

文章编号: 1001-4675(2010)05-0691-08

基于 *NDVI* 的柴达木盆地植被空间分异规律 及影响因素*

朱文彬^{1,2}, 吕爱锋², 贾绍凤²

(1. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 利用 1982-2006 年的 GIMMS/*NDVI* 资料, 分析柴达木盆地植被的空间分异规律, 并结合盆地的地形、降水、水系、土地利用和植被分布图等资料, 通过叠加分析, 进一步研究了植被空间分异的影响因素。结果表明: 柴达木盆地的植被覆盖总体偏低, 由东南向西北呈明显的三层半环状结构; 在局部地区由于河流、湖泊和地下水等水文条件的影响, 上述半环状结构成非连续状态而形成突出亮斑和线状特征; 柴达木盆地植被覆盖的影响因素主要包括降水、地表地下水文条件、海拔高度和人类活动 4 个方面; 降水和海拔有一定的关联性, 从总体上决定了盆地植被分布的基本格局; 水体和人类活动对植被分布的作用主要体现在局部地区, 并且往往打破降水和海拔作用下的植被分布格局。

关键词: *NDVI*; 植被覆盖; 空间格局; 水文条件; 柴达木盆地

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A

植被是联结土壤、大气和水分等要素的自然纽带⁽¹⁻²⁾, 也是生态与环境的重要指示因子。由于卫星遥感具有同步观测、时效性强和数据可比性等优点, 为大面积地表植被的动态检测提供了有力工具⁽³⁾。在各种地表特征参数中, *NDVI* (normalized difference vegetation index, 归一化植被指数) 对植被的生长势和生长量非常敏感, 在一定程度上能代表地表植被的覆盖变化, 被认为是地表植被的最佳指示因子⁽⁴⁻⁶⁾。从所使用的遥感数据来看, NOAA 气象卫星的 AVHRR 数据由于其长时间的数据积累, 在陆地生态系统、植被与气候要素相互作用领域应用最为广泛⁽⁷⁻¹⁰⁾。

目前, 国内外利用 *NDVI* 数据已做了很多的研究⁽¹¹⁻¹⁶⁾。以前研究主要集中在植被指数与气候因子的相互关系以及利用植被指数的动态变化来研究特定地区的植被变化情况。笔者认为, 植被指数的多年平均反映了一个地区植被覆盖的常态, 利用该平均值来研究区域植被的空间分异规律及其影响因素, 是 *NDVI* 的另一个重要应用。

柴达木盆地由于其特殊的地理位置和气候特征, 生态比较脆弱⁽¹⁷⁾。区内地貌多样, 垂直分异明显, 植被空间分布差异较大, 不同的学者基于各自的研究目标, 分别运用不同的遥感信息源对柴达木盆

地的环境进行了研究⁽¹⁸⁻²⁰⁾, 建立了柴达木盆地目标地物的遥感解译标志, 实现了生态要素的遥感反演, 为柴达木盆地的环境保护和开发提供了信息支持。但笔者认为, 研究所运用的信息源只限于某一年或某一特定时期的遥感数据, 具有一定的随机性, 难以反映柴达木盆地植被空间分布的常态, 并且已有研究多侧重于环境要素的宏观分析, 缺乏对植被分布影响因素的深入研究。因此, 利用 *NDVI* 序列资料研究柴达木盆地植被覆盖的空间分异规律及其影响因素, 无论是对 *NDVI* 应用的拓展还是对柴达木盆地的环境保护都是很有意义的。

1 研究区概况

柴达木盆地是我国青藏高原北部边缘的一个巨大的内陆盆地, 位于 35°00' ~ 39°20' N, 90°16' ~ 99°16' E 之间, 海拔 2 676 ~ 6 860 m。从自然界线来看, 柴达木盆地的西北、东北和南面分别被阿尔金山、祁连山和昆仑山环绕, 属于封闭的山间盆地, 总面积为 2.75 × 10⁵ km²⁽²¹⁾。盆地内自然环境恶劣, 多年平均气温 1.2 ~ 4.3 °C, 由东南至西北年降水量 177.5 ~ 17.8 mm (集中在 6 ~ 9 月); 由东至西蒸发

* 收稿日期: 2009-12-14; 修订日期: 2010-04-01

基金项目: 国家自然科学基金(90302009, 40801216) 和水利部公益性项目“柴达木盆地主要生态系统生态耗水规律研究”共同资助

作者简介: 朱文彬(1987-), 男, 山东青岛人, 研究生, 研究方向为水文水资源。E-mail: bfdh198612@163.com

通讯作者: 贾绍凤。Email: jiasf@igsrr.ac.cn

量 2 088.8 ~ 3 297.9 mm⁽²²⁾,属于高寒干燥大陆性气候。柴达木盆地植被覆盖率小于 5%,森林覆盖率为 0.84%⁽²³⁾。除中心地带盐壳、盐湖,盆地西北的风蚀残丘和沙漠、戈壁荒漠以及祁连山、昆仑山高山积雪、冰川和高山裸岩、碎石带寒漠等无植被外,共有 9 个植被类型。四周高山雪冰融水形成的内陆河流及其派生的湖泊和冲积扇等地,植被较为茂密⁽²⁰⁾。具体来讲,在以荒漠地带植被景观为主的柴达木盆地,森林植被的生长受到限制,仅在盆地东缘山地中部阳坡有针叶林分布;山地和河谷灌丛植被主要分布在高寒山地地带和较大河流中下游的河谷、滩地,总体盖度较高;荒漠植被是柴达木盆地地带性的主要植被类型,大面积分布于察汗乌苏盆地、

德令哈盆地、大小柴旦盆地、马海盆地、阿尔金山东南和昆仑山北坡的戈壁砾石带内;草原植被属于温带半干旱地区主要的植被类型,分为荒漠化草原和高寒草原两类,前者多分布于各山体下部,后者仅在祁连山西部、盆地东南边缘山坡及昆仑山地宽谷盆区分布;草甸植被分为盐生草甸和高寒草甸,盐生草甸多位于柴达木盆地和山间小盆地的低洼地及河滩湖滨溢水滩地,高寒草甸则主要分布于祁连山地和昆仑山海拔较高的地带;高寒草甸带以上,植物群落生长稀疏,统称为高山稀疏植被,其中山地垂直分布最高的植被称为高山流石坡稀疏植被,在高寒草甸和流石坡稀疏植被之间是垫状植被,呈块状和狭带状分布。

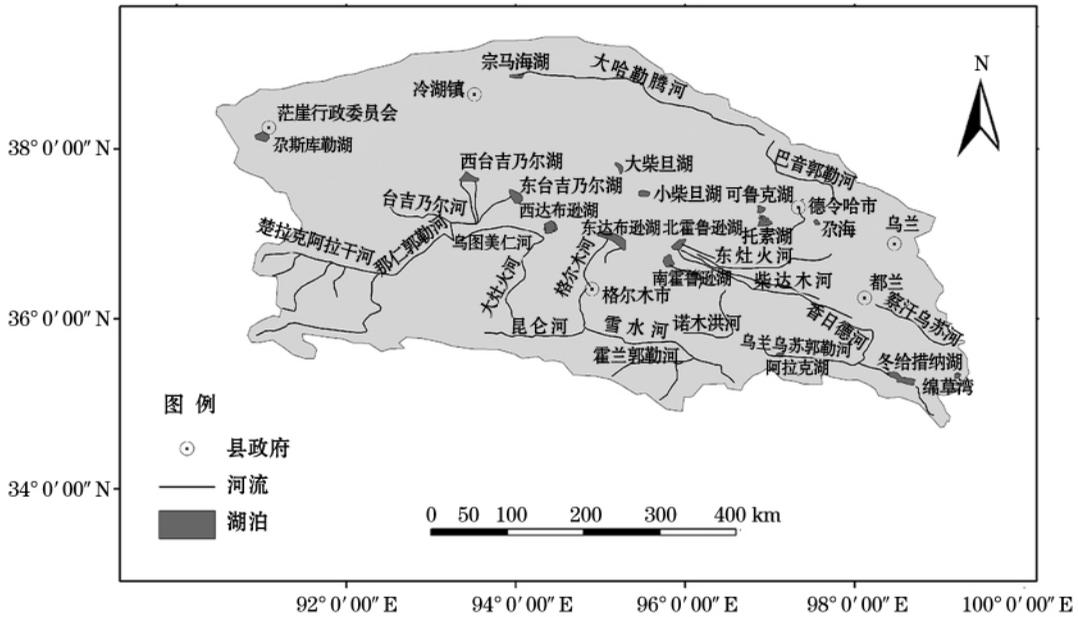


图 1 柴达木盆地区域图

Fig. 1 Map of the Qaidam Basin

2 数据来源与处理方法

2.1 数据来源

本研究采用的 *NDVI* 数据为 GIMMS(global inventory monitoring and modeling studies) 研究组提供的 NOAA/AVHRR-*NDVI* 数据。空间分辨率为 8 km × 8 km,时间分辨率为 15 d,时间跨度为 1982 年 1 月至 2006 年 12 月。该 *NDVI* 数据集消除了火山爆发、太阳高度角、传感器随时间变化等影响,已被广泛应用于大区域和全球尺度植被覆盖研究中⁽²⁴⁾。所获得的原始 *NDVI* 资料是从 -10 000 ~ 10 000 的浮点数 转化为 -1 ~ 1 之间的标准 *NDVI* 值。另外,在研究柴达木盆地植被空间分布的影响因素时,运

用的主要数据还包括柴达木盆地植被分布图、年降水量等值线图、地形图、水系分布图和土地利用图等。

2.2 数据处理方法

MVC 是目前国际上通用的最大化合成法,将一个月每 15 d 的数据取最大值,进一步消除云、大气和太阳高度角的部分干扰⁽²⁵⁻²⁷⁾。由于研究区内植被年内变化较大,为了进一步突出各个区域的植被信息,以便于植被分布的空间特征分析,我们对此法进行了延伸,用它取得每一年的年最大化 *NDVI* (M_{NDVI})。公式如下:

$$M_{NDVI \cdot i} = \max_{j=1}^{24} I_{NDVIj}$$

式中: $M_{NDVI \cdot i}$ 为第 i 年的年最大化 NDVI 值; $I_{NDVI \cdot ij}$ 为第 i 年第 j 个半月的 NDVI 值。这样合成的 M_{NDVI} 可以认为是一年内植被最丰盛时期的 NDVI 值。为了反映柴达木盆地植被空间分布的常态, 我们对 1982 - 2006 年的 M_{NDVI} 进行了平均化处理, 得到多年平均年最大化 NDVI, 以该数据作为柴达木盆地植被空间分布的依据。公式如下:

$$\bar{M}_{NDVI} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_{NDVI \cdot i}$$

式中: \bar{M}_{NDVI} 为多年平均年最大化 NDVI; M_{NDVI} 为第 i 年的年最大化 NDVI。

3 植被空间分异规律

图 2 为柴达木盆地 1982 - 2006 年 25 年间多年平均年最大化 \bar{M}_{NDVI} 空间分布图。通过分析, 其空间分布具有以下特征:

3.1 总体植被盖度低

\bar{M}_{NDVI} 的值在 0.032 6 ~ 0.583 7 之间, 平均值仅为 0.140 4, 总体上偏低。

3.2 区域差异性显著, 且具有半环状结构

最中心是向西北开口的簸箕状的几乎没有植被的风蚀残丘、流动沙丘和盐壳, 外面是向西北开口的半环状植被分布带。为了定量说明这个特征, 我们把柴达木盆地的 \bar{M}_{NDVI} 分为 0 ~ 0.1, 0.1 ~ 0.2, 0.2 ~ 0.3, 0.3 ~ 0.4, 0.4 ~ 0.5 和 0.5 ~ 0.6 六个等级, 得到图 3, 并分别统计了各个等级的面积和各层的植被类型(表 1)。其中, 各层的植被类型是由图 3 和柴达木盆地植被分布图叠加分析得到。结合图 2 ~ 3 和表 1, 我们发现 \bar{M}_{NDVI} 值较大的像元主要集中在哈尔科山及宗务隆山以南和唐格乌拉山以东的盆地

表 1 柴达木盆地 \bar{M}_{NDVI} 分级表

Tab.1 Classification of average vegetation coverage in the Qaidam Basin

分层	等级	面积 /10 ⁴ km ²	面积百 分比/%	植被类型
外层	6 (>0.5)	0.12	0.42	草原植被、山地灌丛植被、森林植被和各种草甸
	5 (0.4~0.5)	0.58	2.11	
	4 (0.3~0.4)	1.33	4.83	
	3 (0.2~0.3)	3.84	13.96	
中间层	2 (0.1~0.2)	8.77	31.91	垫状植被、流石坡稀疏植被和各种荒漠植被
内层	1 (<0.1)	12.86	46.77	盐壳、风蚀残丘和流动沙丘
合计		27.50	100	

东南部, 构成了半环状结构的外层, 其对应的 \bar{M}_{NDVI} 在 0.2 ~ 0.6 之间, 主要由 3、4 和 5 级交错而成, 6 级仅位于东南角的一隅, 主要的植被类型有草原植被、山地灌丛植被、森林植被和各种草甸。中间层主要由 2 级组成, \bar{M}_{NDVI} 在 0.1 ~ 0.2 之间, 主要分布在盆地东北部的祁连山地、盆地南部的昆仑山地和外层的内部, 植被类型以垫状植被、流石坡稀疏植被和各种荒漠植被为主。1 级组成了半环状结构的内层, 位于盆地的中部和西北部, \bar{M}_{NDVI} 在 0.1 以下。

按照 NDVI 的解释意义可知, 内层植被极其稀少, 可认为没有植被发育, 主要是各种盐壳、风蚀残丘和流动沙丘。为了进一步明确这部分地区的植被情况, 我们还合成了多年最大化 NDVI 图像(图 4), 其计算公式如下:

$$M_{NDVI} = \max_{i=1}^{25} M_{NDVI \cdot i}$$

式中: M_{NDVI} 表示 25 年间的多年最大化 NDVI; $M_{NDVI \cdot i}$ 表示第 i 年的年最大化 NDVI。该图像中 $M_{NDVI} < 0.1$ 的地区可以认为是 25 年间一直没有植物生长, 为长年裸土区。通过图像 3 和 4 间的叠加分析, 可进一步将半环结构的内层分为 2 个亚区, 亚区 1 为长年裸土区, 亚区 2 则代表在丰水年也会有植被发育的地区, 主要是各种荒漠植被。

3.3 局地非地带性植被突破了半环状总体植被分布格局

在局部地区(主要是盆地中部的地下水出流带和香日德绿洲地区)由于河流、湖泊等水体的存在和地下水出流等原因, 水量相对充足, 生长有芦苇草甸和盐爪爪群落等非地带性植被, 使得半环状结构呈现非连续状态, 在这些地点附近, NDVI 明显高于其周围地区, 呈现出一个个离散的亮点或连续的线状特征。最为典型的便是盆地中南部泉水溢出带形成的线状特征和在水体汇集而成的湿地、沼泽区形成的突出亮斑, 这些亮斑本身具有环状结构, 由水体向外, NDVI 逐渐降低。这种规律性在半环状结构的内层, 由于水体相对较少, 比较简单明显; 在东南部地区, 由于水体相对较多, 彼此之间存在交互效应而显得复杂。

4 植被空间分异影响因素

4.1 植被分布与降水的关系

图 5 是柴达木盆地年降水量等值线与图 3 的叠加分析图。不考虑河流、湖泊和地下水出流的影响,

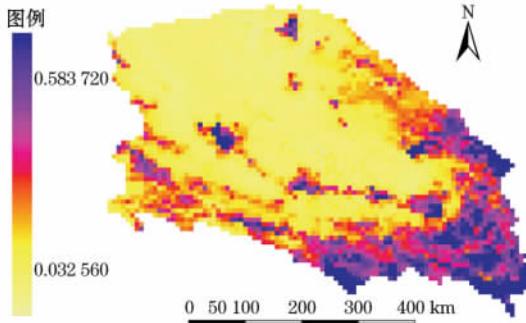


图2 柴达木盆地平均植被盖度 \bar{M}_{NDVI} 空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of average vegetation coverage in the Qaidam Basin

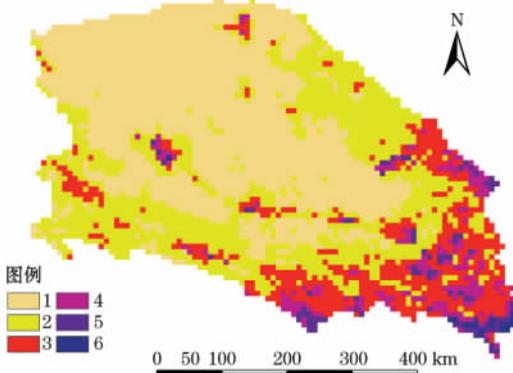


图3 柴达木盆地分级 \bar{M}_{NDVI}
Fig. 3 Classification of average vegetation coverage in the Qaidam Basin

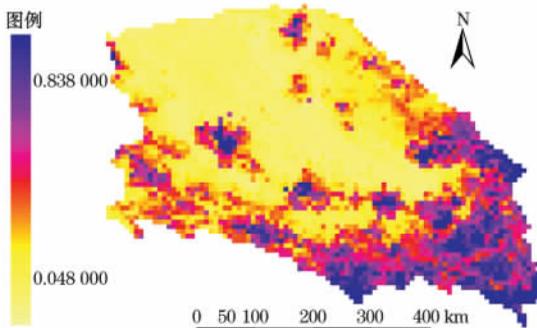


图4 柴达木盆地最大植被盖度 \bar{M}_{NDVI} 空间分布
Fig. 4 Spatial distribution of maximal vegetation coverage in the Qaidam Basin

NDVI 的空间分布与降水的空间分布格局基本一致,呈现由东南向西北递减的趋势。具体来说,除了香日德河流域地区,植被分布内层和中间层的分界线基本与 100 mm 等降水量线保持一致,而中间层和外层的分界线几乎与 150 mm 等降水量线完全吻合。其中,内层亚区 1 和 2 的分界线则以托素湖为界点,呈现南北两种不同的趋势。在托素湖以北 50

mm 等降水量构成了两者的边界,降水量小于 50 mm 的地区为长年裸土区,降水量在 50 ~ 100 mm 之间的地区在丰水年有植被覆盖;在托素湖以南,亚区 1 和 2 的分界线则基本与 25 mm 等降水量线一致。

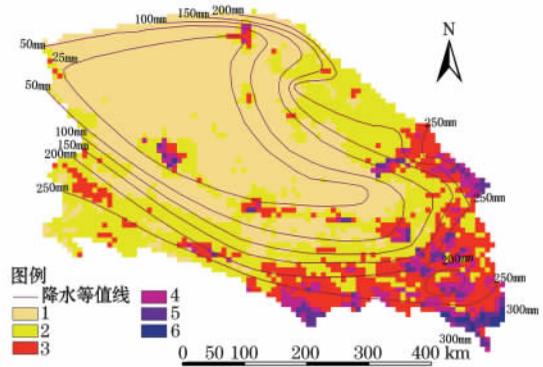


图5 柴达木盆地降水等值线
Fig. 5 Isogram of precipitation in the Qaidam Basin

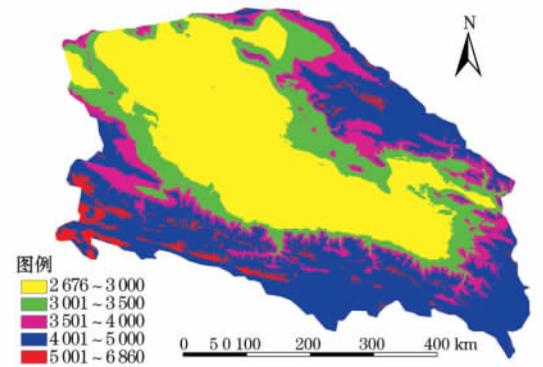


图6 柴达木盆地地形
Fig. 6 Relief map of the Qaidam Basin

就降水量和植被景观类型的关系而言,年降水量少于 100 mm 的地区,主要以盐壳、风蚀残丘和流动沙丘为主,仅在降水量大于 50 mm 的局部地区长有怪柳、麻黄、枸杞和白刺等稀疏荒漠植物。年降水量在 100 ~ 150 mm 的中间层地区,植被类型以荒漠植被为主,但盖度要大于前者,中间层位于祁连山和昆仑山等山体的部分由于高海拔的原因呈现不同的植被景观格局,这将在下文中说明。降水量大于 150 mm 的最外层地区,植被类型主要有森林植被、山地和河谷灌丛植被、草原植被和各种草甸。草原以芨芨草草原为主,广泛分布在都兰县的东部和乌兰县的南部地区,其次是沙生针茅草原,主要集中在盆地的东南部边缘山麓。其中,降水量大于 250 mm 的山区则发育高寒草原;草甸主要是小嵩草甸;灌丛植被多为温性落叶阔叶灌丛,以河谷温性落叶阔叶灌丛分布最广,占据沙砾广布的河漫滩和河岸阶

地,主要类型是河柏灌丛和沙棘灌丛;森林植被类受降雨量和光照的限制,仅分布在盆地东部边缘山区,主要是耐寒耐旱的祁连圆柏,其次是耐寒中生的粗叶云杉。

综上所述,柴达木盆地年降水量小于 100 mm 的地区,对应的 *NDVI* 值在 0.1 以下(香日德河流域除外)。祁连山地区和唐格乌拉山以西的昆仑山区是中间层的主要组成部分,*NDVI* 在 0.1~0.2 之间,年降水量为 100~250 mm。*NDVI* 值大于 0.2 的外层地区主要位于唐格乌拉山以东的盆地东南部,所对应的年降雨量大于 150 mm。其中,*NDVI* 大于 0.3 的地区年降雨量一般在 200 mm 以上,*NDVI* 大于 0.4 的地区年降雨量则大于 250 mm。

4.2 植被分布与径流的关系

干旱半干旱地区地表植被的生长对地表地下径流有着很强的依赖关系,柴达木盆地内部 *NDVI* 值的亮斑区和线状特征也说明了这一点。为了对这种依赖关系做进一步的分析,我们把柴达木盆地的水系图与图 2 进行了叠加分析,发现柴达木盆地内部的突出亮斑区均有水体存在,主要是各种湖泊形成的,例如托素湖、克鲁克湖、苏干湖和尕斯库勒湖等,但湖泊形成的亮斑区面积不大。大面积的亮斑主要是由河流密集区和地下水出流形成的各种湿地,例如,位于盆地中南部的乌图美仁、格尔木市及香日德地区是 3 个最突出的亮斑,三者之间线状相连,这是由来自南部山区的地下潜水遭到细土带的阻挡出流地表形成的,其线状特征是地下水溢出而成的泉水溢出带,而亮斑则是泉水出露形成的沼泽湿地。

河流、湖泊和地下水出流等地表地下水文条件改变了其周围的水分条件,植被类型也随之发生了变化,不同于周围的荒漠植被,发育有盐生草甸,以芦苇草甸和盐爪爪群落为主,格尔木以东地区河流两岸甚至长有密集的灌丛,因此 *NDVI* 值明显增大,使得这些地区的植被分布受降水量的影响变弱,*NDVI* 值呈现与其年降水量不相符的特征。因此,盆地中南部的地下水出流地区,其亚区 1 和 2 的分界线不同于托素湖以北地区的 50 mm 等降水量线,而出现在 25 mm 等降水量线附近。另外,通过观察 *NDVI* 空间分布的等值线图发现,这些水体周围的植被分布呈同心圆结构,由水体向外随距离增加,*NDVI* 值逐渐减小,多在 0.1~0.2 之间,上述 3 个突出亮斑则在 0.2~0.4 之间。但盆地中心的高咸湖泊周围都是寸草不生的盐壳。

由以上分析可知,对于盆地内部降雨量小于 100 mm 的地区而言,它的植被分布特征是由河流、湖泊和地下水出流带等水体的分布决定的,水体周围的 *NDVI* 值明显高于其周围地区,形成不同的植被景观,并成同心圆分布。而对于降雨量大于 100 mm 的地区而言,水体的存在也使得这些地区的 *NDVI* 值有所提升,但程度不如前者明显,植被分布状况是本地区降水量和水体叠加作用的结果。

4.3 植被分布与海拔的关系

在对柴达木盆地 *NDVI* 空间分布特征的描述中曾提到唐格乌拉山等山体构成了 *NDVI* 空间分布的边界线,可见海拔高度和植被分布是有关系的。图 6 为柴达木盆地的地形图,通过两者的叠加分析,我们认为海拔对柴达木盆地植被分布的影响主要体现在两个方面:① 海拔对整个柴达木盆地气候特征的影响。柴达木盆地四周高,中间低,封闭的地形结构使得来自西南和东南的暖湿气流很难深入盆地内部,因此,柴达木盆地的降水分布很不均衡,植被分布特征受此影响,呈现地带性规律。*NDVI* 长年小于 0.1 的地区主要分布在海拔 2 676~3 000 m 的低海拔地区,亚区 2 和盆地中西部海拔在 3 000~3 500 m 地区有一定的对应关系,而盆地周围山区(海拔在 3 500 m 以上)的 *NDVI* 相对较高,在 0.2 以上。其中,盆地北缘的祁连山和南侧的昆仑山是植被分布中间层的主要组成部分,大约占据了中间层面积的 75%,唐格乌拉山以东的东南部山区,海拔在 3 200~5 000 m,是植被分布最外层的主要部分,面积比例约为 70%。② 山地的抬升增雨和温度的垂直梯度作用,形成了不同的水热组合,反映在 *NDVI* 的空间分布上,表现为周围山区 *NDVI* 的空间变化程度明显高于盆地内部,具有垂直分异特性。具体来说,在海拔 3 450~3 950 m 的山体下部主要发育荒漠化草原,如芨芨草草原和沙生针茅草原,高寒草原主要分布在海拔 4 000 m 以上的相对多雨区,在海拔 3 800~4 200 m 的祁连山区和 4 000~4 500 m 的昆仑山区主要分布着高寒草甸植被,主要是嵩草草甸和披碱草草甸,在高寒草甸带和高山流石坡稀疏植被之间则主要是各种垫状植被。

4.4 植被分布与人类活动的关系

在柴达木盆地经济开发和社会发展的背景下,人类活动对盆地植被分布的影响是不容忽视的。但由于人类活动对植被分布的影响更主要是体现在植被的动态变化上,而本研究所采用的主要数据是多

年平均年最大化 $NDVI$ 无法与某一时期的人类活动具体对应,因此我们主要是从柴达木盆地土地利用的角度,定性地探讨植被分布与人类活动的关系。通过土地利用图与图 2 的叠加分析发现,柴达木盆地的耕地主要集中在香日德河、诺木洪河、察汗乌苏河、夏日哈河、沙柳河、都兰寺河、巴音郭勒河和格尔木河等几大河流的下游,形成了以水资源为依托、以流域为开发布局单元的绿洲灌溉农业⁽²⁸⁾,因此这些地区的 $NDVI$ 值相对较高,在 0.1 以上。具体来说,柴达木盆地的绿洲可以分为两类,一类以香日德绿洲为代表,分布在出山口地区,周围的植被类型主要是各种荒漠,反映在 $NDVI$ 上,表现为该地区的 $NDVI$ 明显高于周围地区,因此,香日德河流域虽然降水量在 100 mm 以下,其 $NDVI$ 值却大于 0.1,成为中间层的组成部分;另一类绿洲以格尔木绿洲为代表,分布在细土平原带上,由于细土带为地下水出流带,所以其周围地区的植被覆盖也较好,因此在 $NDVI$ 图上该地区与周围地区混在一起,形成了盆地中南部的亮斑和线状特征。

5 结论

(1) 柴达木盆地总体植被覆盖度偏低, \bar{M}_{NDVI} 在 0.032 6~0.583 7 之间,平均值仅为 0.140 4。 \bar{M}_{NDVI} 的空间分布呈三层半环状结构,最外层的 \bar{M}_{NDVI} 在 0.2~0.6 之间,主要位于祁连山以南和唐格乌拉山以东的盆地东南部;中间层的 \bar{M}_{NDVI} 在 0.1~0.2 之间,祁连山和盆地南侧的昆仑山是其主要组成部分;最内层位于盆地中西部, \bar{M}_{NDVI} 在 0.1 以下,可分为 2 个亚区。由于河流、湖泊和地下水出流带等水体的存在,使得上述半环状结构在局部地区呈非连续状态,而形成突出亮斑和线状特征。

(2) 柴达木盆地植被覆盖的影响因素主要包括降水、水体、海拔和人类活动 4 个方面,其中前 3 个属于自然影响因素。降水和海拔有一定的关联性,从总体上决定了盆地植被分布的基本格局;水体和人类活动对植被分布的作用主要体现在局部地区,并且往往打破降水和海拔作用下植被的分布格局,起着决定性的作用。

(3) 年等降水量线和三层半环结构的分界线有着很好的对应关系。100 mm 等降水量线与内层和中间层分界线基本一致,中间层和外层的分界线则几乎与 150 mm 等降水量线完全吻合。由于盆地中

南部地下水出流的原因,亚区 1 和 2 的分界线以托素湖为界,呈现南北两种不同的情况。托素湖以北两者的分界线是 50 mm 等降水量线,托素湖以南则是 25 mm 等降水量线。

(4) 径流、湖泊、地下水对植被分布的作用主要是通过水分条件起作用的,反映在 \bar{M}_{NDVI} 的空间分布上,表现为一个个突出的亮斑和线状特征,并且水体周围 \bar{M}_{NDVI} 的空间分布有其自己的规律,呈同心圆结构。但盆地中心的高咸湖泊周围都是寸草不生的盐壳。

(5) 海拔对植被空间分布的作用相对复杂,主要是通过它对柴达木盆地的气候特别是对降水的作用间接表现出来的。这一方面在一定程度上加剧了柴达木盆地植被分布的地带性特征,另一方面也形成了植被分布的垂直分异特性,使得某些海拔高度带成为植被分布的临界高度。

(6) 人类活动对柴达木盆地植被分布的影响主要体现在绿洲农业区,使得这些地区的植被类型和分布格局不同于降水格局下的植被状况,从总体上提高了这些地区的 $NDVI$ 值。

参考文献(References):

- (1) 陈述彭,童庆禧,郭华东. 遥感信息机理研究(M). 北京: 科学出版社,1998. (Chen Shupeng, Tong Qingxi, Guo Huadong. Study on Mechanism of Remote Sensing (M). Beijing: Science Press, 1998.)
- (2) 崔林丽,史军,杨引明,等. 中国东部植被 $NDVI$ 对气候和降水的旬响应特征(J). 地理学报,2009,64(7): 850-860. (Cun Linli, Shi Jun, Yang Yinming et al. Ten-day response of vegetation $NDVI$ to the variation of temperature and precipitation in eastern China (J). Acta Geographica Sinica 2009, 64(7): 850-860.)
- (3) 除多,德吉央宗,普布次仁,等. 西藏藏北高原植被生长对气候要素变化的响应(J). 应用气象学报,2007,18(6): 832-838. (Chu Duo, Deji Yangzong, Pupu Ciren et al. The response of typical vegetation growth to climate conditions in north Tibetan Plateau (J). Journal of Applied Meteorological Science 2007, 18(6): 832-838.)
- (4) 赵静,姜琦刚,李卫东,等. 基于 $NDVI$ 变化的三江源生态环境演变分区研究(J). 世界地质,2008,27(4): 427-431. (Zhao Jing, Jiang Qigang, Li Weidong et al. Study on evolutionary regionalization of ecological environment in source regions of the three rivers based on changes of $NDVI$ (J). Global Geology, 2008, 27(4): 427-431.)
- (5) 赵英时. 遥感应应用分析原理与方法(M). 北京: 科学出版社,2003: 366-375. (Zhao Yingshi. Principles and Methods of Analysis of Remote Sensing Applications (M). Beijing: Science Press, 2003: 366-375.)

- (6) 张学霞, 葛全胜, 郑景云. 近 50 年北京植被对全球变暖的响应及其时效 (J). 生态学杂志, 2005, 24(2): 123 - 130. (Zhang Xuexia, Ge Quansheng, Zheng Jingyun. Impacts and lags of global warming on vegetation in Beijing for the last 50 years based on remotely sensed data and phenological information (J). Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(2): 123 - 130.)
- (7) 杨星卫, 周红妹, 李军, 等. 全球稻谷主产区遥感估产可行性研究 (J). 应用气象学报, 1998, 9(2): 251 - 256. (Yang Xingwei, Zhou Hongmei, Li Jun, et al. Feasibility research on estimating global paddy yield using remote sensing (J). Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1998, 9(2): 251 - 256.)
- (8) 郑照军, 刘玉洁, 张炳川. 中国地区冬季积雪遥感监测方法改进 (J). 应用气象学报, 2004, 15(增刊): 75 - 84. (Zheng Zhaojun, Liu Yujie, Zhang Bingchuan. Improved remote sense monitoring on snow cover of China in winter (J). Journal of Applied Meteorological Science, 2004, 15(Suppl.): 75 - 84.)
- (9) Tucker C J, Townshend R G, Goff T E. African land-cover classification using satellite data (J). Science, 1985, 227: 369 - 375.
- (10) Justice C O, Hiernaux P H Y. Monitoring the grasslands of the Sahel using NOAA AVHRR data: Niger 1983 (J). International Journal of Remote Sensing, 1986, 7: 1 475 - 1 497.
- (11) Rasmusen M S. Developing simple, operational consistent *NDVI*-vegetation models by applying environmental and climatic information: part II. Crop yield assessment (J). International Journal of Remote Sensing, 1998, 19: 119 - 139.
- (12) Nicholson S E, Farrar F J. The influence of soil type on the relationships between *NDVI*, rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana: *NDVI* response to rainfall (J). Remote Sensing of Environment, 1994, 50: 107 - 120.
- (13) Richard Y, Pocard I A. Statistical study of *NDVI* sensitivity to seasonal and interannual rainfall variations in Southern Africa (J). International Journal of Remote Sensing, 1998, 19: 2 907 - 2 920.
- (14) 马明国, 董立新, 王雪梅. 过去 21 a 中国西北部植被覆盖动态监测与模拟 (J). 冰川冻土, 2003, 25(2): 232 - 236. (Ma Mingguo, Dong Lixin, Wang Xuemei. Study on the dynamically monitoring and simulating the vegetation cover in northwest China in the past 21 years (J). Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 232 - 236.)
- (15) 程瑛, 徐殿祥, 郭妮. 近 20 年来祁连山区植被变化特征分析 (J). 干旱区研究, 2008, 25(6): 772 - 777. (Cheng Ying, Xu Dianxiang, Guo Ni. Analysis on the vegetation change in the Qilian Mountains since recent 22 years (J). Arid Zone Research, 2008, 25(6): 772 - 777.)
- (16) 韩秀珍, 李三妹, 罗敬宁, 等. 近 20 年中国植被时空变化研究 (J). 干旱区研究, 2008, 25(6): 753 - 758. (Han Xiuzhen, Li Sanmei, Luo Jingning, et al. Study on spatiotemporal change of vegetation in China since 20 years (J). Arid Zone Research, 2008, 25(6): 753 - 758.)
- (17) 樊光秀, 赵金刚. 柴达木盆地生态环境保护与建设分析 (J). 柴达木开发研究, 2008(1): 16 - 19. (Fan Guangxiu, Zhao Jingang. Analysis on ecological environment protection and construction of Qaidam Basin (J). Research of Qaidam Development, 2008(1): 16 - 19.)
- (18) 李冬玲, 穆一清, 马小红. ETM 数据在柴达木盆地生态环境因素调查中的应用 (J). 西部探矿工程, 2009, 21(2): 88 - 91. (Li Dongling, Mu Yiqing, Ma Xiaohong. The application of ETM data in the survey of ecological environment factors of Qaidam Basin (J). West-China Exploration Engineering, 2009, 21(2): 88 - 91.)
- (19) 任海燕. 柴达木盆地生态环境因素遥感分析 (J). 青海国土经略, 2007(5): 32 - 35. (Ren Haiyan. Remote sensing analysis on ecological environment factors of Qaidam Basin (J). Research of Qinghai Land, 2007(5): 32 - 35.)
- (20) 马俊飞, 吕昌河, 王茜. 基于 MODIS *NDVI* 时序数列的柴达木盆地土地覆盖分类研究 (J). 干旱区地理, 2008, 31(3): 442 - 448. (Ma Junfei, Lv Changhe, Wang Qian. Land-cover classification of the Qaidam Basin based on MODIS *NDVI* time series data (J). Arid Land Geography, 2008, 31(3): 442 - 448.)
- (21) 刘燕华. 柴达木盆地水资源合理利用与生态环境保护 (M). 北京: 科学出版社, 2000: 1 - 20. (Liu Yanhua. Rational Utilization of Water Resources and Ecological Environment Protection of Qaidam Basin (M). Beijing: Science Press, 2000: 1 - 20.)
- (22) 赵串串, 胡慧, 董旭, 等. 柴达木盆地土地荒漠化生态安全评价 (J). 林业调查规划, 2009, 34(4): 22 - 25. (Zhao Chuanchuan, Hu Hui, Dong Xu, et al. Evaluation on ecological security of desertification in Chaidamu Basin (J). Forest Inventory and Planning, 2009, 34(4): 22 - 25.)
- (23) 于海洋, 张振德, 张佩民. 青海土地荒漠化评价及动态监测 (J). 干旱区研究, 2007, 24(2): 153 - 158. (Yu Haiyang, Zhang Zhende, Zhang Peimin. RS-and GIS-based evaluation and dynamic monitoring of land desertification in Qinghai province (J). Arid Zone Research, 2007, 24(2): 153 - 158.)
- (24) 国志兴, 王宗明, 宋开山, 等. 1982 - 2003 年东北林区森林植被 *NDVI* 与水热条件的相关分析 (J). 生态学杂志, 2007, 26(12): 1 930 - 1 936. (Guo Zhixing, Wang Zongming, Song Kaishan, et al. Correlations between forest vegetation *NDVI* and water/thermal condition in Northeast China forest regions in 1982 - 2003 (J). Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(12): 1 930 - 1 936.)
- (25) Stow D, Hope A, McGuire D, et al. Remote sensing of vegetation and land-cover change in arctic tundra ecosystems (J). Remote Sensing of Environment, 2004, 89: 281 - 308.
- (26) Hope A, Boynton W, Stow D, et al. Inter-annual growth dynamics of vegetation in the Kuparuk river watershed based on the normalized difference vegetation index (J). International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(17): 3 413 - 3 425.
- (27) 宋怡, 马明国. 基于 SPOT VEGETATION 数据的中国西北植被覆盖变化分析 (J). 中国沙漠, 2007, 27(1): 89 - 93. (Song Yi, Ma Mingguo. Study on vegetation cover change in northwest China based on SPOT VEGETATION data (J). Journal of Desert Research, 2007, 27(1): 89 - 93.)
- (28) 张豪禧, 贾绍凤. 柴达木盆地土地合理利用与绿洲生态农业持续发展 (J). 干旱区资源与环境, 1998, 12(4): 44 - 54. (Zhang Haoxi, Jia Shaofeng. Rational land utilization and sustainable oases ecological agriculture development of the Qaidam Basin (J). Journal of Arid Land Resources and Environment, 1998, 12(4): 44 - 54.)

Study on Spatial Distribution of Vegetation Coverage and Its Affecting Factors in the Qaidam Basin Based on *NDVI*

ZHU Wen-bin^{1,2}, LV Ai-feng², JIA Shao-feng²

(1. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

2. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Vegetation is a natural bridge that links soil, air, water and other elements of the nature, and also an important direct factor of ecological environment. Because satellite remote sensing has advantages of simultaneous and time-intensive observations, data comparability, etc., it provides a powerful tool for dynamic detection of vegetation in large areas. In a variety of surface parameters, *NDVI* (normalized difference vegetation index) is especially sensitive to vegetation growth and can represent the change of vegetation coverage to some extent, so *NDVI* is regarded as the best instructing factor of surface vegetation. There have been a lot of studies using *NDVI*, but most of the previous studies focused on the relationships between climatic factors and vegetation indices or explored the dynamic change of vegetation in some specific regions by analyzing the dynamic change of *NDVI*. It is believed that the multi-year average of vegetation index reflects a normal state of vegetation coverage, so another important application of *NDVI* is to use the average value to study the spatial distribution of regional vegetation and its affecting factors. The Qaidam Basin is characterized by the diverse terrains, significant vertical differentiation and quite inhomogeneous spatial distribution of vegetation. Because of its special geographical location and climatic characteristics, its ecological environment is relatively vulnerable. Therefore, the study on the spatial distribution of vegetation coverage and its affecting factors in the Qaidam Basin using data series of *NDVI* is of great significance both for the expansion of *NDVI* application and the ecological conservation in the Qaidam Basin. In this paper, the spatial distribution of vegetation coverage in the Qaidam Basin is analyzed using GIMMS (global inventory modeling and mapping studies) *NDVI* data set from January 1982 to December 2006. The factors affecting the spatial distribution of vegetation coverage in the Qaidam Basin are also analyzed based on the data of precipitation, terrain, stream systems, land use and the map of vegetation distribution in the basin. The results showed that the vegetation coverage is generally low in the Qaidam Basin, where the long-time average annual maximum value of *NDVI* ranges from 0.032 6 to 0.583 7 and only 0.140 4 in average. There is a clear semi-ring structure of vegetation coverage from the southeast to the northwest. There are four main factors affecting the spatial distribution of vegetation coverage in the Qaidam Basin, i. e., precipitation, hydrological conditions, altitude and human activities. Specifically, there is a good correlation between the average annual precipitation and the three-layer semi-ring structure of vegetation coverage. The effect of altitude on the distribution of vegetation is relatively complex. The effects of hydrological conditions and human activities on the distribution of vegetation are mainly embodied in local areas.

Key words: *NDVI*; vegetation coverage; spatial differentiation; hydrological conditions; Qaidam Basin.