

## 豫北天然文岩渠流域 土壤盐渍化地球化学的遥感分析

赵 俊 琳\*

(中国科学院遥感应用研究所)

**提 要:** 本文根据盐渍土与自然条件的关系, 分析它们在彩色红外航空象片上的解译标志, 讨论了天然文岩渠流域土壤盐渍化地球化学分异的特点。分析表明: 在彩红外航片上, 盐渍土图斑的几何图形取决于盐渍土的分布环境, 其色调与盐渍化程度密切相关, 而盐渍化程度又随季节发生时间分异。

**主题词:** 盐渍化 地球化学

天然文岩渠流域位于黄淮海平原的西南部, 它有两个显著的特点: 第一, 该流域位于我国暖温带南缘, 蒸发积盐大于淋溶脱盐。并且, 由于降水在时间上分布不均, 使得蒸发积盐和淋溶脱盐这两个相反的过程交替进行。利用这种气候特点, 分别在淋溶脱盐期和蒸发积盐期进行航空遥感。试验中, 选用了雨季淋溶脱盐期早季蒸发积盐期的彩红外航片。通过这两个不同时期遥感资料的套合, 分析土壤盐渍化地球化学季节性时间分异。该流域第二个特点是黄河作为地上河和多次改道, 在广阔的平原塑造了决口扇形地、古河道、二坡地等多种地形, 使沉积物质不仅在水平方向上有差异, 在垂直方向上也有分异, 从而影响水分的运行和水质特点, 也影响盐分的迁移和富集, 反映在遥感影象上, 使我们有可能对土壤盐渍化地球化学空间分异进行分析。

### (一) 盐渍土的遥感影象标志分析

无论雨季或旱季, 裸露地表(即无耕作或收获地、受盐渍化抑制作物生长稀疏的农田或尚未封行的耕地)光谱反射以裸露土壤为主, 盐渍土的反射率要比非盐渍土高得多, 并且随着盐渍化程度的加重, 反射率也随之升高(图1)。在可见光和近红外的波长范围内, 光谱反射率大体上逐渐增高, 表现出偏黄色调的特征

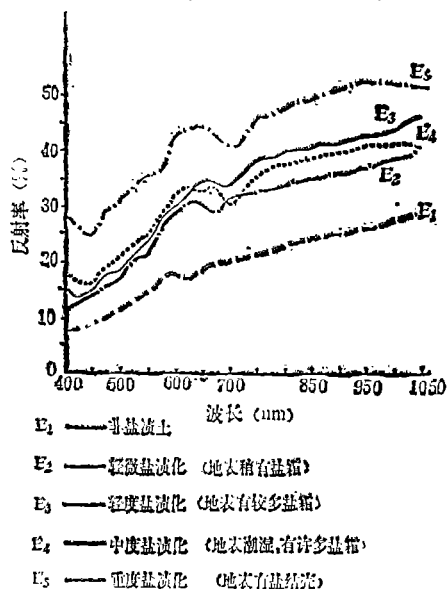


图1 盐渍土上的反射光谱曲线

Reflectance spectra of salinized soil in field

本文1985年5月11日收, 1985年10月15日收到修改稿。

\* 现在北京师范大学环境科学研究所工作。

曲线。这是由于在测光谱的视场内,除了白色的盐霜外,还有土黄色的土壤作为背景的缘故。

在彩色红外航片上,非盐渍土呈现出灰绿色;表面盐霜较重的土壤因其高反射率而色调较浅;表面盐霜较轻的土壤反射率较低,色调相对较深。这意味着,盐渍土图斑的色调与土壤含盐量存在着某种量的关系。

本文在S101计算机图象处理系统上研究了这种量的关系。彩红外航片通过C4500扫描仪分解为红(R)、绿(G)、蓝(B)三个波段。盐渍土影象剖面及其剖面亮度曲线的变化表明,影象色调是土壤盐渍度的灵敏函数,影象色调愈浅,三色分光亮量值愈大;反之,分光亮度值愈小。红、绿、蓝三个分光亮度值的相对大小,反映影象上红绿蓝三原色之间的比例。分析表明,在相似的地球化学环境下,土壤盐渍度与彩红外影象的色调显著相关。红波段与全盐量的相关系数 $\gamma = 0.880$ ,绿波段 $\gamma = 0.925$ ,蓝波段 $\gamma = 0.9461$ 。三个波段的相关性都很高,这说明,在多数情况下,依据彩红外航片的色调来目视解译盐渍化程度,或依据计算机亮度值来自动分类盐渍化程度是可行的。

沙丘、沙土以及水体的镜面反射在彩红外航片上也呈现出浅色调。但在解译时利用综合分析,可以把它们与盐渍土分开。沙土尽管色调也发白,但白中发青,并且图斑较大;另外,沙土由于可塑性差,故沙土区的田块不如一般土壤上的田块清晰。水体的镜面反射在航片上是一种均匀的连续的受池塘或渠道环境制约的白斑。

以农作物为主的农耕地上,盐渍土的分布,则要利用间接标志来推断。譬如,对于地势、土质、水肥条件较一致的棉田,可以根据棉花长势的好坏,来评价土壤盐渍化。受害棉花的叶片数减少(可以减少到 $2/3-1/2$ ,甚至更少),叶面积变小(可以变小至 $3/4-1/2$ ),叶片重迭度降低,生长期和开花期普遍推迟。受害严重者,叶片发黄、甚至叶片变为红棕色。这种由盐渍化而引起的植物生理异常,在遥感影象上有所反映。在彩红外航片上,生长正常的棉花色调鲜红,生长受抑制的棉花红色调明显减弱。用D122反射密度计测量彩红外航片上棉花的影象密度,棉花长势的不同,可引起影象密度的显著差异(表1)。在表1中,可以用黄/青比值来评价棉花的长势,比值大(一般大于3.5),则说明棉花长势好,反之(一般小于3.5),则说明棉花长势差。

表 1 封丘县应举乡附近棉花的影象反射密度  
Image reflectance density of cotton in Fengqiu County

色 调 目标物	白	黄	红	青	黄/青
长势很好的棉花	1.01	1.93	1.48	0.37	5.22
长势好的棉花	0.96	1.68	1.37	0.40	4.20
长势差的棉花	0.68	1.13	0.80	0.40	2.83
长势很差的棉花	1.02	1.35	1.14	0.80	1.69

1) 在同一张彩红外航片上分析了10个点。

## (二) 土壤盐渍化地球化学时间分异

这里指的是对于确定的地区, 随着时间的推移, 土壤盐渍化发生、发展和演变的地球化学过程。尽管遥感影像无法探测整个时间分异过程。但是以通过多时相的遥感资料, 探测这一过程中某两点上的状态。通过两个状态之间的对比, 可以检测出它们之间的变化、演变的过程和发展的方向。这里讨论的是季节性时间分异。

作者所用的彩红外航片是1983年9月雨季淋溶脱盐期拍摄的1:3万航片和1984年3月旱季蒸发积盐期拍摄的1:8万航片。对比这两个时期的航片, 可以研究该区盐渍化的季节性时间分异, 探讨利用遥感资料从盐渍土中把盐(化)土壤和碱(化)土壤区分开来的可能性。

元素的地球化学性质决定了K、Na、Ca、Mg、S和Cl的蒸发富集特点<sup>[4]</sup>。因此, 土壤表层的积盐和脱盐过程与气候条件密切相关(图2)。1:3万的航片是在雨后一周拍摄的, 那次降雨很大(封丘县降水量为217.4mm), 约占全年降水量的三分之一。雨后盐随水走(表2), 只有碱留了下来。1:8万的航片是干旱季节拍摄的, 当时正处返盐季节, 盐斑和碱斑在航片上均是呈现浅色调。

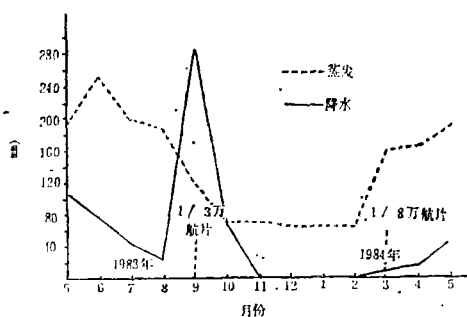


图2 遥感期间的降水和蒸发(封丘县)

Rainfall and evaporation while aerial photography (Fengqiu county)

表2 雨季淋溶脱盐期土壤含盐量\*  
Salinity of the soil while dripping with rainwater in rainy season.

土壤含盐量(%)	样品数	土壤含盐量(%)	样品数
<0.050	9	0.050~0.060	15
0.060~0.070	9	0.070~0.080	16
0.080~0.090	14	0.090~0.100	12
>0.100	7	(其中最高含盐量为0.123%)	

样品采自延津县的盐渍土区, 1983年9月

将春夏两个时期的彩红外航片对比分析, 则可看到两者的浅色调斑块的分布是不相同的, 对于相同位置, 如果春季彩红外航片上呈白色调, 夏季也呈白色, 则该位置上是碱化土壤; 如果旱季航片呈白色, 而雨季呈浅绿色, 则该位置上是盐化土壤; 如果旱季航片和雨季航片上都不呈现浅色调, 则该位置上是非盐渍土。

利用上述的时间分异标志, 对封丘县城关决口泛滥漫流带上的盐渍土进行了分析。在影像上划分出了碱化土壤、盐化土壤和非盐渍化土壤<sup>1)</sup>, 其结果与当地的土壤图是基本一致的。

\* 数据来源于黄秀华 林树道老师。

1) 所谓盐渍的概念, 指的是土壤溶液中含有过量的可溶性盐分——盐(化)土壤, 或者土壤交换性复合体中含有过高的交换性钠——碱(化)土壤, 或者两者兼有。碱(化)土壤比盐(化)土壤具有更持久的危害性, 因为, 在土壤中可溶性盐被淋溶后, 土壤交换性复合体中的交换性钠可以持续存在。

0—1 厘米表土碱化度分析表明：碱化土壤的碱化度高达 83.8%，而非盐渍土的碱化度仅为 8.0%。

分析表明，该区的碱化土壤大都分布在二坡地上的盐化土中、古河道两侧以及低平地区的微岗地上。这是因为该区的碱化土壤主要是在频繁的积盐脱盐过程中产生的，所以，碱化土壤在这个地区主要分布在既容易积盐又容易脱盐的部位。而盐化土壤则主要分布在积盐作用大于脱盐作用的地区，如洼缘地段丰水期积水线的上部。

本文讨论的是季节性时间分异，更长(或更短)时期的时间分异，其研究方法与此类似。

### (三) 土壤盐渍化地球化学空间分异

黄河在历史上多次改道和决口泛滥，在本区塑造了各种类型的微地貌，其土质和地下水也不均一，使得这里的空间分异复杂化。

按元素的迁移富集特点，可以把这里的空间分异分为两种典型类型：1) 脱盐作用大于积盐作用(即盐分元素的迁移输出大于迁移输入)的地区，如黄河滩地、大地形的高处和低洼地的中心部位；2) 积盐作用大于脱盐作用(即盐分元素的迁移输入大于迁移输出)的地区，如二坡地、洼地边缘和低洼地上的微高地。

盐分元素的迁移动力可分解为重力作用和蒸发作用。它们往往同时作用于某一点上，产生的效应取决于哪一种作用占主导地位。分析表明：对于大地形的高处，重力作用是主导因素，水盐以下渗水平迁移为主。高地的地下水位较深，低于临界水位。即使是在多雨的夏季，地下水位有所上升，但由于下淋的雨水使地下水的矿化度降低，且土壤上层保蓄的下淋雨水又可维持一段时间的水分蒸发，盐分亦不可能在高地聚集<sup>[5]</sup>，并且，高地土质偏沙，有利于水分的下渗，所以，高地一般没有盐渍化现象，如黄河滩地和二坡地以上的高地。尽管“高中洼”的部位可能发生盐渍化，但只要管理适当，仍为好地；低洼地的中心部位，尽管地下水位较高，但重力作用使得其上有一层淡化水层。由于淡水比重小，咸水比重大，故这一淡化水层相对稳定。洼地中心部分在一年中有较长时期呈水盐下渗状态，地面蒸发仅耗损淡化层的水分。另外，大量的淡水也可以稀释盐分。加之洼地的土质偏粘，不利于毛管水的上升运动，甚至在强烈的蒸发过程中，毛管水流发生暂时性中断，所以，洼地中心部位也不易发生盐渍化，如扇间洼地中心和封闭洼地中心；但是，在高地向低地的过渡地段，如二坡地、洼地边缘，其上的潜水相对于高地较浅，常常在临界深度以内。在高地的地下水向洼地汇集的过程中，受到其下方低洼地中潜水层的顶托，潜水的水平运动逐渐向垂直运动转化，在强烈的蒸发作用下，水盐以上升水平迁移为主，并有明显的季节性累积和淋溶盐分的过程。另外，坡地一般缺少深厚致密的粘土层来作为地球化学屏障，不能阻止水盐在该区垂直上升的迁移运动，并因蒸发耗损而逐渐浓缩形成高矿化水带。所以，这些部位容易发生严重的盐渍化；与大地形的高地相反，低洼地上的微高地，易发生盐渍化。一般地，低洼处土质较粘，其上的微高地土质偏于粉沙，毛管水相对发达。微高地与周围的低洼地在高程上相差无几，可以近似地认为地下水位是一致的。在这种环境中，与重力作用相比，蒸发作用占主导地位。微地貌上土壤负压力的变化(图 3)证明了这一点。即在微地貌上，盐分不是由高处迁移，而是由低处向高处迁移。

在彩红外航片上，可以清楚地看到封丘县大功决口扇的东翼与黄陵决口扇相接，在两扇

之间形成扇间洼地。分析表明: 在大功决口扇的泛滥主流流经的地方, 地势较高, 影象上没有因土壤盐渍化而产生的浅色调图斑; 而在扇间洼地, 其上的输水渠道两侧普遍存在着对称的条带状白色图斑, 这是次生盐渍化的反映。在高地与洼地之间的过渡带——二坡地上, 有大片的白色斑块, 并呈弧形展布, 与坡地的位置相吻合。在康寨—祝店—王马牧—李和—一线作分析剖面表明, 盐渍化主要发生在二坡地上以及洼地边缘上。

二坡地及其洼地边缘由于蒸发强烈, 可溶性盐类中的 $\text{NaHCO}_3$ 易脱水转化成为 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 使土壤发生苏打盐渍化。比较土壤可溶性盐中的 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 与 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 的比值K

$\left( \frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{\text{K}^+ + \text{Na}^+} \right)$ 和碱化度的关系:

	K	碱化度 (%)
二坡地上部	0.225	10.66
二坡地上	0.006	45.27
二坡地下部	0.022	23.88
洼地	0.403	实地无碱化现象

可以看出: 比值K越小, 碱化度越大。这种现象与该区的气候条件和碱化机理有着成因上的联系。说明了该区的碱化土壤的形成与频繁的积盐、脱盐过程有关。

槽状洼地是泛滥平原上常见的一种地貌。槽状洼地在遥感影象上表现为绿色的条带。这是由于这里通常富含水分, 且透水性良好。毛细管作用造成槽状洼地上面土壤盖层的湿化, 使遥感影象上产生色调异常<sup>[6]</sup>。

图 5 是根据彩红外航片所勾绘出的槽状洼地及其所围成的心滩型微高地示意图。心滩型微高地、槽状洼地以及槽状洼地外侧的天然堤型微高地, 在彩红外航片上表现出白、绿相间色调, 色调分析见表 4。在地貌上, 心滩型微高地中间高起, 向四周倾斜, 呈纺锤状, 四周围以槽状洼地。这种地貌常分布在扇间洼地内、古河道长期流经的地方。由于坡面坡度变缓, 主流分支, 因此在缓流带逐渐出现心滩。心滩型微高地受环绕的槽状洼地积水侧渗的作用, 又因地表蒸发强烈, 导致严重的盐渍化,

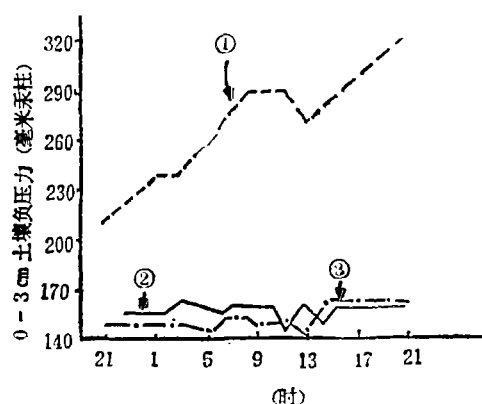


图 3 小地形不同部位土壤负压力变化

- ① 上部 (高程72.3m) ② 中部 (高程72.2m)  
③ 下部 (高程72.09m)

Variation of soil negative pressure in the different part of small topography.

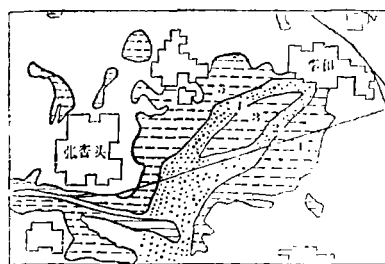


图 4 槽状洼地与心滩型微高地  
Shallow flood trough and river island micro-high land

并在频繁的积盐脱盐过程中, 发生碱化, 在雨季拍摄的彩红外航片上呈现出浅色调。而槽状洼地部位却因地势较低, 且地下经流通畅, 故无盐渍化, 呈现出绿色调。

本文通过土壤盐渍化遥感影象分析, 探索其时间和空间分异。世界上的任何事物, 有发展就伴随有分异。这种分异不仅有其个性, 更有其共性。一切事物都是由相似的单元、层次所组成, 这是它们彼此之间具有共性的基础。有了相似的“基因”, 环境和条件就可以产生相似的结果。希望本文所讨论的天然文岩渠流域的土壤盐渍化地球化学时空分异, 有助于黄淮海平原土壤盐渍化的调查和治理工作。

### 参 考 文 献

- (1) E.V.Maas和G.J.Hoffman: 作物耐盐性; 现有资料的评价。"Proc.Int. Salinity Conf.", 1976.
- (2) K.J.Dalsted, B.K.Worcester, and L.J.Brun: Detection of Saline Seeps by Remote Sensing Techniques, *J. Photo. Eng. and Remote Sensing*, Vol.15, No.3, 1979, 285~291.
- (3) J.H.Everitt, A.H.Gerbermann, and M.A.Alaniz: Microdensitometry to Identify Saline Rangelands on 70-mm Color-Infrared Aerial Film, *J. Photo. Eng. and Remote Sensing*, Vol.17, No.9, 1981, 1357~1362.
- (4) A.H.彼列尔曼: 后生地球化学, 科学出版社, 1975年。
- (5) 夏增祿: 冀中平原岗、坡、洼地易溶盐的集散。地理研究, 3(3), 1984年。
- (6) 高洪兴: 天津南部地区古河道遥感影象特征及其反映深度, 遥感文选, 科学出版社, 1981年。

## REMOTE SENSING ANALYSIS OF SALINIZATION GEOCHEMISTRY IN TIXNRAN WENYAN CHANNEL VALLEY IN THE NORTHERN PART OF HENAN PROVINCE

Zhao Junlin

(Institute of Remote Sensing Application Academia Sinica)

**Subject terms:** Salinization, Geochemistry

### Abstract

This article analyses the interpretation signature of salinization of soil on IR color photography on the basis of the relation between salinization and natural condition. It discusses the features of geochemistry differentiation of salinization in Tianran Wenyan channel valley. According to the analysis, patterns of salinized soil on IR color photography depend on the distribution environments of salinized soil, and tones are closely related with the degrees of salinization which appear time differentiation with seasons.