

基于遥感的青海省植被覆盖时空变化定量分析

王莉雯^{1,2}, 卫亚星³, 牛铮¹

(1. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029)

摘要: 使用 1 km 分辨率 MODIS NDVI 时间序列数据, 采用决策树分类、监督分类和非监督分类相结合的综合分类方法, 将青海省土地覆盖类型划分为 14 个类别. 这种分类方法重点突出了植被, 特别是稀疏植被(包括稀疏草地和稀疏灌丛)的空间分布. 在将青海省分为 5 个高程带的基础上, 使用 GIS 软件的空间分析功能, 对青海省 2001 ~ 2006 年的地表植被覆盖在各级高程带上的空间分布和时间序列变化进行了定量分析. 结果表明, 近 5 a 青海省的植被覆盖有所改善, 植被覆盖面积从 2001 年的 370 047 km² 增加到 2006 年的 374 576 km², 植被覆盖率增加了 0.63%. 青海省 5 级高程带中高山地带的植被覆盖率最高, 达到 67.92%. 在青海省各级高程带上, 高山地带中覆盖度草地的分布面积最大, 为 94 003 km². 高山地带高覆盖度草地的面积增加最多, 为 1 280 km². 5 a 间植被覆盖变化最大的是高山地带稀疏草地向中覆盖度草地的转变, 转变面积达到 15 931 km².

关键词: 青海; 植被; MODIS NDVI; 数字高程模型; 空间分布
中图分类号: X87 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)06-1754-07

Analysis of Vegetation Spatial and Temporal Variations in Qinghai Province Based on Remote Sensing

WANG Li-wen^{1,2}, WEI Ya-xing³, NIU Zheng¹

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Urban and Environmental Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract 1 km MODIS NDVI time series data combining with decision tree classification, supervised classification and unsupervised classification was used to classify land cover type of Qinghai Province into 14 classes. In our classification system, sparse grassland and sparse shrub were emphasized, and their spatial distribution locations were labeled. From digital elevation model (DEM) of Qinghai Province, five elevation belts were achieved, and we utilized geographic information system (GIS) software to analyze vegetation cover variation on different elevation belts. Our research result shows that vegetation cover in Qinghai Province has been improved in recent five years. Vegetation cover area increases from 370 047 km² in 2001 to 374 576 km² in 2006, and vegetation cover rate increases by 0.63%. Among five grade elevation belts, vegetation cover ratio of high mountain belt is the highest (67.92%). The area of middle density grassland in high mountain belt is the largest, of which area is 94 003 km². Increased area of dense grassland in high mountain belt is the greatest (1 280 km²). During five years, the biggest variation is the conversion from sparse grassland to middle density grassland in high mountain belt, of which area is 15 931 km².

Key words: Qinghai; vegetation; MODIS NDVI; DEM; spatial distribution

土地利用/覆盖的研究是当前全球环境变化研究领域的核心问题之一^[1-3]. 植被是土地覆盖的最主要部分, 其变化对全球能量循环及物质的生物化学循环具有重要的影响. 遥感技术因其具有宏观、综合、动态、快速的特点, 已经成为获取地表植被覆盖变化信息的最为经济有效的手段. 地形是导致景观格局差异的重要原因, 地形特征通常成为影响植被空间分布的重要因素. 在大尺度空间分析中, 海拔是影响植被空间分布的决定因素^[4-13].

本研究旨在分析我国高寒地区的植被动态变化, 认识不同植被在不同高程带上的地理分异规律, 揭示高寒植被的地带性分布特征. 本研究提出了数字高程模型和高时间分辨率遥感数据相结合的高寒

植被覆盖变化监测方法.

1 研究区概况

研究区域为青海全省. 青海省位于中国的西部, 青藏高原东北部, 与中国的新疆、四川、甘肃、西藏 4 省区相邻. 地理坐标为东经 89°35' ~ 103°04', 北纬 31°39' ~ 39°19'. 全省东西长约 1 200 km, 南北宽约 800 km. 青海省独特的自然环境决定了该省植物区系和植被类型亦具有相应的特征. 青海现有的森林

收稿日期: 2007-06-22; 修订日期: 2007-08-30
基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2007CB714406); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-313); 遥感科学国家重点实验室科研基金项目(KQ060006)
作者简介: 王莉雯(1971 ~), 女, 博士研究生, 工程师, 主要研究方向为遥感应用, E-mail: wliw9585@163.com

资源主要分布在江河源头的高山峡谷地带,森林植被稀少,结构简单.树种高寒性突出,分布海拔高^[14~16].青海省地势总的格局在南北差异上表现出南北高中部低、东西差异上呈现西部高东部低的特点.青海省属大陆性干旱、半干旱高原气候^[17,18].

2 数据准备

2.1 数据源

(1)遥感数据 本研究采用的遥感数据来源于美国 LPDAAC(Land Process Distributed Active Archive Center, U.S.A)的亚洲地区 1 km 分辨率 MODIS 植被指数产品中的归一化植被指数(NDVI),空间分辨率为 1 000 m.

(2)DEM 数据 数据格式为 TIFF 格式,空间分辨率是 90 m.

(3)1/100 万中国植被图集.

(4)青海省界矢量图.

(5)青海 TM 和 ETM 数据 空间分辨率是 30 m,投影类型是经纬度投影,参考椭球体是 WGS84.

2.2 数据预处理

利用 NASA 提供的 MODIS 图像专门处理工具 MRT 对 MODIS 数据产品进行处理,对同时相的中国所在区域的 20 个文件 MOD13A2 中的 NDVI 波段进行镶嵌、地理几何校正与重采样.利用 ENVI4.0 软件镶嵌出整个研究区的图像,利用重采样算法,将 90 m 数据转换成 1 000 m 数据,再利用青海省的掩模图层提取出研究区的 DEM 影像.选用 ArcGIS9.0 桌面端处理软件,对从国家基础地理信息共享网上下载的中国省界矢量数据进行处理.

2.3 野外调查

本研究的目的是调查植被的分布状况,为了尽可能保证实地植被覆盖的真实情况,因此野外调查工作选在 7 月份(青海植被生长状况最好的季节)进行.野外调查路线是沿着不同土地覆盖类型的边界进行的,途经乐都、平安、西宁、湟源、共和、兴海、玛沁、达日等地.野外工作主要包括:记录典型地段的植被类型和植被覆盖状况.在野外踏勘过程中,使用 GPS 对典型地点精确定位,将实地植被与遥感图像进行对比.

3 研究方法

3.1 青海省土地覆盖分类方法实现步骤

在野外实地调查和综合考虑国内外各种土地覆盖分类方法的基础上^[19,20],根据青藏高原土地覆盖

类型的特征和 MODIS 数据的特点,将青海省土地覆盖类型划分为 14 个类别.这种分类体系,重点突出了植被,特别是稀疏植被(包括稀疏草地和稀疏灌丛)的空间分布.

- 青海省土地覆盖分类主要实现步骤如下:
- (1)从 16 d 合成的 MODIS NDVI 图像上,目视解译出水体和永久性冰雪,在此过程中,用 SRTM 数字高程模型(DEM)作为参考.
 - (2)城市建筑用地从 NDVI 合成图像(红:6 月份的 NDVI 图像,绿:7 月份的 NDVI 图像,蓝:8 月份的 NDVI 图像)上目视解译出来,同时需要参考 DCW (Digital Chart of the World)网站上下下载的该地区城市 GIS 图层.
 - (3)植被和非植被区域可以用阈值分开,如果全年的 NDVI 最大值 < 0.113,那么这个像元所代表的土地覆盖类型为非植被区域;如果全年的 NDVI 最大值 > 0.270,那么这个像元所代表的土地覆盖类型为植被覆盖区域;如果全年的 NDVI 最大值在 0.113 和 0.270 之间,那么这个像元所代表的土地覆盖类型是植被还是非植被,暂时还不能确定.这是因为作为植被下垫面的土壤反射光会影响稀疏植被的 NDVI 值.
 - (4)采取下述的准则来区分待确定区域,如果一个像元同时满足下面 2 个条件,那么该像元所代表的土地覆盖类型既为植被.条件 I: NDVI 的最大值出现在 6~9 月之间(全年降水量主要集中在几个月期间);条件 II: 4~10 月 NDVI 的标准偏差大于阈值 0.180.上述阈值的确定是通过结合高分辨率的 TM 和 ETM 图像和野外观测数据,反复对比全年 NDVI 最大值图像而获得的.因为野外调查的路线是沿着不同土地覆盖类型的边界进行的,所以上述所确定的阈值具有区域代表性.
 - (5)将已划分出的非植被区域进一步划分为戈壁和沙漠区域,需要选择一幅无云的 MODIS NDVI 图像.
 - (6)将已划分出的植被区域用 NDVI 的季节变动和辅助数据进一步分类.为了划分出林地、灌丛、耕地和草地,采用监督分类法进行分类,选用了 3 幅 NDVI 图像,图像分别来自 8 月份(植被生长的最高峰)、5 月份(植被开始返青时间)、3 月份(植被非生长季).将上面划分出的林地区域,采用中国林带地图,进一步划分出落叶林和针叶林区域;可以参考农牧过渡带地图识别草地和耕地的混合类型,也可以参考 SRTM DEM 数据识别位于低地区的耕地(一

季作物)。

青海省 2006 年土地覆盖分类的数量化结果如表 1 所示。

为评价分类结果,在分类图上随机选取了 3 598 个样点进行精度评价,使用的验证资料有:①辅助数

据源中的中国 1/100 万《中国植被图》和土地利用现状图;②2000 ~ 2005 年的地面草地抽样调查数据;③青海省 TM 和 ETM 数据.采用混淆矩阵和 Kappa 系数进行验证,得出分类总精度为 87.68%,Kappa 系数为 0.82,达到了比较满意的分类效果。

表 1 2006 年青海省土地覆盖分类结果统计表				
Table 1 Classification result of land cover in Qinghai Province in 2006				
代码	类别名称	说明	面积/km ²	百分比/%
1	城市	建筑物和其它人造结构覆盖的区域	97	0.01
2	水体	湖泊、河流和水库	14 217	2.00
3	冰雪	终年被积雪和冰川所覆盖的陆地	2 688	0.38
4	沙漠	表面是裸露的、松散的沙质土壤,全年植被覆盖度不超过 10%	148 065	20.84
5	戈壁	表面是裸露的、松散的石质土壤,全年植被覆盖度不超过 10%	171 977	24.21
6	稀疏灌丛	木本植被的高度低于 2 m,灌木冠层覆盖度在 10% ~ 40% 之间	15 647	2.20
7	低覆盖度草地	草本植物的覆盖度低于 20%,树木和灌木的覆盖度低于 10%	19 510	2.75
8	草地耕地混合体	耕地和天然草本植物的镶嵌体,两者所占百分比都不超过 60%	13 400	1.89
9	中覆盖度草地	草本植物的覆盖度在 20% ~ 40% 之间,树木和灌木的覆盖度低于 10%	208 351	29.33
10	郁闭灌丛	木本植被的高度低于 2m,灌木冠层覆盖度大于 40%	16 586	2.33
11	高覆盖度草地	草本植物的覆盖度大于 40%,树木和灌木的覆盖度低于 10%	95 709	13.47
12	针叶林	由常绿或落叶针叶木本植被组成,包括郁闭度在 15% ~ 40% 之间的非郁闭针叶林和郁闭度大于 40% 的郁闭针叶林,高度大于 2 m	2 063	0.29
13	针阔混交林	针叶林和阔叶林混合类型占优势,冠层覆盖度大于 40%,高度大于 2 m	1 120	0.16
14	阔叶林	由落叶阔叶木本植被组成,包括郁闭度在 15% ~ 40% 之间的非郁闭阔叶林和郁闭度大于 40% 的郁闭阔叶林,高度大于 2 m	990	0.14
合计			710 420	100.00

3.2 青海省高程带的划分

在查阅大量文献的基础上^[21~24],充分考虑光照、气温、降水等气候因素,并结合地形、地貌等地理因素和植被区系、土壤等因素,将青海省海拔分为 5 个带,以便于对青海省植被的空间分布规律展开定量分析.青海省具体的 5 级高程分带是:

- (1)平缓地 海拔高度从该省最低的1 664 m 到 2 800 m.
- (2)低山地 海拔高度2 800 ~ 3 300 m.
- (3)中山地 海拔高度3 300 ~ 3 900 m.
- (4)高山地 海拔高度3 900 ~ 4 900 m.
- (5)极高山地 海拔高度4 900 m 到该省最高的 6 578 m.

图 1 是青海省 5 级高程带.分带体系中高山地带所占面积最大,达到357 776 km²,占青海省总面积的 50%.其次为中山地(占 14%)、低山地(占 14%)、极高山地(占 12%)、平缓地(占 10%).由此可见,青海省主要区域的海拔高度在3 900 ~ 4 900 m 之间.

3.3 青海省各级高程带上植被覆盖的空间分布和年际变化的计算

使用 ENVI 软件,采用文中提出的青海省土地覆盖分类方法,分别对 2001 ~ 2006 年各年的 MODIS

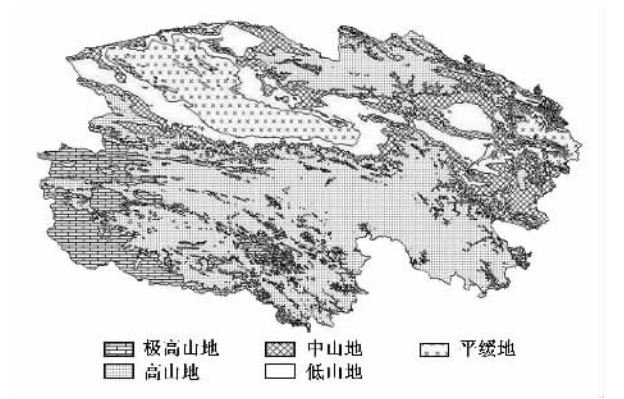


图 1 青海省 5 级高程带

Fig. 1 Five grade elevation belts map in Qinghai Province

NDVI 全年最大值图像做了分类,得到 2001 ~ 2006 年各年的青海省植被空间分布图.然后使用 ArcGIS 软件,对青海省高程分带图和青海省 9 种植被类型空间分布图,做投影转换、栅格转矢量、分类掩模提取等步骤的处理,得到每个高程带上 9 种植被的空间分布图(图 2),并对 5 个高程带的各种植被类型做分类统计.随后,对各年的分类图像进行了反复对比分析,得到青海省各级高程带上植被覆盖的年际变化。

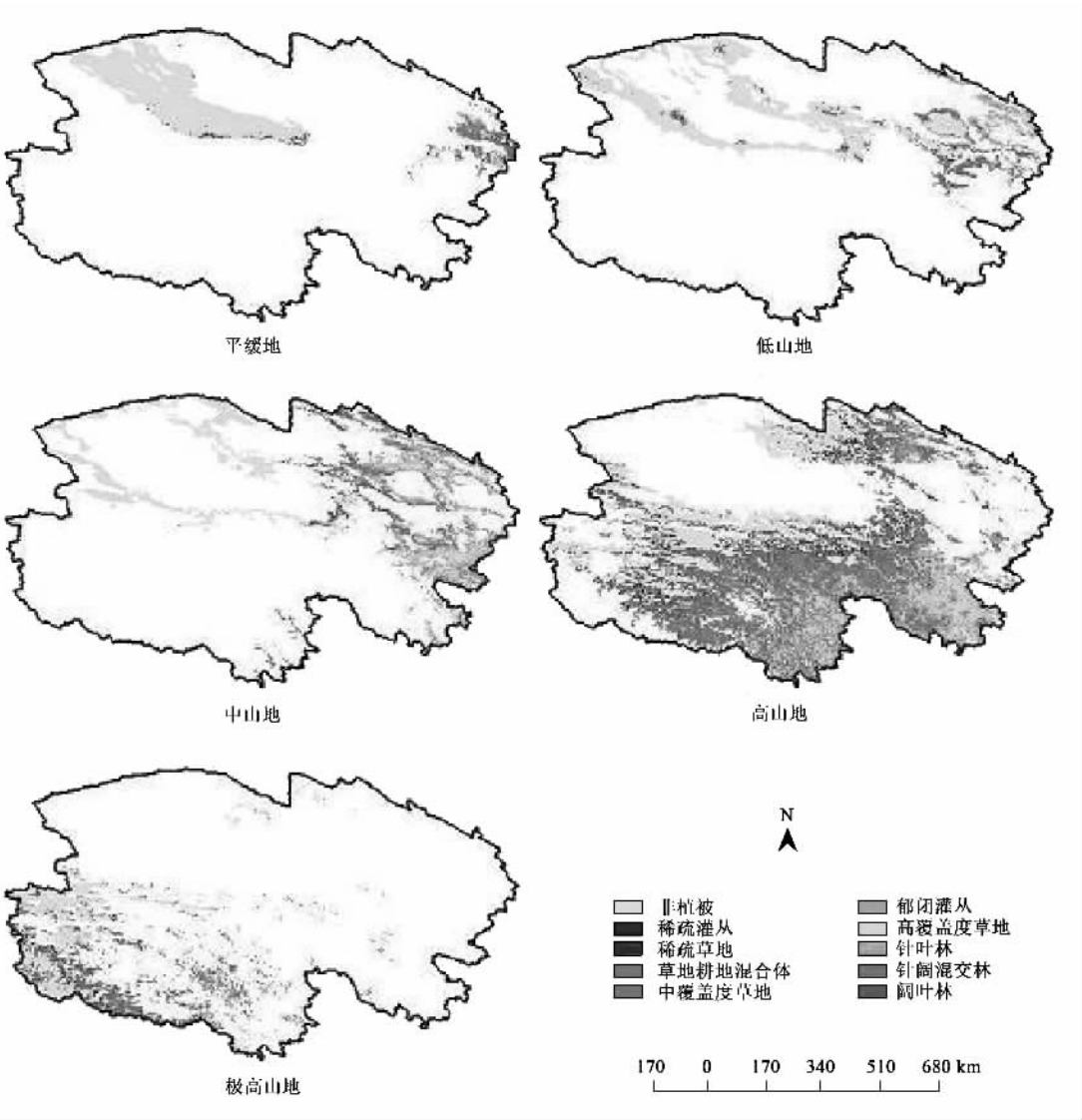


图 2 青海省 2006 年各级高程带 9 种植被空间分布

Fig.2 Vegetation distribution of different elevation belt in Qinghai Province in 2006

4 青海省植被覆盖在各级高程带上的空间分布

表 2 是青海省 2006 年 5 级高程带 9 种植被面积分布统计表.它较为直观地反映出 9 种植被在 5 极高程带中的分布面积绝对值.总体来看,高山地带分布的主要植被类型,无论在单个值上,还是在总和上都大于可做为同类相比的其他数值.这反映出本研究所划分的 5 级高程带中,高山地带是青海省 9 种植被类型较为密集分布的地带,同时也说明青海省 9 种植被类型较宜生长在本研究所划分的高山地带中,即 3 900 ~ 4 900 m 的海拔高度,这也是由青海省境内植被物种大都适宜于高海拔地区生长的特性所决定的.另外,表 2 中最后 3 行数据明显小于其它行数据,这反映出针阔混交林、针叶林和阔叶林在青

海省境内分布面积较少,低矮灌丛和草地较高大树木来说,更适应于在海拔高的地区生长.

5 级高程带中高山地带的植被覆盖率最高,达到 67.92%.其次依次是中山地 61.80%、极高山地 38.98%、低山地 25.55%和平缓地 15.46%(图 2).另外,值得一提的是,在中山地高覆盖度草地的覆盖度是最高的,占 32.62%.

4.1 平缓地植被空间分布

青海省的平缓地带,地势较为平坦,坡度一般不超过 3°~7°,主要分布于青海西部的柴达木盆地中部,以及青海湖以东的湟水谷地和黄河谷地.在民和县、化隆县、循化县一带的平缓地上,植被为荒漠化草原,由喜暖旱生、半旱生的草本植物组成,主要有针茅、猪毛菜、盐爪爪、骆驼蓬等种群,长势不太好,

表 2 青海省 2006 年 5 级高程带 9 种植被面积分布统计表/km²
Table 2 Vegetation areas of five grade elevation belts in Qinghai Province in 2006/km²

类型	平缓地	低山地	中山地	高山地	极高山地
稀疏灌丛	801	854	718	40 215	10 059
稀疏草地	1 100	1 024	945	42 718	11 723
草地耕地混合体	5 391	7 813	196	312	261
中覆盖度草地	2 441	5 783	21 849	94 003	8 702
郁闭灌丛	321	725	3 295	11 848	397
高覆盖度草地	1 439	8 311	32 991	52 150	818
针叶林	4	107	1 268	680	4
针阔混交林	1	30	719	367	3
阔叶林	0	14	517	456	3
合计	11 498	24 661	62 498	242 749	31 970

盖度较低^[25]。

4.2 低山地植被空间分布

低山地分布于山体的下部,在青海湖环湖地区,大通河谷地,共和盆地和兴海贵南盆地,植被为干草原和草甸草原。干草原由半旱生和中旱生草本植物组成,主要有针茅、冰草、芨芨草、早熟禾等,草质较好,但产草量稍低。草甸草原是由旱中生,中生的禾本科、蓼科、莎草科和龙胆科草本植物组成,主要有苔草、凤毛菊、珠芽蓼、园穗蓼、龙胆等,长势较好,覆盖度较高。

4.3 中山地植被空间分布

中山地分布于山体的中部,其植被类型在青海省东部地区以中生草本和森林为主。中生草本的类型主要有苔草、珠芽蓼、萎陵菜、凤毛菊、早熟禾、地榆等,植被长势优良,覆盖度高达 80%~95%,产草量高,是良好的牧业用地。森林以落叶阔叶林和针阔混交林为主。随着地理位置向西,干旱程度增加,中山地的草地和灌丛类型也逐渐由高覆盖度草地和郁闭灌丛向中覆盖度草地、稀疏草地和稀疏灌丛过渡。

4.4 高山地植被空间分布

高山地主要分布于青南高原和祁连山山体的上部。植被是耐寒性的草本和灌木,从东部向西部,随着气候水分条件的从半湿润过渡到半干旱和干旱,植被亦从高山灌丛和高山草甸过渡到高寒草原和高寒荒漠草原。高寒草甸(草本)高山地广泛分布于祁连山东段及青南高原中部,植被是由中生、旱中生草本组成的草甸草原,主要有针茅、羊茅、蒿草、苔草、龙胆等,长势较好,生产潜力高,是青海省主要放牧场之一。高寒草原高山地集中分布于祁连山中段和青南高原沱沱河至扎陵湖、玛多连线的西北部的山体上部。植被是由半旱生、中旱生草本组成的高寒草原,主要有紫花针茅、扁穗冰草、细叶马兰,局部也有金露梅。植被长势较差,覆盖度 20%~40%,产草量

较低,但也是青海省的主要放牧场之一。

4.5 极高山地植被空间分布

极高山地分布于祁连山地和青南高原高大山体的顶部,气候严寒。植被稀疏并成垫状,主要有蚤缀、点地梅、水母状雪莲花、垫状驼绒藜等。

5 青海省各级高程带上植被覆盖的年际变化

经统计,从 2001~2006 年的 5 a 时间,非植被区域的面积减少了 4 529 km²,稀疏灌丛的面积增加了 1 448 km²,稀疏草地的面积增加了 1 530 km²,草地耕地混合体的面积减少了 2 214 km²,中覆盖度草地的面积减少了 497 km²,郁闭灌丛的面积增加了 412 km²,高覆盖度草地的面积增加了 3 021 km²,针叶林的面积增加了 629 km²,针阔混交林的面积增加了 268 km²,阔叶林的面积减少了 68 km²。总之,5 a 间青海省的植被覆盖有所改善,植被覆盖面积从 2001 年的 370 047 km² 增加到 2006 年的 374 576 km²,植被覆盖率增加了 0.63%。

表 3 列出了各种转变所对应的面积。青海省植被变化最大的是草地耕地混合体向高覆盖度草地的转变,转变面积达到 22 213 km²,主要发生在湟水谷地和黄河谷地地区。转变数目位于第 2 的是中覆盖度草地向稀疏草地的转变,转变面积为 18 904 km²,主要发生在果洛州和玉树州的西部。转变数目位于第 3 的是中覆盖度草地向高覆盖度草地的转变,转变面积为 15 379 km²,主要发生在果洛州东部和青海湖周围地区。

5.1 平缓地植被覆盖的年际变化

从 2001~2006 年,平缓地非植被区域的面积增加了 843 km²,稀疏灌丛的面积增加了 62 km²,稀疏草地的面积增加了 162 km²,草地耕地混合体的面积减少了 686 km²,中覆盖度草地的面积减少了 531 km²,郁闭灌丛的面积没有发生变化,高覆盖度草地

表 3 青海省 2001 ~ 2006 年植被覆盖类型转移矩阵

Table 3 Transfer matrix of different vegetation from 2001 to 2006 in Qinghai Province

	非植被	稀疏灌丛	稀疏草地	草地耕地混合体	中覆盖度草地	郁闭灌丛	高覆盖度草地	针叶林	针阔混交林	阔叶林
非植被	—	7 361	6 853	13 518	1 306	77	467	21	6	6
稀疏灌丛	5 973	—	1 958	4 253	297	13	21	0	0	0
稀疏草地	5 640	1 977	—	7 297	507	20	16	1	0	1
草地耕地混合体	11 702	4 361	7 685	—	1 217	791	22 213	4	2	6
中覆盖度草地	1 248	238	18 904	457	—	7 436	15 379	22	17	32
郁闭灌丛	102	11	13	651	6 164	—	7 177	20	12	9
高覆盖度草地	391	15	22	1 119	12 607	6 158	—	1 727	892	762
针叶林	5	0	1	4	39	30	1 075	—	97	68
针阔混交林	4	0	0	4	32	22	617	80	—	53
阔叶林	21	0	0	17	71	24	745	73	54	—

的面积增加了 168 km², 针叶林的面积减少了 13 km², 针阔混交林的面积减少了 2 km², 阔叶林的面积减少了 3 km².

经统计, 平缓地植被变化最大的是草地耕地混合体向非植被的转变, 转变面积为1 083 km², 主要发生在青海西部柴达木盆地平缓地地区, 这主要是由于该地区降水量的减少. 转变数目位于第 2 的是中覆盖度草地向草地耕地混合体的转变, 转变面积为 909 km², 主要发生在青海海南州共和县地区. 转变数目位于第 3 的是草地耕地混合体向中覆盖度草地的转变, 转变面积为 559 km², 主要发生在青海海东和海南州地区.

5.2 低山地植被覆盖的年际变化

从 2001 ~ 2006 年, 低山地非植被区域的面积增加了1 016 km², 稀疏灌丛的面积减少了 144 km², 稀疏草地的面积减少了 131 km², 草地耕地混合体的面积减少了 787 km², 中覆盖度草地的面积减少了 263 km², 郁闭灌丛的面积减少了 167 km², 高覆盖度草地的面积增加了 509 km², 针叶林的面积增加了 7 km², 针阔混交林的面积减少了 16 km², 阔叶林的面积减少了 24 km².

经统计, 低山地植被变化最大的是草地耕地混合体向中覆盖度草地的转变, 转变面积为1 513 km², 主要发生在青海湟水谷地和黄河谷地的坡耕地上. 转变数目位于第 2 的是中覆盖度草地向草地耕地混合体的转变, 转变面积为1 444 km², 主要发生在青海柴达木盆地的低山地地带. 转变数目位于第 3 的是草地耕地混合体向非植被的转变, 转变面积为1 313 km², 主要发生在青海西部的大柴旦和德令哈低山地地带.

5.3 中山地植被覆盖的年际变化

从 2001 ~ 2006 年, 中山地非植被区域的面积增加了 734 km², 稀疏灌丛的面积增加了 52 km², 稀疏

草地的面积增加了 65 km², 草地耕地混合体的面积减少了 902 km², 中覆盖度草地的面积减少了 1 441 km², 郁闭灌丛的面积减少了 675 km², 高覆盖度草地的面积增加了 938 km², 针叶林的面积增加了 644 km², 针阔混交林的面积增加了 392 km², 阔叶林的面积增加了 193 km².

经统计, 中山地植被变化最大的是中覆盖度草地向高覆盖度草地的转变, 转变面积为3 661 km², 主要发生在青海黄南州的河南蒙古族自治县和海北州中部地区. 转变数目位于第 2 的是高覆盖度草地向中覆盖度草地的转变, 转变面积为2 291 km², 主要发生在青海玛沁和同德地区. 转变数目位于第 3 的是郁闭灌丛向高覆盖度草地的转变, 转变面积为2 211 km², 主要发生在青海同仁和湟源地区.

5.4 高山地植被覆盖的年际变化

从 2001 ~ 2006 年, 高山地非植被区域的面积减少了5 365 km², 稀疏灌丛的面积增加了1 152 km², 稀疏草地的面积增加了 1 109 km², 草地耕地混合体的面积增加了 53 km², 中覆盖度草地的面积增加了 953 km², 郁闭灌丛的面积增加了1 158 km², 高覆盖度草地的面积增加了 1 280 km², 针叶林的面积减少了 15 km², 针阔混交林的面积减少了 103 km², 阔叶林的面积减少了 222 km².

经统计, 高山地植被变化最大的是稀疏草地向中覆盖度草地的转变, 转变面积为15 931 km², 主要发生在青海果洛州东南部和海北州北部的祁连山牧场地区. 转变数目位于第 2 的是中覆盖度草地向稀疏草地的转变, 转变面积为12 761 km², 主要发生在青海玉树州的西部地区. 转变数目位于第 3 的是中覆盖度草地向高覆盖度草地的转变, 转变面积为 10 085 km², 主要发生在青海果洛州的久治地区.

5.5 极高山地植被覆盖的年际变化

从 2001 ~ 2006 年, 极高山地非植被区域的面积

减少了1 555 km², 稀疏灌丛的面积增加了 328 km², 稀疏草地的面积增加了 323 km², 草地耕地混合体的面积增加了 117 km², 中覆盖度草地的面积增加了 737 km², 郁闭灌丛的面积增加了 86 km², 高覆盖度草地的面积减少了 12 km², 针叶林的面积减少了 2 km², 针阔混交林的面积减少了 7 km², 阔叶林的面积减少了 15 km².

经统计, 极高山地植被变化最大的是非植被向稀疏草地的转变, 转变面积为2 992 km², 主要发生在青海玉树州的西部地区. 转变数目位于第 2 的是稀疏草地向非植被的转变, 转变面积为2 380 km², 主要发生在青海玉树州的五道梁地区. 转变数目位于第 3 的是稀疏草地向中覆盖度草地的转变, 转变面积为2 072 km², 主要发生在青海可可西里自然保护区.

6 结论

(1)青海省 5 级高程带中高山地带的植被覆盖率最高, 达到 67.92%. 其次依次是中山地 61.80%、极高山地 38.98%、低山地 25.55% 和平缓地 15.46%. 其中, 高山地带是青海省 9 种植被分布绝对数量最多的地带.

(2)5 a 间青海省的植被覆盖有所改善, 植被覆盖面积从 2001 年的370 047 km² 增加到 2006 年的374 576 km², 植被覆盖率增加了 0.63%. 其中, 稀疏灌丛的面积增加了 1 448 km², 稀疏草地的面积增加了 1 530 km², 草地耕地混合体的面积减少了 2 214 km², 中覆盖度草地的面积减少了 497 km², 郁闭灌丛的面积增加了 412 km², 高覆盖度草地的面积增加了 3 021 km², 针叶林的面积增加了 629 km², 针阔混交林的面积增加了 268 km², 阔叶林的面积减少了 68 km².

(3)2001~2006 年高山地带非植被区域的面积减少最多, 为53 65 km²; 高山地带高覆盖度草地的面积增加最多, 为1 280 km². 5 a 间植被覆盖变化最大的是高山地带上稀疏草地向中覆盖度草地的转变, 转变面积达到15 931 km², 主要发生在青海果洛州东南部和海北州北部的祁连山牧场地区.

参考文献:

[1] Fitter A H, Fitter R S R. Rapid changes in flowering time in British plants [J]. Science, 2002, **296**: 1689-1691.

[2] Chen X Q, Tan Z J, Schwartz M D, *et al.* Determining the growing season of land vegetation on the basis of plant phenology and satellite data in Northern China [J]. International Journal of Biometeorology, 2000, **44**: 97-101.

[3] 张军, 葛剑平, 国庆喜. 中国东北地区主要植被类型 NDVI 变化与气候因子的关系[J]. 生态学报, 2001, **21**(4): 523-524.

[4] 中国科学院中国植被图编辑委员会. 1:1 000 000 中国植被图集[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

[5] Zhang B P, Wu H Z. Integration of data on Chinese mountains into a digital altitudinal belts system [J]. Mountain Research and Development, 2006, **26**(2): 163-171.

[6] Li X R, Jia X H, Dong G R. Influence of desertification on vegetation pattern variations in the cold semi-arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, North-west China [J]. Journal of Arid Environments, 2006, **64**(3): 505-522.

[7] Chen X W, Zhang X S, Li B L. Influence of Tibetan Plateau on vegetation distributions in East Asia: a modeling perspective [J]. Ecological Modelling, 2005, **181**: 79-86.

[8] 高志强, 刘纪远. 基于遥感和 GIS 的中国植被指数变化的驱动因子分析及模型研究[J]. 气候与环境研究, 2000, **5**(2): 155-164.

[9] 刘纪远, 庄大方, 凌扬荣, 等. 基于 GIS 的中国东北植被综合分类研究[J]. 遥感学报, 1998, **2**(4): 285-291.

[10] 郑景云, 葛全胜, 郝志新. 气候增暖对我国近 40 年植物物候变化的影响[J]. 科学通报, 2002, **47**(20): 1582-1587.

[11] 李晓兵, 史培军. 基于 NOAA/AVHRR 数据的中国主要植被类型 NDVI 变化规律研究[J]. 植物学报, 1999, **41**(3): 45-52.

[12] Qi J, Marsett R C, Moran M S, *et al.* Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro River Basin area[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2000, **105**(1P3): 55-68.

[13] 潘晓玲, 党荣理, 伍光和. 西北干旱荒漠区植物区系地理与资源利用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

[14] 杨建平, 丁永建, 陈仁升. 长江黄河源区高寒植被变化的 NDVI 记录[J]. 地理学报, 2005, **60**(3): 467-478.

[15] 侯学煜. 中国自然地理·植物地理(下册)[M]. 北京: 科学出版社, 1988.

[16] 王根绪, 丁永建, 王建, 等. 近 15 年来长江黄河源区的土地覆盖变化[J]. 地理学报, 2004, **59**(2): 163-173.

[17] 卫亚星, 王莉雯, 王一谋. 利用 TM 监测中国西部沙漠化进程[J]. 水土保持通报, 2004, **24**(4): 47-50.

[18] 张国胜, 李林, 汪青春, 等. 青南高原气候变化及其对高寒草甸牧草生长影响的研究[J]. 草业学报, 1999, **8**(3): 1-10.

[19] 方精云, 朴世龙, 贺金生 等. 近 20 年来中国植被活动在增强[J]. 中国科学(C 辑), 2003, **33**(6): 554-565.

[20] 孙红雨, 王长耀, 牛铮 等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系[J]. 遥感学报, 1998, **2**(3): 205-210.

[21] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, *et al.* Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. Science, 2001, **292**: 2320-2322.

[22] 王莉雯, 牛铮, 卫亚星. 基于 MODIS NDVI 的新疆土地覆盖类型划分与潜在荒漠化区域探测[J]. 干旱区地理, 2007, **30**(4): 573-578.

[23] 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. 中国科学 D 辑, 2002, **32**(12): 1031-1040.

[24] 刘勇洪, 牛铮, 徐永明, 等. 基于 MODIS 数据设计的中国土地覆盖分类系统与应用研究[J], 农业工程学报, 2006, **22**(5): 99-104.

[25] 申元村, 向理平. 青海省自然地理[M]. 北京: 海洋出版社, 1991.