

# TM 数据的 Kauth-Thomas 变换在盐 渍土分析中的作用

——以阳高盆地为例\*

彭 望 球      李 天 杰

(北京 师 范 大 学)

1988 年 10 月 4 日收稿

## 摘 要

本文就经过 Kauth-Thomas 变换的 TM 数据用于雁北阳高盆地盐渍化程度分析进行了探讨。通过模拟 TM 数据和 TM 影像数据进行变换分析,并与标准假彩色合成和 K-L 变换比较,取得了较好的结果。

**关键词** Kauth-Thomas 变换 TM 影像 K-L 变换

## 一、引 言

卫星遥感影像,特别是经过某些数学运算处理后的影像,可以较好地判读植被和土壤,增强目视效果。如何更好地找到光谱特征与研究对象之间的关系,完成较精确的定量研究,是一项重要的研究课题。对此,Kauth-Thomas 变换不失是较好的途径之一。

### 1. 先前的工作

1976 年 R. J. Kauth 和 G. S. Thomas<sup>[1]</sup> 用“带缨的帽子”这一形象语言来形容 MSS 多光谱空间中不同时间农作物生长过程的图形。他们研究分析了大量光谱资料,提出在 MSS 四维光谱空间中土壤呈平的“雪茄”状的想法,并发现农作物生长过程中的绿色方向和农作物成熟季节的黄色方向,这三个方向由于互相垂直,因此,可以在定量实验中找到一种线性变换矩阵,使四维空间旋转到这几个有实际意义的方向上,经过平移形成新的四维空间,每一维对应的含义为亮度轴(主要反映土壤信息),还有绿色物质轴,黄色物质轴及一个无意义的轴(non-such)。旋转坐标后数据结构更加清楚,信息量得到压缩,并可从中研究大气散射、太阳照射等物理影响。由于这个发现有很大的实际意义,因此,人们把这种变换称为“Kauth-Thomas 变换”或“缨帽变换”。

1984 年 E. P. Crist 和 R. C. Cicone<sup>[2]</sup> 在野外和实验室测量了农作物及土壤光谱

\*在此项研究中,山西郭立民提供了磁带数据,董绍玉、张利田、杨胜天在野外考察和获取数据的工作中曾给予帮助,在此一并致谢。

的大量数据,模拟 TM 除热红外的六个波段,发现 TM 数据也有三个有意义的方向,其中的两个方向与 MSS 的亮度轴和绿色物质轴类似,而第三个特征与 MSS 不同,反映了 TM 的中红外波段与土壤特征特别是土壤湿度密切相关。他们还找到了用 TM 作 Kauth-Thomas 数据变换的定量关系。然后又进一步用真实 TM 图像分析这种变换的物理基础、数据结构及变换后的新空间中农作物和其它类型景物的分布特征<sup>[3]</sup>,并正式将 TM 六个波段变换后的前三维定名为亮度、绿度和湿度,其它三维目前还无对应的自然景物含义。

国内外已有许多文章指出,这种变换应用在植被和农作物判读时得到了很好的结果。然而,对盐渍化较严重的地区,用这种变换能不能提高判读效果,则是下面要讨论的问题。

## 2. 问题的提出

研究土壤的盐渍化,治理土地退化是土壤学、地理学、环境学等学科的重点之一。利用卫星遥感影像进行目视判读是达到盐渍土定性、定量和动态分析的重要手段。但卫星遥感图像是土壤类型、土壤组合、土被结构特征,及成土因素光谱特征的综合反映,这些信息在各波段内都有不同程度的反映,不可能用一二个波段表达出较明显的土壤信息。TM 影像相对于 MSS 影像,在地面分辨率和光谱波段信息方面都有提高,但相应地信息量也大大增加。为进一步提取遥感信息中的土壤信息,本文研究 TM 数据的 Kauth-Thomas 变换(以下简称 K-T 变换)。试图通过对实验区阳高盆地光谱数据和影像数据的变换研究,探讨这种方法对于盐渍土分析的作用,以减少信息量并提高影像对于盐渍土的可判性。

## 二、实验区域和实验过程

### 1. 实验区域的盐渍土环境条件

实验区选择在阳高盆地,位于山西省阳高县境内东经 113°50′、北纬 40°20′ 附近,是温带半干旱草原地带,属大陆性季风气候。因此,这里的盐渍土季相变化明显,夏秋雨季为脱盐期,而春季雨季到来前和秋季雨季之后为积盐期,冬季积盐相对稳定。阳高盆地内部南北山麓冲积、洪积倾斜平原幅度不大,盐分分异不明显,盆地盐渍类型多为混合盐型。

本文所研究的区域重点放在阳高盆地的西南部、白登河上段两岸地区,靠近阳高县城。正是冲洪积扇和冲积平原所在。这里的土壤类型主要为草甸土和盐化草甸土。从土壤盐渍度看,各种盐渍程度均有。以表层含盐量大于 0.6% 为重盐化土和盐土,主要分布在白登河上游沿岸冲积平原地区;含盐量 0.4—0.6% 为中度盐化土,主要分布在重盐化土以北的地区;含盐量 0.1—0.4% 为轻度盐化土和盐化威胁土,在公路两侧有较大地域,但也常与中度盐化土交错分布;含盐量小于 0.1% 为非盐化土,沿白登河有一狭窄长条河漫滩地,由于沿河处地下水排泄通畅,矿化度低,成为淡化带;向北越到冲洪积倾斜平原上部盐化越轻,这里水分充足,是非盐化土。

根据 6 月下旬的实地考察,植被种类和长势同盐渍程度关系密切。凡非盐化的区域,多种植小麦且长势较好,植被覆盖度高。有些低洼地、河岸滩地,水分充足,矿化度不高,

作物长势亦良好,这些地块也属非盐化区。其它植被如高粱、谷子、粟子、白薯、西瓜、大豆等,均处于幼苗状态,植被覆盖度不高,而这些地块都有不同程度的盐渍化。这个地区还有大片轮耕地、草地、幼林地。重盐区则是一片白滩地和盐渍“光板地”。

为使盐渍土的研究较为准确,重点研究区不包括县城和山地。

## 2. 模拟数据的初步实验和分析

为了了解 K-T 变换对于盐渍土分析所产生的效果,作为准备工作首先进行了地物光谱实验,即在盆地中不同盐渍土位置,选择 36 个取样点,取样时间在当地积盐明显的 5 月下旬,用表层土作样本,对每一种盐渍土样本在室外阳光条件下进行测量。所用仪器为七通道地物光谱仪,每一通道均与 TM 的通道波长间隔相对应,测量后取得 36 组模拟的地物反射率数值及其对应的光谱反射率曲线。

为了进一步分析盐渍土的数据结构,将这些数据放到多光谱空间分别作波段 2 与波段 3 及波段 3 与波段 4 的二维光谱空间图(图 1)。从图 1 中可看出,与 MSS 数据结构类似,所有样点集中于对角线区域,由于土壤样品为裸土,其中没有植被信息,已测量的数据不能反映植被的情况,因而,可以肯定地说,该对角线区域正是一条土壤线或确切地说是一条窄土壤带的一部分。从这一部分看变化趋势与盐渍度有关,已出现相关的集群倾向,如图中对角线的中部有一较宽的分界地带,分割出盐渍度不同的两个部分。

由于多光谱空间中的数据过于密集,它仅仅是土壤面在光谱轴上的投影。为了看到清晰的数据结构,进一步以这些样本的模拟数据为依据作 K-T 变换计算,变换公式为

$$U = RX$$

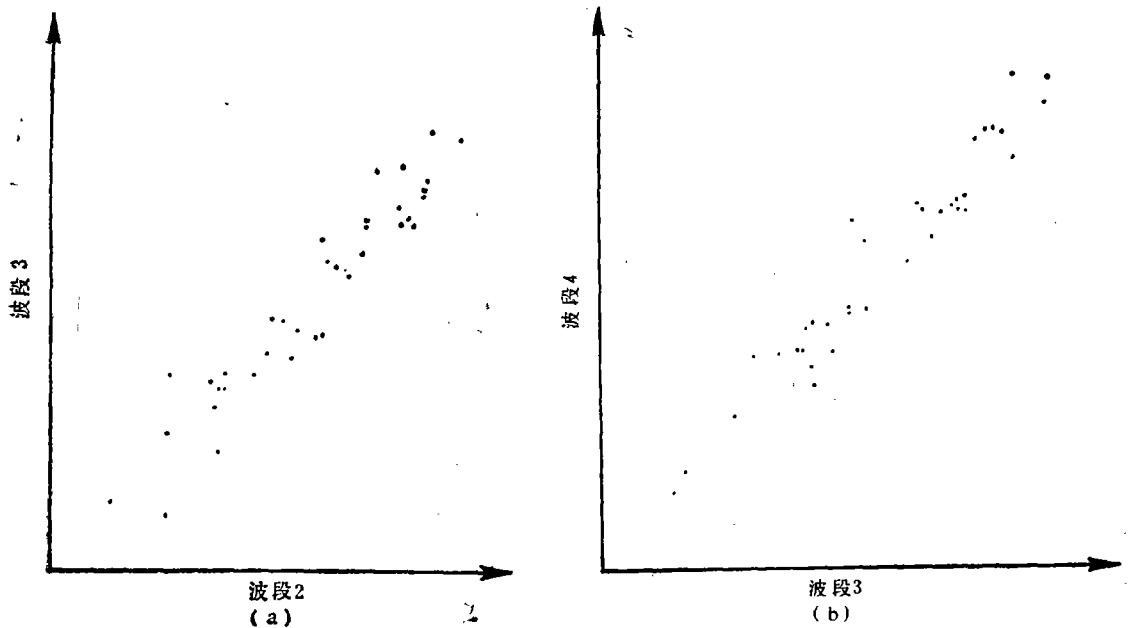


图 1 模拟数据在二维光谱空间中的土壤线

Fig. 1 The soils line for simulated data in two dimension spectral space

其中,  $X$  为每个样本的一组模拟数据值,  $R$  为系数矩阵<sup>[2]</sup>

$$R = \begin{bmatrix} 0.3318 & 0.3312 & 0.5518 & 0.4251 & 0.4809 & 0.2525 \\ -0.2472 & -0.1626 & -0.4064 & 0.8547 & 0.0549 & -0.1175 \\ 0.1393 & 0.2249 & 0.4036 & 0.2518 & -0.7013 & -0.4573 \end{bmatrix}$$

得到亮度、绿度和湿度相应的值  $U$ , 取出亮度与湿度值作出二维平面模拟数据分布图(图

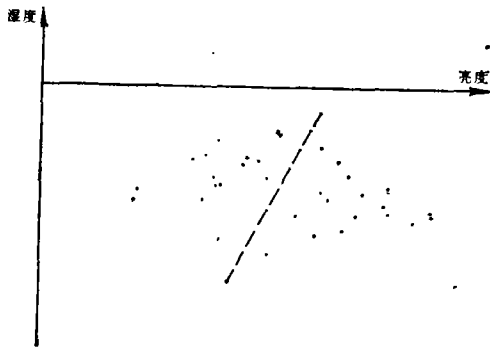


图 2 模拟数据 K-T 变换后的土壤视面

Fig. 2 The plane of soils view for simulated data after K-T transformation

2)。这个平面就是土壤视面。它相当于 Kauth 和 Thomas 所描述的“带缨的帽子”中底部平面的正投影,因而,从数据分布形状看与变换前不同,宽度加大但虚线所画部位仍保持较宽空隙,可视为不同盐渍土土壤聚集的分界线。由此,可以推断,不同盐渍度的土壤应聚集在土壤视面上的不同位置,它提示我们,利用 K-T 变换可以区分土壤不同的盐渍程度。

由于所用模拟数据量有限,在本实验中没有进一步换算到卫星传感器接收的相应值。而且,所用土壤样本取回实验室后,在湿度、亮度等物理性质上,都与实际地表土情况有了很大变化。虽然经过分析比较可以找到一些规律,但仍是很不完全的。为了得到更准确的分析,在模拟数据计算的基础上,进一步采用真实影像数据。

### 3. TM 影像的变换

阳高盆地重点试验区的 TM 影像成像于 1987 年 6 月 20 日,其时正是春季积盐期的后期,影像扫描当天和前一天均无雨,淋溶现象不显著。用试验区影像波段 1, 2, 3, 4, 5, 7 作 K-T 变换,变换公式仍表示为  $U = RX$ , 所不同的是,这里  $X$  为 TM 每个像元的一组灰度值,  $R$  采用的系数矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} 0.3037 & 0.2793 & 0.4743 & 0.5585 & 0.5082 & 0.1863 \\ -0.2848 & -0.2435 & -0.5436 & 0.7243 & 0.0840 & -0.1800 \\ 0.1509 & 0.1973 & 0.3273 & 0.3406 & -0.7112 & -0.4573 \\ -0.8242 & -0.0849 & 0.4392 & -0.0580 & 0.2012 & -0.2768 \\ -0.3280 & -0.0549 & 0.1075 & 0.1855 & -0.4357 & 0.8085 \\ 0.1084 & -0.9022 & 0.4120 & 0.0573 & -0.0251 & 0.0238 \end{bmatrix}$$

$U$  为变换后对应像元六个波段的灰度值,是一组实型数据。变换后的前三个分量分别为亮度、绿度和湿度<sup>[3]</sup>。变换后,为了以图像形式显示各个分量和它们的组合,令

$$U' = \frac{U + 128}{2} + 0.5$$

将  $U'$  取整后,得到 0—255 范围内的灰度值,送入图像显示系统作进一步的分析(见本文第三部分)。

## 4. 分 类

为了在一定程度上定量考查变换的效果并分析精度,进一步采用下列步骤:

(1) 作出原图像的 4, 3, 2 三波段标准假彩色合成影像;

(2) 将原图像六个波段作 K-L 变换,并取前三个主成分作一彩色合成影像;

(3) 选择训练区,将类别选择为盐化区,重度盐渍化区,中度盐渍化区,轻度盐渍化和盐渍化威胁区,非盐渍化区及水域等六类,对应各图像分别计算各区的统计量,并在光谱空间中根据各波段均值和标准差画出分布椭圆进行训练区调整;

(4) 在同样的训练区用聚类方法分别对 K-T 变换后的前三个分量合成图像,标准假彩色图像和 K-L 变换后的前三个主成分合成图像作监督分类;

(5) 利用 1986 年 6 月的 TM 像片目视判读的 1:10 万阳高地区土壤盐渍度图,计算实验区各类的分布面积,作为参考数据;

(6) 将三种影像分类所得结果与土壤盐渍度图作比较、分析。

## 三、结果与讨论

### 1. K-T 变换后的特征分析

K-T 变换可以在一定程度上分离绿度的影响。首先在屏幕上分别显示每个分量,以便分析变换后各分量的特征。可以看出,前三个分量与自然景物特征之间的联系密切。特别是亮度分量,较明显地反映了盐渍程度的差异。在图像上,盐土十分明亮,几乎是一片白色;重盐化土与盐土呈比较白的颜色,但不大连续,表现为略暗于盐土;中度盐化土、轻度盐化土及非盐化土在亮度上逐次降低。由于不同盐渍度的地块有时交错分布或形成混合盐型,在界限不大清的位置,可借助湿度分量,也可借助绿度分量,用前述

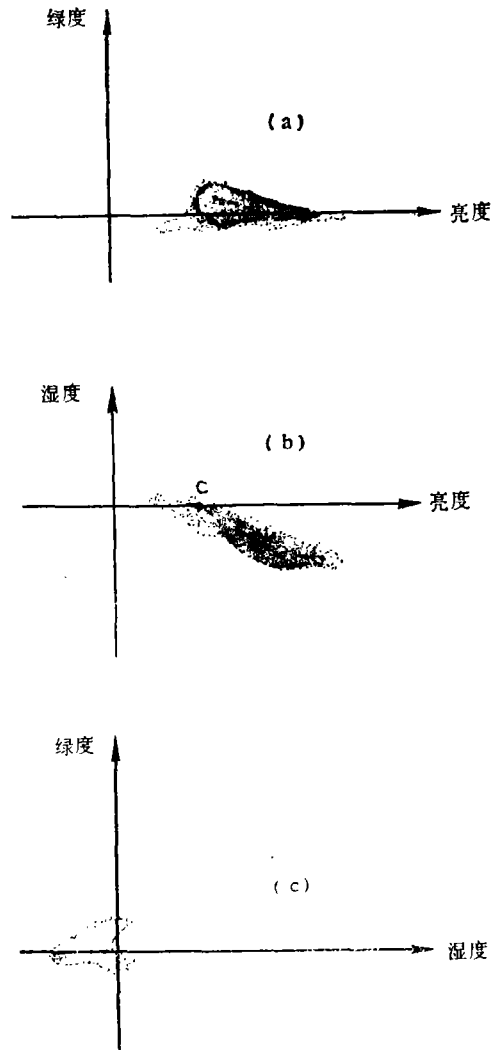


图 3 TM 数据 K-T 变换后的分布  
(a) 植被视面, (b) 土壤视面, (c) 过渡区视图  
Fig. 3 The distribution of TM data after K-T transformation

(a) Plane of vegetation view, (b) Plane of soils view, (c) Transition zone view

植被、水分与盐渍化的关系作进一步区分。

为了显示出更直观的数据结构,更深入认识盐渍土之间的差异,作出本试验区盐渍土 K-T 变换后的二维视平面图,即亮度与湿度组成的植被视面,亮度与湿度组成的土壤视面及湿度与绿色组成的过渡区视面(图 3)。可以从中看到植被覆盖、土壤水分与盐渍化的相关关系。这种数据结构从像元在各二维空间的位置看,仍在参考文献所描述的范围,但形态上有了变化而且分布范围缩小了。原因是这个时间研究区域内除小麦地块外,农作物覆盖率很低,高粱、谷子等都是幼苗,在盐渍滩地只有零星杂草,因而绿色值很低;重度盐渍地反射率很高,而水体则相反,造成亮度最大值和最小值差别很大;在农作物覆盖的地块,其红外反射率很高,由系数矩阵可知,湿度值的导出,反映的是可见光与红外反射率的差异,因而表现为湿度值增大。当覆盖率不大时,在植物阴影的影响下,亮度值也会有一定程度的减少,因而随着盐渍度降低和农作物的出现,在土壤视面中,像元的位置向左上方移动;当农作物达到全覆盖后,阴影消失,亮度值还会回升,大约位于图 3(b) 中 C 点附近,这是非盐渍化区; C 点向左,湿度最大,亮度最小的部分,基本上属于水库和河流的像元集合。

为了验证不同盐渍程度的像元点在土壤视面上的分布规律,在实验区 TM 真实图像

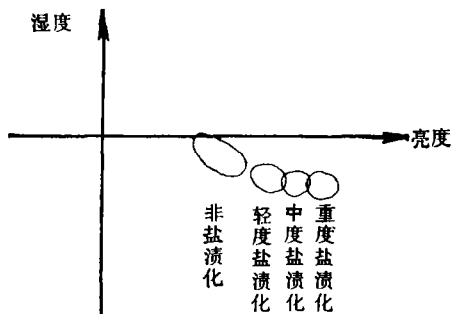


图 4 不同盐渍度土壤视面中的位置

Fig. 4 The position of different salinity soils in the plane of soils view

上画出不同盐渍化程度的样本区域,一一对应地找到每一样本区在土壤视面的位置,便可以看出一个清晰的盐渍化程度变化趋势(图 4),从重到轻向左上移动,拉开间距,亮度值越大,湿度值越小,则盐渍化程度越高。这种结构清楚后,对于未知的区域,只要找到它们在土壤视面的相应位置,便可以粗略推断它们的盐渍程度。

由以上分析可以看出,用 TM 图像作 K-T 变换后,区分盐渍化程度将比较容易。为了进一步验证 K-T 变换的

优越性,下面将不同影像作些比较分析。

## 2. K-T 变换合成影像与标准彩色影像的比较

虽然亮度特征和湿度特征可以反映大部分盐渍信息,但仍要参考绿色分量特征。为此,现将三个分量特征分别赋予红、绿、蓝三原色制成彩色合成影像,并与原 TM 标准彩色影像比较(图版 I 图 5)。原彩色图像中重度盐渍化土和盐化土显白色,而非盐化土中植被长势好的部分呈红色,这二者较易分清;中度与轻度盐渍化则难以分清。在 K-T 变换合成彩色图像中,盐化土呈纯红色,重度盐渍化为红内夹暗色;非盐渍化为蓝色,深蓝处水分充足,浅蓝处次之,最深的蓝色为水体;中度盐渍化土红内夹绿和桔黄,整区颜色呈桔红偏暗;轻度盐渍化以绿为主夹有蓝和黄。因此,中度与轻度之间有了明显差异,显示出变换合成影像的优点。

### 3. K-T 变换合成影像与 K-L 变换合成影像的比较

K-L 变换是图像处理中常用的数据压缩、减少信息量的主成分变换。一般认为,压缩数据后保留主要信息,效果较好。将本实验区经过 K-L 变换后,取前三个分量分别赋予红、绿、蓝三原色,得到的彩色合成影像与 K-T 变换后的彩色合成影像相比较(图版 I 图 6)。结果表明,同样是压缩信息后的三个分量合成,由于 K-T 变换后每个分量特征的地质意义明确,合成后效果较好,不仅突出了土壤特征,还舍去了不相关的信息。而 K-L 变换从物理意义上说,主成分的特征平面偏离了像元数据所散布的实际平面<sup>[2]</sup>。虽然变换后提取了主要成分,但提取的成分仍是各种信息的综合反映,不能获得 TM 数据的复杂结构,也不能分离出明确的土壤信息。如影像中,中度与轻度盐化土均为蓝色,几乎看不出区别。在这个意义上,K-T 变换优于 K-L 变换。另外,K-T 变换只乘一系数矩阵,计算过程简便,K-L 变换计算过程复杂,如用软件实现耗费计时多,因此从计算机花费看,K-T 变换亦优于 K-L 变换。

### 4. 分类结果及分析

三种影像利用同样训练区作监督分类,与影像判读土壤盐渍度图作比较,结果见表 1。

表 1 分类结果比较表

Table 1 Classification results for three data sources with same method

图别		土壤类别 (%)	土壤盐渍度图					水域	拒分类像元
			盐化区	重度盐渍化区	中度盐渍化区	轻度盐渍化和盐化威胁区	非盐渍化		
1	土壤盐渍度图 (1:10 万)		2.5	7.5	30.7	52.1	4.5	2.7	
2	K-T 变换后 (前三分量)		2.8	11.2	30.4	48.0	4.0	3.2	0.4
3	K-L 变换后 (前三主成分)		4.0	14.0	28.0	42.8	4.8	6.4	0.0
4	假彩色 (4,3,2)		3.5	20.3	42.7	28.7	4.3	0.3	0.2

由于土壤盐渍度图所得数据是一个参考数值,而且,时间的变化会引起土壤盐渍化程度的变化以及表层土情况的变化,所以,所做比较是一个近似的相对比较。从表中可以看出,K-T 变换后的分类结果,最接近于土壤盐渍度图的量测结果。如果以各类第二行数值与第一行数值的差全部相加,得到的总相对错误率为 9.4%,而用同样的方法求三、四两行的错误率都远大于这个数值。由此可以看出,K-T 变换后的图像用于分类,效果也是最好的。

误差产生的原因,一是参考图比较粗略,如水域,参考图忽略了池塘和湿地,只画出水库和河流,因而水域范围与实际情况相比偏小;二是不同盐渍度的地块常常交错分布,在选训练区时很难选择单一类别,造成有些训练样本标准差过大而产生与其它样本区域的

重叠,从而引起分类错误;三是植被对土壤分类的影响,使之不能很好地反映植被所覆盖的土壤信息。对于这一项,由于 K-T 变换分离了绿度,较好地突出了土壤信息,误差达到最小;彩色合成影像完全没有分离农作物的影响,所以结果最差,要提高精度,必须加上其它处理方法,如先去掉植被的影响再作分类,或辅以其它数据一起作复合分析,仍可能得到较好的结果,但与 K-T 变换相比,则要复杂和繁琐多了。

总之,将 Kauth-Thomas 变换用于雁北阳高盆地 TM 数据的试验结果表明,这种变换作为多光谱空间的线性变换可以提高对盐渍土的判读分析效果,同主成分变换以及原彩色合成影像相比,既压缩了数据量,又突出了与地面情况相关的特征,而且计算过程较为简单。因此,是一种在盐渍土分析中处理较大区域及多光谱扫描获取的多波段信息的行之有效的办法。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] R. J. Kauth and G. S. Thomas, The Tasseled Cap—A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as seen By Landsat, IEEE Symposium Proceedings of Machine Processing of Remotely Sensed Data, 1976, pp 4B-41—4B-51.
- [ 2 ] Eric P. Crist and Richard C. Cicone, Application of the Tasseled Cap Concept to Simulated Thematic Mapper Data, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 50, No. 3, March, 1984, pp343—352.
- [ 3 ] Eric P. Crist and Richard C. Cicone, A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data—The TM Tasseled Cap, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-22, No. 3, May, 1984, pp 256—263.

## The Effect of Kauth-Thomas Transformation of TM Data in the Analysis of Saline Soil—An Example in Yang Gao Basin

Peng Wanglu Li Tianjie  
(Beijing Normal University)

### Abstract

This paper describes a test in which the TM data in Yang Gao Basin, YanBei are processed with Kauth-Thomas Transformation and analysed for the degree of salinization of soil. The analysis of transformation is done with simulated TM data and TM image elata. After comparison with standard false color TM image and the image after K-L Transformation, the result is the best between them.

**Key Words** Kauth-Thomas Transformation, TM Image, K-L Transformation

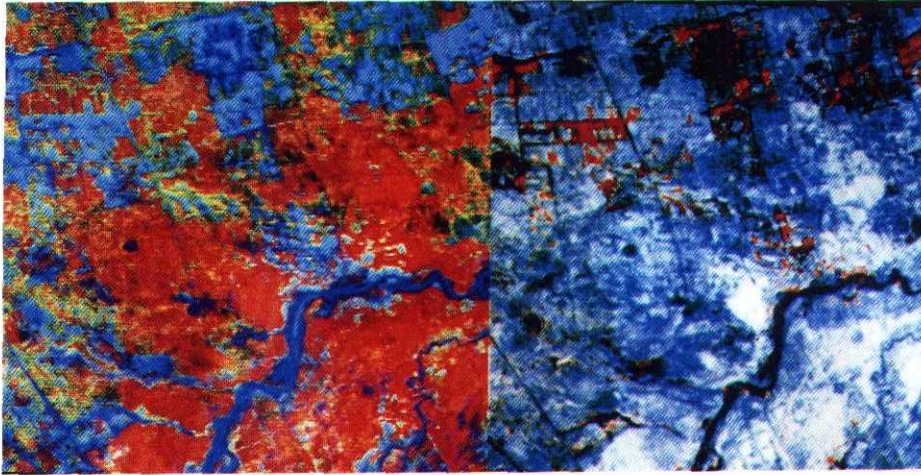


图5 K-T变换(左)与标准彩色合成(右)的图像对比

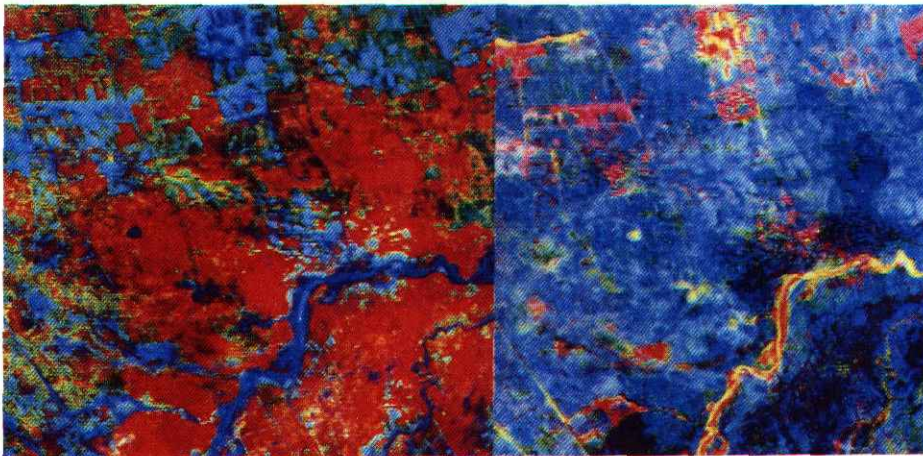


图6 K-T变换(左)与K-L变换(右)的图像对比