

基于 EOS/MODIS 的几种植被指数

张学艺 (宁夏气象减灾防灾重点实验室, 宁夏银川 750002)

摘要 从 EOS 卫星的中分辨率光谱仪 MODIS 出发, 选取已定义的 40 多种植被指数中最常用的几种指数进行重点介绍, 并对已有的研究成果进行总结, 指出优劣, 为实际业务应用和科研提供参考。针对 MODIS 的植被指数合成算法进行了详尽介绍, 以将其与 AVHRR 植被指数的合成算法区别开来。结合西北当前在 MODIS 植被指数方面的研究和应用情况进行了总结。

关键词 MODIS; 植被指数; 合成算法

中图分类号 S127 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)26-12842-04

Introduction of Several Vegetation Indices Based on EOS / MODIS

ZHANG Xue-yi (Ningxia Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan, Ningxia 750002)

Abstract Starting from the EOS satellites MODIS medium-resolution spectrometer, several commonly used vegetation indices (VI) were introduced emphatically, the research results were summarized, and the advantages and disadvantages were pointed out which can provide a reference for practical business application and scientific research. In addition, the synthesis algorithm about MODIS VI was introduced in detail in order to be distinguished from AVHRR VI synthesis algorithm. Finally, the current research and application of MODIS VI in northwest was summarized.

Key words MODIS; Vegetation indices (VI); Synthesis algorithm

植被在地球系统中扮演着重要角色, 影响着地气系统的能量平衡, 是气候和人文因素对环境的重要敏感性指标, 一直被各国科学家和政府所关注。卫星遥感是监测全球植被的有效手段, 不受自然和社会条件的限制, 能迅速获取大范围观测资料。植被指数 VI (Vegetation index) 通常用红光波段 (Red) 和近红外 (NIR) 波段资料, 通过线性或非线性地组合运算得到, 由于组合方式不同所以有多种形式。目前, 已定义的有 40 多种, 被广泛地应用于草地生物及载畜量监测^[1-6]、作物长势^[7-10]、种植面积信息提取^[11-19]、生态环境评价^[20-22]、生物物理参数反演^[23-25]等方面。为此, 笔者抽取其中几个常用的、重要的指数按照其发展的历程进行介绍, 指出其优劣, 并结合宁夏的实际研究和应用情况提出未来其在西北地区的研究和应用前景。

1 EOS/MODIS 介绍

美国国家宇航局 (NASA) 于 1991 年起启动了地球行星使命计划 MIPE (Mission to planet earth), 目的是获取 5 大圈和太阳动力系统等信息, 进行土地利用和土地覆盖、气候季节和年际变化、自然灾害监测和分析、长期气候变率和变化以及大气臭氧变化等研究, 进而实现对大气和地球环境变化的长期观测和研究的总体目标, 提高对未来气候变化的预报能力。1999 年 12 月 18 日美国发射了地球观测系统 EOS (Earth observation system) 的第 1 颗上午轨道环境遥感卫星 Terra, 这是 NASA 地球行星使命计划中总数 15 颗卫星中的第 1 颗。2002 年 5 月 4 日发射了下午轨道的 Aqua 卫星。这 2 颗卫星搭载了中分辨率成像光谱仪 MODIS, 在 0.4 ~ 14.4 μm 内有 36 个离散光谱波段, 每条轨道扫描宽度约为 2 300 km。250 m 空间分辨率通道 2 个, 500 m 通道 5 个, 1 000 m 通道 29 个。每天可获得同一地区白天和夜间的重复观测资料 (低纬地区为 2 d), 双星可获得每天 4 次的遥感数据, 每 8 d 可以获得扫描角小于 20° 的全球覆盖图。EOS/MODIS 资

料由美国国家宇航局 (NASA)、美国地质调查局 (USGS) 与 Colorado 大学 3 个部门负责处理与分发。NASA 和 USGS 等部门为了建立资料处理模式和算法, 并指导对 MODIS 资料的科学讨论和应用, 成立了由美国、澳大利亚、法国等科学家组成的专门研究队伍, 分大气、陆地、海洋和定标 4 个科学组, 从 1991 年开始研究, 提出各种算法, 已经形成诸如气溶胶、云相、水汽、土地覆盖、植被指数、叶面积指数、海面温度、生物光合作用活动、陆面温度、海洋水色、积雪等 44 种标准数据产品, 每天为标准产品和中间产品生成 10 000 个以上的文件, 数据量超过 390 G。经过订正后的数据, 可以直接被科学研究使用。美国将 MODIS 数据产品分为 3 类: 测试数据 (Beta data)、临时数据 (Temporary data) 和验证数据 (Validated data), 只有经过校验的数据才是真正的科学数据, 可以直接用于其他研究和应用。

EOS/MODIS 植被指数产品使用的 level-1B 数据, 主要包括 2 种数据格式: 一种是由 NASA 生成的 HDF-EOS1B 数据, NASA 在 NAAC 网上发布, 可用 ENVI 软件直接打开; 一种是由美国 WISCONSIN 大学发布的 HDF1B 数据, 可用 IMAPP 软件进行处理。美国国家卫星气象中心业务服务系统使用的是 IMAPP 预处理软件, 对 0 级文件进行预处理生成 3 种分辨率 36 个通道 HDF 格式的 1B 数据。各植被指数产品是基于 1B 数据生成的。

2 几种 EOS/MODIS 植被指数介绍

植被指数的研究由来已久, 早在 20 世纪 60 年代 NOAA 系列卫星发射后, 为研究陆地表面生态问题, Jordan 在 1969 年就提出了比值植被指数, 其后数年对植被指数的研究就没有停止过^[26]。EOS 的一项主要任务就是研究陆地植被在较大尺度乃至全球过程中的作用, MODIS 是这项任务的主要承担者。相对于 NOAA/AVHRR 资料来说, EOS/MODIS 更具有优势, 且经过更严格和准确的坐标订正和大气订正, 有更高的空间和光谱分辨率, 将 NOAA 系列植被指数分辨率从 1 km 提高到 250 m, 监测精度大大提高。MODIS 在红光和近红外波段地面空间分辨率为 250 m, 探测波段窄, 避开了近红外波段的水汽吸收带。红色通道 (620 ~ 670 nm) 比 AVHRR 的

基金项目 国家自然科学基金 (40675071); 宁夏自然基金 (NZ0532)。

作者简介 张学艺 (1978 -), 男, 河南漯河人, 在读硕士, 工程师, 从事农业气象及生态遥感工作。

收稿日期 2009-05-04

(580 ~ 680 nm)更窄,对叶绿素的吸收更敏感,提高了对稀疏植被探测能力,但在高密度植被下比 NOAA 归一化植被指数 (NDVI) 更容易饱和。MODIS 在蓝光和绿光附近设有波段 3,用于大气气溶胶修正,在绿光附近设有通道 4,用于尝试解决浓密植被的饱和问题。MODIS 植被指数产品是在已有的植被指数的基础上改进设计的,以便使其适用于全球范围,并增强其对植被的敏感度,减少大气、观测角、太阳角、云等外部因素和叶冠背景等非植被内在因素的影响,提供时间、空间连续的可以比较的全球植被信息。其中,包括 16 d 合成的覆盖全球的 1 000、500 和 250 m 3 种分辨率的植被指数产品,以求回答全球生态系统是如何变化的,全球土地覆盖和土地利用中发生了那些变化,这些变化的原因是什么以及生态系统是如何响应和影响全球环境变化和碳循环等几个关键问题。

随着卫星技术的改进和提高,植被指数也在不断地发展和完善。到目前为止,被定义的植被指数大约有 40 多种,运用比较广泛和成熟的 MODIS 资料的植被指数主要包括比值植被指数 (RVI)、差值植被指数 (DVI)、NDVI、土壤调节植被指数 (SAVI)、大气抵抗植被指数 (ARVI) 和增强型植被指数 (EVI)。

2.1 MODIS-DVI 和 MODIS-RVI 设计植被指数的目的是要建立一种经验的或半经验的、强有力的、对地球上所有生物群体都适用的植被观测量。植被指数是无量纲的,是利用叶冠的光学参数提取的独特的光谱信号。绿色植被在红色可见光波段范围内 (0.6 ~ 0.7 μm) 的辐射绝大部分被植被吸收,反射率低,在近红外波段 ((0.7 ~ 1.1 μm) 的辐射被植被强烈反射,反射率高。根据这种特性,1969 年 Jordan 提出最早的一种植被指数——比值植被指数 (RVI)^[26],定义为:

$$RVI = \rho_{\text{mir}} / \rho_{\text{red}} \quad (1)$$

式中, ρ_{mir} 和 ρ_{red} 分别是近红外波段和红光波段的反射率。由于可见光波段的反射辐射随着植被覆盖度增大和长势增强会逐渐降低,而近红外波段与之相反,也就是式(1)中分子会越来越大,分母越来越小,越来越接近零,RVI 出现无穷大的情况。为避免这种情形的出现,有人提出了差值植被指数 (DVI) 的概念,定义为:

$$DVI = \rho_{\text{mir}} - \rho_{\text{red}} \quad (2)$$

DVI 对土壤背景的变化较 RVI 敏感,植被覆盖度高时,对植被的灵敏度有所下降。因此,对退耕还林(草)后期植被覆盖度有很大提高时对天然林的监测效果可能不大,但对退耕还林(草)初期可能有效。RVI 对高植被覆盖度时监测比 DVI 敏感,适合退耕还林草后期或天然林的监测。

2.2 MODIS-NDVI

2.2.1 植被等值线与植被指数等值线的区别。植被等值线是在一定的叶面积指数 (LAI) 和叶倾角分布 (LAD) 及一定的外部条件 (太阳角、视角,大气条件) 下,改变背景的光学性质时所观测到的叶冠辐射率的点对 (即近红外辐射率和红色辐射率值) 所组成的线。当 LAI 是唯一的变量时,斜率和近红外坐标轴的截距是 LAI 的函数而不是背景亮度的函数。这时,植被等值线表明近红外和红色辐射率与固定 LAI 时背景亮度变化的关系。植被指数有其自己的等值线,它代表着一

定的植被条件随叶冠背景条件变化的真实特点,不需要背景亮度和 LAI 就可以获得植被指数等值线。这 2 种等值线截然不同,一般也不一致,导致 NDVI 随背景亮度的变化而变化。为了获得不随背景亮度变化的 VI 指数等值线必须与“真实”的植被等值线一致。

植被参数相等的红色-近红外反射率的连线为“植被等值线”,它可以从辐射传输模式或观测数据获得。植被指数等值线也反映了导致相同植被指数值的红色-近红外反射率响应的集合。这些等值线可以将像元数据对应到植被量各种等级的模式参数。等值线的概念与植被指数的辐射传输理论有本质上的联系,为从植被信号中分解大气和背景信号提供了基础。

2.2.2 MODIS-NDVI 的含义。MODIS-DVI 或 MODIS-RVI 与 MODIS-NDVI 相比:首先,含义不同,前者主要是指近红外与红色通道反射率的差值或比值,是对 2 个波段反射率对比度的度量;后者则主要是从植被等值线与植被指数等值线有本质的联系出发,两者并不等效,MODIS-NDVI 所形成的植被指数等值线更接近于“真实”的植被等值线。其次,DVI、RVI 的取值范围不一致,不同人对其值的大小所代表的物理含义不确定,1978 年 Deering 提出了归一化植被指数 (NDVI),将其比值范围限定在 (-1,1) 内,定义为:

$$NDVI = \frac{X_{\text{mir}} - X_{\text{red}}}{X_{\text{mir}} + X_{\text{red}}} \quad (3)$$

这里的 X 可以是卫星接收的辐射、大气层顶显式反射率、地表辐射率、地表反射率或半球光谱反照率等的计数值,可以先作部分或完整的大气订正。比值形式的 NDVI 可以使某些与波段正相关的噪声及直射、辐射或漫射辐射发生变化,云、云影、太阳角和视角、地形、大气削弱等的影响最小化,在一定程度上消除定标和仪器误差的影响。尽管比值算法消去了变量的单位,但不同资料计算出的 NDVI 结果并不相同,使用时必须保持一致性。其消除噪声的程度取决于近红外与红色通道反射率噪声的相关性,和地面接近朗伯体的程度。

经研究,大气噪声对 NIR 和 Red 的影响具有“乘法性 (同时增加或减少)”,所以 MODIS-NDVI 进行作差和作除的运算,可以消除大部分与仪器定标、太阳角、地形、云影和大气条件有关辐照度的变化,增强对植被的响应能力。但是,经比值处理后残留噪声对 NDVI 的影响依然比较严重。这些残留噪声对 NDVI 的影响的总趋势为“使 NDVI 衰减”,而这种衰减可以通过对参与计算的原始数据作尽可能仔细的大气校正进行改善。另外,土壤本身对 NIR 和 Red 具有不同的反射值,这种差异在经过 NIR/Red 比值计算后,在 NDVI 上仍然有残留。即使相同的植被生长在不同的土壤上,理论上应该具有相同的 NDVI,但实际上会因为土壤的变化而发生变化^[28]。

总的来说,NDVI 对绿色植物敏感,与植物分布密度呈线性关系,是植物生长状况和空间分布密度的最佳指标,但在低植被覆盖区存在扩大和在高植被区存在压缩的情况^[29]。

2.3 MODIS-ARVI 和 MODIS-SAVI 比值型指数的主要缺点是非线性使得对一定的地表覆盖类型不敏感,也不能解

释附加的大气效应(路径辐射)、叶冠背景、叶冠双向反射的各向异性,特别是叶冠阴影等问题。为了减少大气噪音的影响,1992年Kaufman和Tanre发展了ARVI。其原理是根据大气对红光通道的影响比近红外通道大得多的特点,在定义NDVI时通过蓝光和红光通道的辐射差别以有效减少植被指数对大气的依赖,其具体的定义为:

$$ARVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{rb}}{\rho_{nir} + \rho_{rb}} \quad (4)$$

式中, $\rho_{rb} = \rho_{red} - \gamma(\rho_{blue} - \rho_{red})$; ρ_{nir} 、 ρ_{red} 、 ρ_{blue} 分别为近红外、红色可见光和蓝色可见光大气订正后的地表反射率; γ 为光路辐射订正系数。研究表明,ARVI对大气的敏感性比NDVI约减小4倍^[30]。 γ 是决定ARVI对大气调节程度的关键参数,并取决于气溶胶的类型,Kaufman推荐的 γ 值为1.00,仅能消除某些尺寸气溶胶的影响,有很大的局限性;且ARVI要先通过辐射传输方程的预处理来消除分子和臭氧的作用,进行预处理时需要输入的大气实况参数往往是难以得到的,给具体应用带来困难。为此,张仁华等在ARVI的基础上,运用大气下向光谱的同步观测实例值以及大气辐射传输方程,得到纠正NDVI的关键参数 γ ,改进了ARVI的 γ 始终等于1.00的计算方法;同时,也不必采用辐射传输模型进行预处理,得到新的抗大气影响植被指数(IAVI)。

$$IAVI = \frac{\rho_{nir} - [\rho_{red} - \gamma(\rho_{blue} - \rho_{red})]}{\rho_{nir} + [\rho_{red} - \gamma(\rho_{blue} - \rho_{red})]} \quad (5)$$

式中, γ 值的变化范围为0.65~1.21。根据实际观测研究表明,大气对IAVI的影响误差为0.4%~3.7%,比NDVI的14.0%~31.0%明显减小。

观测和SAIL模式敏感性试验表明,所有改进的植被指数在降低土壤和大气噪音方面均优于NDVI。但由于引入蓝光通道致使最终的植被指数分辨率由250m降至500m,或者要求“锐化”和蓝色与红色及近红外的配准。土壤背景影响NDVI的基本规律是:当背景变暗时,NDVI有增加趋势。土壤影响最大的地区不是植被非常稀少的地区,而是中等覆盖地区。在植被覆盖为40%下,当LAI=1时,树冠背景土壤变化对植被指数影响最大,这时Red变化范围为0.06~0.33,对应的NDVI变幅为0.30;当LAI>2时,土壤影响消失,植被指数的饱和问题出现;当LAI<1时,因为NDVI本身数值小,由土壤引起的变幅也比较小。土壤噪音损害了NDVI的空间一致性^[32]。为了消除土壤背景影响,在较小的尺度已经开展了许多研究。如Richardson和Wiegand建立了基于“土壤线”概念的“垂直植被指数(PVI)”,Clevers建立的“权重差植被指数(WDVI)”改善了对LAI的估计,同时减小了土壤背景的影响。1988年Huete利用植被等值线方程建立了“SAVI”,之后又提出修正的土壤调节植被指数(MSAVI),该指数后来又被多次改进,但在更大的区域和全球尺度目前的NDVI还没有对土壤背景影响进行特别订正。其定义为:

$$SAVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red} + L}(1 + L) \quad (6)$$

$$MSAVI = (2\rho_{nir} + 1 - \sqrt{(2\rho_{nir} + 1)^2 - 8(\rho_{nir} - \rho_{red})})/2 \quad (7)$$

式中, L 为土壤调节参数。高志海等利用TM资料分析了NDVI、SAVI和MSAVI对植被信息的提取能力,结果表明,SAVI提取植被信息效果较好,消除土壤影响和适应植被变化的能力强^[33]。 L 是SAVI提取植被信息的关键,Huete推荐的最佳 L 值(0.5)有很大局限性。池宏康利用NOAA-AVHRR数据评价了适于提取黄土高原地区植被信息的最佳植被指数是MSAVI^[34]。已经发现,土壤和大气对NDVI的影响不是独立的,而是以一种复杂的方式相互作用。在SAIL模式敏感性分析中发现,大气引起的NDVI噪音在暗的土壤背景下是十分显著的,而土壤对NDVI产生的噪音随着大气气溶胶含量的增加而降低。这样,增加大气噪音降低了NDVI信号,但也最小化了土壤对NDVI的噪音。这些独立的和复合的影响使得NDVI在精确估计植被生物物理量及其时间(年或年际)变化的能力上产生误差。

2.4 MODIS-EVI 1995年,Liu和Huete综合ARVI和SAVI的理论基础,引入一个反馈项来同时对二者进行订正,形成了增强的植被指数EVI,其定义为:

$$EVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + C_1 \times \rho_{red} - C_2 \times \rho_{blue} + L}(1 + L) \quad (8)$$

式中,参数 C_1 和 C_2 描述了用蓝色通道对红色通道进行大气气溶胶散射修正, C_1 、 C_2 和 L 分别取为6.0、7.5和1.0。增强型植被指数首先不受Nir/Red比值算法的约束,综合考虑了气溶胶和土壤背景的影响,克服了高植被区植被指数容易饱和的现象,能够比较真实地反映植被的生长变化过程,能更好地反映区域内植被的空间差异和在地表分类、地表参数和生物物理参数反演等的定量化遥感方面开展监测和研究工作。它的主要缺点是蓝色通道的分辨率为500m,这将使最终的植被指数分辨率由250m降到500m,或者要求“锐化”和蓝色波段与红色及近红外的配准。

3 MODIS 植被指数的合成

目前,为人们所接受的AVHRR-NDVI合成产品处理方法是最大值合成方法(MVC)。该方法通过云检测、质量检查等步骤后,逐像元地比较几张NDVI图像并选取最大的NDVI值为合成后的NDVI值。对大气散射各向异性的考虑,MVC倾向于选择最“晴空”的(最小光学路径)、最接近于星下点和最小太阳天顶角的像元。MVC由于其简单性而引人注目,但主要的缺点是地表的双向反射影响没有被充分考虑。MVC在近朗伯体表面的情况下工作很好,这时像元的变化主要是大气污染和光学路径的变化所引起的。当朗伯体为各向异性表面所取代时,MVC选择结果变得不可预料,倾向于选择远离星下点和较大的太阳天顶角的像元。前向散射产生较高的NDVI值,后向散射则相反。

MODIS植被指数合成应用BRDF模式将角度订正到一致的标准化的视角和太阳天顶角的条件下,在仪器特性和地表特性的限制条件下尽可能增加空间和时间的覆盖度,同时保证合成资料的质量和一致性,使得植被指数可以阐明和重构生物气候学变化并区分植被的年际变化。MODIS植被指数使用新的合成算法,采用“限定视角内最大值合成法(CV-MVC)”,选择最小视角内的最佳像元,将MODIS-NDVI精度提高了5%~8%,引入“双向反射分布函数(BRDF)”的

BRDF/CV-MVC 合成算法,将 MODIS-NDVI 精度提高了 20%~30%,进一步提高了 EVI 对植被季节性变化的敏感性,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,但是 BRDF 订正只适合于云较少的持续的半干旱和干旱地区。

MODIS 的合成标准更加侧重于角度的考虑,而将 MVC 作为补充。由于两种方法共存,植被指数图像中会有块状图案,但不会比单纯使用 MVC 的现有方法更严重(后者的块状图案是由于角度和日期选择引起的)。MODIS BRDF 和 CV-MVC 综合的合成方法表现更好些,MODIS 资料的合成算法的最终评价取决于资料质量、产品评价和用户要求。

4 结语

我国地域辽阔,中等空间分辨率的遥感数据对我国大区域的资源、环境、生态学等领域的科学研究比较适宜。因此,MODIS 数据成为我国资源、环境、生态研究质量较好、廉价的数据资源。为了推动 MODIS 数据在多学科领域使用,启动我国自己的 MODIS 数据产品开发、地面检验和应用示范项目是十分必要的。我国与美国 MODIS 地面站数据产品的开发差距很大。虽然我国许多部门和单位对于 MODIS 数据的应用十分积极,建立了很多 MODIS 接收站(甚至多于美国已有 MODIS 接收站的数目)。但是,在 MODIS 数据处理、产品开发、数据产品验证与应用方面缺乏国家层面上的统筹规划。在 MODIS 数据产品的开发方面仍是空白。表现在:我国没有自己的 MODIS 产品标准、产品规格,也没有自己开发的 MODIS 2~4 级数据产品,多数产品是 1B 级产品。另一个较大差距在于对 MODIS 数据产品的验证。我国目前没有适合中国自然环境条件和工作要求的 MODIS 数据产品的处理标准,也尚未对 MODIS 数据的产品标准、规格、质量进行验证,MODIS 数据的使用受到很大限制,研究或应用成果难以得到国际权威部门的认可,影响到区域的、专题项目的交流、比较与分析。就植被指数产品而言,尽管 NASA 已经通过 Internet 提供少量的植被指数产品,但许多用户仍然很难及时获得这些产品,特别是高分辨率的产品,NASA 的 MODIS 植被指数产品也存在一些问题,如云的残留、16 d 合成周期可能对某些植被监测不适合及用统一的参数是否适用于全球植被监测等问题。

就目前西北地区的研究和应用来看,还处在一个较低的阶段,主要表现在:①研究人员少,理论研究基础薄弱,主要集中在高校或者科研单位。②应用的范围窄且深度不够,研究多集中在植被产品的应用对比、产草量估计、作物面积提取等方面,都是应用成熟的指标产品,没有本质的改变。③相应的技术力量和设备落后,甚至还有很多空白。各种高科技设备的配备还比较缺,尤其是大型的地面调查、测定设备很多还是空白。④行业间还存在壁垒。存在数据不公开、技术保密、仪器不共享等问题。

结合本身与国内先进地区存在的差距和现状,未来一个阶段应该把主要方向和精力放在:①各种植被指数模式的参数本地化上面,如适合西北地区的 L 、 C_1 、 C_2 的数值定义。②加大、加强数据产品的地面订正工作。③加大基础设施的投入力度,购置相应的仪器,如单通、双通或多通道高光谱仪、

叶面积仪、土壤湿度仪等。④加强大型仪器和试验研究数据的共享力度,开展多行业间的大型试验研究,如开顶箱试验、FACE 试验等。

参考文献

- [1] 陶伟国,徐斌,刘丽军,等.不同利用状况下草原遥感估产模型[J].生态学杂志,2007,26(3):332-337.
- [2] 陶伟国,徐斌,缪建明.草地遥感估产中不同尺度信息源关联方法对比及评价[J].中国草地学报,2006,28(4):67-73.
- [3] 渠翠平,关德新,王安志,等.基于 MODIS 数据的草地生物量估算模型比较[J].生态学杂志,2008,27(11):2028-2032.
- [4] 杨英莲,邱新法,殷青军.基于 MODIS 增强型植被指数的青海省牧草产量估产研究[J].气象,2007,33(6):102-106.
- [5] 刘爱军,邢旗,高娃,等.内蒙古 2003 年天然草原生产力监测及载畜能力测算[J].内蒙古草业,2003,15(4):1-3.
- [6] 李聪,肖继东,曹占洲,等.应用 MODIS 数据估算草地生物量[J].干旱区研究,2007,24(3):86-391.
- [7] 张震,张兵,卫征,等. MODIS 光谱指数监测小麦长势变化研究[J].中国图像图形学报,2005,10(4):420-424.
- [8] 张树普,李登科,颜胜安,等. MODIS 植被指数在关中农作物长势监测评估中的应用[J].陕西农业科学,2006(4):71-73.
- [9] 吕建海,陈曦,王小平,等.大面积棉花长势的 MODIS 监测分析方法与实践[J].干旱区地理,2004,27(1):118-123.
- [10] 刘惠敏,黄勇,苟尚培.基于 MODIS 冬小麦长势监测研究[J].气象科学,2007,27(2):187-195.
- [11] 贾建华,刘良云,竞霞,等.基于多时相 MODIS 监测冬小麦的种植面积[J].遥感信息,2005(6):49-51.
- [12] 韩素琴,刘淑梅. EOS/MODIS 卫星资料在监测冬小麦面积中的应用[J].天津农学院学报,2004,11(2):26-28.
- [13] 乔红波,张慧,程登发.不同时期 EOS/MODIS-NDVI 监测河南省冬小麦面积[J].安徽农业科学,2008,36(27):11940-11941.
- [14] 邹金秋,陈佑启,UCHIDA S,等. MODIS 数据提取冬小麦面积及精度分析[J].农业工程学报,2007,23(11):195-201.
- [15] 顾晓鹤,潘耀忠,朱秀芳,等. MODIS 与 TM 冬小麦种植面积遥感测量一致性研究[J].遥感学报,2007,11(3):350-358.
- [16] 李霞,王飞,徐德斌,等.基于混合像元分解提取大豆种植面积的应用探讨[J].农业工程学报,2008,24(1):213-217.
- [17] 景毅刚.利用 EOS/MODIS 信息提取陕西冬小麦种植面积研究[J].陕西农业科学,2008(2):95-98.
- [18] 王云秀,张文宗,姚树然,等.利用 MODIS 数据监测河北省冬小麦种植信息[J].河北遥感,2006(2):21-24.
- [19] 许文波,张国平,范锦龙,等.利用 MODIS 遥感数据监测冬小麦种植面积[J].农业工程学报,2007,23(12):144-150.
- [20] 谭德宝,胡艳,夏帆,等. MODIS 数据在长江流域生态环境监测中的应用[J].人民长江,2006,37(4):5-8.
- [21] 包安明,张小雷,方晖,等. MODIS 数据在新疆生态环境建设中的应用[J].干旱区地理,2004,27(2):256-260.
- [22] 韩爱惠.用 MODIS 数据监测京津风沙源工程区植被指数的选择及合成[J].国土资源遥感,2004,61(3):54-56.
- [23] 程乾,黄敬峰,王人潮,等. MODIS 植被指数与水稻叶面积指数及叶片叶绿素含量相关性研究[J].应用生态学报,2004,15(8):1363-1367.
- [24] 孙鹏森,刘世荣,刘京涛,等.利用不同分辨率卫星影像的 NDVI 数据估算叶面积指数(LAI) [J].生态学杂志,2006,26(11):3826-3834.
- [25] CHENG Q, HUANG J F, WANG R C, et al. Analyses of the correlation between rice LAI and simulated MODIS vegetation indices, red edge position [J]. Transactions of the Chinese Society of agricultural Engineering, 2003, 19(5):104-108.
- [26] JORDAN C F. Derivation of leaf 81"ea index from quality of light on the forest floor [J]. Ecology, 1969, 50:663-666.
- [27] DEERING D W. Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors [M]. College Station, TX: Texas A&M University, 1978:338.
- [28] 王正兴,刘闯,ALFREDO H. 植被指数研究进展:从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI [J]. 生态学报,2003,23(5):979-987.
- [29] 张培松,武伟,刘洪斌.基于 MODIS 影像对 NDVI 和 EVI 的分类研究[J].西南师范大学学报:自然科学版,2007,32(2):70-75.
- [30] 郭妮.植被指数及其研究进展[J].干旱气象,2003,21(4):71-75.
- [31] 张仁华,饶衣新,廖国男,等.植被指数的抗大气影响探讨[J].植物学报,1996,38(1):53-62.
- [32] 王正兴,刘闯,陈文波,等. MODIS 植被指数 EVI 与 NDVI 初步比较[J].武汉大学学报:信息科学版,2006,31(5):407-410.

1932年在展示原有资源标本外,增加了东北、蒙古等地的民俗陈列内容,改馆名为“满洲资源馆”。

在20世纪30~40年代,该馆收集科技情报,培训业余采集标本骨干,编辑出版各种刊物,同时加紧掠夺我国资源,为日本在东京、大阪筹建的满蒙资源馆提供成套标本,并以标本与各国交换。

1945年8月23日,“满洲资源馆”由中国长春铁路公司接管,易名“东北地方志博物馆”,中国长春铁路研究所委托苏联地质专家叶果洛夫担任馆长,并对原有的陈列进行修整。

1950年11月,中长铁路局将该馆移交大连市人民政府文教局管理,改馆名为“东北资源馆”,调整并充实了陈列内容,主要展示我国东北地区的自然资源和建国后的新成就。1959年,改制为大连自然博物馆。殖民时期的博物馆在祖国经历了极端苦难之后,在新时代的今天,迎来了辉煌。

6.3 熊岳植物园(1915年) 1909年,日资南满洲铁道株式会社在辽宁熊岳城设苗圃。1913年,改为公主岭农事试验场分场。起初,分场负责选定造林树种和确定育苗方法,后来进行造林基础研究。1915年,日本人经营管理。1945年“八·一五”光复后,始归中国人所有。经多次更名,1984年被称为辽宁省果树科学研究所熊岳树木园,简称熊岳树木园^[19-20]。

7 日本人在山东建立的自然类博物馆——山东产业馆

1938年,青岛被日军占领,日本人浅田龟吉侵占中国海洋研究所,在院内兴建日本式木板房一排,成立山东产业馆,旨在收集山东及华北地区经济情报。1940年,增建部分木板房作为展室,展出各种矿石、宝石、经济作物、工业产品、酒类等标本和部分实物。

8 结语

带着了解中国、开发未知世界、占有资源宝藏等种种意图,带着专业知识、博学人才、丰厚财力,外国人以绝对优势强势进入中国诸多领域,如政治、经济、文化等。100余年以后,以一种开放的心态看这一段历史,似乎不再纠缠外国人在中国本土开办博物馆的最初目的,不再多说文化的进入或侵入,不再计较人类共同的文化遗产和自然资源的存放地。中国近现代博物馆初始于外国人所创办,外国的“有”与本国的“无”,外国的“强”与本国的“弱”,形成一股强烈的冲击

波,撞击开国人封闭的视野,打开国人锁闭的思维,通过博物馆里的“小世界”,看到了外面的大世界、一幅“世界意象”(“world image”罗伯逊)。外人办博物馆,为国人打开了一扇西学之窗。应关心这股强劲的西风对封闭世界的冲击和影响,正是更年轻又充满活力的文明的进入,才带来文明古国文化史上的新篇章。早期由外国人创办的自然类博物馆,其开创性的作用不容忽视。新奇与刺痛之余,国人艰难起步,奋起直追,中国博物馆事业在若干年以后才真正发展起来。

参考文献

- [1] 王宏钧. 中国博物馆学基础(修订本)[M]. 上海:上海古籍出版社, 2001:72-99.
- [2] 程军. 1901-1911年间中国博物馆事业第一次高潮的历史原因分析[C]//自然科学与博物馆研究(第三卷). 北京:高等教育出版社,2007:175-183.
- [3] 佚名. 震旦博物院概况[J]. 中国博物馆协会会报,1935,1(3):2-9.
- [4] 中国博物馆协会. 中国博物馆一览[M]. 北平:中国博物馆协会事务所, 1936:50-53,75-82.
- [5] 王神荫. 济南“广智院”始末[M]//中国人民政治协商会议山东省济南市委员会文史资料研究委员会. 济南文史资料选辑第4辑. 1984:169-182.
- [6] 民族宗教. 中华文史资料文库第18卷20-18 民族 宗教[M]. 北京:中国文史出版社,1996:881-884.
- [7] 秦一心,宿霞,孙竹兮. 济南老街史话 第1册[M]. 济南:黄河出版社, 2007:82.
- [8] 散霞. 旧上海的博物馆[EB/OL]. (2008-04-01) http://www.archives.sh.cn/docs/200804/d_185356.html.
- [9] 邱占祥. 桑志华和他的哺乳动物化石藏品——试谈桑志华藏品中哺乳动物化石的历史及现实意义[C]//孙景云. 天津自然博物馆建馆90周年论文集. 天津:天津科学技术出版社,2004:6-10.
- [10] 孙景云,张丽黛,黄为龙. 德日进与桑志华在中国北方的科学考察[C]//孙景云. 天津自然博物馆建馆90周年文集. 天津:天津科学技术出版社,2004:15-18.
- [11] 阎宝珍. 德日进(P. Teilhard)在北疆博物院的工作及主要著述[C]//孙景云. 天津自然博物馆建馆90周年文集. 天津:天津科学技术出版社,2004:173-175.
- [12] 于树香. 享誉世界的北疆博物院[N]. 天津日报,2004-11-29(10).
- [13] 黎先耀. 博物馆学新编[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1983:5.
- [14] 佚名. 华西协合大学博物院概况[J]. 中国博物馆协会会报,1935,1(3):11.
- [15] 汪国权. 20世纪的中国植物园[C]//王渝生. 第七届国际中国科学史会议文集. 郑州:大象出版社,1999:434.
- [16] 黎盛臣. 中国植物园参观指南[M]. 北京:金盾出版社,1991:336.
- [17] 单树模. 中国名山大川辞典[M]. 济南:山东教育出版社,1992:1450.
- [18] 大连自然博物馆馆史[EB/OL]. <http://www.dlnm.org>.
- [19] 南京林业大学林业遗产研究室. 中国近代林业史[M]. 北京:中国林业出版社,1989:518.
- [20] 朱光亚,周光召. 中国科学技术文库 普通卷(建筑工程、水利工程)(上、下卷)[M]. 北京:科学技术文献出版社,1998:1620.

(上接第12845页)

- [33] 高志海,魏怀东,丁峰,等. TM影像VI提取植被信息技术研究[J]. 干旱区资源与环境,1998,12(3):98-104.
- [34] 池宏康. 黄土高原地区提取植被信息方法的研究[J]. 植物学报,1996,

38(1):40-44.

- [35] 杨嘉,郭妮,贾建华. 西北地区MODIS/NDVI与MODIS/EVI对比分析[J]. 干旱气象,2007,25(1):38-43.