

利用归一化植被指数研究植被分类、 面积估算和不确定性分析的进展

陈朝晖 朱 江 徐兴奎

(中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心, 北京 100029)

摘 要 植被在全球生态系统中扮演着重要的角色。陆地生态系统与全球气候变化也是息息相关。利用遥感资料对植被进行分类, 并估算植被覆盖面积已成为一个极具活力的研究方向, 其结果的准确度及误差来源受到不同程度的重视。作者对利用遥感资料研究植被分类, 进行面积估算, 分析其不确定性三个方面的研究进展进行了回顾和讨论, 探索进一步利用遥感资料分析植被信息的可行性。

关键词: 归一化植被指数; 植被分类; 面积估算; 不确定性

文章编号 1006-9585 (2004) 04-0687-10 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

1 引言

遥感图象上的植物信息, 通过绿色植物叶子(冠层)光谱响应的差异及动态变化反映出来。绿色植物的叶子是植物进行光合作用的基本器官, 由于植被叶子的叶绿素含量、水分含量、组织结构、叶层构造等的差异, 造成植物反射光谱特征的差异。NOAA/AVHRR的通道1光谱波段为 $0.58\sim 0.68\ \mu\text{m}$, 即可见光红光波段, 叶绿素强烈地吸收该波段的人射辐射。通道2光谱波段为 $0.725\sim 1.10\ \mu\text{m}$, 即近红外波段, 它对植被差异及植物长势反应敏感, 指示着植物光合作用能否正常进行, 是叶子健康状况最灵敏的标志。归一化植被指数(NDVI, I_{NDV})就表示了植被对这两个波段响应的差异。其计算式为

$$I_{\text{NDV}} = (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_1 + \rho_2), \quad (1)$$

其中 ρ_1 、 ρ_2 分别为第一、第二通道的反照率。

NDVI数据与植被的许多参数密切相关, 如吸收光合有效百分率(FPAR)、叶绿素密度、叶面积指数、植被覆盖率和蒸散率^[1]。近年来利用NDVI数据在季节性植被状况和监测土地覆盖变化等方面有越来越多的研究, NDVI数据给研究带来的一定程度的不确定性也受到了更多关注。无论在生物化学循环还是水循环, 植被都扮演了最重要的角色, 植被根据生态系统中水、气等的状况, 调控植被内部与外部的物质能量交换。目前研究植被与气候的关系比以前更深入, 陆地生态系统与全球气候变化的相互关系需要更详细和准确的植被信息。而植被类型和覆盖面积及其这些重要资料的准确度, 也是至关重要的, 所以有关植被的各种研究都是复杂和较具活力的研究。

2 NDVI 数据不确定性的研究

由于卫星遥感本身及植被反射等各种问题, NDVI 数据受到很多因素的干扰而产生了一定的不确定性, 这种不确定性的研究近年来有了一定的进展。

NDVI 数据的不确定性可能来自于数据获取方法和修正的不精确性。盛永伟等^[2]指出即使不考虑卫星传感器的衰减, 云、大气(气溶胶、水汽等)、地面背景、观察角度等因素也都对其构成干扰。由于传感器本身的缺憾(AVHRR 为可见光-红外传感器, 不能穿透云层观察地表, 故云的影响难以消除), 地表的复杂性(地形起伏、株高的多样化使得观察角度的影响难以消除), 大气的不确定性, 以及大气成份数据的难获取性(这是大气影响订正所必须的), 都使得试图计算植被指数真值的直接反演方法困难重重。根据辐射传输理论, 假设单位面积中, 植被覆盖率为 φ , 在不考虑多次反射情况下, 总反射能 F 是植被反射能 F_v 和土壤背景反射能 F_s 的线性组合:

$$F = \varphi F_v + (1 - \varphi) F_s. \quad (2)$$

当地表平坦, 入射能为 Q 时, 地表反射率 R 也可以表示为植被反射率 R_v 和土壤背景反射率 R_s 的线性组合:

$$R = \frac{F}{Q} = \varphi \frac{F_v}{Q} + (1 - \varphi) \frac{F_s}{Q} = \varphi R_v + (1 - \varphi) R_s. \quad (3)$$

则 AVHRR 观测的 NDVI 值 M 可以表示为如下形式:

$$M = \frac{\varphi(R_{2v} - R_{1v}) + (1 - \varphi)(R_{2s} - R_{1s})}{\varphi(R_{2v} + R_{1v}) + (1 - \varphi)(R_{2s} + R_{1s})}, \quad (4)$$

$$M = \frac{\varphi(R_{2v} - R_{1v})}{\varphi(R_{2v} + R_{1v}) + (1 - \varphi)(R_{2s} + R_{1s})} + \frac{(1 - \varphi)(R_{2s} - R_{1s})}{\varphi(R_{2v} + R_{1v}) + (1 - \varphi)(R_{2s} + R_{1s})}. \quad (5)$$

(5) 式表明, 卫星观测的 NDVI 值 M 并不是植被 n_v 与土壤背景 n_s 的线性组合, 即, 不能表示为下式:

$$M = \varphi n_v + (1 - \varphi) n_s. \quad (6)$$

由 (5) 可以得出, 实际 NDVI 是不同地物和多通道反射率的非线性组合, 任何地物权重的改变和物理性质的改变, 都会影响 NDVI 的观测结果。其中, 土壤背景最易发生改变, 当土壤湿度发生变化时, R_s 变化幅度很大。就 NDVI 日变化而言, 当太阳天顶角越小时, 地表土壤接受的直接太阳辐射越大, 即 $(1 - \varphi)$ 越大, NDVI 的角度变化越明显。覃文汉等^[3]指出太阳天顶角越小, NDVI 的角度变化越明显, 认为只有当太阳天顶角较大时(大于 40°)才有可能利用传统的垂直遥感资料较可靠地估算叶面积指数。植被结构的非均匀性(包括几何结构的非均匀性, 如植被组分的非随机空间分布和光学性质的非均匀性, 非叶器官的作用)对 NDVI 的影响就非常显著。特别是对于植被组分非随机分布的冠层, 无论选择何种入射-观测角度组合, 都无法利用 NDVI 准确地算出冠层的叶面积指数。

陈洪滨等^[4]对卫星遥感的大气参数和地面参数作了一定的介绍, 同时指出由于地表的不均匀性、地形作用、大气参数的不确定性及测量误差等因素影响, 地表温度的遥感精度仍需大力提高。同时这些参数又会影响到地面其他参数, 如地表反照率等。

Gao 等^[5]认为为了获得真实的 NDVI 值, 必须除去卷云散射的影响, 并通过研究

发现,消除卷云的影响对 NDVI 值进行更正后,NDVI 值要比原来的大。如有卷云影响的时候原始的 NDVI 最大值为 0.11,而消除卷云影响后最大值为 0.13,卷云产生的 NDVI 值的误差可能为 15%左右。对植被覆盖的地区,NDVI 值应该在 0.3 和 0.7 间变化。

陈述彭等^[6]通过植被指数和相应植被的特征来分析 NDVI 数据的不确定性,他们通过研究得出,NDVI 对于土壤背景的变化较为敏感。当植物覆盖度大于 15%时,其 NDVI 高于裸土;植物覆盖度为 25%~80%时,NDVI 随植被量成线性增加;当植被的覆盖度大于 80%时,NDVI 对植被检测的灵敏度降低。土壤背景噪声是造成植被指数不确定的又一重要原因。文军等^[7]指出 NDVI 与植被叶面积指数、植物叶绿素含量等有很高的相关性,适合于高覆盖度的植被监测,但当植被覆盖度大于 50%时,NDVI 不能很好地识别植被密度的差异。同时,NDVI 受大气透过率的影响较大,大气效应极大地降低了它对植被监测的灵敏度,尤其是植被指数增大时,其影响相当显著。

Kogan 等^[8]研究了 1985~1999 年之间的 NDVI 数据,通过比较 33 种不同的生态系统发现,草地和阔叶林植被类型的 NDVI 相对稳定,而沙漠和热带森林的 NDVI 随着时间序列的变化有着一定程度变化,变化的程度有待于进一步讨论。

Trishchenko 等^[9]通过研究指出,对于 AVHRR/NOAA-9 的谱响应函数(下简称 SRF)而言,可见光反射造成的误差为 -25%~12%,近红外线反射造成的误差为 -2%~4%。各种 AVHRRs(高分辨率辐射计)数据中 NDVI 绝对变化为 -0.02~0.06。相对 AVHRR 而言,由 MODIS(中分辨率成像光谱仪)测得的反射率和 NDVI 数据的误差也大约为 30%~40%。

李昕^[10]利用大气辐射传输模式对卫星资料进行大气订正的探讨,发现植被指数值及可见光、近红外通道卫星观测反演的反照率受大气参数的影响十分显著,当能见度低、水汽含量大、分子散射作用强时,进行大气影响订正是十分必要的。而且大气参数(如水汽、气溶胶等)对于植被分布不同的地区造成的影响是不同的。对气象卫星可见光、近红外通道探测反演的陆表物理量进行大气影响订正比较复杂,对每个探测点,最好都能确定大气状况,同时对其探测资料作精确的传感器定标和云的滤除。

一些研究表明,与其他统计结果相比较,使用 NDVI 数据进行的研究有误差存在。Xiao 等^[11]利用土地资源(NLCD-96)与 AVHRR 产生的 1 km 空间分辨率的 NDVI 资料(1992 年 4 月~1993 年 3 月)相比较,得出在 1 km 象素点范围内,NDVI 数据里定义为庄稼或者庄稼混合地的面积可能对应着 NLCD-96 数据里任何大小面积的庄稼。

还有一些研究表明,与实测资料对比,NDVI 数据会带来一定程度的不确定性。Lunetta 等^[12]对一个地区统计植被面积的变化进行研究,所有的检验表明,其结果的准确率为 80%~91%。木本植被的覆盖面积统计误差要大一些,大约为 60%~79%。由于农业分类的影响,总的误差也比较大,大约为 42%~51%。杨思全^[13]对遥感资料进行随机抽样,通过野外实地对比来判断其实际精度。每个地区每个类型按比例选取检验点,点的个数为遥感资料解译获得的多边形个数的 0.5%。实地检验表明,在选择的 130 个点中,解译结果与实际相符的有 107 个,有 23 个点与实际存在一定的偏差,所以解译结果的正确率达 82.3%。

上述研究表明,NDVI 数据在一定程度上存在着不同大小的误差。在这种背景下,

我们需要进一步对 NDVI 的不确定性进行深入的研究。

3 利用 NDVI 资料进行植被分类

利用 NDVI 数据和各种分类方法对植被进行分类和讨论,国内外均有很多相关的研究。经过多年的发展,利用遥感数据进行地物分类的方法主要有以下几种:(1)单时相多光谱分类法;(2)多时相多光谱分类法;(3)对经主成分分析后的主分量进行分类。

Reed 等^[14]对 NDVI 曲线进行定量分析,研究植被分类和植被动态变化的问题。

Tucker 等^[15]应用年 NOAA 数据在进行主成分分析 (PCA) 后,用前两个分量对非洲植被进行了划分,通过分析 NDVI 季相最大值的变化曲线,可在洲尺度上区分出主要的植被类型。

盛永伟等^[2]采用动态聚类算法,利用经上述校正后的全年 NDVI 时间序列对全国植被进行生物节律分类,自动计算各类初始中心,经适当的类别归并和分裂,得到 18 类的分类结果 (见表 1)。

李晓兵等^[16]应用年 NOAA 数据在进行主成分分析 (PCA) 后,用前 3 个主分量将我国植被划分为 35 类 (见表 2),并对不同植被类型多年 NDVI 的月变化特点进行了聚类和分区。应用 1992 年 4 月至 1993 年 3 月 NOAA/AVHRR 的 NDVI 资料和主成分分析对我国植被进行划分,并将分类结果与东北森林—草原陆地样带的野外实际考察结果进行了比较,结果表明,非监督分类法的分类正确率为 81.61%。

Hastings 等^[17]利用 NDVI 资料分析植被覆盖种类,以沙漠和半沙漠为第一类,第二类为沙漠地区,但含有非沙漠部分。根据岩石和土壤的不同性质,在沙漠地区也可以分为不同类别,在非沙漠地区可以根据绿度不同来划分。

另外一些研究着重区分了两种 NDVI 值特征相近的植被。Nemani 等^[18]利用 NDVI 值和地表温度对植被进行分类,首先将植被分成 4 类:第 1 类,少水的 (灌木、草);第 2 类,少能量的 (湿地、森林、雪、冰、水);第 3 类,空气不流通的 (如森林);第 4 类,空气流通的 (上空空气流通的如庄稼)。然后再利用季节不同的平均值将灌木和草区分开,利用 NDVI 季节性的振幅将落叶林和常青树分开,利用近红外反射的不同将

表 1 18 种植被类型

1	2	3	4	5	6
沙漠、戈壁	高寒荒漠区	荒漠	温带草原	亚热带常绿灌丛	冬小麦与早熟玉米连作区
7	8	9	10	11	12
东北产粮区	双季稻两熟区	兴安岭针叶林区	冬小麦与中、晚熟玉米连作区及稻麦两季农耕地	亚热带矮林与经济作物	热带常绿灌丛
13	14	15	16	17	18
马尾松林	亚热带常绿阔叶林	针叶、落叶阔叶混交林区	亚热带灌丛与农作物混合区	杂乱混合区	热带常绿阔叶雨林

阔叶林和针叶林区别开。

对亚洲等大范围地区所有植被进行分类的研究也有了一些成果。Senay 等^[19]利用 NDVI 数据来研究某个地区植被随时间和空间的变化，结果表明：不同植被出现绿度最大的时间不同，庄稼的 NDVI 最大值，第 1 次出现在 5 月 4 日，第 2 次出现在 8 月 24；牧场、森林的 NDVI 最大值，第 1 次出现在 6 月 1 日，第 2 次出现在 7 月 27 日。

赵茂盛^[20]对 NDVI 数据进行多年各月最大值平均，得到多年无云的 NDVI 平均，即植被生长的各月平均状态，然后对其进行主成分分析（PCA），用得到的前 3 个主分量在 GIS 软件下进行植被的非监督分类，将我国的植被分成 21 种类型（见表 3）。

表 2 35 种植被类型

1	2	3	4	5	6
寒温带、温带落叶 针叶、阔叶混交林	亚热带、热带常 绿针叶林	温带、暖温带落 叶阔叶林	亚热带常绿阔 叶林	热带雨林性 阔叶林	温带草甸草原
7	8	9	10	11	12
温带典型草原	温带荒漠草原	温带荒漠草原＋ 沙地灌丛	温带、亚热带 高寒草原	温带典型草 原	温带、亚热带 高寒草甸
13	14	15	16	17	18
温带典型草甸＋ 温带草本沼泽	盐生草甸	温带荒漠	沙漠和戈壁	温带高寒荒 漠	温带高寒荒漠 ＋高山碎石
19	20	21	22	23	24
温带落叶灌丛	温带、亚热带落 叶灌丛	亚热带落叶灌丛	亚热带、热带 常绿灌丛	温带草本沼 泽	一年一熟作物＋ 温带典型草原
25	26	27	28	29	30
温带典型草原＋ 一年一熟作物＋ 沙地灌丛	亚热带、热带常 绿、落叶灌丛＋一 年水旱两熟作物	亚热带常绿、落 叶灌丛＋双季稻 连作喜凉作物	亚热带常绿、 落叶灌丛，矮 林＋经济作物	一年一熟作 物	一年两熟作物 或两年三熟作 物
31	32	33	34	35	
一年两熟作物或 两年三熟＋一年 水旱两熟作物	一年水旱两熟作 物	双季稻连作喜凉 作物或一年三熟 作物	双季稻连作喜 温作物或三季 稻	多种植被的混 合类型（主要 是作物）	

表 3 21 类植被类型

1	2	3	4	5	6	7
寒温性针叶 林	暖性针叶 林	落叶阔叶 林	常绿、落叶 阔叶混交林	常绿阔叶林	季雨林	温性落叶灌 丛、灌草丛
8	9	10	11	12	13	14
暖性常绿、落 叶灌丛和草丛	热性灌丛 和草丛	草甸草原	典型草原	荒漠草原	高寒草原	半灌木、灌 木荒漠
15	16	17	18	19	20	21
高寒荒漠	高寒草甸	沼泽	一年一熟旱 作农业	一年两熟或两年 三熟旱作农业	单双季水稻 或经济林	沙漠及戈壁

Lu 等^[21]利用 1981 到 1994 的 NDVI 数据的时间序列和其他相关信息来区分出草本植物和木本植物。

Hill 等^[22]利用 NDVI 时间序列来得到植被生长气候和植被覆盖的信息，其分析结果显示：高而窄的序列表示植被随季节变化不明显；宽而短的时间序列表示植被是混合植被类型并且随季节变化空间分布不均。

Yang 等^[23]利用分类回归树（C&RT）方法对谷类庄稼或传统的耕地或减少的耕地进行分类，C&RT 模式区分耕地的准确度为 0.89。

就目前的研究成果看来，植被的类型较为复杂，而且任一种反映到 NDVI 数据的植被特征也不是单一的，植被类型的分类在不同的地区有不同的定义和标准，有待于更深入的研究。

4 利用 NDVI 资料估算植被覆盖

土地覆盖是指地球陆地表层的自然属性，客观存在于自然界的土地覆盖是由多种要素有机结合而形成的自然综合体，其中植被是连接土壤、大气和水分等要素的自然“纽带”^[24]；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^[25]。作为重要的生态气候指数，植被覆盖率（单位面积内植被的垂直投影面积所占百分比）也是全球及区域衡量生态系统所需要的重要信息。利用 NDVI 资料对植被覆盖面积进行研究，也可以在很多实际情况中利用，比如估算庄稼的产量、森林砍伐或土地退化状况等。以前利用遥感资料估算植被覆盖率的方法大致可归纳为以下两种：经验模型法和植被指数转换法。经验模型法主要是通过建立实测植被覆盖率数据与植被指数的经验模型来求取大面积植被覆盖率。由于经验模型法依赖于对特定区域的实测数据，虽在小范围区域具有一定的精度，但推广应用方面会受到很多限制。因此，近年来发展起来的不依赖于植被覆盖率的实测数据，而直接由植被指数向植被覆盖率转换的方法已成为相关领域研究的一种趋势。植被指数转换法的主要思想是通过对各像元中植被类型及分布特征的分析，建立植被指数与植被覆盖率的转换关系，直接估算植被覆盖率^[26]。

Quarmby 等^[27]利用 AVHRR 资料，建立了植被指数与植被覆盖率的线性混合转换模式，并认为该法适用估算农业区的植被覆盖率。如要使农业区以外的植被分析结果具有较高精度，则需要进一步的调整模式。

表 4 植被的亚像元模型表

像元类型	植被的亚像元结构	植被覆盖率公式
均一像元	全覆盖	$f_g=1$, N 大小取决于 L
混合像元	等密度	$f_g=\frac{N-N_0}{N_\infty-N_0}$
混合像元	非密度	$f_g=\frac{N-N_0}{N_g-N_0}$
混合像元	混合密度	$\sum f_{gi}=\sum \frac{N-N_0}{N_{gi}-N_0}$

注：表中 f_g 为植被覆盖率，植被类型 i 的覆盖率为 f_{gi} ， L 为叶面指数， N_0 、 N_∞ 对应于裸土（ $L \rightarrow 0$ ）和高垂直植被（ $L \rightarrow \infty$ ）的 NDVI 值， N_g 对应植被覆盖部分的 NDVI 值， N 为任一像素的 NDVI 值。

Gutman 等^[28]从像元中可能的植被分布特征入手，提出了均一亚像元模型和混合亚像元（等密度、非密度、混合密度）模型（见表 4），并应用其中的等密度模型，以 NOAA/AVHRR 资料为数据源进行了全球植被覆盖率的估算，其结果精度达 70% 左右。混合密度模型中植被覆盖率的计算十分复杂，必须确定像元中不同植

被类型的 NDVI、叶面指数和消光系数，受分辨率的限制，这些参数的确定目前很难做到。

陈晋等^[26]分析了混合像元中“非密度模型”植被覆盖率的计算和相关参数的确定方法，提出了基于土地覆盖分类的综合运用“等密度模型”和“非密度模型”计算植被覆盖率的方法。通过对海淀区植被覆盖率计算结果的检验表明，该方法的估算精度可达 75.4%，比单纯使用等密度亚像元模型估算提高 5.8%。所介绍的各种亚像元模型，都是建立在土地覆盖分类的基础上，同时受所使用的 TM 资料空间分辨率的限制，模型中涉及到的参数难以确定，估算结果还是存在一定的误差。

Scanlon 等^[29]在水资源比较少的地区，将 NDVI 数据的时间序列与地面测得的降雨量结合起来估计树木和草的覆盖特征。另外，发现树木的 NDVI 值和降水两者之间的相关系数为 0.87，在雨季平均降雨量为 450 mm 时草的覆盖面积也大，当总降雨量在 450 mm 以下时，草地面积与即时降雨量的关系非常大。由于植被受气候、人为等作用影响比较大，所以植被覆盖的面积并不是不变的。徐兴奎等^[30]利用 1982~1999 年 NOAA-AVHRR 卫星遥感数据，通过对归一化植被指数进行自然正交分解，反演获得了我国 18 年来地表植被覆盖的分布及其时空变化状况，发现这一时期我国大部分地区地表植被覆盖状况明显退化。这种植被动态的变化给估算植被面积也带来了一定的难度。陈云浩等^[31]运用亚像元分解模型法对北京海淀区的植被覆盖进行遥感动态的研究，结果表明，该区植被覆盖等级分布不均衡，总的覆盖面积呈增加趋势。以上研究指出了植被覆盖面积会随着各种因素变化，如要得到定量的植被覆盖面积的描述，还需要进一步讨论。

植被面积的估算方法有多种，应用也很广泛。研究的侧重点大多不一样，有的侧重于估算庄稼的产量，有的侧重于估算绿色植物的覆盖面积（见表 5）。

从以上的讨论可以看出，目前存在的各种方法还不能同时对各种植被类型的面积进行高精度的计算。有的方法针对性强，不适合所有的植被类型或者不适合大范围的区域；有的方法依赖于土地覆盖分类信息，这样也会引进一定的误差；有的方法给出了定性的结果分析，但没有给出植被覆盖率的定量结果，而且大多数方法没有将 NDVI 数据本身所涉及到的误差考虑在内。所以需要进一步探讨更合适的方法，以得到具有更高准确度的定量结论。

表 5 估算植被面积的各种方法

年份	提出者	方法	结论
1992	Quarmby 等 ^[27]	植被指数与植被覆盖率线性混合转换模式	估算农业区的植被覆盖率精度高
1998	Gutman 等 ^[28]	等密度模型	估算全球植被覆盖率精度达 70%
2001	陈晋等 ^[26]	亚像元模型	区域植被的植被覆盖率估算精度达 75.4%
2001	徐兴奎等 ^[30]	自然正交分解	我国大部分地区植被覆盖明显退化
2002	Scanlon 等 ^[29]	结合降雨量与 NDVI 数据估计	树木的 NDVI 值与降水相关系数为 0.87

5 结论和展望

(1) 就 NDVI 数据的不确定分析研究进展来看，对误差产生的原因和各种影响因

素已分析的比较透彻,不过这些结论大部分是定性的。但对于每一个因素所产生误差的大小,整个 NDVI 数据的精确度等方面还缺乏更深入的定量分析。

(2) 就利用 NDVI 数据对植被进行分类的研究进展来看,部分区域的植被分类已进行了比较细致的工作,但对于大范围的区域,由于气候复杂,植被类型众多,故分类的标准和类型没有得到完全的统一。

(3) 在估算植被面积的研究进展方面,对于一些比较重要的植被覆盖,如稻田、森林等研究的比较深入,估算的植被面积也有了一定的准确度,比如有的研究对区域的植被面积估算精度可达 75.4%。但对于全国的各种植被类型而言,还没有建立起一个完整的模式来利用 NDVI 数据估算其面积。

目前 NDVI 数据的分辨率有了提高,可以提供的时间序列也在加长。我们可以根据更多更准确的数据来监测植被的多种信息。在以后的研究过程中,如果能以确定 NDVI 值的精确度为基础,详细分析 NDVI 值与气候条件等其他因素的关系,准确定义 NDVI 值所对应的植被类型,随时监测 NDVI 值的变化情况并统计出其变化规律,建立起全国植被的面积估算模式,那么期待着对全国植被的分类可以更为准确,对植被面积的估算有着更高的准确度,以便为研究陆面模式和气候模式提供可用的陆表参数。

参 考 文 献

- 1 Sellers, P. J., Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration, *International Journal Remote Sensing*, 1985, **6**, 1335~1372.
- 2 盛永伟、陈维英、肖乾广, 利用气象卫星植被指数进行我国植被的宏观分类, *科学通报*, 1995, **40** (1), 68~71.
- 3 覃文汉、项月琴, 植被结构及太阳、观测角度对 NDVI 的影响, *环境遥感*, 1996, **11** (4), 85~290.
- 4 陈洪滨、吕达仁, 关于卫星遥感半干旱草原陆面过程的方法和应用研究, *气候与环境研究*, 1997, **2** (3), 316~323.
- 5 Gao Bocai, and Li Rongrong, Quantitative Improvement in the Estimates of NDVI Values from Remotely Sensed Data by Correcting Thin Cirrus Scattering Effects, *Remote Sensing Environment*, 2000, **74** (3), 494~502.
- 6 陈述彭、赵英时, *遥感地学分析*, 北京: 测绘出版社, 1990.
- 7 文军、王介民, 一种由卫星遥感资料获得的修正的土壤调整植被指数, *气候与环境研究*, 1997, **2** (3), 302~309.
- 8 Kogan, F. N., and X. Zhu, Evolution of long-term errors in NDVI time series: 1985~1999, *Advances in Space Research*, 2001, **28** (1), 149~153.
- 9 Trishchenko, A. P., Josef Cihlar and Li Zhanqing, Effects of spectral response function on surface reflectance and NDVI measured with moderate resolution satellite sensors, *Remote Sensing Environment*, 2002, **81** (1), 1~18.
- 10 李昕, 对 NOAA/AVHRR 通道反照率和植被指数的大气影响订正试验, *气候与环境研究*, 1998, **3** (2), 180~191.
- 11 Xiao Xiangming, Liu Ji Yuan, and Zhuang Dafang, Uncertainties in estimates of cropland area in China: a comparison between an AVHRR-derived dataset and a Landsat TM-derived dataset, *Global and Planetary Change*, 2003, **37**, Issue 3~4, 297~306.
- 12 Lunetta, R. S., Jayantha Ediriwickrema, D. M. Johnson, Impacts of vegetation dynamics on the identification of land-cover change in a biologically complex community in North Carolina, USA, *Remote Sens. Environ.*,

- 2002, **82**, 258~270.
- 13 杨思全, 基于遥感与 GIS 的毛乌素沙地土地沙漠化与土地利用变化时空耦合及关联研究, 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 2003.
 - 14 Reed, B. C., T. R. Loveland, and L. L. Tieszen, An approach for using AVHRR data to monitor U. S. Great Plains grasslands, *Geocarto International*, 1996, **11**, 1~10.
 - 15 Tucker, C. J., and J. R. Townshend, African land-cover classification using satellite data, *Science*, 1985, **227**, 233~250.
 - 16 李晓兵、史培军, 基于 NOAA/AVHRR 数据的中国植被类型 NDVI 变化规律研究, *植物学报*, 1999, **41** (3), 314~324.
 - 17 Hastings D. A., and Ryutaro Tateishi, Land-Cover Classification: Some new techniques, new source data, *ISPRS Commission IV Symposium on GIS-Between Visions and Applications*, D. Fritsch, M. Englich, and M. Sester, Eds, IAPRS 1998, **32**, Part4, 226~229, Stuttgart, Germany.
 - 18 Nemani, R., and S. Running, Land cover characterization using multitemporal red, near-IR, and thermal-IR data from NOAA/AVHRR, *Ecological Applications*, 1997, **7** (1), 79~90.
 - 19 Senay, G. B. and R. L. Elliott, Combining AVHRR-NDVI and landuse data to describe temporal and spatial dynamics of vegetation, *Forest Ecology and Management*, 2000, **128**, 83~91.
 - 20 赵茂盛, 应用遥感信息和生态模式研究我国植被对气候变化的响应, 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 1998.
 - 21 Lu Hua, and R. R. Michael, Decomposition of vegetation cover into woody and herbaceous components using AVHRR NDVI time series, *Remote Sensing Environment*, 2003, **86** (1), 1~18.
 - 22 Hill M. J, and G. E. Donald, Estimating spatio-temporal patterns of agricultural productivity in fragmented landscapes using AVHRR NDVI time series, *Remote Sensing Environment*, 2003, **84** (3), 367~384.
 - 23 Yang Chun-chieh, S. O. Prasher, P. Enright et al., Application of decision tree technology for image classification using remote sensing data, *Agricultural Systems*, 2003, **76** (3), 1101~1117.
 - 24 陈述彭、童庆喜、郭华东, 遥感信息机理研究, 北京: 科学出版社, 1998, 338~340.
 - 25 香宝、刘纪远, 基于遥感和 GIS 地东亚土地覆盖年际变化研究, *中国图象图形学报*, 2002, **7A** (10), 1017~1020.
 - 26 陈晋、陈云浩、何春阳, 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用, *遥感学报*, 2001, **5** (6), 416~422.
 - 27 Quarmby N. A., J. R. G. Townsbend, J. Settle et al., Linear mixture modeling applied to AVHRR data for crop area estimation, *International Journal of Remote Sensing*, 1992, **13** (3), 415~425.
 - 28 Gutman G., and A. Ignatov, The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models, *International Journal of Remote Sensing*, 1998, **19** (8), 1533~1543.
 - 29 Scanlon T. M., J. D. Albertson, and K. Kelly, Determining land surface fractional cover from NDVI and rainfall time series for a savanna ecosystem, *Remote Sensing Environment*, 2002, **82**, 376~388.
 - 30 徐兴奎、林朝晖、李建平, 利用卫星遥感资料对中国地表植被及荒漠化时空演变和分布的研究, *自然科学进展*, 2001, **11** (7), 699~703.
 - 31 陈云浩、李晓兵、史培军, 北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究, *植物生态学报*, 2001, (5), 588~593.

Recent Research Progress in Uncertainties of the Normalized Difference Vegetation Index, Land Cover Classification and Vegetation Fraction Estimation

Chen Zhaohui, Zhu Jiang, and Xu Xingkui

(International Center for Climate and Environmental Sciences, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Vegetation plays an important part in the world's ecosystem. Terrestrial ecosystem has a close relation with global climate change. To classify the vegetation and measure the vegetation fraction with high accuracy using remote sensing data is a very important research. This report gives a general review about uncertainties of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), land cover classification and vegetation fraction estimation. Based on the known results, this report gives a more feasible prospect.

Key words: the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); land cover classification; vegetation fraction estimation; uncertainty