

文章编号: 1007-4619 (2003)04-0316-05

东亚土地覆盖对 ENSO 事件的响应特征

香 宝, 刘纪远

(中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 对1982—1993年气候年际变化的强信号——ENSO进行了确认及再分类。以美国地质调查局 EROS 中心提供的 AVHRR 8km NDVI 为数据源, 应用地理信息系统技术, 计算了1982—1993年每年夏季(5—9月) NDVI 平均影像。在此基础上用数据断面分析法对 ENSO 年东亚地区土地覆盖的空间分布进行了分析, 再用主成分分析法对同一时间序列 NDVI 平均影像进行了运算, 发现其第7主成分影像所反映的土地覆盖分布与数据断面分析法所反映的结果是一致的。对此, 进一步分析了第7主成分的特征向量与代表 ENSO 变化特征的南方涛动指数(SOI)之间的关系, 进而, 对 ENSO 驱动下的东亚地区土地覆盖年际变化的空间分布特征进行了总结。

关键词: 东亚土地覆盖; ENSO 事件; 数据断面分析; 主成分分析; 响应特征

中图分类号: F301.24 X87 **文献标识码:** A

1 引 言

土地覆盖是指地球陆地表面的自然属性^[1]。客观存在于自然界的土地覆盖是由多种组成要素有机结合形成的自然综合体。其中植被是联结土壤、大气和水分等要素的自然“纽带”^[2]。因而, 植被的动态变化在某种程度上代表着土地覆盖的动态变化。植被动态监测开始于遥感对地观测, 在遥感平台上获得的是地物不同的电磁波辐射, 所有物体都具有本身发射电磁波的特性, 与此同时还具有吸收、反射或散射电磁波的特性。植被指数是根据植被反射波段的特性计算出来的反映地表植被生长情况、覆盖情况、生物量及植被种类情况的间接指标。植被指数按遥感平台及传感器的不同有很多种。根据 NOAA/AVHRR 的一、二通道计算产生的各种参数都对植被生长状况、生产力以及其他生物物理、生物化学特征敏感。因此, 常被用作描述植被生理状况、估测土地覆盖面积的大小、植物光合能力、叶面积指数、现存绿色生物量、植被生产力等。归一化植被指数(NDVI), 被定义为近红外波段(NIR)与可见光红

波段(R)数值之差和这两个波段数值之和的比值, 即 $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ ^[3], 是普遍利用的刻画植被的指数^[4]。因此, 作为植被的一个重要遥感参数, NDVI 在全球变化、土地利用、土地覆盖等领域得到了广泛的应用^[5-7]。

土地覆盖变化机制的研究一直是全球变化研究关注的焦点^[8]。全球气候变化对以植被动态变化为表征的土地覆盖动态变化中起着非常重要的作用^[9-11]。亚洲季风是在海陆分布形势、经纬度位置、下垫面作用、行星风带及天气系统的季节位移等诸因素共同作用下大气对海陆间不均匀热力差异的响应, 是一个与全球大气环流相联系的陆—海—气耦合系统, 不仅季节变化很明显, 而且年际变化也很大, 而 ENSO 又是气候年际变化的强信号。ENSO 循环是气候年际变化的重要表现, 也是土地覆盖动态变化的重要驱动力。ENSO 具有全球尺度的影响, 许多地方的降水、气温等气候要素的异常与 ENSO 有密切联系^[12]。ENSO 事件通过影响气温、降水等气候要素直接影响植被, 并间接影响土地覆盖动态。这一方面, Kogan^[13]应用 AVHRR 数据对 El Nino 年南非植被状况进行了研究。由于至今尚未见到利用遥

收稿日期: 2002-07-04; 修订日期: 2002-08-23

基金项目: 中国科学院地理科学与资源研究所知识创新工程主干科学计划(CX10G-E01-01-01)及教育部科学技术研究重点项目(01022)共同资助。

作者简介: 香宝(1965—), 男, 副教授, 博士。2000年于中国科学院遥感应用研究所获博士学位, 现在中国科学院地理科学与资源研究所做博士后研究工作, 主要从事土地利用/土地覆被变化与遥感应用方面的研究, 已发表论文30余篇, 专著1部。

感影像对东亚地区土地覆盖在 ENSO 年的动态变化方面的研究,而这种研究对全球变化研究有着重要的意义。本项研究尝试利用时间序列的 8kmNOAA/AVHRR *NDVI* 数字影像,探索东亚地区土地覆盖在 ENSO 年的动态变化特征。

2 ENSO 事件及其确认

ENSO 是厄尔尼诺和南方涛动的简称。El Nino 通常是指赤道太平洋东部大范围海面温度异常增暖的现象。南方涛动指的是印度洋与热带东南太平洋之间的气压振荡,为了表示南方涛动的强度,许多研究者曾设计了各种指标,其中有一种常用的指标是南方涛动指数(SOI),是用东南太平洋的塔希提岛(Tahiti)海平面气压和达尔文港(Darwin)海平面气压之差的滑动平均代表东南太平洋和印度洋之间的海平面气压变化。在 20 世纪 60 年代以前,人们还是将 El Nino 和南方涛动这两种海洋大气现象分开来研究,但是到 20 世纪 60 年代以后,随着观测资料的丰富及研究的深入,人们逐渐发现了这两种现象之间的关系,即当赤道东太平洋海面温度异常增暖时,南方涛动指数就会降低,反之则相反。正因为愈来愈

清楚地认识到发生在热带海洋中的 El Nino 现象与南方涛动之间的密切联系,从而人们提出了统一描写这一对海洋—大气现象的新术语,称之为 El Nino/Southern Oscillation 现象,简称 ENSO。通常,由于海气之间的相互作用,El Nino 事件发生在南方涛动的负位相时期;而在南方涛动正位相时,赤道太平洋则发生大范围的降温。因此,所谓 ENSO 事件指的是与 El Nino 相伴随的南方涛动的负位相出现时的海气综合事件。

研究 ENSO 对土地覆盖的影响首先必须确认 ENSO 事件。确认 ENSO 事件涉及到一个表征指标问题。随着观测与研究的逐渐深入,表征指标也在不断发展中,早期多用南方涛动指数,后来用赤道东太平洋海表温度(Nino 3 区和 Nino C 区 SST),近来用 Nino 3.4 区 SST,近期倾向于同时使用多种指标来确认 ENSO 事件。用不同确认指标划分出来的 ENSO 是不一样的,主要表现在开始时间、结束时间、持续时间及强度等指标上。李清泉等(1997)用中国 ENSO 监测小组研制的划分 ENSO 事件的标准和指数,使用 1951 年 1 月—1995 年 8 月赤道东太平洋(Nino 3) SST 资料计算了表征 ENSO 事件的指数,其中 1982—1993 年各项指标如表 1 所示。

表 1 1982—1994 年 ENSO 事件
Table 1 ENSO events during 1982—1993

起始年月	结束年月	持续月数	最大 SSTA	SSTA ≥ 1 的月数	ENSO 年	起始增温海区
1982-09	1983-08	12	1.8 $^{\circ}\text{C}$ (83.2)	9	1983	Nino4
1986-10	1988-01	16	1.4 $^{\circ}\text{C}$ (87.10)	6	1987	Nino4
1991-06	1992-09	16	1.3 $^{\circ}\text{C}$ (91.11—12)	6	1991	Nino4
1993-04	1993-12	9	1.0 $^{\circ}\text{C}$ (93.5)	1	1993	Nino4

(引自李清泉等“1991—1995 年 EL NINO 事件的特征及其对中国天气气候异常的影响”,略作修改)

表中 ENSO 事件用 ENO 发生年、ENSO 结束年和 ENSO 年来表示,其中最大海温距平出现的年份为 ENSO 年。

王绍武等^[14],使用 4 种序列(Nino3 区 SST 序列、Nino C 区 SST 序列、及两个 SOI 序列)的海温距平和南方涛动指数,制定出确定 ENSO 事件的综合指数。并以此指数确认了 1867—1998 年的 ENSO 事件。表 2 为 1982—1993 年部分。

ENSO 是由一个完整的形成、发展和衰亡过程构

成的具有一定“生命期”的循环。它的每一个发展阶段对气候所起的作用是不一样的。根据其发展位相的不同,一般把 ENSO 循环分为酝酿阶段、发展阶段和衰弱阶段等。以此原理为依据,详细分析上述各表中有关 ENSO 开始时间、持续时间、结束时间及强度指标等基础上,我们把 20 世纪 80 年代到 90 年代初期的 ENSO 事件再分类成不同类型。其中,发展阶段的 ENSO 年包括:1982, 1986, 1991, 1993 年衰弱阶段的 ENSO 年包括:1983, 1987, 1992 年。

表 2 1982—1993 年的 ENSO 事件

Table 2 ENSO events during 1982—1993

暖 事 件					
开 始	结 束		持 续 强 度		
年 季	年 季	年 季	季 数		
1982	2	1983	2	5	1
1986	3	1987	4	6	1
1991	1	1992	2	6	2
1993	1	1993	3	3	2

3 ENSO 年东亚土地覆盖的数据断面分析

3.1 数据源

构成本项研究的基本数据集是美国地质调查局的 EROS 数据中心提供的 AVHRR 探路者数据库, 其空间分辨率为 8km, 时间分辨率为 10d, 数据项包括 NOAA/AVHRR 1、2、4、5 波段数据、辅助数据和 $NDVI$ 数据, 投影为古得投影 GOODE'S interrupted Homologous Projection, 数据载体为 8mm 磁带, 空间范围为 $25.6^{\circ}\text{E}-143.7^{\circ}\text{E}$, $4.5^{\circ}\text{S}-79^{\circ}\text{N}$, 时间序列为 1981 年 7 月至 1994 年 8 月。为考虑年际间数据的可比性, 实际应用时只用了 1982—1993 年的完整数据。在地理信息系统支持下, 计算了 1982—1993 年每年 5—9 月 $NDVI$ 平均值。计算每年 5—9 月 $NDVI$ 是考虑了以下几个因素: ①东亚地区植被对 5—9 月季风气候雨热同季特征具有较强的敏感性; ②每年 5—9 月 $NDVI$ 平均值, 能够部分消除植被的季节变化特征, 从而更充分反映植被的年际变化特点。

3.2 数据断面分析原理

图版 I 图 1 表示了数据断面分析的基本原理, 图中纵向表示不同 ENSO 年同一土地覆盖数据断面分布情况, 横向表示经 GIS 处理后获得的同一 ENSO 年不同土地覆盖数据断面分布情况。ENSO 年土地覆盖的数据断面分析, 其实质是确定 ENSO 年后, 在 GIS 支持下, 选取不同的土地覆盖指数^[7] 数据断面对不同 ENSO 年的土地覆盖进行对比分析, 以便于分析发现不同发展阶段 ENSO 年土地覆盖变化情况。

3.3 ENSO 年土地覆盖空间分布

根据上述土地覆盖数据断面分析原理, 以 8km $NDVI$ 为数据源计算的 ENSO 年 5—9 月土地覆盖不同数据断面如图版 II 图 2 所示。其中, 横向(从左到

右)代表不同土地覆盖数据断面, 这里选择 $NDVI > 180$, $NDVI > 190$, $NDVI > 200$ 做为土地覆盖数据断面; 纵向(从上到下)代表 ENSO 年(1982, 1983, 1987, 1991, 1992, 1993 年)。这里没有包括 1986 年 ENSO 事件, 是因为 1986 年 ENSO 事件开始于 9 月份, 而本研究中的土地覆盖指数^[7] 是以 5—9 月平均值为基础。

对比分析图版 II 图 2 中不同 ENSO 年同一数据断面及同一 ENSO 年不同数据断面, 我们发现 ENSO 年 5—9 月东亚地区土地覆盖空间分布有以下特点:

(1) ENSO 年土地覆盖分布表现出以西北干旱地区(包括青藏西北部、新疆、内蒙古西部等地区)为中心, 其东南部地区(季风区)及北部地区(东亚北部地区)土地覆盖指数高, 干旱中心本身由于降水少而土地覆盖指数小的特点。

(2) 不论什么类型 ENSO 年, 中南半岛及中国的秦岭山脉土地覆盖指数始终是个高值区。这种现象可能是南亚季风和高原季风与东亚季风的组成及环流特征不同所致, 对此应从季风的组成及其环流特征、ENSO 循环、土地覆盖等方面进行进一步深入研究。

(3) 从 ENSO 年土地覆盖数据断面分析看, 衰减阶段 ENSO 年(1983, 1987, 1992 年)土地覆盖指数明显小于发展阶段 ENSO 年(1982, 1991, 1993 年)土地覆盖指数值, 而发展阶段 ENSO 年(1982, 1991, 1993 年)东亚北部地区, 中国的东北地区、秦岭地区、西南地区、东南沿海地区、日本列岛, 中南半岛等地区土地覆盖指数明显高于衰减阶段 ENSO 年(1983, 1987, 1992 年)相应地区的土地覆盖指数值。

4 ENSO 年土地覆盖变化的主成分分析

Anyamba 和 Eastman^[15] 的研究表明, 主成分分析结果中各个主成分所代表的含义是不一样的。具体来讲, 第一主成分代表了 $NDVI$ 在整个研究时间段内的总体特征, 2—4 主成分代表降水的季节变化趋向, 5、6 主成分解释了与 NOAA 卫星轨道变化有关的信息, 主成分 7 解释区域气候的年际变化特征。我们用主成分分析方法对上述 1982—1993 年每年 5—9 月平均 $NDVI$ 影像进行了分析, 其第 7 主成分影像如图 3 所示。

图版 I 图 3 是主成分分析结果所反映的气候年际变化(ENSO 变化)驱动下土地覆盖年际变化的空间分布状况, 是 1982—1993 年 5—9 月东亚土地覆

盖指数随气候的年际变化(这里以 ENSO 的变化为代表)发生的某一类变化类型的空间分布模式。从图版 I 图 3 看出,属于这一类变化的年份其土地覆盖分布的主要特点是:东亚北部地区,中国的东北地区、秦岭地区、西南地区、东南沿海地区,日本列岛,中南半岛等地区土地覆盖指数明显高于东亚其他地区土地覆盖指数。那么东亚土地覆盖空间分布的这一类变化所对应的 ENSO 年份到底是哪些呢?对此,进一步用第 7 主成分的特征向量与 1982—1993 年代表 ENSO 变化特征的南方涛动指数(SOI,表 3)作了时间序列变化曲线图(图 4)。从图 4 可以看出,对应于 1982、1991 年 ENSO 事件的土地覆盖指数具有逐渐增加的趋势,而对应于 1983、1987、1992 年 ENSO 事件的土地覆盖指数具有逐渐减少的趋势。因此,综合分析图版图 3 和图 4 可以得出发展阶段 ENSO 年土地覆盖指数高于衰减阶段 ENSO 年土地覆盖指数,而且发展阶段 ENSO 年土地覆盖指数在东亚北部地区,中国的东北地区、秦岭地区、西南地区、东南沿海地区,中南半岛及日本列岛等地区的分布明显高于东亚其他地区土地覆盖指数的结论。这一结论与

数据断面分析所得的结论是一致的。

表 3 1982—1993 年 5—9 月南方涛动指数(SOI)

Table 3 Southern Oscillation index of 5-9 month dring 1982—1993

年	5月 SOI	6月 SOI	7月 SOI	8月 SOI	9月 SOI	平均 SOI
1982	-0.69	-2.44	-1.95	-2.69	-2.18	-1.99
1983	0.82	-0.35	-0.70	-0.25	0.88	0.08
1984	-0.03	-1.18	0.06	0.10	0.17	-0.18
1985	-0.21	-1.50	-0.24	0.70	0.01	-0.25
1986	-0.60	0.82	0.15	-0.81	-0.54	-0.20
1987	-2.04	-2.82	-1.77	-1.71	-1.17	-1.90
1988	1.08	0.08	1.14	1.31	1.92	1.11
1989	1.41	0.97	0.84	-0.84	0.85	0.65
1990	1.38	-0.08	0.51	-0.74	-0.82	0.05
1991	-1.67	-0.69	-0.12	-1.05	-1.67	-1.04
1992	0.07	-1.99	-0.59	-0.03	0.08	-0.49
1993	-0.53	-1.98	-1.17	-1.80	-0.83	-1.26

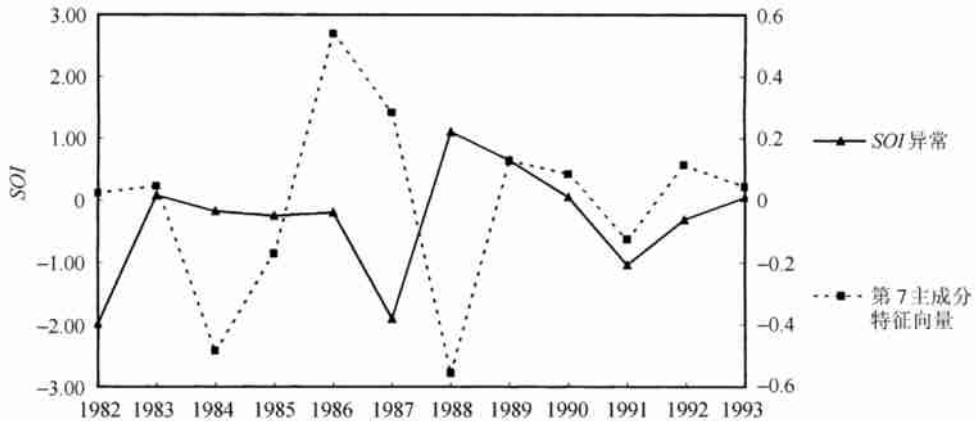


图 4 NDVI 第 7 主成分特征向量与 SOI 的时间序列变化图

Fig 4 A time series plot of NDVI's Component 7 eigenvectors and SOI

5 结论与讨论

以 8km NDVI 为数据源,应用数据断面分析法对东亚地区 ENSO 年 5—9 月土地覆盖的空间分布特征进行了分析总结,进一步用主成分分析方法运算了同一时间序列影像,并分析了代表土地覆盖年际变化特征的第 7 主成分的特征向量与代表 ENSO 变化特征的南方涛动指数(SOI)之间的关系,所得的结论和数据断面分析所得的结论是一致的。说

明,用这些方法研究 ENSO 事件驱动下的土地覆盖指数年际变化是可行的。尤其是发展阶段 ENSO 年土地覆盖指数高于衰减阶段 ENSO 年土地覆盖指数及发展阶段 ENSO 年土地覆盖指数在东亚北部地区,中国的东北地区,秦岭地区、西南地区、东南沿海地区,以及日本列岛,中南半岛等地区的分布高于东亚其他地区土地覆盖指数这一事实的发现,对气候变化与土地覆盖的关系研究是很有意义的。进一步通过揭示 ENSO 及其影响的降水与土地覆盖分布之间的规律,从土地覆盖变化研究入手,可以进行区域

降水变化预测,旱涝预警等研究工作。

参 考 文 献 (References)

- [1] Buheasier, Liu Jiyuan, *et al.* Study on Land Cover Change in China Based on the Seasonal and Longitudinal Characteristics Using Remotely Sensed Data. Asahikaw; IGU LUCC Press, 1997.
- [2] Chen S P, Tong Q X Guo H D. Research on Mechanism of Remote Sensing Information [M], Beijing: Science Press, 1998. [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.]
- [3] Liu J Y, Zhuang D F, Ling Y R. Vegetation Integrated Classification and Mapping Using Remote Sensing and GIS Techniques in Northeast China [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1998, 2(4): 285—291. [刘纪远, 庄大方, 凌扬荣. 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]
- [4] Justice C O. A Analysis of the Phenology of Global Vegetation Using Meteorological Satellite Data. *Int J Remote Sensing* [J]. 1985, 6.
- [5] Tucker C J, Townshend J R G, Goff T E. African Land-cover Classification Using Satellite Data [J]. *Science*, 1985, 227(4685): 369—375
- [6] Eric F Lambin, Daniele Ehrlich. Land-cover Changes in Sub-saharan Africa (1982-1991): Application of a Change Index Based on Remotely Sensed Surface Temperature and Vegetation Indices at a Continental Scale [J]. *Remote Sensing of the Environment* 1997, 61(2): 181—200.
- [7] Gong P, Shi P J, Pu R L, *et al.* Earth Observation Technology and Earth System Science [M]. Beijing: Science Press, 1996. [宫鹏, 史培军, 浦瑞良, 等. 对地观测技术与地球系统科学 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.]
- [8] Li X B. A review of the International Researches on Land Use/ Land Cover Change [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(6): 553—558. [李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向 [J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553—558.]
- [9] Li K R. Research Progress of Global Climate Change and its Impact and Future Prospect [J]. *ACTA Geographica Sinica*, 1996, 51(Supplement): 1—14. [李克让. 全球气候变化及其影响研究进展和未来展望 [J]. 地理学报, 1996 51(增刊): 1—14.]
- [10] Chen Y F, Li K R. GIS-Based Research on Possible Impacts of Global Climate Change on China's Vegetation [J]. *ACTA Geographica Sinica*, 1996, 51(Supplement): 26—39. [陈育峰, 李克让. 地理信息系统支持下全球气候变化对中国植被分布的可能影响研究 [J]. 地理学报, 1996, 51(增刊): 26—39.]
- [11] Wu F Z, Deng H P. Responses of Broad-leaved *Pinus koraiensis* Forests to Global Climate Change [J]. *ACTA Geographica Sinica*, 1996, 51(Supplement): 81—91. [吴正方, 邓慧平. 东北阔叶红松林全球气候变化响应研究 [J]. 地理学报, 1996, 51(增刊): 81—91.]
- [12] Gong D Y, Wang S W. ENSO Events Influence on Precipitation over Global Land and China during the Past Century [J]. *Chinese Science*, 1999, 3: 315—320. [龚道溢, 王绍武. 近百年 ENSO 对全球陆地及中国降水的影响 [J]. 科学通报, 1999, 3: 315—320.]
- [13] Kogan F N. A Typical Pattern of Vegetation Conditions in Southern Africa during El Nino Years Detected from AVHRR Data Using Three-channel Numerical Index [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(18): 3688—3694.
- [14] Wang S W, Gong D Y. ENSO Events and Their Intensity during the Past Century [J]. *Meteorological Monthly*, 1999, 25(1): 9—13. [王绍武, 龚道溢. 近百年来的 ENSO 事件及其强度 [J]. 气象, 1999, 25(1): 9—13.]
- [15] Anyamba A, Eastman J R. Interannual Variability of NDVI over Africa and its Relation to EL Nino/Southern Oscillation [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(13): 2533—2548.

Characteristic of East Asian Land Cover's Response to ENSO Events

XIANG Bao, LIU Ji-yuan

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: This study has confirmed and reclassified the ENSO events, which are considered as the strong signal of interannual climate variation, during 1982 to 1993. Based on the AVHRR *NDVI* database, which are offered by USGS EROS data center and have 8km spatial resolutions and 10 days temporal resolutions, calculated annual averaged *NDVI* images of 5-9 months during 1982 to 1993 using GIS technology. With the averaged *NDVI* images, the spatial distribution of east Asian land cover in ENSO years using Data Profile Analysis method. At the same time, applied Primary Component Analysis method made calculations on same time series *NDVI* images, and identified the spatial distribution of land cover reflected by the 7th component of PCA analysis is the same as the results of Data Profile Analysis. Furthermore, the relationship of the eigenvector of the component 7 and Southern Oscillation index (*SOI*), which represents the characteristic of ENSO changes, during 1982 to 1993, and the characteristic of spatial distribution of east Asian land cover's interannual changes which are being driven by changes of ENSO events was summarized.

Key words: East Asian land cover; ENSO events; data profile analysis; primary component analysis; response characteristic

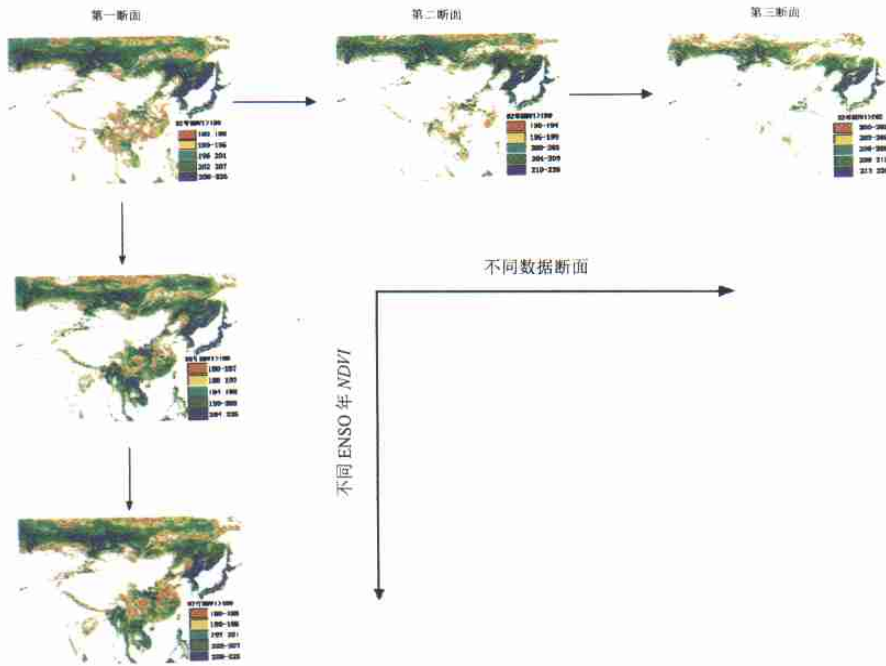


图 1 ENSO 年东亚土地覆盖数据断面分析原理

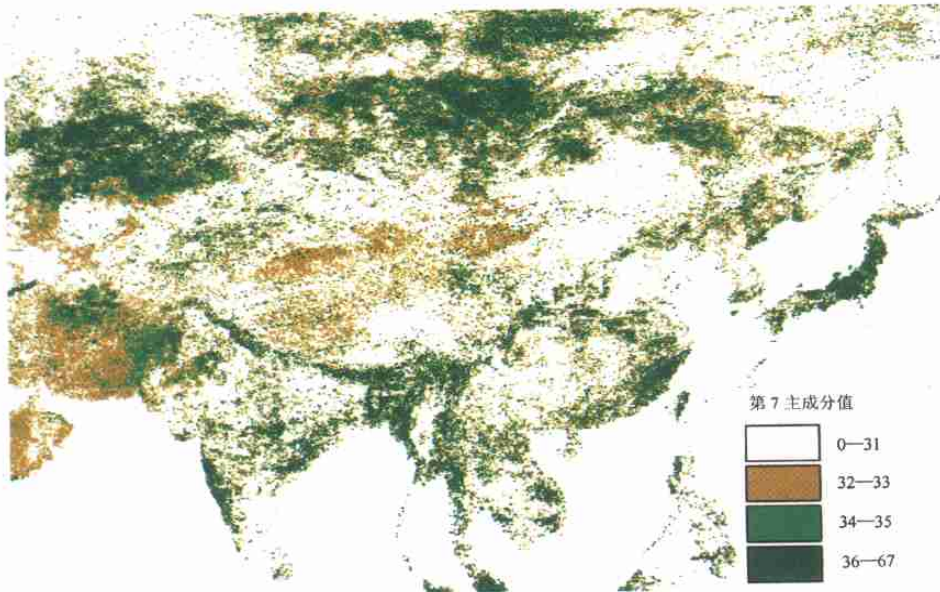


图 3 东亚土地覆盖时间序列主成分分析的第 7 主成分图

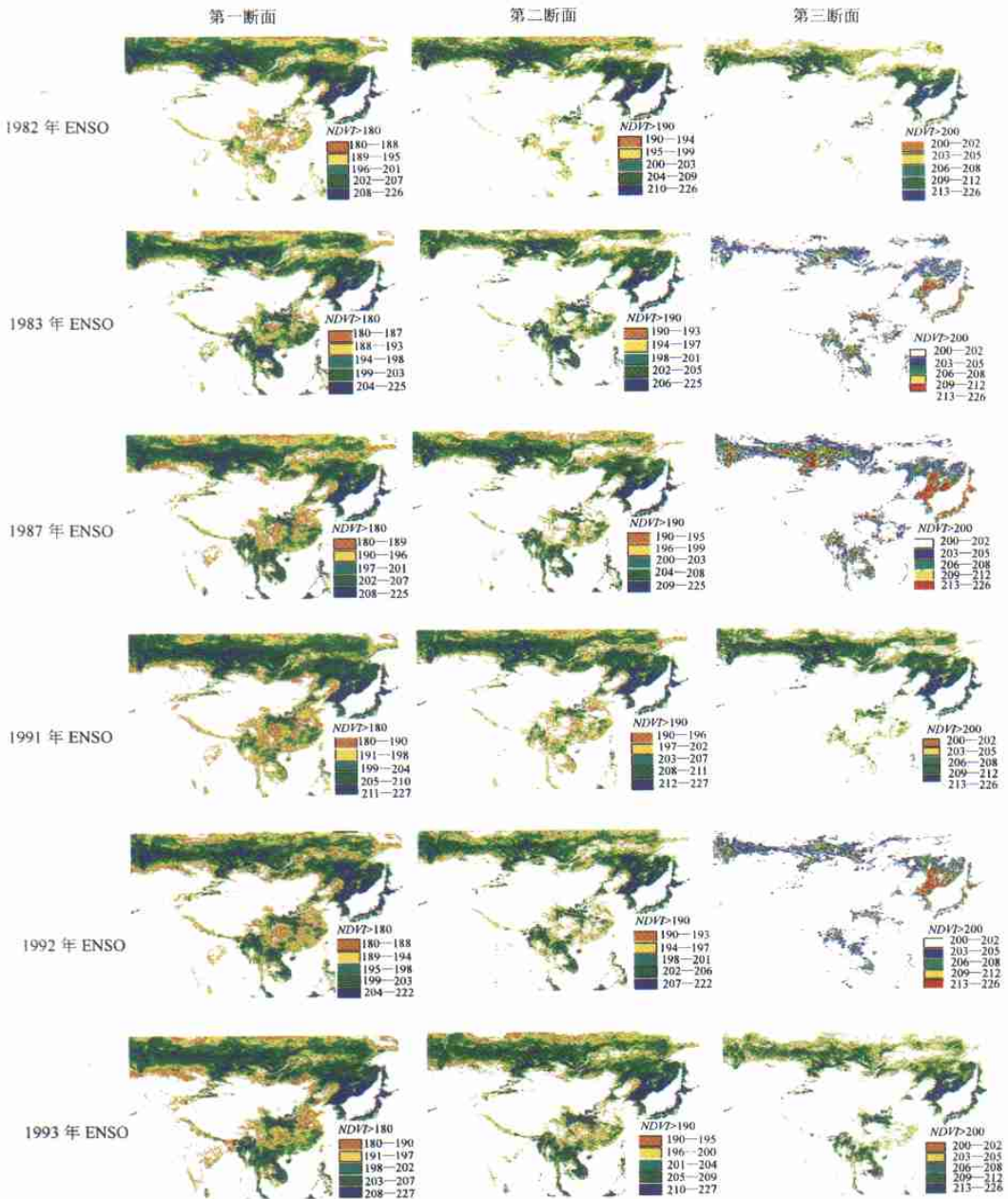


图 2 ENSO 年东亚土地覆盖数据断面