

冬小麦冻害遥感监测

杨邦杰¹, 王茂新², 裴志远¹

(11 中国农业工程研究设计院; 21 中国气象科学研究院)

摘要: 冻害是冬小麦常见自然灾害之一, 进行遥感监测具有重要经济意义。过去对作物冻害的遥感监测研究不多。冻害不但与气温有关, 也与生育期有关。该文以整个山东省为样区, 收集了全省 76 个气象台站的由 1995 年 3 月 1 日至 4 月 30 日逐日最低气温、最低地面温度资料, 及此期间气象卫星 NOAA 2AVHRR 的所有晴空数据, 共 21 个时相。根据植被指数 NDV I 突变的特征, 并考虑到作物的生育期, 提出了实用的遥感冻害监测方法。这一方法可以及时监测冻害的发生与范围。

关键词: 冻害; 冬小麦; 遥感监测

中图分类号: S127

文献标识码: A

文章编号: 100226819(2002)0220136205

农情遥感监测的关键是对作物长势的监测^[5]。冻害是冬小麦严重的常见自然灾害之一, 遥感监测可以迅速估计灾害的发生与范围, 具有重要的经济意义。过去对干旱、火灾、洪涝、冰雪、沙尘暴的遥感监测进行了长期的研究, 但对作物冻害遥感监测的研究很少^[1,2,6]。本研究的目的是提出应用气象卫星数据监测冻害的方法。

1 技术路线

本项研究的技术路线如下:

1) 冻害不但与气温有关, 也与生育期有关。要分析气温、生育期与遥感图像特征的关系。

2) 以山东省为例, 根据气象部门 1990 年以来逐月、逐旬农业气象报告, 及农业部门的信息资料和调查报告等, 进行年型分类。确定 1995 年度为典型冻害年份, 主要发生在 3~4 月份, 而其它年份则分别属于不同类型, 如 1996 年度为干旱年份, 1997 年度为大丰收年, 1998 年与 1999 年度为正常年份。

3) 以整个山东省为样区, 收集了全省 76 个气象台站的由 1995 年 3 月 1 日至 4 月 30 日逐日最低气温、最低地面温度资料, 及此期间气象卫星 NOAA 2AVHRR 的所有晴空数据, 共 21 个时相。对比地面观测, 考虑到冬小麦生育期的特点, 根据植被指数 NDV I 特征提取, 提出冻害遥感监测的方法。

2 气象数据预处理

采用的地面站点如表 1 所示。气象部门提供的

资料通常以全球统一的气象台站区站号为序, 每一个台站有一个唯一的区站号, 这样便于信息交流, 但并不按省市县行政区排序。本项研究中, 为便于统计各市县的天气要素, 统一按行政区划代码排序。

与冬小麦冻害最直接相关的气象要素是最低地面温度。最低气温是任何一个气象站都进行观测的要素, 最低地面温度并不是每一个气象站都有的资料。但最低气温、最低地面温度相关极为密切, 变化趋势一致, 为了资料获取方便和实用, 本文使用最低气温数据, 并推算相应的地温。1995 年 3~4 月山东全省 76 个气象台站平均逐日最低气温、最低地面温度变化如图 1 所示。

最低地面温度通常比最低气温偏低 3 左右。根据统计分析, 最低地面温度的计算公式如下

$$t_s = 11042t_a - 310 \quad (1)$$

式中 t_a ——最低气温; t_s ——最低地面温度。

根据农业和气象部门多年的信息资料和调查报告, 冬小麦冻害发生在隆冬季节的并不很多, 因为冬小麦在越冬季节抗寒性很强, 而往往发生在返青特别是在拔节以后的 3 月至 4 月中旬, 抗寒性降低。如图 1 所示, 春季冷空气活动频繁, 天气“三寒四暖”, 降温升温都很快, 周期短, 起伏大。因此, 要用遥感图像有效地监测冬小麦冻害, 其数据的时相应尽可能多, 间隔的时间要很短, 尽可能利用局部晴空数据。

根据地面调查, 1995 年山东冬小麦的冻害主要发生在鲁南、鲁西南的地区。这与全国冬麦区冻害多年统计结果一致, 即在晋冀鲁豫苏皖交界处发生冻害的机率较高。因为这里是春季冷暖空气交汇区, 暖空气控制时升温快, 发育期早, 并由于比周围地势低, 冷空气容易堆积, 气温有时比北部还低, 且滞留时间长。由此区域向南, 冷空气已减弱, 再往北则冬

收稿日期: 2001209225 修订日期: 20012122210

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39870444)

作者简介: 杨邦杰, 博士, 博士生导师, 研究员, 副院长, 北京市朝阳区麦子店街 41 号 中国农业工程研究设计院, 100026

小麦发育期较迟, 当冷空气频繁活动并较强时, 抗寒性尚未显著降低。

表 1 选用的气象台站及行政区划代码

Table 1 Meteorological stations in Shangdong Province of Eastern China and their administrative district dividing codes

| 区划码 | 气象台站 | 区划码 | 气象台站 | 区划码 | 气象台站 | 区划码 | 气象台站 |
|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| 370101 | 济南 | 370722 | 安丘 | 371082 | 石岛 | 372502 | 临清 |
| 370124 | 平阴 | 370724 | 临朐 | 371083 | 乳山 | 372522 | 阳谷 |
| 370181 | 章丘 | 370727 | 高密 | 371101 | 日照 | 372523 | 莘县 |
| 370281 | 胶州 | 370781 | 青州 | 371121 | 五莲 | 372524 | 茌平 |
| 370282 | 即墨 | 370782 | 诸城 | 371122 | 莒县 | 372526 | 冠县 |
| 370283 | 平度 | 370783 | 寿光 | 371201 | 莱芜 | 372527 | 高唐 |
| 370284 | 胶南 | 370801 | 济宁 | 372301 | 滨州 | 372801 | 临沂 |
| 370301 | 淄川 | 370826 | 微山 | 372321 | 惠民 | 372822 | 郯城 |
| 370323 | 沂源 | 370828 | 金乡 | 372324 | 无棣 | 372824 | 莒南 |
| 370401 | 枣庄 | 370831 | 泗水 | 372325 | 沾化 | 372827 | 沂水 |
| 370481 | 滕州 | 370832 | 梁山 | 372328 | 博兴 | 372829 | 蒙阴 |
| 370501 | 东营 | 370882 | 兖州 | 372330 | 邹平 | 372830 | 平邑 |
| 370523 | 广饶 | 370883 | 邹县 | 372401 | 德州 | 372831 | 费县 |
| 370628 | 栖霞 | 370901 | 泰安 | 372402 | 乐陵 | 372901 | 菏泽 |
| 370629 | 海阳 | 370921 | 宁阳 | 372403 | 禹城 | 372922 | 曹县 |
| 370681 | 龙口 | 370923 | 东平 | 372422 | 平原 | 372925 | 单县 |
| 370682 | 莱阳 | 370982 | 新泰 | 372428 | 临邑 | 372926 | 巨野 |
| 370683 | 莱州 | 370983 | 肥城 | 372431 | 宁津 | 372928 | 郓城 |
| 370701 | 潍坊 | 371081 | 文登 | 372501 | 聊城 | 372930 | 东明 |

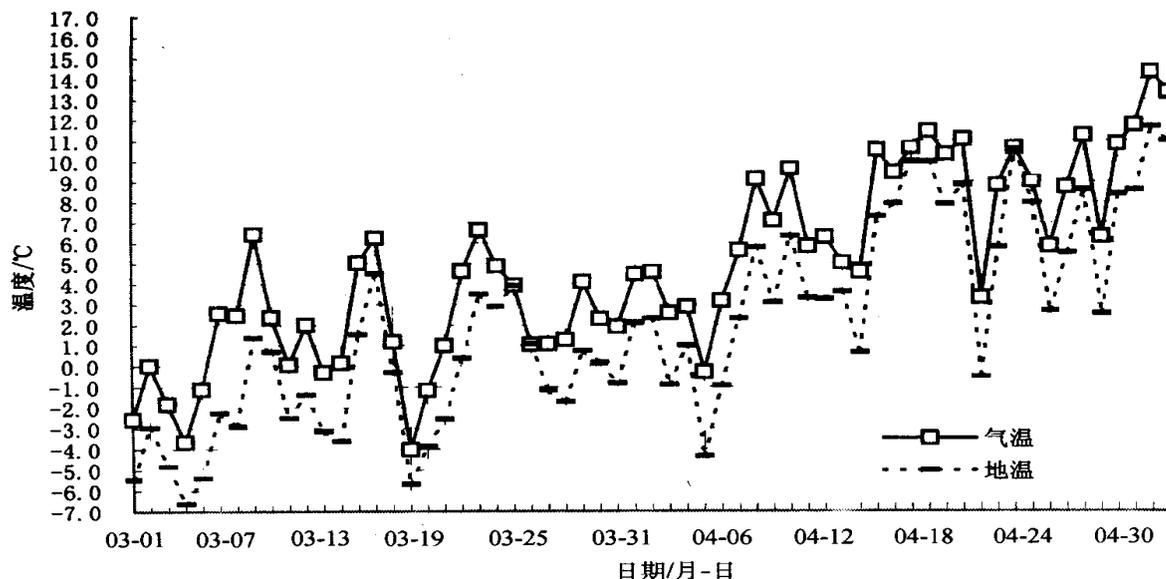


图 1 1995 年 3~ 4 月山东全省平均逐日最低气温、最低地面温度变化图

Fig 1 Daily average minimum air temperatures and soil surface temperatures in Shandong Province from March to April in 1995

图 2 列出了鲁南、鲁西南 4 台站的最低气温变化。1995 年 3~ 4 月鲁南、鲁西南逐日最低气温比山东全省平均逐日最低气温还低一些, 有的甚至接近

全省平均逐日最低地温。在此期间, 主要有 5 次冷空气过程, 最低气温分别出现在 3 月 4 日、3 月 10 日、3 月 17 日、4 月 3 日及 4 月 19 日。其中, 3 月上中旬

的 3 次降温过程, 冬小麦尚处在返青期, 抗寒性较强, 调查资料表明, 基本未受冻害, 在 4 月初冬小麦已处在拔节后期, 抗寒性显著减弱, 导致冻害发生。

而 4 月中旬冷空气的最低气温已在 3℃ 以上, 对小麦生长基本无影响。

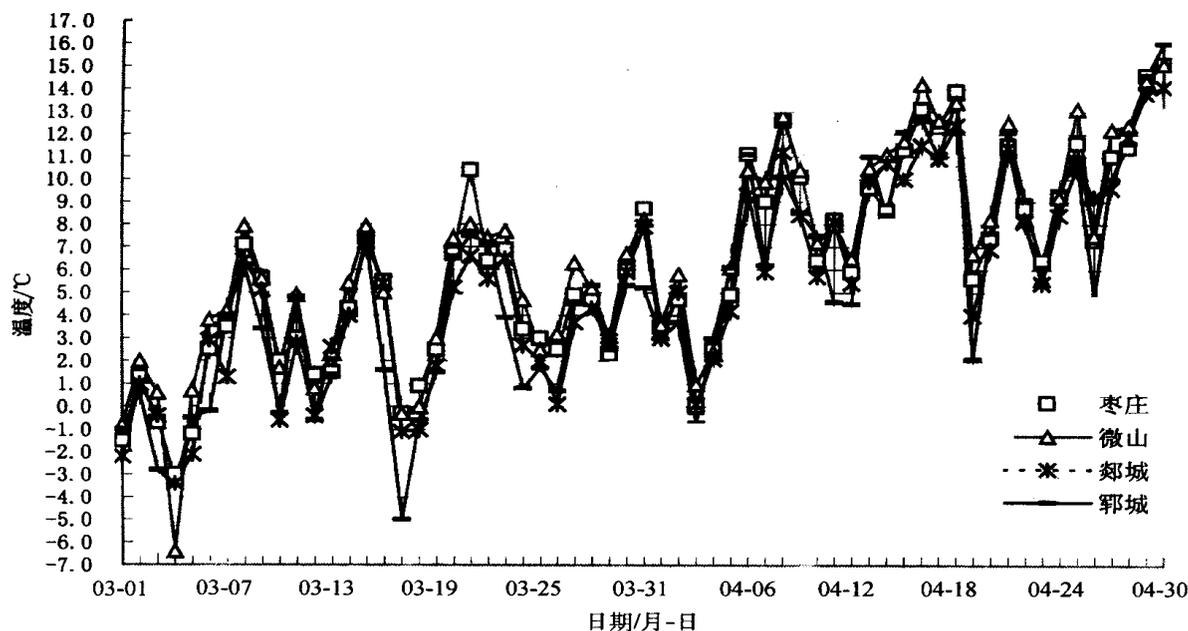


图 2 1995 年 3~4 月鲁南、鲁西南 4 台站逐日最低气温变化

Fig 2 Daily lowest air temperatures of 4 stations in south and southwest Shandong Province from March to April in 1995

3 遥感数据预处理

目前大面积遥感监测冻害对作物长势的影响, 采用高时间分辨率的气象卫星数据 NOAA 2 AVHRR, 通常使用归一化差值植被指数 NDVI。

首先对各时相进行了定位、定标的 NOAA 2 AVHRR 资料, 在 x, y 方向分别进行双线性重采样, 形成 1~5 波段 0101 纬度 \times 0101 经度的等经纬网格^[3]。

$$f(x) = g_1 + \frac{g_2 - g_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) \quad (2)$$

式中 g_1, g_2 ——分别与 x_1, x_2 坐标点对应的 NOAA 2 AVHRR 资料的原始数据, $f(x)$ ——在 x 方向重采样点的输出图像值。

$$f(y) = g_1 + \frac{g_2 - g_1}{y_2 - y_1}(y - y_1) \quad (3)$$

式(3)是在 y 方向的重采样公式。

卫星图像重采样以后, 虽然消除了扭曲, 但沿纬度方向夸张变形, 需进行地图投影变换。本研究中采用了亚尔勃斯等面积投影变换^[4]。

在图像重采样和地图投影变换的基础上计算 NDVI, 采用

$$N_{DVI} = \text{int} \left(\frac{b_2 - b_1}{b_2 + b_1} \times 100 \right) \% \quad (4)$$

式中 b_1, b_2 ——NOAA 2 AVHRR 第 1, 2 通道的反射率。

归一化的 NDVI 受大气散射、卫星的扫描角度的影响很大, 在不同时相间缺乏比较性。相邻两天的 NDVI, 由于大气状况的不同而有很大差异, 特别由于 NOAA 卫星并非完全与太阳同步, 轨道每天大约向东飘移 5 个经度左右, 约 9 d 为一个准回归周期, 并且, NOAA 2 AVHRR 的扫描角度很大, 地物经常处于卫星的不同扫描角内, 导致 NDVI 有很大起伏, 其程度往往超过植被本身在短期内的变化。因此, 能否解决 NDVI 的进一步归一化问题, 将是用 NOAA 图像有效监测冬小麦冻害的关键。

鉴于海面的离水辐射小于陆地的反射辐射一个数量级以上, 且相对稳定, 即使在发生赤潮的极端情况下, 由于水体几乎吸收全部的近红外辐射, 其离水辐射仍比陆地小得多, 所以, 可用山东附近海面反射率的大小来衡量大气的影 响, 并设法加以消除。

在研究期间, 山东海面上的不同区域常有云的干扰, 而且主要河流入海口处也有泥沙冲积, 故在远离海岸处, 选取大量具有适当面积的海区作为子样区。面积选的过小, 容易受个别噪声数据的干扰, 面积过大又难以排除云的影响, 在实际计算时, 共选取了 32 个 0102 纬度 \times 0102 经度的海区作为子样区。

(图 3)。分别求出各子样区平均值, 以其最小的平均值代表当天的情况, 然后在历次的冻害图像中, 再选取最小值, 作为基本无大气散射影响的标准时次, 以此为基础, 对其他时相的数据进行修正, 以消除大气及卫星扫描角度等的影响。

进行上述的进一步归一化 NDVI 后, 应用 GIS 嵌套上县级行政边界等, 用遥感图像处理软件 ER Mapper 求出山东全省 76 县 21 个时相的平均植被指数。在图 4 选列出了 1995 年 3~ 4 月鲁南、鲁西南 4 个市县植被指数变化图。

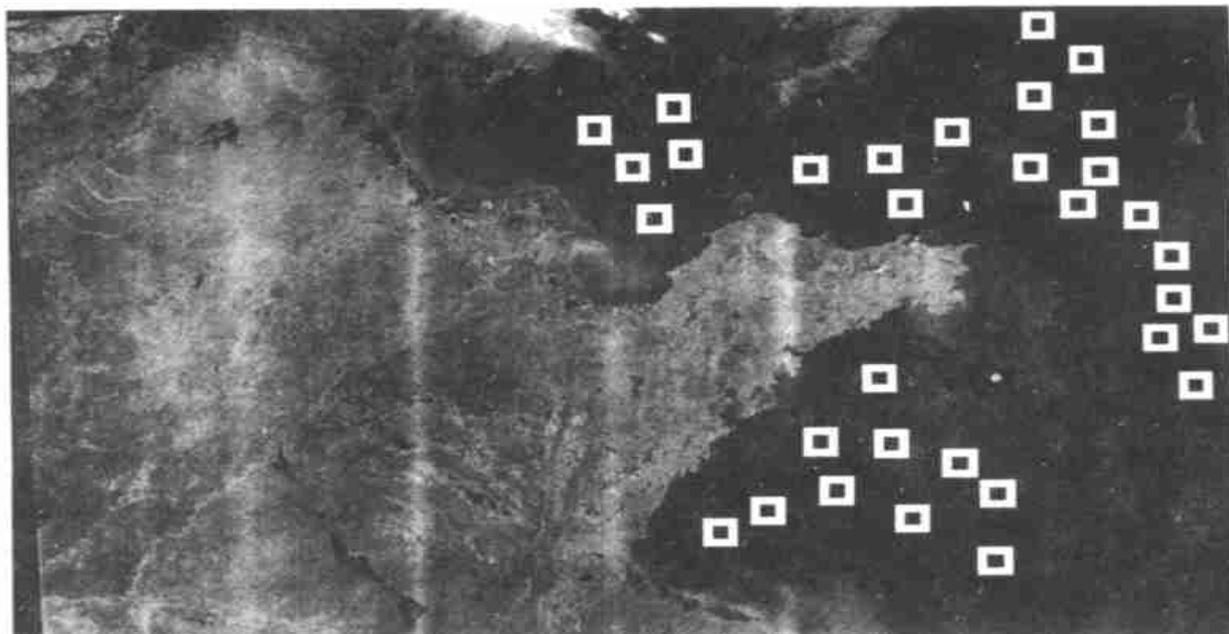


图 3 0102 纬度 × 0102 经度的山东海面子样区分布图

Fig 3 0102 × 0102 latitude × longitude grade sampling sites on the sea surface near Shandong Province

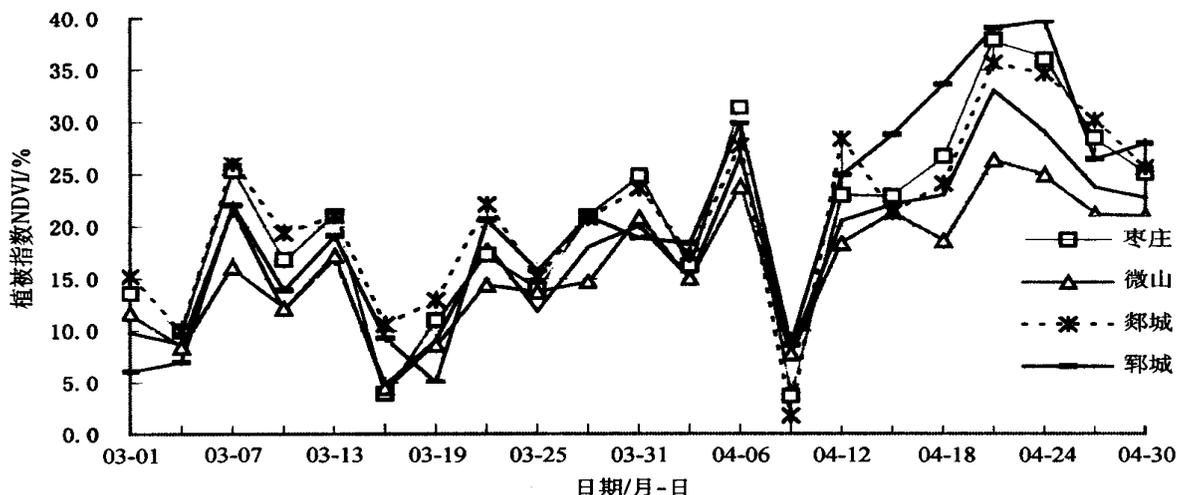


图 4 1995 年 3~ 4 月鲁南、鲁西南 4 台站植被指数 NDVI 变化图

Fig 4 NDVI of 4 county stations in the south and southwest Shandong Province from March to April in 1995

4 冻害监测

对比图 2、图 4 可以明显看出, 在春季气温总体趋势的上升, 植被指数 NDVI 也随之上升, 而 1995 年 3~ 4 月的 5 次强冷空气降温过程, 在经过上述订正的植被指数 NDVI 变化曲线上均有明显反映,

NDVI 的最低值分别出现在 3 月 4 日、3 月 12 日、3 月 18 日、4 月 4 日、4 月 20 日, 即通常比最低气温的极值迟 1~ 2 d。特别是 4 月初的那次冷空气, 虽然最低气温只不过 - 1 (最低地温 - 5) 左右, 远不及 3 月上中旬的冷空气强, 但在降温前气温已很高, 如前所述, 冬小麦发育期早已通过拔节期, 抗寒性降

低, 不仅植被指数下降的幅度远大于 3 月上中旬, 其最低值也低于前几次冷空气, 如郟城的植被指数 NDV I 降至接近零, NDV I 的突变是冻害发生的特征。

以上说明, 在对 NOAA 数据进行一系列订正处理后, 用其图像监测冬小麦冻害是有效可行的。这种植被指数变化不仅与冷暖空气的交替消长有关, 更与冷空气出现的季节及冬小麦的生育期的抗寒性有关。当发生冻害时, 植被指数下降幅度极大, 最低值降至 3% 以下。此时的植被指数已不是在反映冬小麦生物量的大小, 而是反映作物的活性强弱。

5 结论与讨论

1) 冬小麦在春季遭受冻害后, 植被指数急剧下降, 这主要是冬小麦活性降低所致。由于 -1 左右的低温, 冬小麦的根、叶不致冻死, 生物量并未明显减少, 随后迅速回复, NDV I 已与未受冻害地区无差异, 地面观测与遥感都很难判别。但极不耐寒的花芽分化受到影响, 致使成熟时出现抽穗而无籽的“哑穗”、“白穗”, 严重影响最终产量。对于这种冻害进行监测必须使用实时或准实时数据, 要在冬小麦回复活性前及时获取并分析图像。在冷空气侵入前后往往云量较多, 给遥感监测带来困难。对于略有些云或从云隙中地物清楚的 NOAA 图像也应尽量使用, 以不错过实时监测的机会。

2) 春季冻害与隆冬季节因严寒造成的冻害本质不同, 严寒使冬小麦根部冻死, 来年春季返青受到影响, 因生长量小, 致使植被指数在较长的一段时期偏低, 易于用遥感监测, 对监测的实时性要求不强。

3) 应用气象卫星资料配合地面观测, 根据 NDV I 突变的特征与冬小麦生育期的特点, 可以迅速估计冻害的发生与范围。这是地面监测难以达到的。

[参 考 文 献]

- [1] 董超华 气象卫星业务产品实用手册[M] 北京: 气象出版社, 1999.
- [2] 裴志远, 杨邦杰 应用 NOAA 卫星图像进行大范围洪涝灾害监测研究[J] 农业工程学报, 1999, 15(4): 203~206
- [3] 王茂新, 沙奕卓, 于 莉 关于 NOAA AVHRR 图像重采样及投影方法的研究[J] 中国图像图形学报, 1997, 2(1): 38~42
- [4] 王茂新, 裴志远, 杨邦杰 NOAA 与 TM 图像配准方法的研究[J] 农业工程学报, 1999, 15(2): 181~184
- [5] 杨邦杰, 裴志远 作物长势的定义与遥感监测[J] 农业工程学报, 1999, 15(3): 214~218
- [6] Yang Bangjie, Pei Zhiyuan, Zhang Songling RS2GIS2 GPS based agricultural condition monitoring systems at a national scale[J] 农业工程学院, 2001, 17(1): 154~159

Monitoring Freeze Injury to Winter Wheat Using Remote Sensing

Yang Bangjie¹, Wang Maixin², Pei Zhiyuan¹

(1) Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100026, China; (2) Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081, China)

Abstract: Freeze injury is a common disaster for winter wheat, and monitoring freeze injury using remote sensing is of great economic significance, but little research work about it has been done in China. Freeze injury is related to crop growth stage and low air temperature in spring. Daily meteorological and agricultural observation data including daily lowest air temperatures and soil surface temperatures from 76 stations from March 1st to April 30th in 1995 and NOAA AVHRR images in the eastern China's Shandong Province were analyzed and an applied freeze injury monitoring method was developed. Freeze injury happens when NDV I suddenly reduces at cold air temperature and winter wheat is at a susceptible growth stage in spring.

Key words: freeze injury; winter wheat; monitoring by remote sensing