

渍害遥感识别的基本原理与方法*

喻光明**

(华中师范大学地理系 武汉 430070)

摘要 本文论述了渍害遥感识别的主要标志,通过土壤热惯量、土壤含水量及土壤温度等渍害相关因子的讨论,阐明了渍害遥感识别的基本原理及几种主要方法。由于渍害涉及诸多因素,本文给出了以地学相关分析为基础的渍害判别模型。本研究表明,用遥感方法研究渍害是切实可行的。

关键词 渍害,土壤热惯量,土壤水分,土壤温度,判别

1 引言

渍害识别的主要标志是地下水和地表水异常而引起的土壤热力学特性和生态特征的变异。渍害田的生态变异主要用常规方法研究^[1],用地学相关分析方法揭示渍害机理^[2],而对渍害田土壤热力学特性的研究则可以用遥感的方法完成^[3]。因此,用遥感与地学相关分析结合的方法进行渍害识别和灾情研究是完全可行的。本文试图阐明这种研究的原理与方法。

笔者认为农田渍害的遥感研究在理论上和实践上均是可行的。因为农田渍害可以通过土壤含水量和土壤的热力学特性反映出来,而对土壤含水量和土壤热力学性质的遥感研究,国内外均有较多的报道。用热红外和微波研究土壤含水量及地表温差、地表热惯量等地表热力学特性的遥感研究在原理和方法上都日趋完善,而且在热惯量和土壤水分含量的实测精度方面已有了较大的改进^[4-14]。这些成果为农田渍害研究提供了可供借鉴的理论依据和范例。

2 理论识别

2.1 渍害遥感识别标志

根据对渍害田生态特征和成灾机理的一系列研究^[1,2],我们认为,可选用露田期土壤的热惯量、反射率及温差作为遥感识别的指标,根据这些指标量推算土壤含水量及温度变化等水热状况,从而分析土壤的受渍程度。

2.2 土壤热惯量与含水量

渍害土壤可以看作是一个粘土-水体系。土壤物理学理论表明^[15],该体系中的任何一

* 湖北省高校青年科学研究发展计划项目(B₀₃₃)部分成果。

** 现工作单位: 咸宁师范高等专科学校,湖北,咸宁,437005。

收稿日期: 1994年5月5日;收到修改稿日期: 1994年7月14日

种广义热力学性质均与土壤的含水量有关。室内分析表明,粘土-水体系中的热惯量 P 与土壤含水量 W 之间存在着下列关系:

$$P = P_0 e^{\beta W} \quad (1)$$

式中, P_0 为纯水热惯量; β 为特征常数, 它随土壤类型而变化。鉴于野外条件的复杂性, 这种思想状态下的实验结论已被歪曲。在实际土壤水分的遥感测定中, 一般是将热传导方程与地面能量平衡方程联立求解, 从而找出热惯量与土壤含水量间的直接关系。由于湿润土壤的热惯量变化主要取决于土壤的含水量, 因而这种关系可以近似地表示为:

$$W = kP + u \quad (2)$$

对于热惯量的计算, 张仁华提出了一个改进的模型^[13], 即

$$P_j = \frac{\sum_{i=t_1}^{t_2} R_{nij} \left(1 - \zeta_{ij} \Theta_i + \frac{W_\theta - u}{W_f - W_\theta} \cdot \eta_i \right) \Delta_i}{\sqrt{t_2 - t_1} (T_2 - T_1) + \sum_{i=t_1}^{t_2} \frac{k L E_{0i}}{W_f - W_\theta} \Delta_i} \quad (3)$$

据此, 有

$$W_j = \frac{k \sum_{i=t_1}^{t_2} R_{nij} \left(1 - \zeta_{ij} \Theta_i + \frac{W_\theta - u}{W_f - W_\theta} \cdot \eta_i \right) \Delta_i}{\sqrt{t_2 - t_1} (T_2 - T_1) + \sum_{i=t_1}^{t_2} \frac{k L E_{0i}}{W_f - W_\theta} \Delta_i} - u \quad (4)$$

式中, W_j, P_j 分别为第 j 像元的土壤含水量和热惯量, R_n 为净辐射通量, ζ 为显热通量比, Θ 为显热通量与净辐射通量的比值, W_f, W_θ 分别为某种土壤的凋萎系数和田间持水量, LE_0 为潜热通量, k, u 为待定系数, k 的量纲为 P 的倒数。

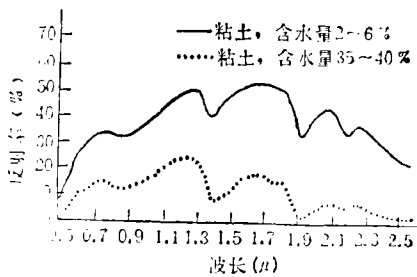


图 1 不同含水量粘土的反射光谱

Fig. 1 The reflectivities of clay with different water

2.3 土壤反射率与含水量

土壤含水量对土壤光谱特性有着重要影响, 粘土光谱随着水分的增加反射率明显减少^[16], 但在不同水分条件下反射率曲线形状仍然保持不变(图 1)。因而, 可以通过测定不同波段的土壤反射率来确定粘土-水体系的含水量, 从而识别渍害。

2.4 热红外识别

热红外遥感对研究裸露土壤的含水量状况很有价值。由于土壤中的水分起着储热的作用, 含水量较高的土壤其温度极值在每日的变动周期都会受到阻滞。实验表明^[3], 江汉平原 7—8 月渍害田土壤温度的变化可由下式给出:

$$T(z, t) = 29.7 - 0.04z + 4e^{-0.144z} \sin(0.262t - 0.72 - 0.66z) \quad (5)$$

式中, $T(z, t)$ 为深度 z (cm) 处 t (h) 时刻的土壤温度。据此可以通过温差图像的比较识别出渍害区。

3 Price 模型与图像处理

3.1 Price 热惯量模型的应用

Price 热惯量模型有一种简便的算法,即可通过先计算其视热惯量再来推算土壤的热惯量。运用这种算法进行渍害识别时,仅需计算各像元之间的温差就能获得其热惯量差异,从而求算其相对水分含量,达到渍害识别的目的。其步骤如下:

首先,将线性扫描仪遥感获得的热红外辐射数据订正、定标后转换成温度数据,并分别制作白天最高温度和夜晚最低温度的温度图像。

其次,将两幅图像匹配处理后,找出同名像元的最高温度值 T_{\max} (亦可选 1:30p.m. 数据) 和最低温度值 T_{\min} (亦可选用 2:30 a. m. 数据) 按下式计算该像元的视热惯量:

$$P_a = 1000\pi \frac{(1-a)C}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (6)$$

式中, a 为反照率, C 由下式给出

$$C = \frac{1}{\pi} [\sin \delta \sin \varphi (1 - \tan^2 \delta \tan \varphi)^{\frac{1}{2}} + x \cos \delta \cos \varphi] \quad (7)$$

$$x = \cos^{-1}(-\tan \delta \tan \varphi)$$

式中, δ, φ 分别为赤纬和观测点纬度。

第三,根据下式计算该像元的热惯量:

$$P = \alpha P_a + \beta \quad (8)$$

其中,

$$\alpha = 2SV / (1000\pi\sqrt{\omega}) \quad (9)$$

$$\beta = -\frac{1.3B}{\sqrt{\omega}} \quad (10)$$

$$B = 4\varepsilon\sigma\langle T \rangle^3 + \frac{\rho C_p}{\langle r \rangle} \left(1 - \frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \right) - 4\varepsilon\sigma\langle \theta \rangle^3 (a + b\sqrt{\langle q \rangle}) \cdot \frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} + \frac{\partial \langle LE \rangle}{\partial T} \quad (11)$$

式中,算符 $\langle \rangle$ 表示对该变量取 24h 平均值, ρC_p 为大气热容量, $\theta_{\max}, \theta_{\min}$ 分别为大气最高温度和最低温度, ε 为气温直减率, q 为大气比湿, σ 为 Stefan-Boltzmann 常数, S 为太阳常数, V 为太阳辐射的大气透射率,其它符号同前。

第四,设在该图像中渍害像元与非渍害像元的热惯量分类阈值为 P^i , 则对于任一像元 P^j 是否存在渍害可作如下判断: $P^j - P^i > 0$, 为渍害像元; $P^j - P^i < 0$ 为非渍害像元。根据上述 Price 模型, $P^j - P^i$ 的计算方法如下:

将(6)、(9)和(10)式代入(8)式有

$$P = \frac{1}{\sqrt{\omega}} \left[\frac{2SV(1-a)C}{T_{\max} - T_{\min}} - 1.3B \right] = \frac{1}{\sqrt{\omega}} \left[\frac{2SV(1-a)C}{\Delta T} - 1.3B \right] \quad (12)$$

对于同一图像中的 P^j 和 P^i 像元而言,上式中 ω, a, S, V, C 等可近似地看作为常量,则有

$$\begin{aligned} P^j - P^i &= \frac{1}{\sqrt{\omega_j}} \left[\frac{2S_j V_j (1 - a_j)}{\Delta T_j} C_j - 1.3 B_j \right] \\ &\quad - \frac{1}{\sqrt{\omega_i}} \left[\frac{2S_i V_i (1 - a_i)}{\Delta T_i} C_i - 1.3 B_i \right] \\ &= - \frac{1.3}{\sqrt{\omega}} (B_j - B_i) \end{aligned} \quad (13)$$

B_j 和 B_i 均由(11)式给出。同理,我们令 $\rho C_P, \theta_{\max}, \theta_{\min}, \theta$ 等对于同一图像中的 P^j 和 P^i 为常量,因而(13)式可以表示为

$$P^j - P^i = - \frac{1.3}{\sqrt{\omega}} \left[4\varepsilon\sigma(\langle T_j \rangle^3 - \langle T_i \rangle^3) + \frac{\partial \langle LE \rangle_j}{\partial T_j} - \frac{\partial \langle LE \rangle_i}{\partial T_i} \right] \quad (14)$$

而

$$\begin{aligned} \frac{\partial \langle LE \rangle}{\partial T} &= \left\{ SV(1 - a)C_0 + \varepsilon\sigma\langle \theta^4 \rangle (a + b\sqrt{\langle q \rangle}) - \varepsilon\sigma[\langle T \rangle^4 + 0.75\langle T \rangle^2 \right. \\ &\quad \left. \times (\Delta T)^2] - \frac{\rho C_P}{\langle r \rangle} (\langle T \rangle - \langle \theta \rangle) \right\} \frac{1}{q_s} \frac{\partial q_s}{\partial T} \end{aligned} \quad (15)$$

式中, q_s 为饱和气体的比湿。将(15)式代入(14)式,并基于上述一系列附加条件可得到

$$P^j - P^i \approx - \frac{5.2}{\sqrt{\omega}} \varepsilon\sigma(\langle T_j \rangle^3 - \langle T_i \rangle^3) \quad (16)$$

3.2 监督分类

由于热惯量只是渍害土壤的热力学特性之一,而且在上述判断计算过程中增加了一系列附加条件,因而分类结果不一定十分准确。为此,在图像处理过程中可通过监督分类进行验证。即在图像上选择典型的渍害区和非渍害区,用上述一系列模型获得的土壤热惯量、土壤含水量、土壤温度及其反射率作4维2类判别分析。这时的像元模式 x 有 $x^T = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]$, 而相应的判别函数为

$$g(x) = A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 + A_4 x_4 - \theta = 0 \quad (17)$$

这里, $A_i (i = 1, \dots, 4)$ 为判别函数的权参数, θ 是分类器的阈值, A_i 和 θ 均由训练样本获得。

4 地学相关分析

土壤水分、热惯量和温度等是渍害判别的必要条件,但并非充分条件。因为渍害还与地下水位、田间渗漏量、土壤有机质含量、有害物质含量等土壤理化性状有关,而且,更为重要的是与该区种植的作物类型有关,不同的作物有不同的渍害标准。结合土壤普查和野外调查资料,通过地学相关分析,我们给出了江汉平原稻田渍害区与非渍害区的判别函数^[18]为:

$$\begin{aligned} g(x) &= 34.329x_1 + 1.02x_2 - 0.943x_3 + 0.305x_4 + 0.002x_5 + \\ &\quad 0.797x_6 + 0.628x_7 + 0.426x_8 \end{aligned} \quad (18)$$

式中, x_1, \dots, x_8 分别代表地下水位 (cm)、渗漏量 (mm/d)、有机质含量(%)、速效钾 (mg/l)、土壤水分含量(%)、 H_2S 含量 (10^{-6} mg/ml)、千粒重 (g) 及产量(kg/666.7m²)。 (18)式的 F 检验结果为

$$F = \frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2} \cdot \frac{n_1 + n_2 - h - 2}{(n_1 + n_2 - 2)h} \cdot D^2 = 23.31$$

$$> F_{0.01}^{8,3} = 6.63$$

说明(18)式在 $\alpha = 0.01$ 水平上显著。此式为常规识别得到的结论, 供渍害遥感识别参考。

5 结 语

渍害是一种非突发性的农业灾害,具有一定的隐蔽性。随着低产田改造的需要,渍害研究也逐渐引起了人们的关注。渍害遥感识别是一个新的课题,本文旨在阐述渍害遥感的基本原理与方法。根据本文给出的一系列模式,我们进一步确认,用遥感的方法研究渍害是切实可行的。由于渍害机理与表现特征的复杂性以及渍害的多因子关联性,在实际操作中,渍害遥感还有许多技术问题有待进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] 喻光明. 江汉平原渍害田生态特征研究,生态学报, 1993,13(3): 252—260.
- [2] 喻光明,王朝南,陈平. 江汉平原农田渍害机理研究. 地理研究, 1993,12(3): 37—44.
- [3] 喻光明. 江汉平原渍害田热力学特性及其遥感研究. 环境科学学报, 1994,14(4):102—108.
- [4] Idso S. B., et al., The utility of surface temperature measurements for the remote sensing of surface soil water status. *J. Geophys. Res.*, 1975, **80**:3044—3048.
- [5] Price J. C., The potential of remotely sensed thermal infrared data to infer surface soil moisture and evaporation. *Water Resour. Res.*, 1980, **16**(4):787—795.
- [6] Wang J. R., Effect of vegetation on soil moisture sensing observed from orbiting microwave radiometers. *Remote Sensing of Environment*, 1985, **17**(2):141—151.
- [7] Newton R. W. and Rouse J. W., Microwave radiometer measurements of soil content, *IEEE Trans. Antennas Propagation*. 1980, AP-28(5):680—686.
- [8] Price J. C., Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA 7 Advanced Very High Resolution Radiometer. *J. Geophys. Res.*, 1984, **89**:7231—7237.
- [9] 万正明,道席. 从空间测量陆面温度的可行性,环境遥感, 1989,4(2): 83—98.
- [10] Price J. C. On the analysis of thermal infrared imagery: the limited utility of apparent thermal inertia. *Remote Sensing of Environment*, 1985, **18**(1):59—73.
- [11] Kahle A. B. Surface emittance temperature and thermal inertia derived from Thermal Infrared Multispectral Scanner (TIMS) data for Death Valley, California. *Geophysics*, 1987, **52**(7): 858—874.
- [12] Gried A. A., Camillo P. J. and Gurney R. J., Discrimination of soil physical parameters, thermal inertia and soil moisture from diurnal surface temperature fluctuation. *Water Resour. Res.*, 1985, **21**(7):997—1009.
- [13] 张仁华,改进的热容量模式及遥感土壤水分. 地理研究, 1990,9(2): 101—112.
- [14] 张仁华. 土壤含水量的热容量模型及其应用. 科学通报, 1991,36(12): 927—927.
- [15] Low P. F., 土壤物理化学,北京: 农业出版社, 1985, pp. 174—182.
- [16] Wilkes O. L, et al., 遥感手册(第十册). 北京: 国防工业出版社, 1986, pp. 171- 191.
- [17] Price J. C., On the analysis of thermal infrared imagery: the limited utility of apparent thermal inertia. *Remote Sensing of Environment*, 1985, **18**:59—73.

[18] 喻光明. 江汉平原渍害机理、温度时空变化及其诊断. 华中师范大学学报, 1992, 专辑: 140—148.

The Basic Principles and Methods of Remote Sensing Application to the Identification of Waterlog Damage

Yu Guangming

(Department of Geography, Central China Normal University)

Abstract In this paper, the main index of identification of waterlog damage using remote sensing are stated. By the discussion on related factors of waterlog damage such as the soil thermal inertia, soil water and soil temperature, [the basic principles and methods of identification of waterlog damage are suggested. Because the waterlog damage is related to many factors, the discriminant of waterlog damage with many variables is developed based on the analysis of geographical relationships. The results show that remote sensing technique can be used to identify the waterlog damage.

Key words Waterlog damage, Soil thermal inertia, Soil water, Soil temperature, Identification