

文章编号: 1007-4619 (2002) 03-0212-11

# 中国陆地生态系统脆弱带遥感模型

布和敖斯尔<sup>1,2</sup> 马建文<sup>2</sup> 韩秀珍<sup>2</sup> 马超飞<sup>2</sup>

(1. 日本北海道环境科学研究所, 日本 北海道; 2. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

**摘要:** 本研究通过对我国陆地生态系统 8 个典型样地的植被指数取样实验和图像计算结果发现, 这 8 个样地植被指数随着水、热因子的季节变化, 在时间和空间上具有一定的“绿波推移”和“景观更替”规律。在中国东部湿润的季风区(样地 1—3), 随着纬度的增高, 其月平均植被指数与月平均气温有较大的相关。发现降水相对丰沛的地带, 热量和光照条件的变化成为植被生长和变化的自然限制因子; 而在中国北方森林—森林草原—典型草原—荒漠草原—荒漠地带, 随着从东部(湿润地区)到西部(干旱地区)干湿条件的更替, 月平均植被指数与降水多寡有较大的正相关关系。在 8 个样地上都呈现出共同的规律, 即定向风的分布与植被指数的分布在时间和空间上具有逆相分布的“套合关系”。尤其在时间上有相逆套合关系, 这正是中国北方沙尘暴和沙漠化加剧的自然原因。本研究定量地给出了我国陆地不同经纬度带生态系统脆弱季节和累积时间的分布。

**关键词:** 植被指数; 生态脆弱性; 经度及季相变化; 遥感模型

**中图分类号:** TP79 **文献标识码:** A

## 1 引言

根据水分和热量条件的差异性原则, 我们选择了 8 个典型实验样地分别为: 华南(江汉平原水田区)、华北(华北平原冬小麦耕作区)、东北(东北平原旱作农业区)、大兴安岭山区(森林区)、呼伦贝尔草原(森林草原区)、锡林郭勒草原(典型干草原)、阿拉善荒漠草原区 and 新疆塔干沙漠区<sup>[1]</sup>。

应用实验样地(1—8)每周的 NOAA 原始图像, 经过纠正后, 用其 AVHRR 的 1 波段数据(可见光)和 2 波段数据(近红外), 计算了正规化植被指数(NDVI)。在同一样地每月叠加按周计算的 4 景植被指数图像, 并除云处理后比较各像元的 NDVI 值, 选择其最大一次的 NDVI 值作为代表这个月的平均植被指数(NDVI)值。NOAA 原始图像是 1993 年 4 月到 1995 年 3 月, 共 96 周的 NOAA 图像。月平均值是对两年月平均值进行按月平均后得出。在选择典型地物时, 我们对由原始像元值构成 NDVI 的矩阵进行主成分分析,

得到所有地物 NDVI 季相、月际变化规律, 结合区域植被分类图件等, 选择典型地物覆盖类型, 并对典型地物类型的月变化进行单独分析和研究。

## 2 像元 NDVI 主成分分析与 NDVI 综合特征值的求出

主成分分析方法有相关(关系)矩阵的计算方法和离散、共离散矩阵的计算方法等两种。这里应用的是关系矩阵的演算方法。根据各主成分固有向量(vector)值的月变化特性, 可以提炼出所有 9 个主成分代表全部的(100%)的成分和其平均值, 以横坐标作为月份, 纵坐标作为各向量月平均 NDVI 值, 绘制出各主成分 NDVI 月相变化曲线。

假设有  $P$  个特征值  $X_1, X_2, \dots, X_P$ , 其所载信息, 可概括为满足下列两个条件的  $m$  个综合特征值  $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$ , 这时把  $(Z_1, Z_2, \dots, Z_m)$  的值称第一, 第二,  $\dots$ , 第  $m$  主成分, 此时构成

$$Z_1 = A_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + A_{1P}X_P$$

收稿日期: 2001-02-16; 修订日期: 2001-05-25

基金项目: 中国科学院资源环境领域知识创新工程重大(重要方向)项目, 编号: KZCX2-305。

作者简介: 布和敖斯尔(1964—), 男, 内蒙古库伦旗人, 1995 年中国科学院地理所信息室博士毕业, 获理学博士学位, 1995-2000 年, 先后在中国科学院遥感应用研究所、日本北海道大学、香港城市大学物理与材料系做过三次博士后研究。主要从事全球变化遥感研究。E-mail: Buhe@hokkaido-ies.go.jp

$$Z_2 = A_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + A_{2p}X_p$$

...

$$Z_m = A_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + A_{mp}X_p$$

这时,系数  $A_{ki}$  满足

$$\sum_{i=1}^p A_{ki}^2 = 1 \quad (k = 1, 2, \dots, m)$$

这里,两个条件为,

(1)条件一:  $Z_j$  和  $Z_k (j \neq k; j, k = 1, 2, \dots, m)$  的相关全为零,即不相关。

(2)条件二:  $Z_1$  的离散度在  $(X_1, X_2, \dots, X_p)$  的所有一次方程式的离散度中最大;而  $Z_2$  的离散度在所有与  $Z_1$  不相关的一次方程式中属于最大。同样,以此类推  $Z_m$  的离散程度在所有与  $Z_1, Z_2, \dots, Z_{m-1}$  不相关的一次方程式中属于最大。那么,我们称系数  $A_{ki}$  所构成的向量叫特征向量 (eigen-vector)。我们用这个方法计算了各类地物 12 个月的每月特征向量。主成分 1 和主成分 2 的累积贡献率就占全体的 90%;为了分析细小地物,共取前 9 个特征向量,绘制了其  $NDVI$  月变曲线。第一主成分(主成分-1)一年中变化不大,说明第一主成分可能不随月份而变化的地物成分,在华北地区小麦地里,这可能是植被以外的地物成分,因为一般说植被,不管是什么种类,基本都随水热气候条件的变化而产生季节性变化,但植被以外的其它地物成分,如裸露耕地或盐土一般不随水热气候条件的变化而产生季节性变化,因此我们断定第一主成分为植被以外的成分;第二和第五主成分(主成分-2和主成分-5),由于具有明显的一次绿波推移规律,即从每年的三月份左右开始其  $NDVI$  上升,到 8 月份达到其  $NDVI$  最大值,具备这种规律的植被在华北地区小麦播种地区应该说是落叶阔叶树木;第三、第四主成分(主成分-3和主成分-4),绿波推移具有与第二主成分同样的规律,但其  $NDVI$  峰值出现在 7 月份,比第二主成分提前一个月,这也许是春播旱作农作物,如玉米等和其它草本植物;第六、七、八、九主成分(主成分-6,7,8,9)和综合特征值应该代表该地区最典型的地物冬小麦,每年 4 月份(或 5 月份)左右出现第一次峰值,5 月份(或 6 月份)出现第一次低谷值,而 7 月份(或 8 月份)出现第二次峰值,到 10 月份(或 11 月份)出现第二次低谷值,反映冬小麦的成长,成熟,收割和轮作其它作物(如蔬菜等)以及这种作物的成长,成熟,收割的全过程。经过特征向量的计算和分析,能够解释出华北平原和东北平原植被指数月相变化的某些不同。例如,华北平原总的植

被指数 ( $NDVI$ ) 的特性曲线受冬小麦的影响,从 3 月份开始  $NDVI$  增大;4 月份继续增大;5 月份达到高值;6 月份随着冬小麦收割,达到这个时段的最低值。由于对农作物进行着间作,因此植被指数在 8 月份出现最大值,而 11 月份出现最低值。11—3 月为冬季,即华北平原休耕期;3 月份开始冬小麦发绿;3—6 月间生长和收割为一个作业季节;而 6—10 月或 11 月为另一种农作物作业季节,即春小麦或其他旱作农业生长和收割的季节,显示出两年三作的农田作业规律和土地覆盖(植被指数)的变化规律(绿波双峰双谷规律)。东北平原,4 月份(有些年份 3 月中旬或 4 月上旬)开始,植被指数 ( $NDVI$ ) 发生变化,绿波推移开始;7 或 8 月份达到最大值(绿波峰值);4 月或 3 月份达到最小值(绿波谷),显示出农作物一年一作的作业规律(绿波单峰单谷规律)<sup>[2,3]</sup>。总之,主成分分析中我们可以得到的地表植被变化的规律是,华北平原的植被指数 ( $NDVI$ ) 主成分分析中明显看出冬小麦(5 月)和秋作物(8 月份)两个植被指数高峰值;而东北平原的植被指数月变主成分分析中看出地表植被(农作物区)一年中只有一次高峰值,它们分别出现在 7 月或 8 月份。详细见图 1 和图 2。

### 3 典型样地植被指数 ( $NDVI$ ) 的比较

我们计算了由南至北沿经线方向(基本是同一经度带上),选择了样地 1—3 的农田区域植被指数的月平均值,并以此反映农作物植被指数的绿波推移 ( $NDVI$  值月相变化)规律。样地 4—8 分别为东部湿润区到西部干旱地区的湿润度跨度上,从东北至西北,沿纬线方向(基本上处在同一纬度地带上的)森林→森林草原→典型草原→荒漠草原→荒漠的月平均植被指数,以此反映不同植被类型(景观推移)月相  $NDVI$  变化规律。植被指数 ( $NDVI$ ) 的计算基于 NOAA AVHRR 的波段 ( $CH_1$ ) 和 2 波段 ( $CH_2$ ) 数据 ( $NDVI = (CH_2 - CH_1) / (CH_2 + CH_1)$ )。计算出的  $NDVI$  值是指原始  $NDVI$  月最大值的两年平均值(综合特征值),代表了 this 区域月平均最大  $NDVI$  值。

### 4 土地覆盖时空变化规律的研究

以植被指数的变化代替土地覆盖变化时,其时间和空间的变化具有一定的规律。这种规律性的变化,主要受大区域水、热、土壤类型等环境与生态条

件的区域差异所控制<sup>[4]</sup>。沿经线和纬线,从热带到寒带、从沿海到内陆有规律地演替或更替,如图 3 和图 4 所示。对图 3 的分析中得到这样一个规律:从华南到华北和东北,农作物指数(A-NDVI)的月相变化,其差异实质上不是月平均植被指数(NDVI)大小(数量)的差异,而是这三个样地 NDVI 最大值、最小值出现的时间上的差异,即所谓的绿波推移。例如,华北水旱田指数,一年中有两个高峰值,分别出现在 5 月份和 8 月份;而东北旱田指数,一年中只有一次高峰值,出现在 7 月份;而江汉水田指数最大值出现在 6 月份,9 月份也有一个高峰值。但有所不同的是从南到北,植被指数峰值的出现有明显的延迟效应,即绿波推移规律明显,南到北差异(延迟)一个月左右。除此之外,NDVI 绝对值大小也有变化,平均差异出现在随着纬度的增高,月平均 NDVI 值

在减少。从图 4 的分析中得到与图 3 有所不同的明显规律是:从最东部的东北大兴安岭山区森林到最西北的荒漠,月平均植被指数(NDVI)最大值和最小值的出现,几乎是同步的(即绿波推移是同步),而其差异主要表现在每月平均 NDVI 值大小(数量)的差异上。不同样地之间同一月份 NDVI 值大小的差异,夏季最明显,即从 4 月份开始,森林、森林草原、典型草原、荒漠草原和荒漠月平均 NDVI 大小差异突然拉大,但其月间波动几乎都是同步,其差异实质上是干物质生产量 NPP(或叫绿波峰值)的差异。是什么原因导致图 3 和图 4 的不同变化和规律呢?我们从以下几方面去解释这一现象和规律。

(1)江汉平原水田区→华北冬小麦区→东北平原旱作区,农作物指数的差异表现在其峰值出现的早与迟上,这是地表绿波推移的时间延迟问题。典

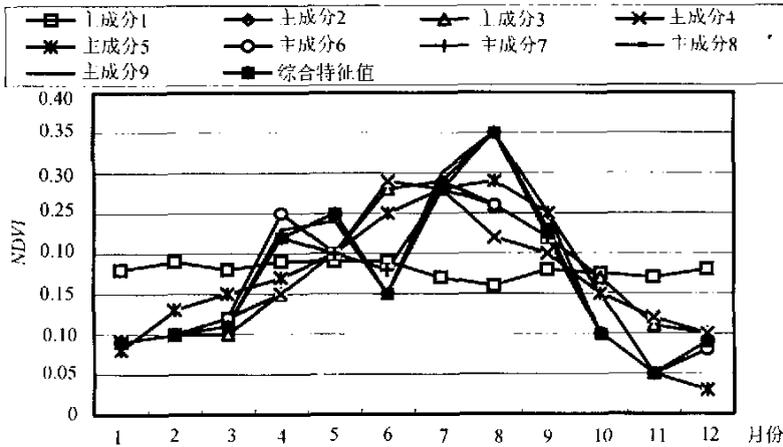


图 1 华北平原样地(冬小麦地)各类地物主成分及综合特征曲线

Fig.1 The principal component of samples and their synthetically characteristic curves, which were taken from (the winter wheat land) of North China plain

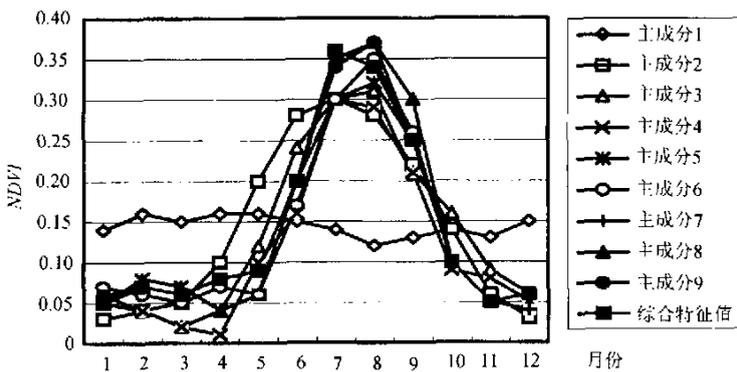


图 2 东北平原样地(旱地)各类地物主成分及综合特征曲线

Fig.2 The principal components of samples and their synthetically characteristic curves, which were taken from (the dry land) of the Northeast China plain

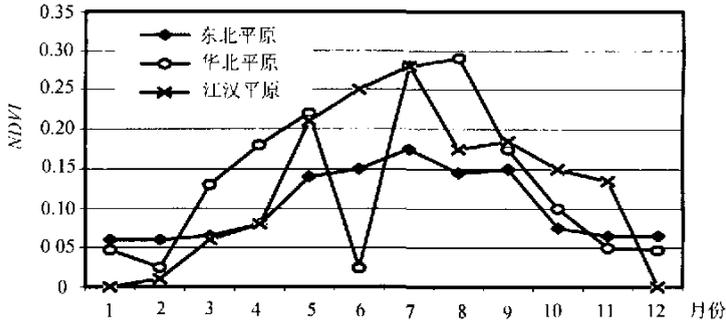


图3 典型区月平均NDVI变化曲线(NDVI纬向变化)  
Fig.3 The monthly average NDVI curves to show changes (the NDVI)

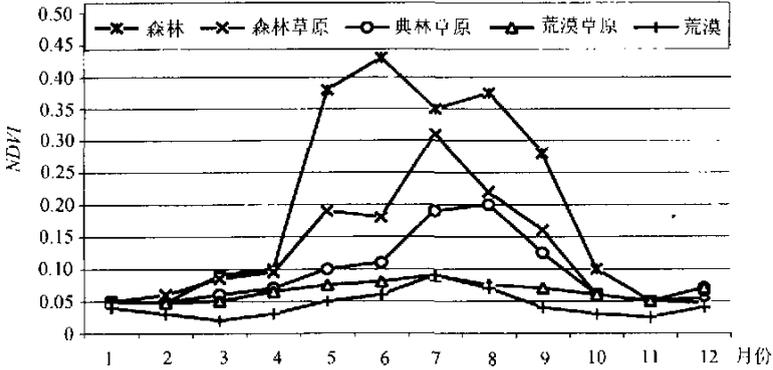


图4 典型区月平均NDVI变化曲线(NDVI经向变化)  
Fig.4 The month average NDVI curves to show changes (the NDVI longitudinal change) in the typical area

型样地1、2、3同处在中国东部沿海湿润平原(中国地形的“一级阶地”)上, 统属东亚季风区, 它们间虽然存在年平均降水量大小差异, 但这三个区域的主要的、根本的差别是热量(温度)条件的差异, 也就是导致绿波从南到北推移的根本原因不是降水, 而是月平均气温条件。

(2) 森林→森林草原→典型草原→荒漠草原→荒漠, 地表植被指数的差异表现在月平均植被指数大小的差异, 即干物质质量(NPP, 即干物质生产量)的差异上。样地4、5、6、7、8, 从东部季风区(湿润区)过渡到西北非季风的干旱区, 其区域条件的根本差异不是热量, 而是水分, 即水分条件导致样地4、5、6、7、8间植被指数(NDVI)大小值的差异, 由于它们都处在同一纬度带上, 热量条件几乎相同, 因此其绿波推移几乎是同步的(NDVI的月相变化波动规律是相同的)。

(3) 热量(或气温)对地表植被指数的影响, 从宏观上看, 主要表现在植被生长的季节性节律上, 即绿波的南北推移上(绿波峰值出现的早与迟上); 水分对地表植被指数的影响, 从宏观上看, 主要表现在干

物质生产量上, 即绿波峰值大与小的区域差异上。具体到植被类型时, 在南北不同热量条件下, 生长发育着不同温度喜性的植被类型, 植被水平结构和镶嵌发生了本质变化; 在东西不同水分条件下, 地表植物光合生产能力发生着本质变化, 即植被高度和垂直结构发生了本质变化。

### 5 土地覆盖变化的区域环境影响分析

以植被指数(NDVI)的变化来表示土地覆盖变化时, 水、热等区域性参数的变化对土地覆盖变化的影响是非常大的<sup>[5]</sup>。那么, 在不同热量带和不同湿润地带, 水和热对土地覆盖变化的影响是否有差异? 有哪些差异呢? 为了回答这些问题, 我们输入了各样地月平均气温和月平均降水参数(所谓参数是指为了把气温和降水量月平均观测值表示在同期样地植被指数月相变化曲线(同一坐标里), 因缺乏1993年4月至1994年3月间与月平均NDVI同期的气温与降水数据, 我们对1950年至1990年的各样地月平均气温与降水进行了同化处理(所谓的同化

处理,是指去掉偏离样本平均值的个别值,然后用逐步回归的方法推测 1993 年 4 月至 1994 年 3 月间与月平均气温与降水值),比较研究水分和热量条件的

变化对各样地植被指数变化的不同影响,图 5 至图 7 表示了各样地中的典型地物植被指数与环境参数关系曲线。

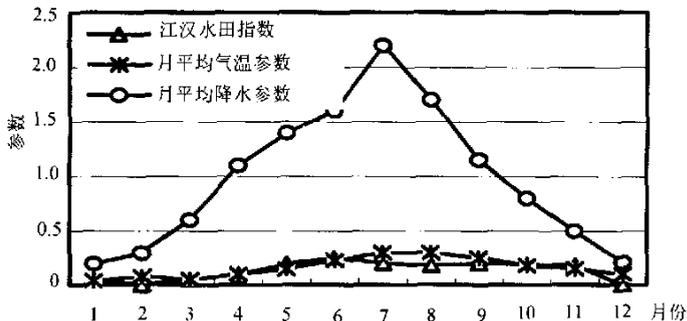


图 5 江汉水田指数与水热参数关系曲线

Fig.5 The curves represent the relationship between paddy field NDVI index and water temperature in Jianghan plain

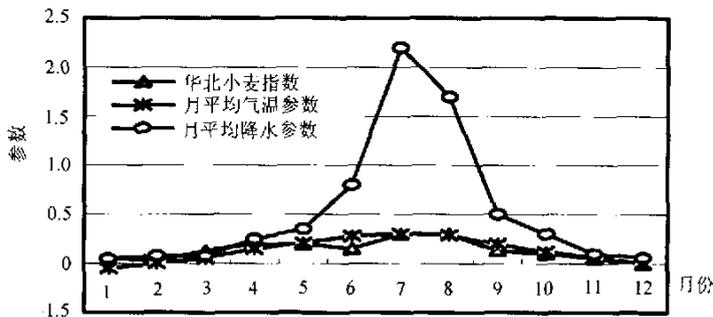


图 6 华北平原小麦指数与水热参数关系曲线

Fig.6 The curves represent the relationship between wheat NDVI index and water temperature in the North China plain

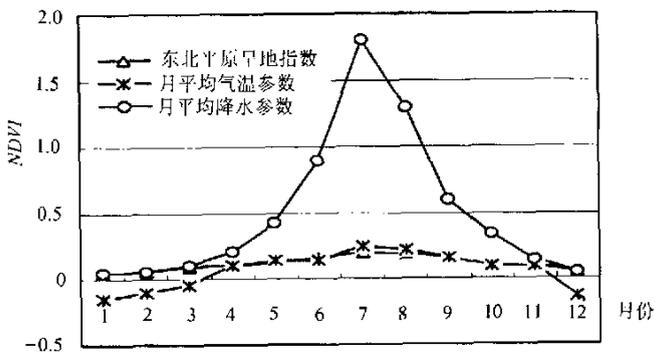


图 7 东北平原旱地指数与水热参数关系曲线

Fig.7 The curves represent the relationship between dry field NDVI index and water temperature in the Northeast China

从图 5 至图 7 的曲线中可以看出这样的—个现象,即样地 1——江汉水田(如图 5)植被指数的月相变化,与月平均降水参数相比,月平均气温参数与 NDVI 的关系比较紧密。月平均 NDVI,与月平均气温的相关系数  $R_{NDVI-T} = 0.917$ ,而与月平均降水的

相关系数  $R_{NDVI-P} = 0.843$ ;在华北平原(如图 6)也显示出同样的规律,月平均气温参数与月平均 NDVI 有比较紧密的相关关系。这里的月平均 NDVI,与月平均气温的相关系数 ( $R_{NDVI-T} = 0.872$ ),而与月平均降水也有较大相关,相关系数  $R_{NDVI-P} = 0.802$ 。

样地 3——东北平原的月平均 *NDVI*(图 7)与月平均气温关系也很密切,即月平均气温对月平均 *NDVI* 的影响更直接,两条曲线十分吻合,说明与降水量相比,气温条件对地表植被变化的影响更大、更直接;大兴安岭山地森林地区(样地 4) *NDVI*(森林指数)的变化与降水和温度条件的变化也都显示比较好的正相关,相关系数分别为  $R_{NDVI-T} = 0.898$ ;  $R_{NDVI-P} = 0.825$ ;气温的相关程度稍高于降水量;森林草原地区(样地 5)为过渡地带,降水和气温条件成为森林草原生长和演替的限制因子,与气温相比,降水和气温条件成为森林草原生长和变化的限制因子,与气温相比,降水的变化更能影响本区 *NDVI* 的变化;典型草原地区(样地 6)(如图 8 和图 9),气温、降水和 *NDVI* 的波动既同步又同幅。但与气温相比,月平均降水对 *NDVI* 的影响更直接和更紧密,相关程度高,其相关系数分别为  $R_{NDVI-T} = 0.834$ ;  $R_{NDVI-P} =$

0.945;在荒漠草原地区(样地 7),地表 *NDVI* 的变化很小,但这种微小的变化也是夏季(6 月至 8 月间)仅有的一、两场降雨带来的。因此,降水的变化对 *NDVI* 的影响更直接, *NDVI* 对降水的响应程度很高,我们用非线性方程计算了 *NDVI* 对水分和热量的响应逻辑曲线。如图 9 所示,很显然 *NDVI* 与降水的关系为上凸曲线,而 *NDVI* 与气温的关系为下凸曲线,说明 *NDVI* 与 *P* 之间的响应比 *NDVI* 与 *T* 之间的响应高,在干旱地区水、热条件中,水分更能影响植被覆盖度;在荒漠地区(样地 8),降水的每一次微小的变化都会引起地表 *NDVI* 的变化,相关系数  $R_{NDVI-P} = 0.89$ ;  $R_{NDVI-T} = 0.727$ 。因为干旱地区的植被能够充分利用一年中仅有的几场降雨,可以完成其生命的全部过程。在所有 8 个样地中,典型草原的降水变化对 *NDVI* 的影响最大、最直接和同步。

总之,月平均 *NDVI*、月平均气温和月平均降水

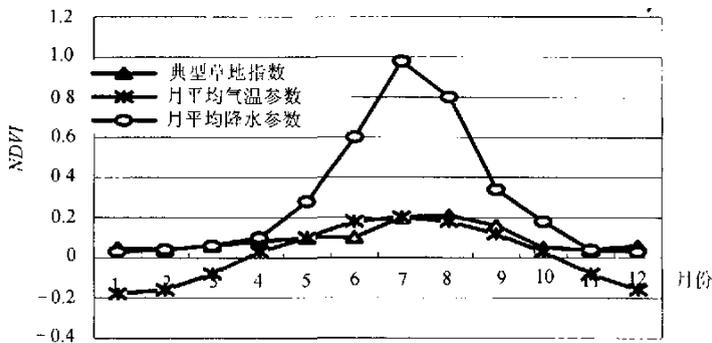


图 8 典型草原草地指数与水热参数关系曲线

Fig.8 The curves represent the relationship between typical grasslands *NDVI* index and water temperature

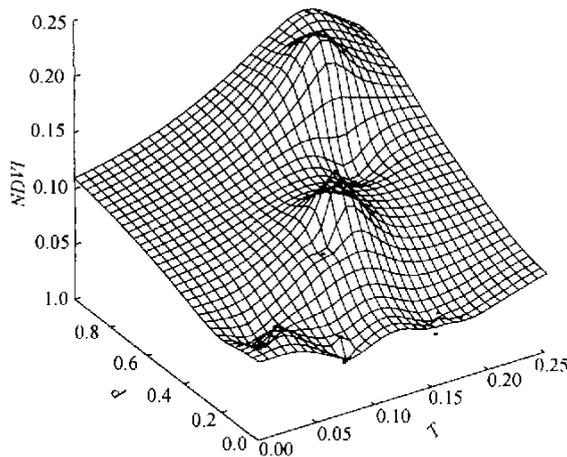


图 9 典型草原草地指数与水热参数关系 3D 曲线

Fig.9 The 3D curves show relationship between typical grasslands *NDVI* index and water temperature

的相关分析中可以看出,在缺水的干旱地区,水分条件成为其地表覆盖物月相变化的限制因子;在湿润地区,温度条件却成为其地表覆盖变化的主要限制因子;而过渡地带,水热条件共同限制其地表覆盖的变化<sup>[2,3]</sup>。我们清楚地看到,在地处同经度地带上的样 1、2、3、4(同位于东部季风区),随着纬度的增高,NDVI 的季相变化在增大,因此 NDVI 与月平均气温有较大相关,而同一纬度地带上的样地 5、6、7、8(同属北方干旱、半干旱地区)随着离海岸线距离的增大,月平均 NDVI 总量在锐减。因此 NDVI 与月平均降水有较大相关,干旱程度越高,NDVI 值越少,见表 1。

表 1 典型区月平均 NDVI 与月平均气温/降水相关程度

Table 1 The correlation degree relationships between monthly average NDVI and ratio of monthly temperature/precipitation in the typical area

	NDVI 与气温的相关 系数 (R <sub>NDVI-T</sub> )	NDVI 与降水的相关 系数 (R <sub>NDVI-P</sub> )
样地 1	0.971	0.834
样地 2	0.872	0.802
样地 3	0.914	0.918
样地 4	0.898	0.825
样地 5	0.857	0.943
样地 6	0.834	0.945
样地 7	0.893	0.869
样地 8	0.727	0.890

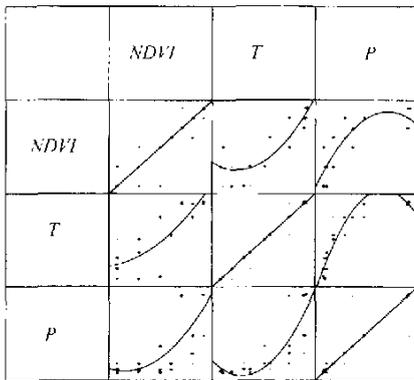


图 10 荒漠草原区植被指数的水热响应的 LOG 模型 (T = 气温; P = 降水)

Fig. 10 The NDVI index LOG model of water and temperature response in desert grassland (T = temperature; P = water)

## 6 中国陆地生态系统时空脆弱性研究

一个区域土地覆盖变化在很大程度上代表了地表土壤-植被-大气联合体(即近地面生态系统)相互作用及其变化趋势,直接或间接反映了自然环境变化和人类活动影响的累积变化<sup>[4,6]</sup>。引起土地覆盖变化的影响因子很多,诸如水、热等区域性条件变化;土地利用变化、全球变化等都可能引起土地覆盖的变化<sup>[7]</sup>。那么,土地覆盖变化类型究竟有哪些呢?因为土地覆盖层的基础层面是地表岩石层或土壤-岩石层面,而土地覆盖层面包括了土壤和岩石层及其之上的森林、草地、农田、水域、荒漠、冰川雪域、裸岩裸土、人工地面(包括人造覆盖层)等,其变化类型可概括为:(1)土地覆盖物的质量变化(包括土地退化、水域污染、草场退化、耕地退化等);(2)土地覆盖类型面积变化(包括水域萎缩、耕地减少、沙漠化扩大、湿地变化、林地增减少等);(3)土地覆盖类型变化(包括土壤盐碱化和沙化、草场开垦、水域变干、森林开垦、城市扩展、湿地开发、热带雨林开发等);(4)潜在变化(包括各种土地覆盖物内在的数量变化以及将来可能发生的突变等)。

### 6.1 基于网格 (raster) 数据的我国陆地生态系统脆弱区分布遥感模型

土地覆盖变化首先发生在各种作用力相互接触,相互作用的区域或层面上。在水平空间上,土地覆盖变化发生在生态环境脆弱地带,即两种或两种以上生态系统的过渡带,例如海岸带、城乡交界带、分水岭地带、农牧交错地带、沙漠与绿洲边缘地带等;在垂直空间上,土地覆盖变化发生在两种或两种以上作用力的接触面上,即在土地覆盖的“界面”上<sup>[7,8]</sup>。

假设  $M_j$  是个属性变量值,表示的是  $j$  区域(土地覆盖类型区域)上发生上覆盖变化可能发生在  $i$  个栅格上的属性值。 $M_{ij}$  的确认值称  $X_{ij}$  那么  $X_{ij}$  发生的先验概率计算为

$$P_{ij} = M_{ij} / \sum_i \sum_j M_{ij}$$

而确认概率(搜索到的生态脆弱区出现的实际概率)计算为

$$W = XCX_{11} \cdot P_{11}^X \cdot X - X_{11} CX_{12} \cdot P_{12}^X \\ = \dots (X! / \prod_j X_{ij}!) \cdot \prod_j P_{ij}^{X_{ij}}$$

那么 ( $i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J$ ), 这里,  $X = \sum_i \sum_j X_{ij}$ 。

图斑各属性合计值 ( $R_j; j = 1, 2, \dots, J$ ) 的约束方程为  $R_j = \sum_i X_{ij}$ , 而此时小栅格 (危险区域基本单元栅格) 面积的约束方程为  $A = \sum_i a_{ij} X_{ij}$ , 这里  $a_{ij}$  为  $j$  区域  $i$  栅格的面积换算系数, 在多边形为同一属性时,  $a_{ij} = 1$ , 否则,  $a_{ij} = p \cdot b_{ij}$ . 其中  $b_{ij}$  为预先知道的相对变量;  $p$  为参数。

如果我们在确认的危险区域检索, 小栅格出现的概率方程的两侧取对数,

$$\log W = \log X! \sum_i \sum_j \log X_{ij}! + \sum_i \sum_j \log P_{ij}$$

当  $X_{ij}$  十分大时,  $\log X_{ij}! = X_{ij} \log X_{ij}$ ,

$$\log W = X \log X \sum_i \sum_j X_{ij} \log X_{ij} + \sum_i \sum_j X_{ij} \log P_{ij}$$

输入拉格朗日参数  $\lambda_j$  和  $\mu_j$  时就得得到解析解为

$$X_{ij} = M_{ij} \exp(\lambda_j b_{ij} + \mu_j)$$

用近似解代替上述复杂非线性连续方程时,

$$\alpha_j \beta_j = \exp(\lambda_j b_{ij} + \mu_j)$$

$X_{ij} = \alpha_j \beta_j M_{ij}$  那么约束方程变为

$$\alpha_i = A / \sum_j \rho b_{ij} M_{ij}$$

$\beta_j = R_j / \sum_i \alpha_i M_{ij}$ , 总面积的计算成为

$$LA = P \sum_i \sum_j b_{ij} X_{ij}$$

那么,  $LA$  就是搜索到的土地覆盖变化的面积, 如图 11 (图版 1) 所示。

### 6.2 土地覆盖变化季相脆弱性研究

除了裸岩、裸土等极少数土地覆盖物以外, 绝大多数土地覆盖物都随着自然环境的季节性变化而发生着季节性变化, 其中最为明显的就是植被的季节性变化, 随着纬度的增高, 植被的季相特性更加明显。植被是自然界联结大气、土壤和水文的纽带, 植被的变化反映其周围区域生态与自然环境条件的变化。当植被处于季节性枯萎时, 地表基本处于低覆盖度状态, 此时土地覆盖处于最为脆弱时期, 一旦遭受来自自然或人文的“打击”时, 就会出现土地退化或土地沙漠化。那么, 当土地覆盖度处于较低状态时, 自然环境条件究竟又处在什么状态呢? 众所周知, 风是最主要的外力之一, 无论对于土地沙漠化, 还是对于土地退化, 风力是其最主要的表面驱动力之一, 在风的搬运和悬浮作用下, 表土 (养分) 出现风蚀、迁移或扩散。中国北方土地退化和沙漠化一般都出现在秋、冬、春季节或其过渡时期, 为了证明这种自然现象, 我们把月平均风力参数与月平均植被

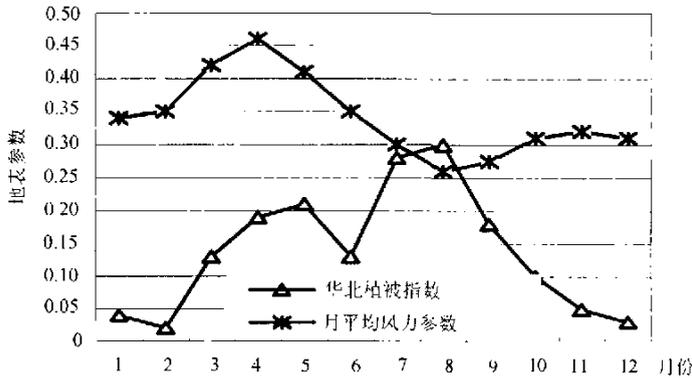


图 12 华北平原地表指数与平均风速时间契合关系

Fig. 12 The temporal integrative relationship between land surface index and average wind speed in North China plain

指数绘制在统一坐标系中, 如图 12 至 13 所示。

图 12 至 14 中显示出一个非常明显的普遍现象 (或规律), 那就是当地表处于裸露或半裸露 ( $NDVI$  值最低) 时候, 正是近地面月平均风力最大的时候, 即月平均风力最大时, 地表覆盖正处在一年中最低覆盖状态。因此, 在风的吹拂、搬运作用下, 表土养分和表层土壤容易流失, 其结果可能会出现沙漠化蔓延、土地退化或沙漠化; 草场和耕地退化等生态与

环境问题。从图 12 至 14 的曲线中可看出, 月平均风力参数曲线和月平均  $NDVI$  正好正反, 即大多数样地月平均  $NDVI$  和月平均风力在一年中各月的变化规律正好相逆或接近相逆。在月平均  $NDVI$  和月平均风力之间应该没有因果关系的, 即它们是不相关的。例如样地 1 (江汉水田) 月平均风力与月相关系数  $R_{WN} = 0.234$ ; 样地 2 (华北冬小麦)  $R_{WN} = 0.111$ ; (大兴安岭林区样地 4) 的  $R_{WN} = -0.574$ ; 典

型草原地区(样地 6)  $R_{wv} = -0.755$ 。在森林草原地区(样地 5)  $R_{wv} = 0.142$ ; 荒漠区(样地 8)  $R_{wv} = -0.046$ , 因此认为风力与  $NDVI$  间不相关, 即没有因果关系, 但其数值的按月分布正好相反或接近相反, 并且随着纬度增高和离海岸线距离的增大, 这种负相关越加明显。我们把一年中月平均风力大且月平均  $NDVI$  小的时期定义为土地覆盖变化的脆弱季节。在华北地区(如图 12 所示), 其土地覆盖变化的脆弱季节为 11 月至次年的 2 月间, 共 3 个月左右; 在东北为 10 月至次年的 3 月间, 共 5 个月左右; 大兴安岭林区(如图 13 所示), 为 10 月至次 4 月间, 共 6 个月, 因此可以推断如果大兴安岭林地的森林生态系统一旦遭到破坏, 其后果更加严重, 因为本区一年中半年为生态脆弱时期, 土地退化和沙漠进程将

会非常迅速; 在森林草原地区, 3 月至 5 月份和 10 月至 12 月份, 共 4 个月左右的(春、秋)脆弱季节; 在典型草原地区(如图 14 所示), 10 月至次年 4 月份为其土地覆盖变化的脆弱季节, 持续时间约 6 个月左右; 荒漠和荒漠草原地区, 常年都处在风沙危害之中, 除了 6 月份至 9 月份(三个月)地表暂时处于稳定外, 一年中 9 个月都处在地表覆盖的不稳定或风沙运动状态。随着远离海岸线距离的增大和纬度的增高, 随着温度和湿度差异的增大, 地表覆盖的稳定程度将会下降, 土地覆盖变化脆弱季变得越来越长。图 11 显示了根据 1999 年 NOAA 数据计算得到的中国陆地生态系统中脆弱地带的分布遥感调查图。脆弱性指标除了植被指数外还考虑了上述水、热参数和同期风力时间套合关系<sup>[2,7,8]</sup>。

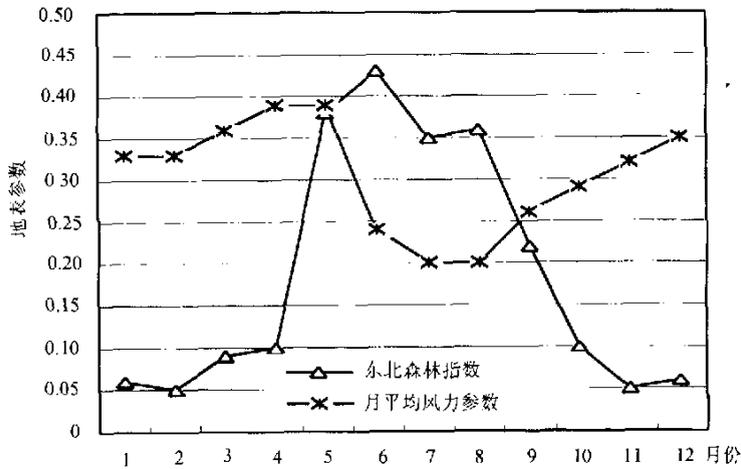


图 13 东北平原地表指数与平均风速时间套合关系

Fig. 13 The temporal integrative relationship between land surface index and average wind speed in the Northeast China plain

表 2 各样地生态脆弱性比较

Table 2 The comparison of the ecosystem vulnerability in all sample areas

样地	风速与 $NDVI$ 关系系数	生态脆弱性月份分布(月份)	各样地生态脆弱性时间段(天)
样地 1	0.234	0	0
样地 2	0.111	11, 12, 1, 2	120
样地 3	-0.492	11, 12, 1, 2, 3	150
样地 4	-0.574	11, 12, 1, 2, 3, 4	180
样地 5	0.142	10, 11, 12, 1, 2, 3, 4	210
样地 6	-0.755	10, 11, 12, 1, 2, 3, 4,	210
样地 7	0.167	10, 11, 12, 1, 2, 3, 4, 5	240
样地 8	-0.046	10, 11, 12, 1, 2, 3, 4, 5	240

## 7 结 论

通过对中国陆地生态系统 8 个典型样地的取样实验结果,其植被指数随着水、热因子的季节变化,在时间和空间上具有一定的“绿波推移”和“景观更替”规律。

(1)以联结土壤—大气—水分系统,并起着“纽带”作用的地带性植被(以植被指数作为其量化指标)作为“指示器”,研究土地覆盖变化时,发现在时间上它具有一定的季节性和季节脆弱性规律;在空

间上具有一定的地带性和地带脆弱性规律。

(2)在中国东部湿润季风区(样地 1—3),随着纬度的增高,其月平均植被指数与月平均气温有较大的相关。降水相对丰沛的地带,热量和光照条件的变化成为植被生长和变化的自然限制因子;而在中国北方森林—森林草原—典型草原—荒漠草原—荒漠地带,随着从东部(湿润地区)到西部(干旱地区)干湿条件的更替,月平均植被指数与降水多寡有较大的正相关关系,说明在干旱地区水分条件成为植被生长的主要限制性因子。

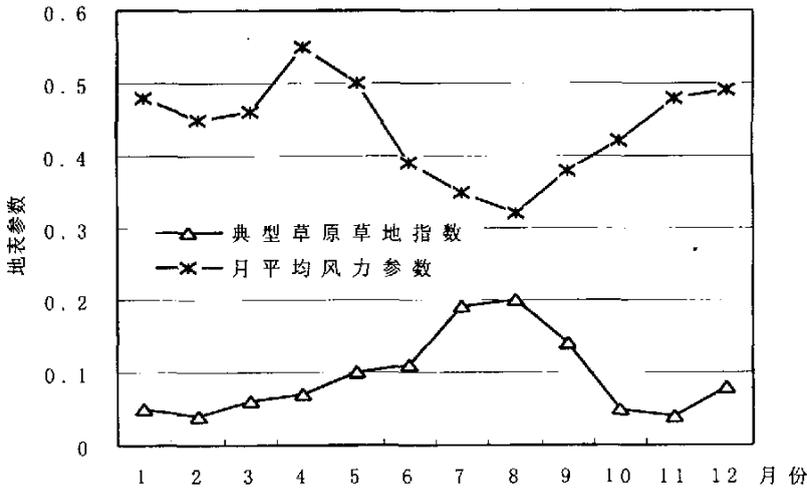


图 14 典型草地地表指数与平均风速时间套合关系

Fig. 14 The temporal integrative relationship between grasslands surface

(3)在 8 个样地上都呈现出共同的规律,即定向风的分布与植被指数的分布在时间和空间上具有逆相分布的“套合关系”。尤其在时间上有逆相套合关系。这说明,中国北方地表植被裸露和枯萎时期正好与盛行风力最大的时期是同期分布。这正是中国北方沙尘暴和沙漠化加剧的自然原因。

(4)本研究对于土地覆盖变化的时空特征研究,区域分异规律研究,地带性规律研究,土地利用规划,防沙治沙研究具有一定的参考价值。

## 参 考 文 献 (References)

[1] Liu J Y, Buheaozier. Study on land - use Change in China Using Remote Sensing and GIS Technique [C]. Beijing: Science and Technology Press, 1996, 184-194. [刘纪远,布和敖斯尔.应用遥感和GIS技术开展中国土地利用变化研究.《遥感新进展与发展战略》C].北京:中国科学技术出版社,1996,184-194.]

[2] Buheaozier, Liu J Y, Ng C N. Study on Land Cover Change in China Based on Seasonal and Longitudinal Characteristics Using Remotely Sensed Data[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1998, [布和敖斯尔,刘

纪远,吴祖南.基于季相及经度特征的中国土地覆盖变化遥感研究[J].*地理学报*,1999,12]

[3] Liu J Y, Buheaozier. The Longitude Change Model for Chinese Land Use/Cover Based on Landsat TM Data[C]. Start Regional Centre for Temperate East Asia Press, May 1996. 29 - 30.

[4] Buheaozier, Li H C. Study on Monsoon Asian Regional Model of Global Changes Using Remotely Sensed Technique[J]. *Remote Sensing of National Resources*, 1994, 22(4). [布和敖斯尔,励惠国.亚洲季风区全球变化区域模式研究与遥感应用时空域].*国土资源遥感*,1994, 22.(4)]

[5] Sellers P J, Los S O, Tucker C J, Justice C O, et al. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs[J]. Part 2: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data. Submitted to *Journal of Climate*. 1995b.

[6] Holben B N, Kaufmann, Y, and Kendall J. NOAA - II AVHRR Visible and near - IR in - flight calibration[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, 11:1511 - 1519.

[7] Deering D W, Middleton E M, Irons J R, Blad B L, et al. Different instruments at the FIFE site measure prairie grassland bi - directional reflectance[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1992, 97(18): 887 - 903.

[8] Sellers P J, Berry J A, Collatz G J, *et al.* Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. III. reanalysis using improved leaf mod-

els and a new canopy integration scheme. J]. *Remote Sensing of Environment*, 1992, 42:187-216.

## Study on Remote Sensing Model for Fragile Zones of Land Ecosystem, China

Buhcaosier<sup>1,2</sup>, MA Jian-wen<sup>2</sup>, HAN Xiu-zhen<sup>2</sup>, MA Chao-fei<sup>2</sup>

(1. Hokkaido Institute of Environmental Sciences Institute of Remote Sensing Applications, Japan;

2. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, China)

**Abstract:** In this study, three test sites with the same longitude have been selected from south to north in wetland area (the monsoon region) of Eastern China. Five test sites with the same latitude have been selected in arid or semi-arid area of North Western China (the Non-monsoon region). Production of 24J-month time series of one month maximum *NDVI* composites have been accomplished based on NOAA AVHRR and Landsat-TM data. Average temperature, precipitation and wind-speed data in each average of the month to be synchronous have also been input into computer for analyzing the dynamically correlated model of driving forces of land-cover Changes. Conclusions have been drawn that land-cover change in China has distinct seasonal fragileness in each test site and their relationship has been found.

In the study, we draw the following conclusions:

(1) Vegetation is the connection of soil, atmosphere and precipitation. When using vegetation as an indicator of land-cover change, not only seasonal but also spatial change has been found in the land-cover change. In addition, some unstable phase has also been identified. We conclude that the unstable phase in land-cover was related to the seasonal and longitudinal change.

(2) The zone and coastal plain of east of China belong to East Asian Monsoon. The climate is rather wet. The correlation between *NDVI* and temperature is obvious. But the correlation between *NDVI* and precipitation is not so good. Therefore, we conclude that in a region of high precipitation, temperature is the key affecting factor for growth of vegetation.

(3) In northwestern China, the Big Xingan Mountain forest area, the typical grassland area and arid desert area almost lie on the same latitude. From east to west, the land-cover types are forest, forest-grassland, typical-grassland, desertgrassland and arid desert. In the line, as the distance from coastal line increase, the monthly average *NDVI* value depends largely on precipitation. Thus, compared with temperature, precipitation is the key affecting factor for vegetation growth in arid area.

(4) From south to north, under the limitation of temperature, the deviation of averages *NDVI* is not obvious. However, the seasonal deviation is high. From east to west, under the limitation of precipitation, the regional deviation of *NDVI* coincide with the productivity of vegetation. It implies that temperature affect the budding, flowering, fruiting of vegetation. On the other hand, precipitation affects the productivity of vegetation.

(5) Wind is one of the driving forces causing desertification in dry and semi-dry region. The period of lasting of strong wind seems to be coincident with the degradation of vegetation for each test sites. In contrast, when the cover of vegetation was at maximum, wind speed was found to be minimum, because of the inverse relationship between wind speed and *NDVI*, desertification and land degradation happen in the grassland and cultivated land in northern China. Some researches show that desertification and land degradation happened on winter and spring, which coincide with the unstable stage, found in our study.

**Key words:** vegetation index, fragile zones of land ecosystem, remote sensed model

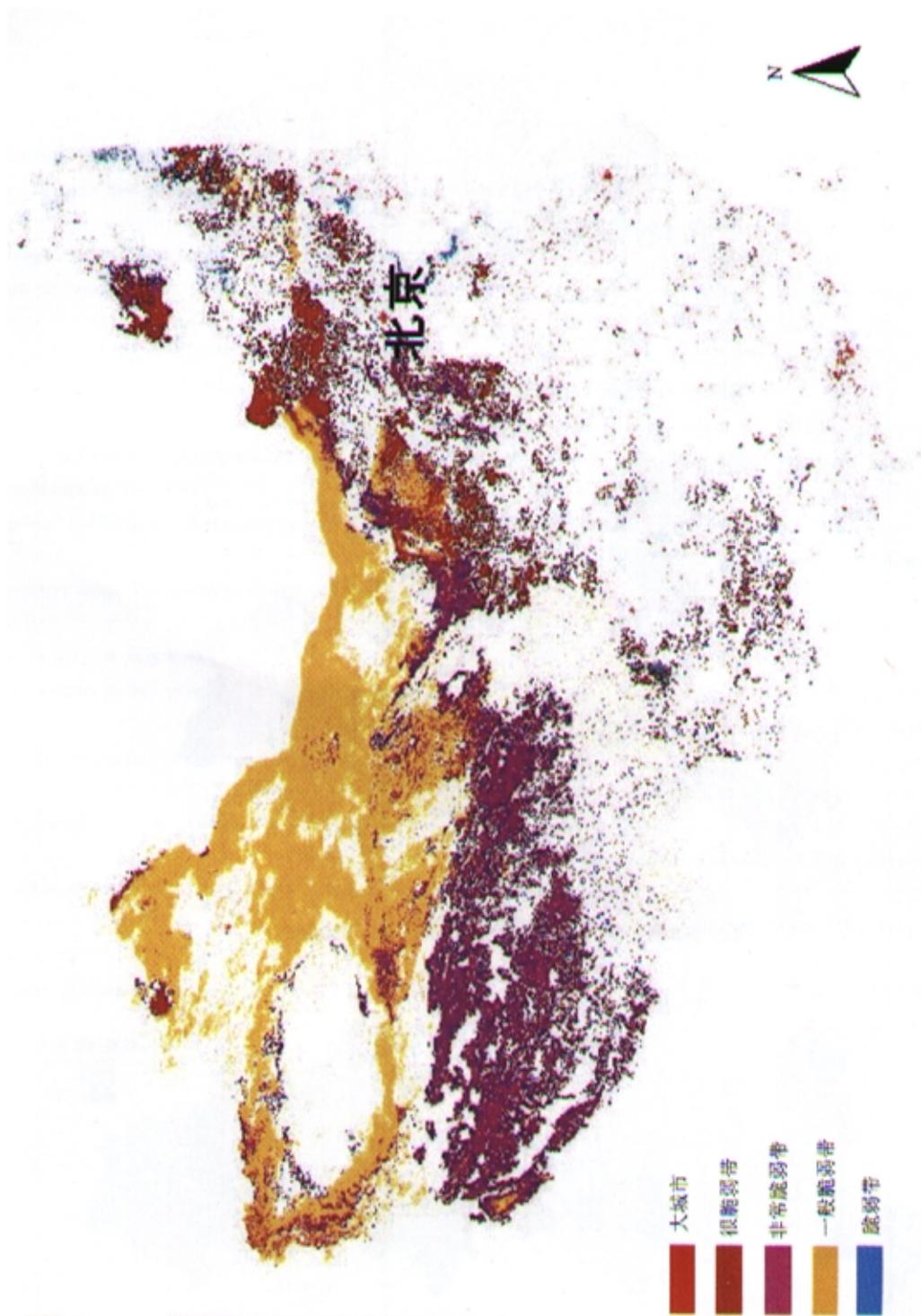


图 10 中国部分陆地生态系统中脆弱地带的分布