# 卫星遥感藏北高原非均匀陆表地表特征参数和植被参数*

马耀明[1)] 刘东升[2)] 苏中波[3)] 李召良[4)]
Massimo Menenti[3,4)] 王介民[1)]

1) (中国科学院寒区旱区环境与工程研究所，兰州 730000)
2) (四川省人工降雨防雹办公室，成都 610071)
3) (Wageningen University and Research Center, Alterra Green world Research, P. O. Box 47, 6700 AA, Wageningen, The Netherlands)
4) (Centre National Dela recherché Scentifique, Universite Louis Pasteur, 67400 Illkirch Strasbourg, France)

**摘 要** 卫星遥感在研究青藏高原北部地区（藏北高原地区）非均匀陆表地表特征参数和植被参数时有其独到的作用。作者提出了基于 NOAA-14 AVHRR 资料推算藏北高原地区地表特征参数和植被参数的方案，并把其用于全球能量水循环之亚洲季风青藏高原试验（GAME/Tibet）试验区。同时利用 3 个景的 NOAA-14 AVHRR 资料进行了分析研究，得到了一些有关藏北地区非均匀地表的区域地表特征参数（地表反射率、地表温度）和植被参数（$I_{NDV}$、修正的土壤调整植被指数 $I_{MSAV}$、植被覆盖度和叶面指数 $I_{LA}$）。

**关键词**：藏北高原地区；卫星遥感资料；地表特征参数；植被参数
**文章编号** 1006-9895（2004）01-0023-09 **中图分类号** P407 **文献标识码** A

## 1 引言

青藏高原约占我国领土四分之一，平均海拔 4000 m 以上，是世界上平均海拔最高、面积最大、地形最为复杂的高原。青藏高原高大的地形特征和高原地面所吸收的太阳辐射能，使得该地区地气相互作用过程，尤其是能量与水分循环过程对亚洲季风、东亚大气环流及全球气候变化均有极大的影响。所以全球能量水循环之亚洲季风青藏高原试验（GAME/Tibet）把研究青藏高原地表与大气之间能量交换作为其首要的科学目标提了出来，而且 1998 年 5～9 月在藏北的那曲地区设置了一个 150 km×200 km 的试验区来研究此问题（图 1）。到目前为止，有关试验区地表能量和水循环的研究已经得到了一些非常有意义的结果[1～3]。这些结果显示：（1）青藏高原的太阳辐射加热，包括向下的总辐射和净辐射，比其他地区明显强。（2）季风开始前，青藏高原的地面感热大于潜热；此后，特别是在 7 月初～8 月初，潜热可为感热的两倍，且降水量和土壤湿度明显增大。（3）基本试验站观测计算得到的感热、潜热和地表向下的土壤热通

2002-08-05 收到，2003-01-14 收到修改稿
* 国家自然科学基金资助项目 40275003、中国科学院知识创新项目 KZCX3-SW-329 和 KZCX1-10-06 共同资助

量三者很难与净辐射平衡，余量可达后者的 10%～20%以上。(4) 大气边界层结构日变化明显。白天混合层发展，可达地面以上 2000 m，下午对流云迅速发展，唐古拉山南部比北部更猛烈。夜间 1000 m 以下有随地区而异的盛行风，大气含水量增大。但是所有这些结果都只是处于“点”或局地的水平上。要想达到真正理解地表状况十分复杂的这一地区地气相互作用的实质，其研究仅仅停留在“点”上或局地的水平是不够的，而必须把这些结果推广到整个区域上。本文的目的就是利用卫星遥感资料(NOAA-14 AVHRR)，推算试验区地表特征参数（地表反射率和地表温度）及植被参数（$I_{NDV}$、修正的土壤调整植被指数 $I_{MSAV}$、植被覆盖度 $P_v$和叶面指数 $I_{LA}$），为进一步推算 GAME/Tibet 试验区的区域地表热通量（净辐射通量、土壤热通量、感热通量和潜热通量）分布，进而为更加清楚地理解试验区甚至整个青藏高原地区地气相互作用的实质打下良好基础。

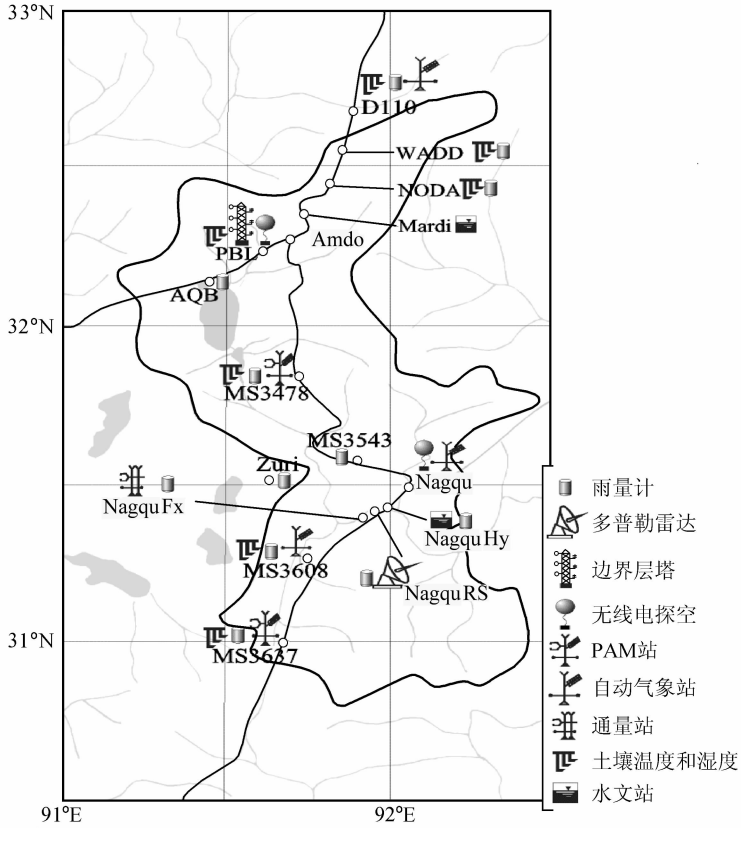


图 1 GAME/Tibet 加强试验期的仪器设置及试验区的地表状况

## 2 卫星遥感资料的选取

NOAA-14 AVHRR 资料包含 5 个波段 (0.58～0.68 μm、0.73～1.10 μm、3.55～3.93 μm、10.3～11.3 μm 和 11.5～12.5 μm) 的信息，其地面分辨率约为 1.1 km×1.1 km。本文选取 1998 年 6 月 12 日、7 月 16 日和 8 月 21 日的 AVHRR 资料分别代表 GAME/Tibet 试验区的季风前、季风中和季风后的个例[2]。这里所用的卫星资料由中国气象局国家

卫星气象中心提供，资料已经过仪器衰减校正、几何订正、辐射订正和定标处理。

## 3　求取地表特征参数和植被参数的方法

### 3.1　植被参数

自从 1972 年第一个地球资源卫星发射以来，人们就尝试着建立卫星遥感信息与地表植被状况之间的关系。许多研究表明，红外（可见光）和近红外波段的遥感信息可以比较好地研究植被的特点[4~17]。在过去三十多年间，国内外学者提出和发展了四十多种植被参数[16]，其中最有代表性、应用最广泛的植被参数有标准化差值植被指数（Normalized Difference Vegetation Index，$I_{NDV}$）、植被覆盖度 $P_v$、叶面指数（Leaf Area Index，$I_{LA}$）和修正的土壤调整植被指数（Modified Soil Adjusted Vegetation Index，$I_{MSAV}$）。以下我们分别介绍求取藏北高原地区这 4 个植被参数的方法。

3.1.1　标准化差值植被指数

标准化差值植被指数的定义式一般写成[6]

$$I_{NDV}=\frac{r_{nir}-r_{vis}}{r_{nir}+r_{vis}}, \tag{1}$$

这里 $r_{nir}$和 $r_{vis}$分别是近红外和可见光波段的谱反射率。对 NOAA AVHRR 资料而言，$I_{NDV}$可表示为

$$I_{NDV}=\frac{r_2-r_1}{r_2+r_1}, \tag{2}$$

这里 $r_1$和 $r_2$分别是 NOAA AVHRR 第 1 和第 2 波段的谱反射率。

3.1.2　修正的土壤调整植被指数

$I_{NDV}$对植被覆盖度比较敏感，当植被覆盖度大于 0.15 时，$I_{NDV}$随植被覆盖度迅速增大，但当植被覆盖度大于 0.80 时，$I_{NDV}$对植被覆盖度的敏感度却迅速降低[17]，因此，它仅适合于早期生长阶段或低植被覆盖度植被的监测，而且 $I_{NDV}$对土壤背景噪声的考虑也不够[18, 19]。为了提高植被指数对浓密植被的敏感度，同时也为了削弱土壤背景噪声对植被指数的影响，Qi 等[17]提出了修正的土壤调整植被指数 $I_{MSAV}$，即对 NOAA AVHRR 而言，

$$I_{MSAV}=\frac{2r_2+1-\sqrt{(2r_2+1)^2-8(r_2-r_1)}}{2}. \tag{3}$$

修正的土壤调整植被指数 $I_{MSAV}$由迭代方程得出，它既考虑了控制土壤背景的调整因子，且仅由卫星遥感资料或近地面光谱辐射资料得到，因而在利用遥感卫星监测区域下垫面植被变化时有广泛的用途。

3.1.3　植被覆盖度

有许多学者提出了植被覆盖度的计算方法[16]，在本文中我们用 Carlson 和 Ripley 的算法[14]来计算 GAME/Tibet 试验区的植被覆盖度，即

$$P_v(x,y)=\left[\frac{I_{NDV}(x,y)-I_{NDV,min}}{I_{NDV,max}-I_{NDV,min}}\right]^2, \tag{4}$$

这里 $I_{NDV,min}$和 $I_{NDV,max}$分别是试验区最小和最大的 $I_{NDV}$。

3.1.4　叶面指数

叶面指数既可以从遥感信息直接得到，也可以从其他植被参数（$I_{NDV}$、简单比率

$I_{SR}$[20]及植被覆盖度 $P_v$等）得到，而且有许多学者提出了在不同的植被状态下计算叶面指数方法[16, 20]。在本文中，我们用基于二维辐射传输模式而推算得到叶面指数 $I_{LA}$的方案[16, 21]来计算 GAME/Tibet 试验区的叶面指数，即

$$I_{LA}=\frac{1}{2k}\ln\left(\frac{r-r_{max}}{r_{min}-r_{max}}\right), \tag{5}$$

这里 $r$ 为地表反射率，$r_{min}$和 $r_{max}$分别是叶面指数最小和最大时的地表反射率，$k$ 为常数。对我们所研究的中尺度 GAME/Tibet 试验区 $r_{min}$、$r_{max}$和 $k$ 分别为 0.28、0.05 和 0.069。

### 3.2 地表特征参数

#### 3.2.1 地表反射率

地表反射率为地表面对太阳辐射的反射通量密度与其上入射通量密度之比，它决定多少辐射能为下垫面所吸收，因而是辐射平衡研究中的一个重要参数。特别是在青藏高原下垫面热源强迫对大气环流及气候的影响研究中，地表反射率的作用显得尤为重要。国内外从 1984 年以来，有关利用 NOAA AVHRR 窄带反射率来求取地表反射率的工作已经做了很多年，取得了一些结果[22~29]。科学工作者[23, 24, 26, 28]曾根据观测试验给出了宽带反射率（地表反射率）与 NOAA AVHRR 窄带反射率（谱反射率）之间的线性回归关系，

$$r_b(x,y)=a\,r_{A_1}(x,y)+b\,r_{A_2}(x,y)+c, \tag{6}$$

这里 $r_{A_1}$和 $r_{A_2}$分别是 NOAA AVHRR 第一通道和第二通道窄带反射率（谱反射率），而常数 $a$、$b$ 和 $c$ 随试验区的不同而改变。基于钟强等[23]利用 AVHRR 资料推算青藏高原地区地表反射率的方法及 GAME/Tibet 试验区海拔高度和太阳天顶角等数据，我们得出了适合青藏高原地区的回归关系式为

$$r_b(x,y)=0.546r_{A_1}(x,y)+0.454r_{A_2}(x,y)+0.038, \tag{7}$$

这里 $r_b$为地表反射率。

#### 3.2.2 地表温度

地表温度（LST）在地气相互作用研究中是一个基本参数。有关利用 NOAA AVHRR 资料求取地表温度的工作已经做了很多年，取得了一些较好的结果[30~40]。从卫星遥感数据反演地表温度主要受大气和地面比辐射率两方面的影响。为了准确求得地表温度，许多学者提出了“分裂窗口”技术（split-window technique[30~40]，SWT），即认为地表温度为第 4 通道和第 5 通道亮温的简单线性组合，

$$T_{sfc}=A_0+A_1T_4+A_2T_5, \tag{8}$$

这里 $A_0$、$A_1$和 $A_2$为依赖于地表比辐射率的常数。针对（8）式，不同的研究者给出了不同的表达（表 1）。基于 Sobrino 的思路[41]，利用高原试验的风、温、气压和湿度廓线（由本试验设在 Anduo 站的无线电探空仪测得）、试验区的平均海拔高度和太阳天顶角等资料，我们拟合出了以下误差为±0.89 K 的求取青藏高原藏北地区地表温度的表达式

$$\begin{aligned}T_{sfc}(x,y)=&\,T_4(x,y)+1.56[(T_4(x,y)-T_5(x,y)]\\&+0.28[T_4(x,y)-T_5(x,y)]^2+(48-5W)(1-\varepsilon),\end{aligned} \tag{9}$$

这里 $\varepsilon=(\varepsilon_4+\varepsilon_5)/2$[38]，$W$ 为大气含水量，它可以由基于高原试验的风、温及湿度廓线和平均海拔高度观测的辐射传输模式 MODTRAN[42]计算得到（计算时把高原大气作为“中纬度夏季标准模式大气”来考虑，其计算误差 $\Delta W/W\approx15\%$）。

**表 1　分裂窗口算法一览**

| | 算 法 |
|---|---|
| Price [30] | $T_{sfc}(x,y)=\left\{T_4(x,y)+3.33[T_4(x,y)-T_5(x,y)]\right\}(5.5-\varepsilon_4)/4.5-0.75T_5(x,y)\Delta\varepsilon$ |
| Becker 和 Li[31] | $T_{sfc}(x,y)=1.274+[1+0.15616(1-\varepsilon)/\varepsilon-0.482\Delta\varepsilon/\varepsilon^2][T_4(x,y)+T_5(x,y)]/2[6.26+3.98(1-\varepsilon)/\varepsilon+38.33\Delta\varepsilon/\varepsilon^2][T_4(x,y)-T_5(x,y)]/2$ |
| Vidal[32] | $T_{sfc}(x,y)=[T_4(x,y)+2.78[T_4(x,y)-T_5(x,y)]+50(1-\varepsilon)/\varepsilon-300(\Delta\varepsilon/\varepsilon)$ |
| Kerr 等[33] | $T_{scf}(x,y)=P_v(x,y)\left\{T_5(x,y)+2.6[T_4(x,y)-T_5(x,y)]-2.4\right\}+[1-P_v(x,y)]\left\{T_4(x,y)+2.1[T_4(x,y)-T_5(x,y)]+3.1\right\}$ |
| Ottlé 和 Vidal-Madjar[34] | $T_{stc}=a_0+a_1T_4(x,y)+a_2T_5(x,y)$ |
| Ulivieri 等[35] | $T_{sfc}(x,y)=T_4(x,y)+1.8[T_4(x,y)-T_5(x,y)]+48(1-\varepsilon)-75\Delta\varepsilon$ |
| Prata[36] | $T_{sfc}(x,y)=(3.42/\delta)T_4(x,y)-(2.42/\delta)T_5(x,y)+[(1-\delta)/\delta]\left\{[B_4T_4(x,y)-\Delta I\downarrow](\partial B_4/\partial T_{sfc})T_4^{-1}-T_4(x,y)\right\}$<br>$\delta=\varepsilon_4+2.42\tau_5\Delta\varepsilon$ |
| Sobrino 等[37] | $B_4[T_{sfc}(x,y)]=(\alpha_1+\alpha_2R)B_4T_4(x,y)+(\alpha_3+\alpha_4R)B_5T_4(x,y)+(\alpha_5+\alpha_6R)$<br>$R=\tau_5/\tau_4$,<br>$\alpha_i=\alpha_{i0}+\alpha_{i1}(1-\varepsilon_4)\alpha_{12}\Delta\varepsilon$ |
| Becker 和 Li[38] | $T_{scf}(x,y)=(-7.491-0.407W)+[1.0290+(0.2106-0.0307W\cos\theta)(1-\varepsilon_4)-(0.03696-0.737W)\Delta\varepsilon][T_4(x,y)+T_5(x,y)]/2+[4.25+0.56W+(3.41+1.59W)(1-\varepsilon_4)-(23.85-3.89W)\Delta\varepsilon][T_4(x,y)-T_5(x,y)]/2$ |
| François 和 Ottlé[39] | $T_{sfc}(x,y)=T_4(x,y)+a[T_4(x,y)-T_5(x,y)]+b[T_4(x,y)-T_5(x,y)]^2+c$ |
| Coll 和 Caselles[40] | $T_{sfc}(x,y)=T_4(x,y)+\left\{1.34+0.39[T_4(x,y)-T_5(x,y)]\right\}[T_4(x,y)-T_5(x,y)]+0.56+\alpha(1-\varepsilon)-\beta\Delta\varepsilon$ |
| Sobrino 和 Raissouni[41] | $T_{sfc}(x,y)=T_4(x,y)+1.40[T_4(x,y)-T_5(x,y)]+0.32[T_4(x,y)-T_5(x,y)]^2+0.83+(57-5W)(1-\varepsilon)-(161-30W)\Delta\varepsilon$ |
| 本文 | $T_{sfc}(x,y)=T_4(x,y)+1.56[T_4(x,y)-T_5(x,y)]+0.28[T_4(x,y)-T_5(x,y)]^2+(48-5W)(1-\varepsilon)$ |

## 4　个例分析及结果验证

当我们研究青藏高原地表特征参数和植被参数的区域分布和季节变化时，最好是选择尽可能多景的卫星遥感资料。但非常遗憾的是由于高原下午强烈的对流，造成了当 NOAA-14 AVHRR 过试验区时（卫星过境时间基本为当地 14 时左右）试验区为云层所覆盖。在 GAME/Tibet IOP 期间我们收集了 200 多景的卫星资料，但在基本站（Amdo 和 NPAM）上空无云的资料只有 3 景，而在整个试验区各个实验站都无云的仅有 1998 年 6 月 12 日 1 个景。我们这里选取 1998 年 6 月 12 日、7 月 16 日和 8 月 21 日的 AVHRR 资料分别代表 GAME/Tibet 试验区的季风前、季风中和季风后的个例[2]。

图 2（见图版 I）是 GAME/Tibet 试验区季风前（6 月）的地表特征参数和植被参数的区域分布。图 3 为其频率分布（直方图）。图 4（图版 II）和图 5（图版 III）分别是 2 个基本站（Amdo 和 NPAM）附近季风前、季风中和季风后的植被参数和地表特征参数的区域分布比较。图 6（图版 III）中给出了推算得到的试验区的地表温度和地表反

射率与实测结果的比较。这里把平均绝对百分比误差（$D$）作为一种指标来确定推算值（$H_g$）与实测值（$H_m$）误差，即

$$D=\frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{|H_g-H_m|}{H_m}\right). \tag{10}$$

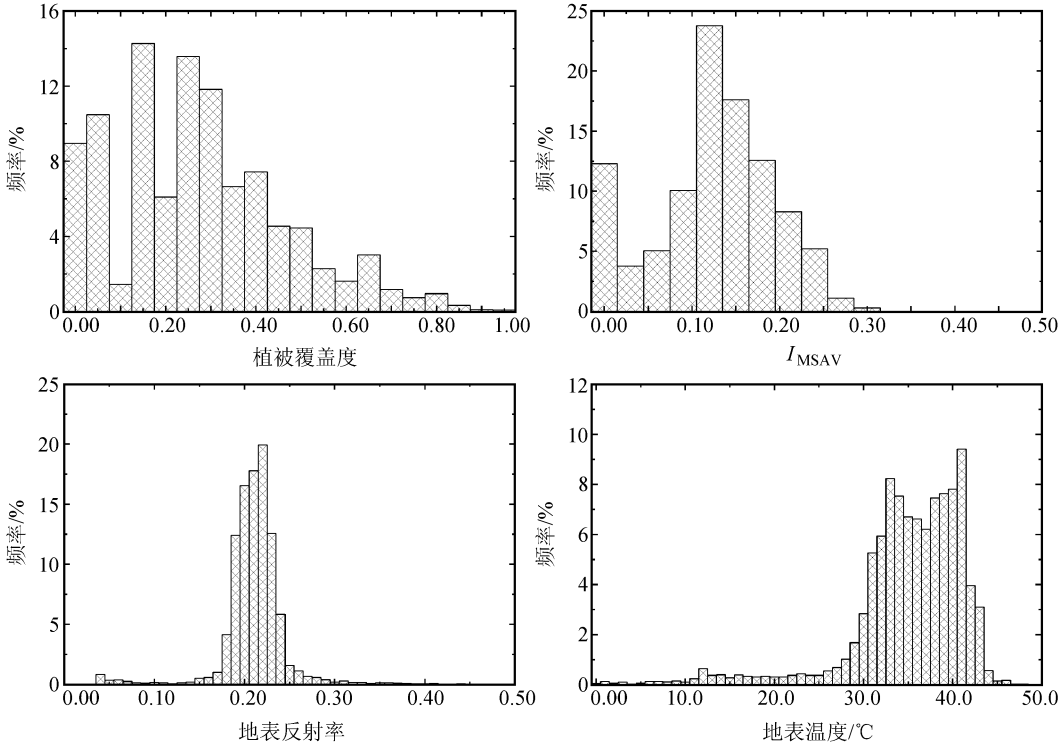


图 3 GAME/Tibet 试验区的地表特征参数和植被参数的频率分布

由于在分布图上较难确定地面站的精确位置，所以这里取每个分布图上地面站坐标（分布图中“＋”符号位置）附近 5×5 个象元点矩形面上的平均值与地面站实测值作比较。地面实测的地表温度由各站观测的地表向上的长波辐射（由 Epply PIR 测得）计算得到，而地面实测的地表反射率则是由各站观测的向下的短波辐射（由 EKO MS-801 测得）和向上的短波辐射（由 EKO MS-801 测得）计算得到。结果显示：(1) 推算得到的地表温度、地表反射率、$I_{NDV}$、修正的土壤调整植被指数 $I_{MSAV}$、植被覆盖度 $P_v$ 和叶面指数与试验区的地表状况相吻合。由于在试验区既有高原草甸和山体，又有湖泊和荒漠化的草原，所以各个参数的分布范围也比较宽，各个参数的变化范围分别是：$I_{NDV}$：0.0～0.25，$I_{MSAV}$：0.0～0.33，植被覆盖度 $P_v$：0.00～1.00，叶面指数 $I_{LA}$：0.0～5.0，地表反射率：0.00～0.35（反射率大于 0.35 为云体），地表温度：0～48℃（温度为 0℃是云体）。(2) 推算得到的试验区的地表反射率不论是在季风前（6 月 12 日）、季风中（7 月 16 日）还是季风后（8 月 21 日）都与地面观测值较为接近，平均绝对误差（$D$）都小于 10.0%。而推算得到的试验区的地表温度不论是在季风前（6 月 12 日）、季风中（7 月 16 日）还是季风后（8 月 21 日）都与地面观测值很接近，平均绝对误差（$D$）都小于 5.0%。(3) 不论是在季风前（6 月 12 日）、季风中（7 月 16 日）

还是季风后（8 月 21 日），推算得到的这一地区的植被覆盖度 $P_v$ 几乎相同。这是由于在这一地区的这个阶段，其地面为相同的高原草甸所覆盖，不同之处仅仅在于 6 月 12 日的高原草甸比较干，而到了 7 月 16 日和 8 月 21 日高原草甸已变绿和变湿。(4) 推算得到的试验区的其他植被参数（$I_{NDV}$、$I_{MSAV}$和叶面指数 $I_{LA}$）随着季风的到来而逐渐变大，即“季风后大于季风中大于季风前”。(5) 季风前试验区的地表反射率和地表温度均大于季风中和季风后的值，这是由于季风前地表干燥，而季风中和季风后地面潮湿并且高原草场正处于生长期之故。

## 5　结语

本文利用卫星遥感与地面观测相结合的方法，得到了 GAME/Tibet 试验区非均匀下垫面上的区域地表温度、地表反射率、$I_{NDV}$、修正的土壤调整植被指数 $I_{MSAV}$、植被覆盖度 $P_v$和叶面指数 $I_{LA}$，所得结果基本可信，这为下一步求取试验区区域和整个青藏高原地区地表能量通量（净辐射通量、土壤热通量、感热通量和潜热通量）的分布奠定了良好的基础。

尽管我们所用的方法适用于像 GAME/Tibet 试验区这样的高原地区，但由于试验区缺乏植被参数的观测，故而推算得到的植被参数不能得到检验，这一点在以后的高原地区的陆面过程试验中应该引起重视。

**致谢**：本研究的部分工作是在日本京都大学防灾研究所和荷兰 Wageningen 大学完成的。文中所用地面观测资料由 GAME/Tibet 办公室提供。GAME/Tibet 项目由中国科学院、日本文部省和日本科技厅等单位共同组织和资助。作者非常感谢试验中每一位中日科学家的辛勤工作。同时，作者也非常感谢与文军博士、胡泽勇博士、高峰博士、杨梅学博士、田立德博士、小池俊雄教授、塚本修教授、石川裕彦教授和上野健一博士等有意义的深入讨论。

## 参　考　文　献

1　马耀明、塚本修、吴晓鸣等，藏北高原草甸下垫面近地层能量输送及微气象特征，大气科学，2000，**24**（5），715～722.

2　Tanaka，K.，H. Ishikawa，T. Hayashi et al.，Surface Energy Budget at Amdo on Tibetan Plateau using GAME/Tibet IOP'98 Data，*J. Meteor. Soc. Japan*，2001，**79**(1B)，505～517.

3　Ma Yaoming，O. Tsukamoto，Wang Jiemin et al.，Analysis of aerodynamic and thermodynamic parameters over the grassy marshland surface of Tibetan Plateau，*Progress in Natural Sciences*，2002，**12**(1)，36～40.

4　Rouse，J. W.，Monitoring the vernal advancement and retro-gradation (Green-wave effect) of natural vegetation. NASA/GSFCT Type I Report，Greenbelt，MD，USA，1972.

5　Rouse，J. W.，R. W. Haas，J. A. Schell et al.，Monitoring the vernal advancement and retro-gradation (Green-wave effect) of natural vegetation. NASA/GSFCT Type I Report，Greenbelt，MD，USA，1974.

6　Tucker，C. J.，Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation，*Remote Sensing of Environment*，1979，**17**，223～249.

7　Menenti，M.，W. G. M. Bastiaanssen，and D. V. Eick，Determination of hemispheric reflectance with Thematic Mapper data，*Remote Sening of Enviroment*，1989，**28**，327～337.

8　魏丽、钟强，利用 AVHRR 资料分析黑河地区地表特征，高原气象，1989，**8**（3），189～196.

9　吴艾笙、钟强，黑河地区的地表反射率与植被指数，大气科学，1993，**17**（2），155～162.

10 Bastiaanssen, W. G. M., Regionalization of Surface Flux Densities and Moisture Indicators in Composite Terrain, Ph. D Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands, 1995, 143～161, 284pp.

11 张仁华，实验遥感模型及地面基础，北京：科学出版社，1996，284pp.

12 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），316～321.

13 马耀明、王介民，M. Menenti等，黑河实验区地表净辐射区域分布及季节变化，大气科学，1997，**21**（6），743～749.

14 Carlson, T. N., and D. A. Ripley, On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index, *Remote Sensing of Environment*, 1997, **62**, 241～252.

15 马耀明、王介民，M. Menenti等，卫星遥感结合地面观测估算非均匀地表区域能量通量，气象学报，1999，**57**（2），180～189.

16 Ma Yaoming, Parameterization of Land Surface Heat Flux Densities over Inhomogeneous Landscape by Combining Satellite Remote Sensing with Field Observations, Ph. D Thesis, Okayama University, Japan, 2001, 195pp.

17 Qi Jiaguo, A. Chehbouni, A. R. Huete et al., A modified soil adjusted vegetation index, *Remote Sensing of Environment*, 1994, **48**, 119～126.

18 Huete, A. R., R. D. Jackson, and D. F. Post, Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds, *Remote Sensing of Environment*, 1985, **17**, 37～53.

19 Huete, A. R., A soil-adjusted vegetation index (SAVI), *Remote Sensing of Environment*, 1988, **25**, 295～309.

20 Su Zhongbo., Remote sensing of land use and vegetation for mesoscale hydrological studies, *International Journal of Remote Sensing*, 2000, **21**(2), 213～233.

21 李建龙、黄敬峰、王秀珍，草地遥感，北京：气象出版社，1997，242pp.

22 钟强，应用AVHRR的卫星辐射资料计算青藏高原地区的行星反照率与射出长波辐射，高原气象，1984，**3**（2），1～9.

23 钟强、吴士杰，利用AVHRR资料推算青藏高原地区地表反射率的方法，高原气象，1985，**4**（3），193～203.

24 Wydick, J. E., P. A. Davis, and A. Gruder, Estimation of Broadband Planetary Albedo from Operational Narrowband Satellite Measurements, NOAA Technical Report NESDTS 27, 1987.

25 Zhong Qiang, and Li Yinhai., Satellite observation of surface albedo over Qinghai-Zizang Plateau Region, *Adv. Atmos. Sci.*, 1988, **5**(1), 57～66.

26 Saunders, R. W., The determination of broad band surface albedo from AVHRR visible and near infrared radiances, *International Journal of Remote Sensing*, 1990, **11**, 49～67.

27 Zhong Qiang, and Wu Aisheng., On the relationship between planetary and surface albedo: Model's comparison and validation, *Acta Meteorologica Sinica*, 1995, **9**(4), 402～411.

28 Valiente, J. A., M. Nunez, E. Lopez-Baeza et al., Narrow-band to broad-band conversion for Meteosat-visible channel and broad-band reflectance using both AVHRR-1 and -2 channels, *International Journal of Remote Sensing*, 1995, **16**(6), 1147～1166.

29 钟强、韦志刚，青藏高原地表反射率卫星反演资料的评估，高原气象，1996，**15**（2），157～164.

30 Price, J. C., Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA 7 AVHRR, *J. Geophys. Res.*, 1984, **89**(D5), 7231～7237.

31 Becker, F., and Li Zhaoliang, Towards a local split-window method over land surfaces, *International Journal of Remote Sensing*, 1990, **11**, 369～394.

32 Vidal, A., Atmospheric and emissivity correction of land surface temperature measured from satellite using ground measurements or satellite data, *International Journal of Remote Sensing*, 1991, **12**, 2449～2460.

33 Kerr, Y. H., J. P. Lagouarde, and J. Imbernon, Accurate land surface temperature retrival from AVHRR data with the use of an improved split-window algorithm, *Remote Sensing of Environment*, 1992, **41**, 197～209.

34 Ottlé, C., and D. Vidal-Madjar, Estimation of land surface temperature with NOAA-9 data, *Remote Sensing of Environment*, 1992, **40**, 27～41.

35 Univieri, C., M. M. C. Castronuovo, R. Francionis et al., A split-window algorithm for estimating alnd surface

temperatures from satellites, COSPAR, Comm. On Space Programs and Res., Washington, DC, Aug. 27 to Sept. 5, 1992.

36 Prata, A. J., Land surface temperatures derived from the advanced very high resolution radiometer and along track scanning radiometer, 1, Theory, *J. Geophys. Res.*, 1993, **98**(D9), 16689～16702.

37 Sobrino, J. A., Li Zhaoliang, M.-P. Stoll et al., Improvements in the split-window technique for land surface temperature determination, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1994, **32**, 243～253.

38 Becker, F., and Z.-L. Li, Surface temperature and emissivity at various scales: definition, measurement and related problems, *Remote Sensing Review*, 1995, **12**, 225～253.

39 Francois, C., and C. Ottlé, Atmospheric corrections in the thermal infrared: Global and water vapor dependent split-window algorithm-applications to ATSR and AVHRR data, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1996, **34**, 457～469.

40 Coll, C., and V. Caselles, A split-window algorithm for land surface temperature form advanced very high resolution radiometer data: Validation and algorithm comparison, *J. Geophys. Res.*, 1997, **102**(D14), 16697～16713.

41 Sobrino, J. A., and N. Raissouni, Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco, *International Journal of Remote Sensing*, 2000, **21**(2), 353～366.

42 Berk, A., L. S. Bernstein, and D. C. Robertson, MODTRAN, A moderate resolution model for lotran 7, 1989, GL-TR-89-0122.

# Land Surface Variables and Vegetation Variables Estimated from Satellite Remote Sensing over Inhomogeneous Land Surface of the Northern Tibetan Plateau

Ma Yaoming[1)], Liu Dongsheng[2)], Su Zhongbo[3)], Li Zhaoliang[4)], Massimo Menenti[3,4)], and Wang Jiemin[1)]

1)(*Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou* 73000)

2)(*The Artificial Precipitation Simulation and Hail Suppression Office of Sichuan Province, Chengdu* 610071)

3)(*Alterra Green World Research, Wageningen UR*, 6700 *AA*, *Wageningen*, *the Netherlands*)

4)(*Centre National Dela Recherch Scentifique, Universite Louis Pasteur*, 67400 *Illkirch Strasbourg, France*)

**Abstract**　Studying on the land surface variables and vegetation variables over inhomogeneous landscape of the northern Tibetan Plateau area, the utilization of satellite remote sensing is indispensable. In this study, methods based on the NOAA-14 AVHRR are proposed and tested for deriving the regional land surface variables and vegetation variables over inhomogeneous landscapes of the GAME/Tibet (GEWEX (Global Energy and Water cycle Experiment) Asian Monsoon Experiment on the Tibetan Plateau, 1996-2000) area. Three scenes of the NOAA-14 AVHRR data used in this study are June 12, 1998, July 16, 1998 and August 21, 1998. The distributions of surface reflectance, surface temperature, $I_{NDV}$, $I_{MSAV}$, vegetation coverage and leaf area index $I_{LA}$ over inhomogeneous landscape of the Tibetan Plateau area are derived.

**Key words**: northern Tibetan Plateau area; satellite remote sensing data; land surface variable; vegetation variable