

徐鹏, 顾晓鹤, 邱贺, 等. 基于多时相 HJ 影像的水稻洪涝灾情和产量监测[J]. 灾害学, 2014, 29(2): 188–192. [ Xu Peng, Gu Xiaohu, Qiu He, et al. Monitoring of Disaster Situation and Yield of Rice under Flood and Waterlogging based on Multi-temporal HJ Images[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(2): 188–192. ]

## 基于多时相 HJ 影像的水稻洪涝灾情和产量监测<sup>\*</sup>

徐 鹏<sup>1,2,3</sup>, 顾晓鹤<sup>2,3</sup>, 邱 贺<sup>1</sup>, 孟鲁闽<sup>1</sup>

(1. 西安科技大学 测绘科学与技术学院, 陕西 西安 710054; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097; 3. 农业部农业信息技术重点实验室, 北京 100097)

**摘 要:** 洪涝灾害是影响水稻生产的重要逆境因子。利用多时相 HJ 卫星影像数据评估了 2012 年辽宁洪涝灾害对水稻的影响。类似于土壤线, 首先基于洪涝浑浊水体像元建立了水体线  $WL(NIR = 0.693\ 1RED + 0.022\ 7)$ , 并以此定义水体浑浊指数  $WTI$  和垂直植被指数  $PVI$  来分别监测洪涝水体的泥沙含量和水稻作物产量, 对  $PVI$  与地面实测产量数据进行了相关分析, 建立了灾后水稻产量与  $PVI$  的线性回归方程  $Yield = 50\ 279PVI - 2\ 804.1$ 。研究结果表明, 泥沙含量越高, 水稻受灾越严重, 产量越低。 $WTI$  可用于监测洪水泥沙含量,  $PVI$  则与水稻产量具有极显著的相关关系 ( $R^2 = 0.965$ ), 洪涝灾害对水稻的影响不仅可以从水稻收获前的遥感影像进行估测, 更能够在洪涝灾害发生后及时进行估测, 对洪涝灾害后的水稻实际生产具有一定的指导意义。

**关键词:** 水稻; 洪涝; 水体浑浊指数; 垂直植被指数; 产量估测

**中图分类号:** TU996; X43      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000–811X(2014)02–0188–05

**doi:** 10.3969/j.issn.1000–811X.2014.02.035

水稻是我国最重要的粮食作物之一, 它是一种沼泽作物, 耐涝能力较强, 在河流、湖泊周边地区密集种植, 较易遭受洪涝胁迫, 若被洪水较长时间淹没, 仍然会造成大面积的减产甚至绝收。洪涝灾害的突发性和破坏性强, 严重制约和影响水稻生产的持续和稳定发展。

卫星遥感技术能够多次、瞬时、无损地获取大范围“面状”信息, 在干旱、冷冻害、倒伏等灾情评估方面得到广泛应用。Abduwasit Ghulam 利用 ETM+ 的近红外和短波红外波段建立了植被缺水指数 VWSI, 该指数与植株水分含量 FMC 具有极强的相关性, 可用于小麦干旱灾情的监测<sup>[1]</sup>。刘英等利用 MODIS/AQUA 卫星产品数据, 以双抛物线型 NDVI-ST 特征空间得到的 TVDI 作为旱情遥感监测指标, 评估了 2011 年春季河南省冬小麦旱情, 揭示了该地区小麦旱情发展的总体时空特点<sup>[2]</sup>。Feng 等基于 MODIS-NDVI 在冬小麦晚霜冻害前后监测受害范围, 通过分析 NDVI 恢复率和冬小麦产量进行了冬小麦冻害灾情监测研究<sup>[3]</sup>。张杰通过分析 ALOS 卫星全色波影像 (PRISM) 数据和多波段影像

(AVNIR-2) 数据的信息变化特征, 表明可利用目标区域影像亮度值变化特征对冬小麦倒伏时间、受灾程度以及产量损失进行监测<sup>[4]</sup>。孔凡明等基于 MODIS 反射率产品, 结合多种算法提取了 2011 年泰国洪涝受灾区域, 结果表明农作物是泰国洪涝灾害中受灾面积最大的土地覆盖类型, 极大地影响了作物的产量收成<sup>[5]</sup>。从国内外学者的研究可以发现, 针对农业气象灾害, 遥感技术在获取灾情信息的及时性、监测作物灾情发展情况的连续性方面有着显著的优势, 能够为救灾及损失评估提供强有力的依据, 但利用遥感技术监测水稻洪涝灾情及产量的研究却鲜有报道。

本文利用 HJ 卫星影像提取洪涝灾害发生后的水体像元, 并以此浑浊水体像元建立水体线 Water Line ( $WL$ ), 继而定义水体浑浊指数 Water Turbidity Indice ( $WTI$ ) 和垂直植被指数  $PVI$ , 探究  $WTI$  与水体泥沙含量的关系以及  $PVI$  与水稻产量的关系, 评估水稻洪涝灾情和产量减损, 最后建立受灾水稻  $PVI$  与  $WTI$  的线性回归方程, 以期快速估测洪涝灾害发生后的水稻产量减损。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2013–09–13      修回日期: 2013–11–10

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(41001199); 国家科技支撑项目(2012BAH29B01); 公益性行业(农业)科技专项(201303109–8); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJXC201104012)

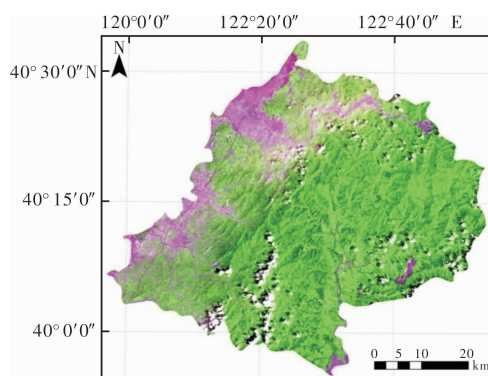
作者简介: 徐鹏(1989–), 男, 陕西宝鸡人, 硕士研究生, 研究方向为农业遥感应用. E-mail: xp1895@163.com

通讯作者: 顾晓鹤(1979–), 男, 江苏人, 博士, 副研究员, 主要从事农业遥感及灾害监测的研究. E-mail: guxh@nrcita.org.cn

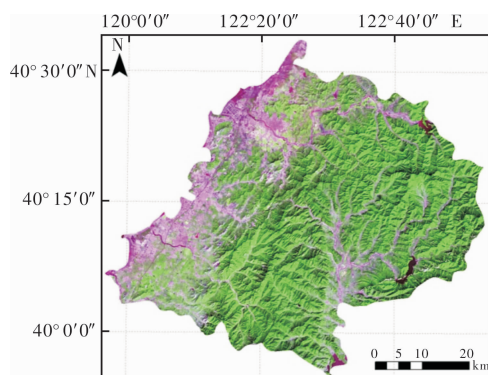
## 1 研究区及数据

研究区位于辽宁省盖州市, 当地于 2012 年 8 月 3–4 日普降暴雨, 造成部分地区发生特大洪涝灾害, 作物被淹。我们以盖州市水稻种植面积较广且受灾严重的盖州市青石岭镇和西海办事处辖区为研究区域, 该区域位于盖州市西北部, 大片农田受淹, 水稻受灾严重, 造成部分水稻绝收, 其他受灾地区也不同程度的减产。

本研究选取 2012 年 8 月 4 日暴雨发生 2 d 后和作物恢复生长一个半月后的 HJ 卫星影像, 影像获取日期分别为 2012 年 8 月 6 日 (此时水稻处于齐穗期)、2012 年 9 月 20 日 (此时水稻处于成熟期), 如图 1 所示, 8 月 6 日影像中有大面积的水稻作物被洪水全部淹没, 影像表现为水体像元。



(a) 2012 年 8 月 6 日



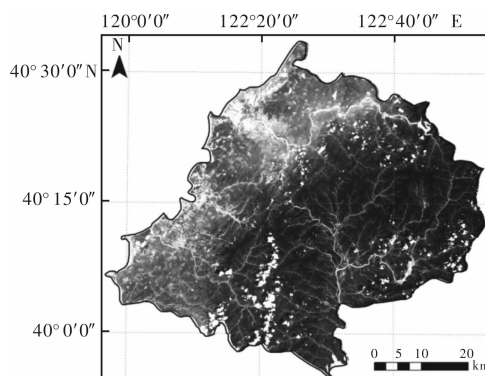
(b) 2012 年 9 月 20 日

图 1 辽宁省盖州市多时相 HJ 遥感影像

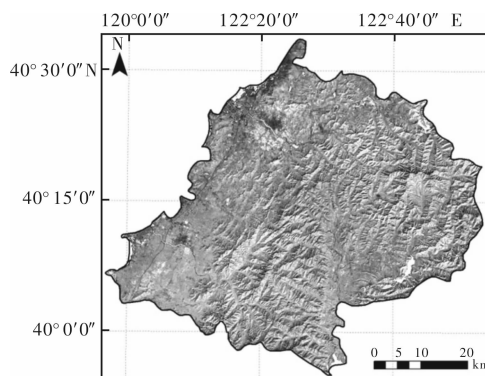
## 2 理论与方法

为了提取洪涝淹没的作物区域, 本研究对 8 月 6 日、9 月 20 日两景影像进行多时相分析, 识别受灾区域与未受灾区域。如图 2 所示, 8 月 6 日的 HJ

卫星影像中, 被淹的水稻种植区域, 洪水的泥沙含量越高, 红光波段图像越亮 (图 2a); 9 月 20 日的影像中, 水稻受灾越严重, 恢复生长后作物在近红外波段图像越暗 (图 2b)。



(a) 8 月 6 日红光波段影像



(b) 9 月 20 日近红外波段影像

图 2 研究区多时相不同波段影像

首先, 利用决策树法对 8 月 6 日和 9 月 20 日的影像进行分类, 由于水体的光谱特性符合  $R_{red} > R_{nir}$ , 且红光和近红反射率反差很大, 因此将  $NDVI < 0$  和  $R_{nir} < 0.24$  作为布尔条件用于决策树分类, 主要剥离出水体和水稻作物; 然后采用 ENVI 处理软件的 change detection statistics 工具对两幅分类图进行差异分析, 识别发生变化的区域及属性, 生成变化分类掩膜图像, 对于由水体 (8 月 6 日) 变为水稻作物 (9 月 20 日) 的区域我们视为受灾区域, 同时再根据 8 月 6 日、9 月 20 日两景原始影像目视解译未受灾区域; 最后对受灾区域和正常生长的水稻作物进行波段反射率提取, 分别获取其在 8 月 6 日、9 月 20 日的红光波段和近红外波段的反射率值。

此外, 本文选取 5 块受灾水稻样地和 8 块未受灾区域水稻样地于 2012 年 9 月 22 日获取地面实测数据。在每块样地内, 记录水稻穴数、行距, 并

选取长势具有代表性的位置剪取 3 m<sup>2</sup> 的水稻稻穗部分用真空取样袋保存, 带回实验室进行产量测定。

### 3 结果与分析

#### 3.1 水体线的建立

由于水稻的下垫面为水体, 而非土壤, 水稻冠层光谱特性会受到水体背景的影响。与土壤线类似, 水体像元在光谱特征空间中也呈一条直线, 本文以提取的水体红光波段和近红外波段反射率值(8月6日)建立散点图, 并以此作为本底数据, 计算水体线 Water Line(WL), 如图3所示。水体线的方程为

$$NIR = 0.6931RED + 0.0227. \quad (1)$$

式中:  $NIR$  为近红外波段的反射率;  $RED$  为红光波段的反射率。从图3可以看出, 洪涝水体像元基本位于 WL 周围, 水稻作物像元则位于 WL 上方。

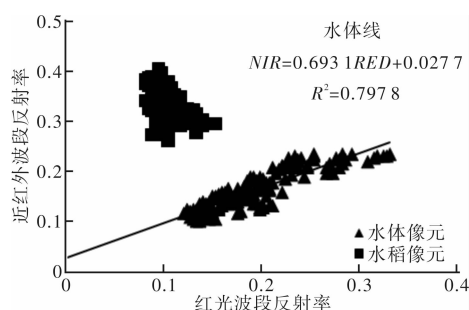


图3 洪涝水体和水稻作物红光、近红外波段散点图(8月6日)

#### 3.2 垂直植被指数和水体浑浊指数的建立

浑浊水体的反射率较清水高, 且随着泥沙含量的增加, 浑浊水体在绿光、红光与近红外波段的反射率均增加<sup>[6]</sup>, 而在 450 ~ 1 015 nm 波段范围内, 泥沙含量与反射率也呈线性关系<sup>[7]</sup>。因此, 本文基于 WL 来定义垂直植被指数 Perpendicular Vegetation Index(PVI) 和水体浑浊指数 Water Turbidity Index(WTI)。将从  $O'$  点开始, 沿 WL 的直线距离定义为水体浑浊指数 WTI, 用来表示洪水的泥沙含量多少, 距离起点  $O'$  越远说明水体含沙量越大。PVI 是由 Richardson 于 1977 年在土壤线的基础上提出的, 用于提取剔除土壤背景影响的植被信息<sup>[8]</sup>, 本研究的 PVI 定义为光谱特征空间内某一点到 WL 的距离。PVI 和 WTI 的计算公式如下:

$$PVI = (NIR - aRED - b) / \sqrt{1 + a^2}, \quad (2)$$

$$WTI = (aNIR + RED - ab) / \sqrt{1 + a^2}. \quad (3)$$

式中:  $NIR$  为近红外波段的反射率;  $R$  为红光波段的反射率;  $a$ 、 $b$  分别为水体线的斜率和截距。PVI、WTI 和 WL 的关系如图4所示。

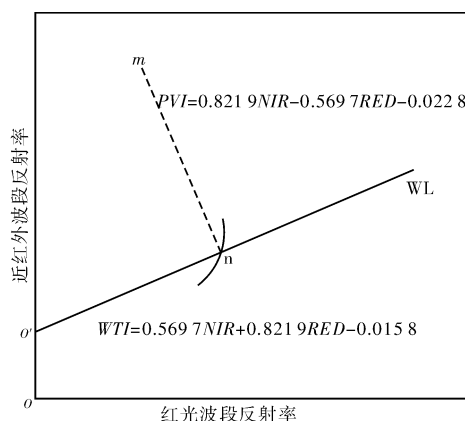


图4 研究区 WL、PVI、WTI 示意图

#### 3.3 PVI 和产量的关系

将由 WL 确定的 PVI 指数公式用于 9 月 20 日的影像, 以分析作物的受灾情况, 并与产量做相关性分析, 图5表示了受灾水稻和正常生长水稻样区平均产量与相应 PVI 的关系。从图中可以看出, 受灾水稻样区的平均产量从 1 762.5 kg/hm<sup>2</sup> 到 4 330.05 kg/hm<sup>2</sup> 不等, 相应的 PVI 值也处于较低的水平, 而正常生长水稻的最高产量达到了 10 571.1 kg/hm<sup>2</sup>, 这说明淹水不仅对水稻植株的生理机能产生了破坏, 导致冠层光谱在遥感影像上的反射率降低, 同时也造成了严重的水稻产量减损。垂直植被指数 PVI 与水稻产量的回归模式为:  $Yield = 50\,279PVI - 2\,804.1$ , 两者有着极显著的相关关系 ( $R^2 = 0.965$ ), 这主要是因为 PVI 能够较好地滤除下垫面背景信息, 具有线性可叠加性, 与水稻产量形成的生理特点具有一致性<sup>[9]</sup>。

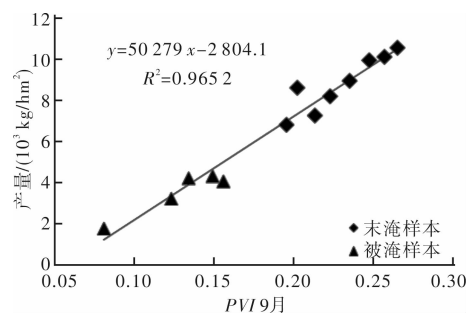


图5 PVI 与水稻产量的相关性(9月20日)

#### 3.4 水稻作物 WTI 与 PVI 的关系

未受灾的水稻作物 PVI 从 8 月至 9 月的变化如

图 6 所示。从 1:1 线可以看出, 大部分水稻植株的  $PVI$  位于等比线上方,  $PVI$  值有小幅度的增加, 表明未受灾水稻长势也或多或少的受到降雨的影响, 虽然  $PVI$  值在 8 月较低但 9 月便逐渐恢复正常水平, 这也说明正常生长水稻的  $PVI$  总体趋势基本保持稳定。

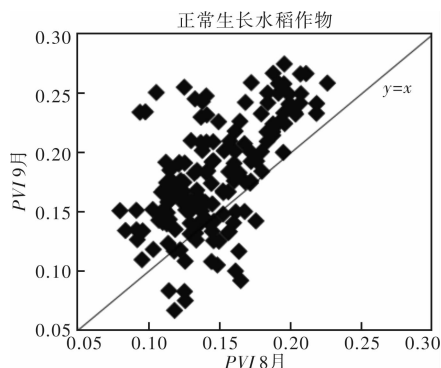


图 6 正常生长水稻作物的  $PVI$  变化

前人的研究表明洪水淹没对水稻的破坏主要是气体交换和光抑制的问题, 水体浑浊时, 只有部分光线到达被淹的水稻冠层, 因此限制了水稻在水下的光合固碳功能, 从而引起水稻严重的生理迫害和死亡率<sup>[10]</sup>。此外, 在洪水退去后, 由于泥沙附着在叶片和茎秆上, 影响正常的光合作用和开花结实, 也会对水稻造成损害, 所以可以说洪涝水体的泥沙含量越大, 对水稻的伤害越大并会造成严重的产量减损, 而泥沙含量的大小与红光和近红波段的反射率呈正相关关系, 因此可以通过 8 月 6 日的  $WTI$  来监测洪水的泥沙含量, 并用 9 月 20 日的  $PVI$  来表征水稻产量, 从而建立受灾后  $WTI$  和恢复生长后  $PVI$  的线性回归方程, 达到灾后快速估测水稻产量减损的目的。图 7 表示了盖州地区受灾水稻  $WTI$  和  $PVI$  的关系。

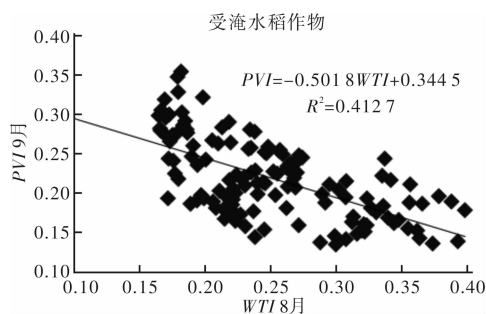


图 7 受灾水稻 8 月  $WTI$  与 9 月  $PVI$  关联示意图

从图 7 中可以看出, 受灾后的水稻作物  $WTI$  (8 月) 与  $PVI$  (9 月) 呈负相关, 在  $WTI < 0.3$  时,  $PVI$  随  $WTI$  的增加而降低; 当  $WTI$  超过 0.3 以后,

$PVI$  趋于稳定, 处于较低的水平, 这可能是由于泥沙量过大对植株造成了不可恢复的损害, 产量会大幅降低。 $WTI$  可表征洪水泥沙含量, 评估水稻的洪涝灾情, 而  $PVI$  与水稻产量间具有极显著的正相关关系, 是水稻产量在遥感信息上的直接表现, 因此, 可利用水稻受灾后的洪水泥沙含量 ( $WTI$ ) 与  $PVI$  (产量) 的线性方程  $PVI = -0.5018WTI + 0.3445$  来快速估测区域范围的水稻产量损失。

## 4 讨论与结论

本文利用多时相 HJ 卫星影像, 基于  $WTI$  和  $PVI$  研究分析了洪涝灾害发生后水稻作物的受灾情况以及产量减损, 并建立了水稻产量估测模型, 主要得出以下结论。

(1) 利用洪涝水体像元建立了水体线  $WL$ , 并以此定义了水体浑浊指数  $WTI$  ( $WTI = 0.5697NIR + 0.8219RED - 0.0158$ ) 和垂直植被指数  $PVI$  ( $PVI = 0.8219NIR - 0.5697RED - 0.0228$ ), 用于评估水稻灾损情况。

(2) 水体浑浊指数  $WTI$  可用于监测洪水泥沙含量。 $WTI$  值越大, 则水体泥沙含量越高, 对水稻植株的生理机能和结实率影响越大, 产量减损越严重。

(3) 垂直植被指数  $PVI$  是水稻产量的良好探针, 两者间的线性方程为  $Yield = 3324.9PVI - 184.43$ , 具有极显著的相关关系 ( $R^2 = 0.965$ ), 可利用  $PVI$  在水稻收获前对产量进行估测。

(4)  $PVI$  与  $WTI$  之间存在  $PVI = -0.5018WTI + 0.3445$  的线性关系, 该方程为水稻产损的快速估测提供了一种简单有效、切实可行的方法。

从本文初步研究成果可以看出, 洪涝灾害对水稻的影响不仅可以从水稻收获前的遥感影像进行估测, 也能够从洪涝灾害发生后及时进行估测, 这对实际生产具有一定的指导意义。但同时也发现, 与  $PVI$  和产量之间的相关性相比, 洪水水体浑浊度和水稻灾损的相关性较低, 这说明洪涝灾害对水稻的影响是个复杂的机理过程, 与水稻生育期、洪水温度、洪涝历时都有着紧密的关系, 本文的研究还只是对洪涝胁迫下水稻受灾情况和产量减损的初步探索, 所得成果还需在日后的研究中进一步的完善和充实。

## 参考文献:

- [1] Ghulam A, Li Z, Qin Q, et al. Estimating crop water stress with ETM + NIR and SWIR data[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(11): 1679 – 1695.
- [2] 刘英, 马保东, 吴立新, 等. 基于 NDVI-ST 双抛物线特征空间的冬小麦旱情遥感监测[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(5): 55 – 63.
- [3] Feng Meichen, Yang Wude, Cao Liangliang, et al. Monitoring winter wheat freeze injury using multi-temporal MODIS data[J]. *Agricultural Science in China*, 2009, 8(9): 1053 – 1062.
- [4] 张杰. 冬小麦倒伏遥感监测研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2011: 45 – 62.
- [5] 孔凡明, 蒋卫国, 李京, 等. 基于 MODIS 的 2011 年泰国洪涝受灾信息提取与分析[J]. *灾害学*, 2013, 28(2): 95 – 99.
- [6] 苏元凤, 吴宜珍, 苏明道, 等. SPOT 卫星影像应用于近岸水质推估模式建立与评估[J]. *台湾农业工程学报*, 2009, 55(2): 28 – 41.
- [7] Chen Z, Hanson J D, Curran P J The form of the relationship between suspended sediment concentration and spectral reflectance: Its implications for the use of Daedalus 1268 data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1991, 12(1): 215 – 222.
- [8] Richardson A J, Wiegand C L. Distinguishing Vegetation from Soil Background Information [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1977, 43: 1541 – 1552.
- [9] 王延颐. 植被指数与水稻长势及产量结构要素关系的研究[J]. *国土资源遥感*, 1996, 8(1): 56 – 59.
- [10] Das K K, Panda D, Sarkar R K, et al. Submergence tolerance in relation to variable floodwater conditions in rice[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2009, 66(3): 425 – 434.

## Monitoring of Disaster Situation and Yield of Rice under Flood and Waterlogging based on Multi-temporal HJ Images

Xu Peng<sup>1, 2, 3</sup>, Gu Xiaohe<sup>2, 3</sup>, Qiu He<sup>1</sup> and Meng Lumin<sup>1</sup>

(1. College of Geomatics, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China;

3. Key Laboratory of Information Technology in Agriculture Ministry of Agriculture, Beijing 100097, China)

**Abstract:** Flood disaster is an important influence factor of rice production. Effects of the 2012 Liaoning flood disaster on rice are evaluated by using multi-temporal HJ satellite image data. A water line (WL), analogous to soil line, is established by flood turbid water pixels as  $NIR = 0.6931RED + 0.0227$ , then water turbidity index (WTI) and perpendicular vegetation index (PVI) are defined based on WL to monitor the flood sediment content and rice crop yield respectively. Correlation between PVI and field yield data is analyzed, and the linear regression equation is  $Yield = 50\ 279PVI - 2804.1$ . Results show that, the higher the sediment content is, the more seriously afflicted of rice, and the lower the yield is. WTI could be used to monitor the flood sediment content, and PVI showed a highly significant correlation with rice yield as well, the effects of flood disaster on rice could be estimated not only from remote sensing images by PVI before rice harvest, but also be done after the flood disaster by WTI immediately, which has certain guiding significance for the actual production of rice after flood disaster.

**Key words:** rice; flood; water turbidity index; perpendicular vegetation index; yield estimation