

四湖地区洪水期遥感图像的解译*

喻 光 明

(华中师范大学地理系, 武汉, 430070)

1992 年 4 月 29 日收稿

摘 要

本文根据 Landsat TM 影像数据磁带和地面实况调查资料,提出了洪水期影像的解译方法,并以肖家湖实验区为例,解译了该区洪水期的影像。通过监督分类和非监督分类估算了洪水淹没范围;根据比值植被指数图像解译出了不同受灾程度作物的分布;用 *NDVI* 计算作物的受灾损失,并对结果进行了讨论。

关键词 洪灾损失 影像解译 监督分类 非监督分类 比值植被指数 归一化差植被指数

四湖地区是洪涝灾害频发地段,用传统方法研究洪涝灾害耗资大、费时多,不能满足预报和防治的要求。近年来,随着遥感技术的发展,人们尝试着将它引入洪涝问题的研究^[1-3]。本文试图以四湖地区的肖家湖区为例,从图像处理和解译标志识别等方面探讨洪水期影像的解译方法,并结合地面实况资料,提出了主要作物的洪灾损失遥感估算模型。

一、试验概况

试验区地处湖北省主要粮棉生产基地——江汉平原的东南部,位于 $113^{\circ}34' - 113^{\circ}49'E$, $29^{\circ}55' - 30^{\circ}08'N$ 之间。地势平坦低洼,降雨量集中,暴雨强度大,常常有严重的洪涝灾害发生。1991 年 6 月 30 日至 7 月 12 日,该区连续普降大到暴雨,总雨量达 409.4 mm,仅 7 月 10 日一天降水量达 136mm,12 日内溃水位达 23.52m。此次洪水直到 7 月 24 日才恢复正常水位。

本区农田水利化程度较高,水利设施配套完整。以生产粮、棉为主,作物种植具有明显的地带性。本试验区水利化和区划化程度较高,为研究提供了方便。

本研究的工作环境如下:

主机 太极 2236 (Mico VAX 3600 兼容机),内存 8B,外存 1300MB;

磁带机 日本富士通 M2444 AC 工业磁带机 (1600/6250BPI);

图像处理系统 美国 I²S M75 图像处理系统;

软件 美国 I²S S600 V4.0 版,共 366 个图像处理功能。

* 国家自然科学基金资助项目部分成果。邹尚辉、张金霞、黄 签等参加了本课题研究。

二、材料与方 法

本研究的主要资料来源: (1) 1991 年 7 月 19 日 Landsat TM 影像磁带, 选用这一时相图像的主要依据是, 作物经过一场暴雨的洪水侵袭以后, 往往会出现两种效应: 一是短期恢复效应, 即作物通过自身的调节功能在短期内可以恢复正常的生理状态, 因而不会造成最终导致作物减产的恶果; 二是致害效应, 即洪水造成的危害已超过了作物自身调节的能力, 会导致作物生理机能的破坏, 因而最终会导致作物的减产。从作物光谱上识别这两种效应的结果需要一段时间, 大约是 5—10 天左右^[1], 而 TM 图像的获取要受卫星轨道重复周期的限制。据此可以认为, 本次暴雨过后第 7 天 (7 月 19 日) 的图像是较为理想的时相。(2) 1991 年 7 月中旬和 12 月中旬的地面实况调查。对于洪水期影像的解译, 本研究作了下述处理:

淹水范围 先后采用最小距离法作了监督分类和采用欧氏距离法作了非监督分类, 划分出淹水范围、退水范围和未淹范围。

作物识别 将 TM 影像数据磁带按标准假彩色合成方案合成, 然后在合成图像上选择训练样本, 用最大似然法^[2]分出水稻、棉田和水体三种类型。

作物受灾情况 先后采用比值植被指数法 (TM_4/TM_3) 和归一化差值植被指数 ($NDVI$) 分别划分出 10 个等级, 对照灾区实况, 研究受灾损失程度。

三、淹 没 范 围

1. 监督分类及其结果

在图像显示屏幕上, 根据目视判读分出 6 种有关的地面覆盖物类型; 由于每种地面覆盖物类型在不同的地形部位上表现出一定的光谱差异, 因此每种类型平均选择了 3 个典型样区作为训练区; 考虑到洪水期图像中的像元大多含有混合光谱的特征, 故采用最小距离法对本区作了分类, 并对各种类型作了分类统计 (表 1)。

2. 非监督分类及其结果

对 7 月 19 日 Landsat TM 磁带数据作了 K-L 变换, 得到了亮度分量和湿度分量, 再加上 TM_3 波段和 5 波段数据, 作了 4 维欧氏分类。K-L 变换是具有数据压缩意义的特征选择方式, 即在不损失原始数据有用信息的条件下, 来选择有效特征, 而抛弃多余特征。洪水期图像经 K-L 变换后, 其有效特征则表现为亮度分量和湿度分量。为了弥补亮度分量和湿度分量作地表覆盖物分类的不足, 选择了 TM_3 波段和 5 波段的信息来补充, 因为 TM_3 波段 ($0.63-0.69\mu$) 信息量大, 为可见光最佳波段, 可广泛用于地貌、岩性、土壤、植被、水中泥沙流等方面的研究; TM_5 波段 ($1.55-1.75\mu$) 与水的吸收带 ($1.4-1.9\mu$) 有很大部分的重叠, 反映含水量敏感, 可用于土壤湿度、土壤含水量、水分状况的研究、作物长势分析等^[3]。分类结果是将实验区地表覆盖物划分为 16 种类型, 其中第 3 类无信息。为了显示淹没范围, 参照 $NDVI$ 数据, 将它们归并为三大类: 第一大类由原 16 类中的 1—2 类合并而成, 表现为淹水现状 (包括背景水体), 用红色显示 (图版

表 1 监督分类结果
Table 1 The result of supervised classification

类 型	像 元 数	面 积 (km ²)	解 译 地 物
1	4 128	3.35297	淹水体
2	1 091	0.88617	鱼塘(堤)
3	8 024	6.51749	退水部分
4	7 331	5.95461	未淹部分
5	1 621	1.31666	未退尽部分
6	360	0.29241	背景水体*

* 未计算方形的水生植物。

I 图 1), 在肖家湖区的总像元数为 10 945, 即约 8.89km²; 第二大类由原 4—10 类归并而成, 表现为已退水的范围, 用蓝色表示(图版 I 图 2), 在肖家湖区的总像元数为 35 139, 即约 28.54km²。第三大类由原 11—16 类合并而成, 表示未淹范围, 用绿色表示(图版 I 图 3), 在肖家湖区的总像元数为 29 700, 即约 24.12km²。

四、作物损失

1. 作物识别

对 7 月 19 日 Landsat TM 影像磁带数据按标准假彩色合成方案合成假彩色图像(图版 I 图 4)。在该图像上, 水体为蓝色, 水稻为红色, 棉田以白色为主, 夹杂有粉红色。在此合成图像的基础上, 根据目视解译选择训练区, 然后用最大似然法分类, 划分出水体、水稻、棉田三种地面覆盖物类型的分类图像。

2. 作物受灾状况

对于作物受灾状况的研究, 我们采用了两套方案: 用比值植被指数定性解译不同受灾程度作物的空间分布; 用归一化差值植被指数定量描述作物的涝灾损失。试验区洪水期图像作比值植被指数变换后, 作物类型和受灾程度反映较好, 而且在空间分布上相对较为集中, 适宜于制作作物分类及其受灾程度解译图; 而试验区洪水期图像作归一化差值植被指数变换后, 同一类型作物的受灾程度反映得更为精确, 适宜于作灾害损失的定量估算。但由于空间分布上的过于精细, 制作解译图难度较大, 故选用这两套处理方案相互补充。

比值植被指数 (RVI) 用 7 月 19 日 Landsat TM 3、4 波段数据, 按下式求出比值植被指数:

$$RVI = \frac{TM_4}{TM_3} \quad (1)$$

在经比值植被指数变换后的图像中, 作物受灾程度随着比值植被指数的增加而递减。为了识别作物的受害程度, 我们将此图中的 RVI 值划分为七个等级, 按 RVI 值从小到大的顺序依次赋予七个等级的颜色为: 黑、绿、蓝、紫、红、黄、白, 即作物的受灾程度按上述色别顺序依次递减。结合密度分割和目视解译的结果, 我们制作了试验区不同作物及其受灾程度解译图(图 6)。

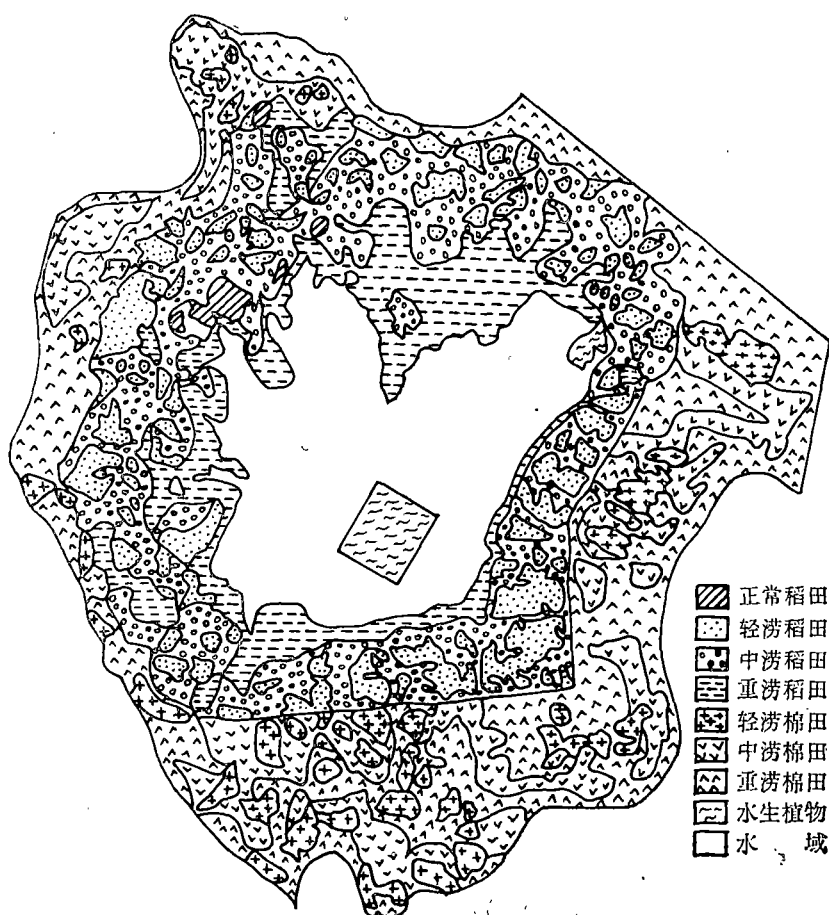


图 6 *NDVI* 图像解译——不同作物及其受灾程度

Fig. 6 The interpretation of *NDVI* image——The distribution of crops and their damage contents

归一化差值植被指数 (*NDVI*) 对 7 月 19 日 Landsat TM 数据按下式求取归一化差值植被指数:

$$NDVI = \frac{TM_4 - TM_3}{TM_4 + TM_3} \quad (2)$$

由此得到了经 *NDVI* 变换的试验区图像 (图版 I 图 5)。在这幅图像中, *NDVI* 值的变化范围为 $-0.476 \sim 0.728$, 用它来研究作物的健康状况和受灾程度时, 我们发现, 洪水期 *NDVI* 值较正常时期有较大的差异。以水稻为例, 正常条件下的 *NDVI* 值在 $0.40 \sim 0.70$ 之间, 但在该图像上 *NDVI* 值的区间扩大到了 $0.1 \sim 0.7$ 之间。究其原因, 有如下几点: (1) 由于地势低洼的区域水稻被水淹没, 该区的像元具有水稻和水体的混合光谱特性, 淹没越严重, 则水的光谱特性所占比例越大, *NDVI* 值越小; 反之, *NDVI* 增大。(2) 洪水期间, 水体混浊, 洪水挟带有大量泥沙, 在部分区域, 稻株已被泥沙粘糊而在遥感图像中

偏小。据此,为了充分反映作物受害程度的区别,我们将本区洪水期图像中的 $NDVI$ 值划分为 10 个等级,各等级的划分区间及其统计结果如表 2 所示。

表 2 试验区归一化植被指数
Table 2 The $NDVI$ of test region

类 别	$NDVI$ 值	图像色别	像 元 数	面积 (km^2)
1	} < -0.3 $-0.3-0$	黑	7 853	6.3768
2				
3	0-0.1	浅绿	2 101	0.0171
4	0.1-0.2	绿	5 076	4.1223
5	0.2-0.3	紫	9 443	7.6701
6	0.3-0.4	蓝	16 753	13.6076
7	0.4-0.5	橙	20 425	16.5902
8	0.5-0.6	黄	12 558	10.2002
9	0.6-0.7	红	1 575	1.2793
10	0.7-0.8	白	—	—

本区作物的种植受微地貌的影响而具有明显的地带性: 海拔小于 22.5 m 的区域主要为水域和堤埂,无作物种植;22.5—23.85m 的区域主要种植水稻;23.85—32.5m 的区域主要为棉田,夹杂极少量甘蔗田和林地。7 月中旬棉田和稻田的作物长势都很好,棉花和水稻均已封垄,但在 $NDVI$ 图像上二者却有较大的差异。对此,我们认为这是因为棉花所处的生长阶段及其叶绿素含量和植物细胞结构的差异所引起的。 TM_1 是红波段($0.63-0.69\mu$),为叶绿素的主要吸收波段; TM_4 是近红外波段($0.76-0.96\mu$),它对绿色植物类别差异最为敏感(受植物细胞结构控制)^[7]。据文献[8]资料,7 月上旬棉花的叶绿素含量(CHC)已达到其整个生长阶段的最大值,平均而言,CHC 约为 $2.25 mg \cdot g^{-1}$,此时 $G3'$ 绿度约为 0.72,换算成 $NDVI$ 相当于 0.51 左右;7 月中旬棉花的 CHC 约为 $2mg \cdot g^{-1}$ 左右, $G3'$ 约为 0.69 左右,换算成 $NDVI$ 相当于 0.47 左右;后者与本研究中大面积棉田平均值接近,受地表水和叶面水分影响,部分棉田 $NDVI$ 值在平均值以下。稻田与棉田的 $NDVI$ 差异同时还表明,棉田的受灾程度普遍比稻田严重。结合本区作物分布和野外实地调查,我们得到了 $NDVI$ 图像的解译方案(表 3)。

3. 水稻损失及其估算

7 月中旬中稻正处于孕穗期,对涝灾的反应很敏感^[3],受 7 月上旬暴雨的影响,根据实地调查,水稻受灾情况可分为三大类: a. 正常,淹没水深未超过耐淹深度; b. 减产 30% 左右,淹没水深达到孕穗高处; c. 绝收,没顶淹,全区水稻总产量平均减产 20% 左右。

根据表 2 和表 3 中的数据,我们可以求出 $NDVI$ 与中稻淹没损失减产率 $Y(\%)$ 之间的关系如下:

$$Y = 118.59479 - 173.09642NDVI \quad (3)$$

式(3)的方差分析结果(表 4)表明,该方程在 $\alpha = 0.01$ 水平上显著,且 $NDVI$ 与 Y 高度相关($r = 0.9787$)。为了进一步求出肖家湖区中稻的实际损失,对该区水稻的 $NDVI$ 集中分布区间($-0.4-0.65$)作了进一步的划分,利用式(3)计算其实际减产率,并按下式计算其减产量 P :

表 3 NDVI 图像解译
Table 3 The interpretation of NDVI image

高程 (m)	色 别	作 物	受灾程度	损失估算 (%)
22.5—23.85	白色	水稻	正常	无损失
	红色	水稻	偏涝	<10
	黄色	水稻	轻涝	10—30
	橙色	水稻	中涝	30—50
	蓝色	水稻	重涝	50—80
	紫色	水稻	严重涝灾	>80
	绿色	水稻	没顶淹	绝收
23.85—32.5	白色	棉田	正常	无损失
	红色	甘蔗、林地	正常	无损失
		棉田	偏涝	20—30*
	黄色	棉田	轻涝	30—50
	橙色	棉田	中涝	50—70
	蓝色	棉田	重涝	70—90
	紫色	棉田	严重涝灾	>90
<22.5	蓝色	塘堤、田埂	淹没区	—
	黑色	水域	淹没区	—

* 棉花损失系按伏前桃和伏桃数量计算。

表 4 方程(3)的方差分析
Table 4 The test for equation (3)

变差来源	平方和	自 由 度	方 差	F 检 验	显著水平
回归(因素 x)	$u = b \cdot l_{xy}$ = 8389.423	1	$S_u^2 = \frac{u}{1}$ = 8389.423	$F = \frac{u}{Q/N-2}$ = 113.575	$\alpha = 0.01$ $> F_{\alpha}^{1,3}$ = 16.25
剩余 (随机因素)	$Q = l_{yy} - b l_{xy}$ = 369.3329	$N - 2 = 5$	$S_Q^2 = \frac{Q}{N-2}$ = 73.86658		
总 计	$l_{yy} = \Sigma y^2 = \frac{1}{N} (\Sigma y)^2$ = 8758.7559	$N - 1 = 6$			
相关系数	$R^2 = \frac{u}{l_{yy}} = 0.95783; r = 0.9787$				

$$P = \sum_{i=1}^N S_i Y_i Q \tag{4}$$

式中 S_i 、 Y_i 分别为第 i 高程区间的面积和减产率, Q 为理想产量, N 为区间数。对肖家湖区的计算结果如表 5 所示。

4. 棉花损失及其估算

7 月中旬应是棉花挂桃季节, 正常年景伏前桃和伏桃应有 10—12 个。1991 年受 7 月上旬暴雨影响, 棉花虽长势很好, 但伏前桃和伏桃几乎为零, 被戏称为“风景棉”。入伏以

表 5 肖家湖区中稻减产损失估算

Table 5 The estimation of middle rice loss in Xiaojiahu region

NDVI	像元数	面积(km ²)	减产率(%)	减产量(t)
0.40—0.45	909	0.7383	45.029	858.273
0.45—0.50	5148	4.1815	36.374	4860.994
0.50—0.55	5950	4.8329	37.719	5618.246
0.55—0.60	2740	2.2256	19.064	2587.260
0.60—0.65	58	0.0471	10.410	54.754

后及整个秋天天气很好,气象状况对棉花生长有利,且田间管理与施肥等措施也跟上了作物生长的需要,因此,就全年产量而言,棉花没有减产;但与往年同季节相比,减产幅度却很大(表3)。根据 TM 图像的 NDVI 值和同步实地调查结果(表2和表3),我们得到1991年7月中旬棉花受灾程度(Y')与 NDVI 的关系如下:

$$Y' = 134.30938 - 173.096NDVI \quad (5)$$

式(5)的方差分析结果(表6)表明,该式在 $\alpha = 0.01$ 水平上显著,且 Y' 与 NDVI 高度相关($r = 0.98907$)。

表 6 方程(5)的方差分析

Table 6 The test for equation(5)

变差来源	平方和	自由度	方差	F 检验	显著水平
回归(因素)	$u = b \cdot l_{xy}$ = 8389.4637	1	$S_u^2 = \frac{u}{1}$ = 8389.4637	$F = \frac{u}{Q/N-2}$ = 225.02 $> F_{1;5}^{0.01}$	$\alpha = 0.01$
剩余 (随机因素)	$Q = l_{yy} - bl_{xy}$ = 186.41657	$N - 2 = 5$	$S_Q^2 = \frac{Q}{N-2}$ = 37.2833		
总计	$l_{yy} = \sum y^2 - \frac{1}{N} (\sum y)^2$ = 8575.8802	$N - 1 = 6$			
相关系数	$R^2 = \frac{u}{l_{yy}} = 0.978263; r = 0.98907$				

五、结 论

1. 为了估算水体淹没面积,本文采用监督分类和非监督分类两种方式来区分地表覆盖物类型,由于该区洪水期影像像元大多数都具有混合光谱特征,非监督分类的结果与野外实况更为接近。对于具有混合光谱像元的分类,最近有人提出了一种光谱叠加量计算方法^[6],可计算分类应选择的波段及波段数的多少,这种方法有益于改进我们的分类结果。

2. 本研究采用 RVI 和 NDVI 估算作物的受灾程度,结合地面实况验证数据得出了作物损失估算模型,该模型适用于整个江汉平原洪水期作物损失估算。

3. 本文以肖家湖试验区为例探讨了洪水期影像的解译方法, 适用于整个江汉平原洪水期影像的研究。

本文着重考虑了淹水范围、作物损失等方面的问题, 关于四湖流域“91.7”暴雨灾情的全面分析与评价, 我们已另文专述^[10]。

参 考 文 献

- [1] 陈述彭等, 关于“防汛救灾遥感监测与预警信息系统”的研究实验工作的一些设想. 资源与环境信息系统国家重点实验室年报(1988—1989), 测绘出版社, 237—239, 1989。
- [2] Gao Shuhu, Real-time and Quasi-time Monitor System of Remote Sensing Information on the Flood and Losses, Bulletin of Flood Damage Evaluation Information System and Wetland Use, Beijing, Chinese Science and Technology Press, 38—46, 1991.
- [3] Yu Guangming, The Researches on Flood and Waterlogging Damage Using Remote Sensing in Jiangnan Plain: Foundation Studies, Technical Papers of FIG FC'91 Meeting and International Symposium, Beijing, Vol.2, 604—613, 1991.
- [4] Yu Guangming, The Studies on Waterlogging Damage in Jiangnan Plain Using DEM, Chinese Geographical Science, 2(1), 87—93, 1992.
- [5] Yamagata Y, Akiyama T., Flood damage Analysis Using Multitemporal Landsat Thematic Mapper Data, Int. J. Remote Sensing, 9(3), 503—514, 1988.
- [6] Zhenkui M, Charles EO., A Measurement of Spectral overlap among Cover Types, PE&RS, 55(10), 1441—1444, 1989.
- [7] 陈述彭, 赴英时, 遥感地学分析, 测绘出版社, p. 35, 1990。
- [8] 张仁华, 黄淮海地区主要农作物的光谱结构与时相分析方法, 遥感遥测及计算机应用, 气象出版社, 106—114, 1990。
- [9] 许殿元、丁树柏, 遥感图像信息处理, 宇航出版社, 163—167, 1990。
- [10] 喻光明, 四湖流域“91.7”暴雨洪涝灾害态势及其遥感研究, 长江流域资源与环境, 2(1): 59—66, 1993。

THE INTERPRETATION OF REMOTE SENSING IMAGE OF FLOODING PERIOD IN THE SHIHU REGION

Yu Guangming

(Department of Geography Central China Normal University Wuhan 430070)

Abstract

Based on the landsat TM image data and the ground truth, the interpretation method is developed in this paper. In the case of Xiaojiahu Region, the image of flooding period is interpreted. The inundated area is estimated by supervised and unsupervised classification; the distribution map of crop damage content is made in terms of *RVI*; the crop losses are estimated from the calculation of *NDVI*; and the results are discussed in detail.

Key words Loss of flood damage Image interpretation Supervised and unsupervised classification Ratio vegetation index Normalized difference vegetation index

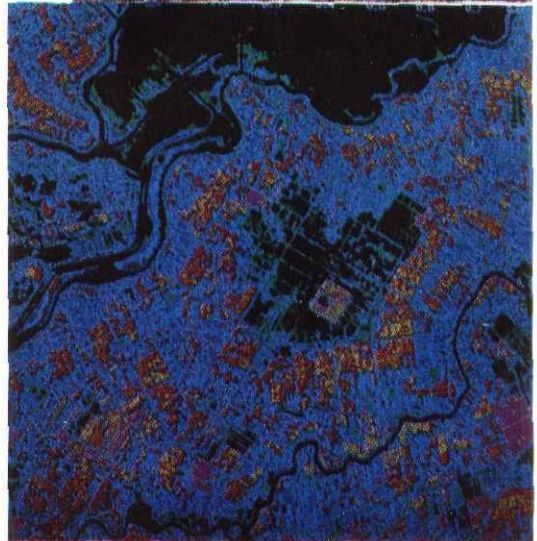
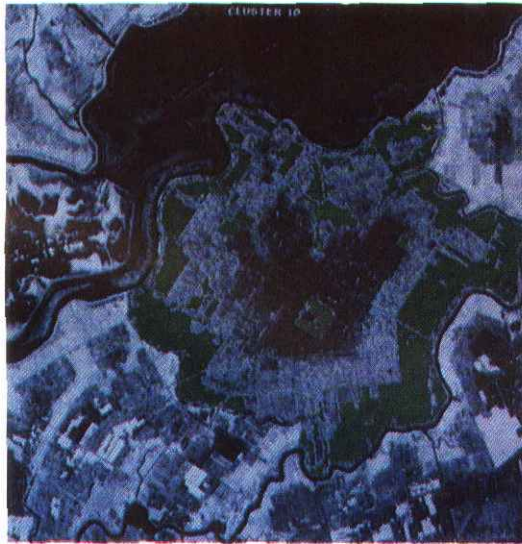


图 1 淹水现状

图 2 退水范围

图 3 未淹范围

图 4 作物分类图像

图 5 NVI 图像

