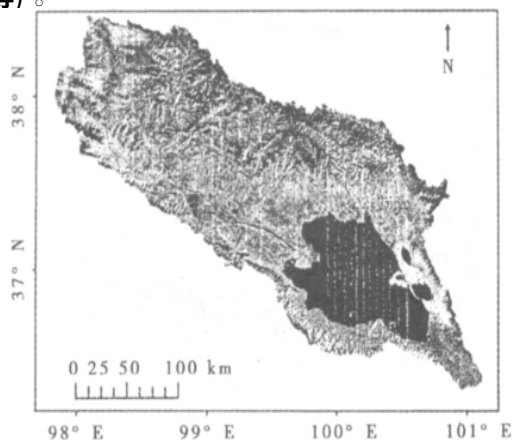


图1 青海湖流域图

Fig. 1 Qinghai lake basin

1.2 研究背景

青海湖流域是青海省畜牧业生产的主要基地^[4-13],该流域集中了青海省 24% 的牧业人口和 29% 草食牲畜。青海湖流域的生态环境问题主要表现在草地退化、沙化严重、青海湖水位下降、植被人为破坏和湖区周围水土流失严重。由于草地退化和生产力逐渐下降^[4],草地生态环境变差,草地生态系统的服务功能降低,给畜牧业生产的可持续发展带来严重威胁^[17]。

2 研究方法

2.1 数据来源

采用的数据为遥感数据和地面实测数据两部分,其中遥感数据为青海湖地区的 MODIS 数据,是美国 MODIS13 陆地 3 级标准数据产品,内容为栅格的归一化植被指数和增强型植被指数(NDVI/EVI),收集的影像为 2011 年 7 月份 16 d 合成的产品,图像空间分辨率为 250 m。MODIS 适当的时空分辨率可以较好地反映草地植被的时空变化特征。MODIS 空间分辨率为 250 m、500 m 和 1 km,其中用于计算 NDVI(归一化植被指数)的 1、2 波段为 250 m,用于计算 EVI(增强型植被指数)的第 1、2、3 波段最低为 500 m,这样的空间分辨率比以往研究常用的 1.1 km 分辨率的 AVHRR^[18-19]更详尽地反映草地的空间差异。MODIS 每天覆盖 3 ~ 4 次,时间分辨率足以满足实时反映草地变化的要求。MODIS 植被指数包括 MODIS - NDVI 和 MODIS - EVI,本文选用比较成熟的 MODIS - NDVI。

地面实测数据主要集中在 2011 年 7 月草地生长季期间,采用常规植被调查方法设置样方并进行调查选取的数据。样方设置原则为草地植被空间分布比较均一,可以代表较大范围草地植被,在样地内设置 1 m × 1 m 的样方。调查内容主要涉及样方的经纬度、海拔高度、草地类型、地上产草量鲜重,包含 79 个样方。

2.2 数据处理

计算机处理数字卫星遥感数据。主要将下

载的 MODIS 数据应用在 MRT(MODIS Reprojection Tools) 软件中进行格式和地图投影转换,把 HDF 格式转化为 Tiff 格式;把 SIN 地图投影转换为 WGS84/Geographic 系统,并完成图像的空间拼接;分别把图像资料和 79 个采样点文件转成 grid 格式,在 ARC/INFO 的 grid 模块下提取 79 个点的 NDVI 值。

1) 植被指数 植被指数(Vegetation Index, v_i) 是不同遥感光谱波段间的线性或非线性的组合,能作为反映绿色植被的相对丰度和活性的辐射量值(无量纲)的标志,是绿色植被的叶面积指数(LAI)、盖度、叶绿素含量、绿色生物量以及被吸收的光合有效辐射(APAR)的综合体现^[2]。

它是遥感分析中最具有明确意义的指标之一,是基于植被叶绿素在 $0.69 \mu\text{m}$ 处的强吸收,通过红外与近红外波段的组合实现对植被信息状态的描述^[2]。它能够敏感地反映出植被生长状况、理化性质及生态系统参数的变化,在一定程度上反映了像元所对应区域的植被情况和土地覆盖类别。因此,NDVI 常被用于研究植被或土地覆盖变化,NDVI 的计算公式为:

$$\text{NDVI} = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

式(1)中 NIR 为近红外波段, R 为红波段,NDVI 的取值范围 $-1.0 \sim 1.0$ 。一般认为 NDVI 值大于 0.1 为有植被覆盖,由于该指数与植被密度呈正相关,因此,NDVI 值越大,表示植被覆盖度越好。

2) 植被指数提取 在统计某一区域(包括整个研究区和部分重点区域)的 NDVI 值时,我们采用均值法进行计算。即统计区域内所有格网的 NDVI 值平均,描述公式如下:

$$I_{\text{NDVap}} = \sum I_{\text{NDVx,y}} / n \quad (2)$$

式(2)中 I_{NDVap} 是某一区域的 NDVI 平均值, p 为区域代码, x 为统计区域像元行数, y 为统计区域内像元列数, n 为统计区域内像元总数。

3 相关性分析

遥感反演地表生物量中,回归分析是比较广泛的应用方法之一,它使观测数据建立变量间适当的依赖关系,以分析数据的内在关系。

在众多产草量建模方法中,本研究选取一元线性模型、二次多项式模型、指数模型、幂函数模型、对数模型,然后建立植被指数和地面样方产草量之间的关系,并通过不同模型的精度对比,找出研究区最优产草量估算模型(图 2)。

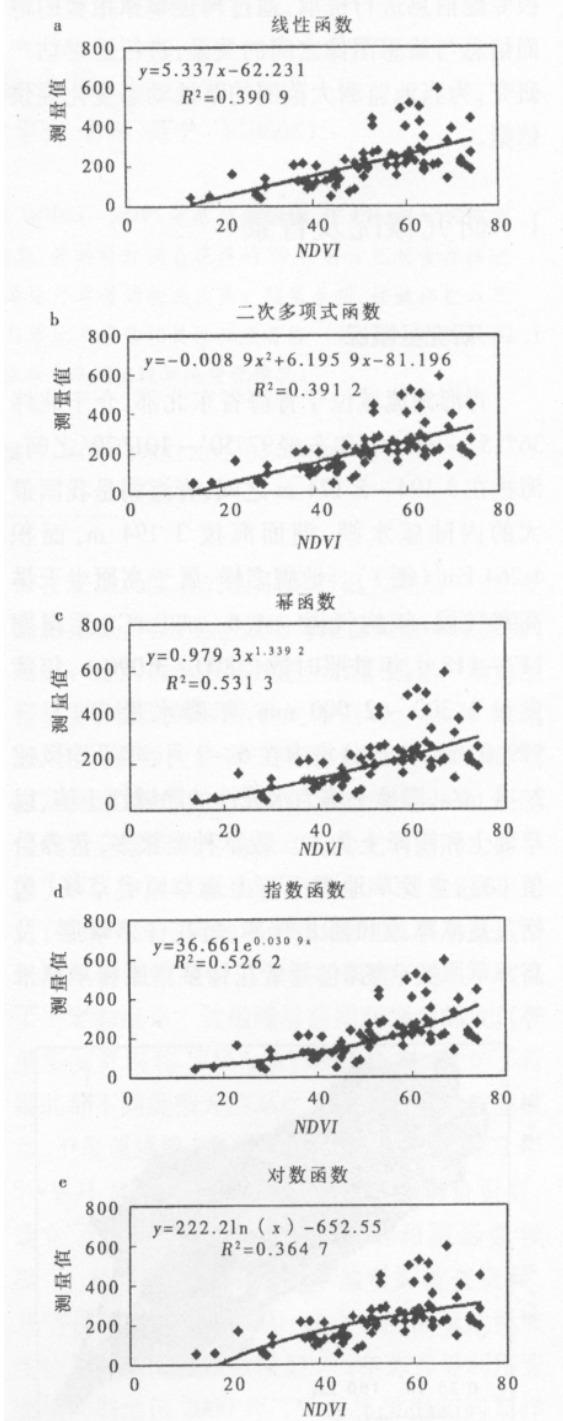


图 2 不同函数模型拟合的生物量与 NDVI 指数

Fig. 2 Biomass and NDVI index fitted with different function models

通过建立植被指数和地面样方产草量之间的关系,进行不同模型的精度对比,找出研究区最优产草量估算模型。如图,草地产草量与 $NDVI$ 拟合方程相关系数中幂函数关系拟合效果最佳。建立的一元线性回归模型和多元回归模型进行植被指数与草地产草量之间的相关性分析中,相关系数反映了草地产草量与植被指数之间的相关程度。最后对各相关系数进行了显著性水平检验,采用了置信水平为 $\alpha = 0.05$ 的 F 检验法。

4 结果与讨论

利用 MODIS 数据,以青海湖流域为研究区,进行草地产草量动态变化监测,分别建立了不同类型草地牧草估产模型,包括一元线性回归模型、多项式回归模型、幂函数回归模型、指数回归模型和对数回归模型。上述研究结果表明,在利用 MODIS 数据模拟草地产草量的模型中,非线性方程要优于线性方程。

根据青海湖流域草地产草量植被指数 ($NDVI$) 的估算,建立的线性、多项式、指数、幂函数和对数回归模型,均具有显著地相关性,复相关系数 (R^2) 分别达到 0.390 9、0.391 2、0.531 3、0.526 2、0.364 7,相关系数(R) 均大于 0.6。幂函数模型、指数模型都能表现出较好的模拟效果。根据模型的精度评价,观察出 $NDVI$ 的幂函数模型是青海湖流域草地产草量监测的最优模型,拟合模型为 $y = 0.979\ 3x^{1.339\ 2}$ 。

通过植被指数与草地产草量间的相关性分析,检验两者之间关系的密切程度。根据所测样本资料来推断总体情况,计算出研究区不同模型与草地产草量间的相关关系,相关系数反映了这种紧密程度的指标。在置信水平 $\alpha = 0.05$ 时所有模型都可以通过显著性检验 (表 1),其中幂函数可以更好的模拟草地产草量与植被指数之间的关系,具体表达式为:

$$y = 0.979\ 3x^{1.339\ 2}。 \tag{3}$$

其中 y 为草地产草量; x 为 MODIS 植被指数的值。

表 1 草地产草量与植被指数的相关模型
Table 1 The related model of grass production and vegetation index

模型	模型方程	R	R^2	F
一元线性回归模型	$y = 5.337x - 62.231$	0.625 2	0.390 9	49.412 64
多项式回归模型	$y = -0.008\ 9x^2 + 6.195\ 9x - 81.196$	0.625 4	0.391 2	24.416 22
幂函数回归模型	$y = 0.979\ 3x^{1.339\ 2}$	0.728 9	0.531 3	87.283 76
指数函数回归模型	$y = 36.661e^{0.030\ 9x}$	0.725 3	0.526 2	85.499 85
对数回归模型	$y = 222.2\ln(x) - 652.55$	0.603 9	0.364 7	44.211 14

5 结 论

- 1) 研究区实测牧草产草量与植被指数之间相关性较好,所以应用植被指数建立牧草产草量是可行的;
- 2) 植被指数建立的回归模型中,非线性方程优于线性方程,能够更好地反应出牧草产草量的实际情况;
- 3) 牧草产草量与植被指数的相关系数都通过了显著性检验,表明了利用 MODIS 数据可以很好地对植被变化进行比较并得到植被的发

- 展趋势;
- 4) 建立的回归模型中,最适合的估产模型是幂函数模型 $y = 0.979\ 3x^{1.339\ 2}$ ($R = 0.728\ 9$, $R^2 = 0.531\ 3$)。

致谢: 感谢中科院青海盐湖所刘向军博士在本文撰写上给予的指导和帮助。

参考文献:

[1] 史培军,李博,李忠厚. 大面积草原遥感估产研究 [J]. 草原学报,1994,2(1):9-13.
[2] 任继周. 草业科学研究方法 [M]. 北京: 中国农业出版社,1998:201-213.

- [6] Xu B, Xin X P, Qin Z H, *et al.* Development of spatial GIS databases for monitoring on dynamic state of grassland productivity and animal loading balance in northern China, *Geoinformatics 2004, Proceeding of the 12th International Conference [M]*. Sweden: University of Gavle Press, 2004 (2): 585 – 592.
- [7] Taylor B F, Dnin P W, Kidon J W. Determinations of seasonal and inter annual variation in New Zealand pasture growth from NOAA – 7 data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1985, 18(2): 177 – 192.
- [8] Anderson G L, Hanson J D, Hass R H. Evaluating landsat thematic mapper derived vegetation indices for estimating aboveground biomass on semiarid rangelands [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1993, 45(2): 165 – 175.
- [9] Todd S W, Hoffer R M, Milchnous D G. Biomass estimation on grazed and on grazed rangeland using spectral indices [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(3): 427 – 438.
- [10] Friedl M A, Michaelsen J, Davis F W, *et al.* Estimating grassland biomass and leaf area index using ground and satellite data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15(7): 1401 – 1420.
- [11] 黄敬峰, 王秀珍, 胡新博. 新疆北部不同类型天然草地产草量遥感监测模型 [J]. *中国草地*, 1999(11): 1 – 18.
- [12] 黄敬峰, 王秀珍, 王人潮, 等. 天然草地牧草产量与气象卫星植被指数的相关性分析 [J]. *农业现代化研究*, 2000, 21(1): 33 – 36.
- [13] 黄敬峰, 王秀珍, 王人潮, 等. 天然草地牧草产量遥感综合监测预测模型研究 [J]. *遥感学报*, 2001, 5(1): 71 – 76.
- [14] 王正兴, 刘闯, 赵冰茹, 等. 利用 MODIS 增强型植被指数反演草地上生物量 [J]. *兰州大学学报*, 2005, 41(2): 10 – 16.
- [15] 朴世龙, 方精云, 贺金生, 等. 中国草地植被生物量及其空间分布格局 [J]. *植物生态学报*, 2004, 28(4): 491 – 498.
- [16] 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): 395 – 702.
- [17] 魏克家, 胡瑞宁, 马建华, 等. 青海湖环湖区草地生态环境问题与防治对策研讨 [J]. *四川草原*, 1997(2): 1 – 5.
- [18] 张旭萍, 郭连云, 田辉春. 环青海湖盆地气候变化对草地生态环境的影响 [J]. *草原与草坪*, 2008(2): 64 – 69.
- [19] 俞文政, 常庆瑞, 岳庆玲, 唐臻. 青海湖流域草地类型变化及其结构演替研究 [J]. *中国农学通报*, 2005, 21(4): 306 – 309.
- [20] 李林, 王振宇, 秦宁生, 等. 环青海湖地区气候变化及其对荒漠化的影响 [J]. *高原气象*, 2002, 21(1): 59 – 67.
- [21] Ringrose S, Musisi N S, Coleman T, *et al.* Use of Landsat Thematic Mapper data To assess seasonal rangeland changes in m Southeast Kalahari [J]. *Botswana Environmental Management*, 1999, 23(1): 125 – 138.
- [22] Saltz D, Schmidt H, Rowen M, *et al.* Assessing grazing impacts by remote sensing in hyperarid environments [J]. *Journal of Range Management*, 1999, 52(5): 500 – 507.
- [23] 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展 [J]. *地球科学进展*, 1998, 13(4): 327 – 333.
- [24] 丁国栋. 区域荒漠化评价中植被的指示性及盖度分级标准研究: 以毛乌素沙区为例 [J]. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 159 – 160.

Correlation Analysis of MODIS Vegetation Index and Grass Production in Qinghai Lake Basin

ZHOU Wei-wei, YIN Qing-jun

(College of Life and Geography Science, Qinghai Normal University, Xining , 810008, China)

Abstract: By referring to domestic and international methods based on remote sensing to monitor vegetation, we focus on how to monitor grassland change using the MODIS – NDVI remote sensing data. Vegetation index of typical grasslands in the Qinghai Lake watershed has been extracted from remote sensing images and compared with grass production data of 79 plots. Multiple regression models are established to study the correlation between MODIS vegetation index and grass production. The results show that these two factors have good correlation, even if there are certain differences in the degree of correlation by different regression models. The nonlinear regression model has obvious superiority in comparison with the linear regression model. This method is conducive to monitor grassland change in the Qinghai lake watershed.

Key words: Grass production; Vegetation index; Regression mode