

文章编号: 1007-4619 (2003)01-0014-05

全国干旱遥感监测运行系统的研制

冯 强, 田国良, 柳钦火

(中国科学院 遥感应用研究所, 遥感信息科学重点实验室, 北京 100101)

摘 要: 该研究利用 1981—1994 年的 NOAA AVHRR 8 km 分辨率的 *NDVI* 资料, 以及对应时段全国 102 个固定农业观测站的 20 cm 深的土壤湿度资料, 建立了植被状态指数 (*VCI*) 与土壤湿度之间的统计模型, 由土壤湿度旱情等级标准来换算出每旬用 *VCI* 进行干旱监测的旱情等级标准, 以确定出全国的旬旱情分布状况。在此工作的基础上建成了“全国干旱遥感监测运行系统”, 该运行系统使遥感手段监测全国干旱成为可能, 将能提供每年 3—9 月每旬全国的干旱监测情况, 为国家有关决策部门提供干旱减灾的决策依据。

关键词: 干旱; 遥感监测; *NDVI*; *VCI*

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引 言

近几十年来频繁发生的干旱是世界范围的重大灾害性气候问题, 已直接和间接地阻碍了社会经济发展并且威胁着人类的生存。全球有 1/2 的土地面积为干旱、半干旱地区, 干旱的影响几乎遍及全世界, 且以季风区和干旱区最为突出。举世瞩目的非洲萨赫勒和苏丹地区的特大干旱, 从 20 世纪 70 年代初一直延续到 80 年代中期, 22 个国家的干旱可谓之全球最大的灾害。

中国也是一个旱灾频繁的国家, 又是一个农业大国, 农业的兴衰对国民经济的影响十分巨大。而在中国, 旱灾较其它自然灾害影响的范围广、历时长, 对农业生产影响最大。每年遭受各种自然灾害的农田面积和粮食作物减产损失中, 旱灾要占一半以上^[1-3]。严重的旱灾还影响工业生产、城乡供水、人民生活和生态环境, 给国民经济造成重大损失, 尤其是经常受旱的北方地区, 由于水资源紧缺局面日益突出, 已成了农业生产的重要制约因素之一, 增加了抗旱难度, 加重了干旱威胁。对干旱问题展开广泛而深入的研究, 尤其是开展旱灾的预测与监测工作, 为政府部门决策提供科学依据, 这对于干旱减灾工作是非常重要的。

2 干旱的遥感监测

干旱的监测方法通常有两种: 一是台站网络的监测, 二是遥感监测。实际工作中, 应该把两种方法结合在一起考虑, 相辅相成, 提高旱灾监测的准确性、及时性。利用卫星遥感技术可以获得大面积的地表特征信息, 利用这些特征信息监测作物长势、土壤水分状况、水分分布等等。进一步结合地表观测资料可以对干旱进行监测与预警, 目前, 国内外开展了大量的研究工作, 取得了丰硕的成果。

Liu 和 Kogan 提出了基于 *NDVI* 的植被状态指数 (*VCI*)^[4-6], 进行旱情监测。但是, 该方法是利用多年的最大和最小的 *NDVI* 值, 没考虑月和旬的变化。陈维英等利用距平植被指数方法监测干旱^[7]。McVicar, 田国良^[8-10]等曾用地表能量平衡原理和土壤表现热惯量方法对中国黄淮海地区的干旱状况进行了遥感监测试验, 开创了在中国进行大面积旱灾监测的先河, 给实现全国范围的旱灾监测带来了希望。

为了实现对全国干旱监测, 可使用由 NOAA AVHRR 资料计算简化的旱灾指数 *VCI*, 各指数的计算公式为:

$$VCI = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min})$$

收稿日期: 2001-05-08; 修订日期: 2001-08-30

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (G2000779), 中国科学院知识创新工程项目资助。

作者简介: 冯强(1966—), 男, 博士后。1998 年在中国科学院大气物理研究所获理学博士学位。一直从事水旱灾害的预测与评估及数值模拟研究, 现从事干旱的遥感监测研究。主要研究领域为资料的四维同化与遥感反演。已发表论文 11 篇。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

以上式中 $NDVI$, $NDVI_{max}$, $NDVI_{min}$ 分别为平滑后的每月或每旬的 $NDVI$ 值、多年的最大值和最小值。本工作就是试图利用 VCI (Vegetation Condition Index) 对全国干旱监测进行试验研究, 以期建立实时运行的全国干旱监测系统。

$NDVI$ 的计算式为:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR}(CH_2) - \rho_{red}(CH_1)}{\rho_{NIR}(CH_2) + \rho_{red}(CH_1)}$$

式中 ρ_{NIR} 、 ρ_{red} 分别为 AVHRR 的第 2 通道(近红外: 0.725—1.10 μm) 和第 1 通道(红光: 0.58—0.68 μm) 的反射率, 植被由于活性叶片的叶肉组织对近红外波段具有较高的反射率, 而由于叶绿素的吸收作用在红光波段具有低的反射率, 故 $NDVI$ 大; 对于岩石、耕地而言, 在这两个波段的反射率相近, $NDVI$ 值接近于 0; 云、水体和积雪在红光波段的反射率比近红外波段大得多, 故 $NDVI < 0$, 所以 $NDVI$ 被广泛应用于反映植被覆盖和作物长势的绿度指数, 陈维英、肖乾广等的研究工作表明^[7], 小麦从播种、越冬到返青、抽穗这段时间内, 叶绿素为快速增长阶段, $NDVI$ 也是同步快速增长的趋势; 小麦在抽穗以后叶绿素呈缓慢减低的趋势, 此时 $NDVI$ 也是同步缓慢减低的趋势; 当小麦从麦黄到麦熟这个阶段, 叶绿素又呈现快速下降的趋势, $NDVI$ 也呈快速下降的趋势。所以 $NDVI$ 可以反映出作物长势和叶绿素含量变化。由于土壤水分的多寡对作物的生长有直接影响, 在农作物的生长期, $NDVI$ 值的相对高低能间接地反映出大面积作物的旱情。植被状态指数 VCI (Vegetation Condition Index) 是 Kogan 提出的^[4] 基于卫星遥感的旱灾指数。Kogan, Liu 提出^[5, 9], VCI 可以反映出 $NDVI$ 因天气气候变化的影响而产生的变化, 消除或减弱地理位置或生态系统、土壤条件的不同而对 $NDVI$ 的影响, 表达出大范围干旱状况, 尤其适合于制作低纬 ($< 50^\circ$) 地区的干旱分布图。由于干旱的最终发生是因水分的缺乏而引起的。作物生长状况与土壤水分的条件有关, 土壤过湿与过干对作物的生长都不利^[11]。而且, 土壤中持有的水分并不都是对作物有效的, 土壤中有效含水量的下限为田间持水量的 1/2—1/3, 上限为土壤的田间持水量, 在土壤有效水范围内, 愈近田间持水量一端的水分愈易被作物吸收, 但并非越湿越好, 也因作物生长期、作物种类等不同而有一定的差异, 一般而言, 作物适宜的土壤湿度下限均在田间持水量的 20% 左右, 相当于作物毛管水破裂湿度。田间持水量、毛管水破裂湿度和萎蔫湿度, 成为土壤有效水分级的 3 个基本

常数。这样, 土壤中含水量低于萎蔫湿度就表示比较旱, 在毛管水破裂湿度附近为正常(不旱), 而在田间持水量附近则表示土壤含水充足, 较湿润。依此理由, 中国(气象局农业气候中心) 用土壤湿度指数 SHI ($SHI = \text{湿度} / \text{田间持水量}$) 划分农业干旱的等级(即土壤墒情指标)(庄立伟等)^[12], 即 20 cm 深土壤相对湿度 (SHI) 指数 $< 40\%$ 为重旱, $< 50\%$ 为中旱, $< 60\%$ 为轻旱, $60\% - 80\%$ 为正常, $> 80\%$ 为湿润。显然这种标准是有生物物理基础的。虽然 VCI 在作物生长期是表达旱灾状态的一个可信的指数, 但是旱灾标准不好定, 因为作物的 $NDVI$ 随着时间在变化, VCI 也随着时间会有所变化。作物的生长状况可以间接地反映出土壤湿度的状况, 故可以建立 VCI 与 SHI 之间的统计关系模型, 通过 SHI 旱情标准去算得每月(旬)的 VCI 表达旱情严重程度的分级标准。

3 全国干旱遥感监测模型的建立

为开展本研究工作, 收集了 1981—1994 年连续 504 旬由 NOAA AVHRR 第 1、2 通道计算得到的 $NDVI$ 时间序列数据, 空间范围覆盖全国, 空间分辨率为 8 km。 $NDVI$ 数据图像格式为 PIX 格式, 已经经过了几何校正和辐射纠正。收集了 1980—1994 年的全国 102 个固定农气观测站的 20 cm 土壤湿度资料和这些站对应的田间持水量资料。

根据全国 102 个固定农气观测站的经纬度位置从计算得到历史 VCI 图像数据集中取得每年每旬对应位置的 102 个 VCI 值, 再依据时间系列土壤湿度站资料情况, 集合 VCI 值和湿度资料按旬建成全国时空数据库, 统计建模。另外 VCI 由 $NDVI$ 计算时已消除了地理因素和生态因素分布不同的影响, 加之 SHI 为计算得来的湿度指数, 也已消除了地域因素和土壤成分因素的影响, 使建立旬 VCI 和 SHI 的时空数据库成为可能, 也是合理的, 这样做也可以大大增加统计分析的样本数。

利用上面建好的时空数据集 ($SHI-VCI$) 进行统计分析建模, 建立 SHI 与 VCI 之间的统计关系模型, 再利用 SHI 的旱情等级分级的国家标准, 换算得到各旬的 VCI 干旱等级分级标准用于干旱的遥感监测。考虑到中国农作物的耕种期, 干旱监测时段限定在 3—9 月。

依 SHI 旱情分级标准算得各旬旱情监测的 VCI 值分级标准, 这种建模分级的方法避免了人为主观

分级所带来的不准确性。

经统计检验, 以上 3—9 月共 21 旬的统计模型都通过了置信水平 $\alpha=0.05$ 的 T 检验和 F 检验, 模型为广义线性的。具体的回归模型、参考旱情等级标准及具体检验过程可参考冯强的博士后出站报告^[13]。

4 全国干旱的遥感监测运行系统

前文讨论了有关旱情的指标体系, 干旱监测遥感模型的建立与干旱的分级标准, 为全国的干旱遥感监测打下了易于在实际工作中操作的理论基础, 然而要实现真正意义上的干旱监测工作, 还必须编制相关软件, 建立起全国干旱的遥感监测运行系统。图像处理软件选用加拿大 PCI Enterprises 公司的 PCI。作者结合旱情监测模型, 编制了利用 NOAA AVHRR 资料进行全国旱情遥感监测运行系统。

4.1 全国旱情遥感监测运行系统软件包的构成

本系统是用 VCI(植被生长状况指数) 对全国农业耕作区域进行旱情监测的, 它包括有全国全年 12 个月 36 旬的 NDVI 最大值和最小值图像数据库, 大小为 3.5GB, 另有 1:10 万的全国耕地分布图像文件和中国国土多边形栅格图像数据、主程序包以及 22 个子程序。用于每年 3—9 月的全国旱情的遥感动态监测或研究。操作简便。运行平台可依 PCI 安装平台而定。

4.2 全国旱情遥感监测运行系统的结构与工作流程

该系统的基本结构与工作流程图如图 1。

由图 1 可见, 该运行系统包括从数据输入, 到结果输出的 6 个主要模块。该运行系统不包括虚框外的“数据前处理”和“数据结果后处理”模块, 这两部分功能由各种专业软件模块来完成。

4.3 干旱遥感监测运行系统对输入数据(NDVI 图像数据)的要求

干旱遥感监测运行系统对输入数据(NDVI 图像数据)的要求主要有:

(1) 用来计算 NDVI 的 NOAA AVHRR 的第 1, 2 通道数据(反射率) 必须经过辐射校正, 否则 NDVI 值会偏低, 从而会影响旱灾的监测结果。

(2) 输入数据为全国范围的旬 NDVI 值(*.pix 格式) 旬 NDVI 图中每一个像元是该旬时间系列中的最

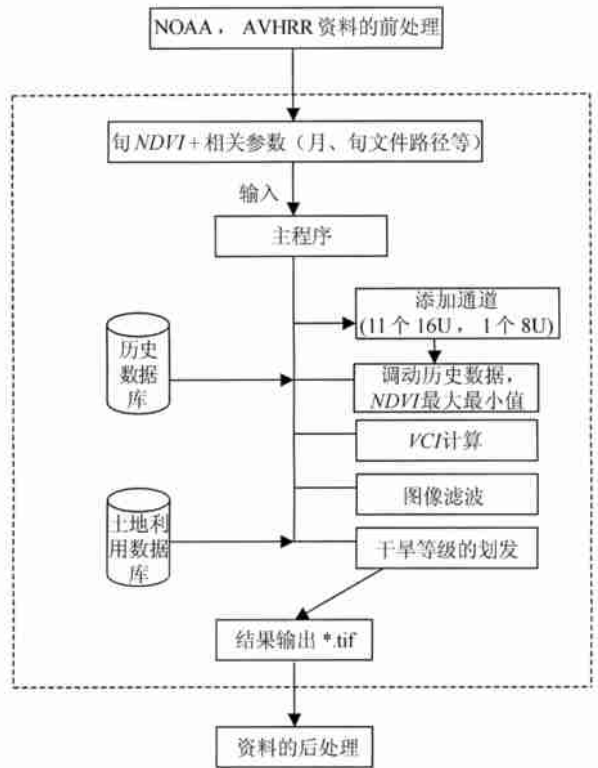


图 1 全国干旱遥感监测运行系统流程图

Fig. 1 The flow-chart of operational system for drought monitoring using remote sensing in China

大值。也就是假设全国的旬 NDVI 值已经计算出来, 并已切割为中国区域范围内的 NDVI 图像文件(*.pix)。

(3) NDVI 图像文件(*.pix) 空间分辨率 1.1 km。图像的投影方式为 Albers Conical Equal Area, 地球参数为 Normal Sphere(ACEA E019), 图像文件的大小为: 5300×4800; 左下角点经纬度为 6000000.000E, 1200000.000N。

(4) 要求运行系统将要处理对象文件(某旬 NDVI) 为 16 位单通道数据。

4.4 干旱遥感监测运行系统资料的前处理与后处理

4.4.1 资料的前处理

这里要交待一下“数据前处理”模块的流程, 因它有比一般 NOAA AVHRR 数据处理的特殊要求。它应包括以下两个方面的内容: 每日的 NDVI 的计算和每旬 NDVI 的计算。

(1) 每日的 NDVI 的计算流程。计算流程图如图 2。

(2) 每旬的 NDVI 计算。在计算得每日的绿度图后, 再求取一旬中所有绿度图相应的最大值作为该旬的 NDVI(绿度)。这样做可以清除云的影响, 最

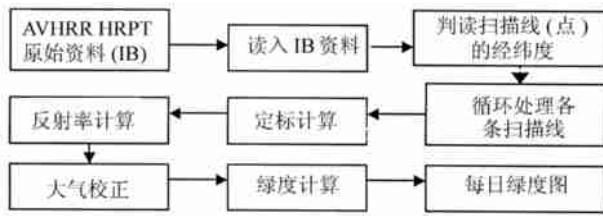


图2 每日 NDVI 的计算流程

Fig. 2 NDVI computation flow-chart

大限度地获取该旬地面植被准确的生长状况, 以利于干旱监测的准确有效性。

4.4.2 数据的后处理

至于“数据的后处理”, 则比较容易了。也包括两个部分的工作。

(1) 旱情的分级表达。该系统运行输出的结果为“DR1 ***. tif”文件中已含有旱情等级划分的属性值(0—8), “0”为背景值, “1”为非耕地, “2”为无数据区耕地(因为有时接收数据不全), “3”为重旱, “4”为中旱, “5”为轻旱, “6”为正常, “7”为湿润, “8”为无数据区。用户可在各种图像软件中对结果进行处理, 以不同颜色代表不同属性, 再加上图题即可。

(2) 各省、区受旱面积的统计。对各省、区受不同灾情程度的像元进行统计, 依像元分辨率大小计算出不同等级旱情的受旱面积。

5 干旱监测的遥感图像

利用模型所得出的 VCI 旱情分级标准, 对 VCI 图像进行密度分割, 将旱情分为“重旱、中旱、轻旱、正常、湿润”5 个等级, 得到 1981—1994 年共 14 年有资料旬的历史旱情遥感图像集^[13]。

从图版 I 图 3 中可以了解到, 1989 年 6 月下旬和 8 月下旬中国东北、华北、山东等地发生了严重干旱, 南方春旱、伏旱也明显。经查历史旱情资料, 该年上述地区的确发生了严重干旱, 其中黑、吉、辽、鲁最为严重; 黄淮地区、广西等地的伏旱也很严重。

从图版 I 图 4 中可以看到, 2000 年 4 月中旬和 5 月中旬中国由北到南的广大地区发生了严重春旱。东北、华北、西北、江淮地区尤甚。经查该年旱情资料, 该年上述地区的确发生了严重春旱, 其中华北北部、西北大部、东北地区旱情最为严重; 江苏、安徽、山西、甘肃、宁夏、山东、河北等地夏粮减产幅度较大, 有些省份超过了 10%, 东北的吉林、辽宁等省减产幅度达到了 20%。

图版 I 图 5、图 6 为 1989、2000 年全年全国的旱灾损失相对大小分布图, 将其与图版 I 图 3、图 4 比较, 发现主要干旱分布大体差不多, 旱灾损失相对大小分布是每省区只有一个值, 得到的结果比较粗略, 故两种图相互印证比较困难, 这也在预料之中。由此看来, 本运行系统所得的结果有较好的参考价值, 可用于全国干旱监测。

6 结论与讨论

将 VCI 与土壤湿度联系起来。因为干旱主要反映水分的缺乏对作物生长状况的影响, VCI 与土壤湿度指数 SHI ($SHI = \text{土壤湿度} / \text{田间持水量}$) 相关性较好, 而且物理意义明确, 故可由 SHI 指数旱情等级标准换算得 VCI 旱情等级标准, 可以避免人为划分旱情等级的不准确性。该运行系统用于全国 3—9 月的旬干旱监测, 方法比较简单, 在实际工作中易于操作, 使利用遥感手段监测全国干旱成为可能。该运行系统一旦投入使用, 将促使全国范围的干旱监测工作开展起来, 有利于中国农业的抗旱救灾工作, 并为政府的减灾工作提供科学的依据。

由于 VCI 干旱指数在植被生长期可信度较高, 但在植被的非生长期(如冬天)可信性降低, 这时便不能很好地反映农作物的干旱情况, 故本干旱遥感监测运行系统目前只能对 3—9 月的全国干旱进行监测, 若要实现全年四季的旱情监测, 则必须结合其它资料去作进一步的分析研究工作。

由于一些干旱发生在植被的非生长季节, 此时 VCI 指数的可信度降低, 这时可利用 NOAA AVHRR CH4 和 CH5 数据获取的 BT(亮温)值, 依公式 $TCI = (T - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min})$ (其中 T, T_{\max}, T_{\min} 为旬 BT 值、BT 最大值、BT 最小值) 计算得 TCI 指数, 这时 TCI 指数比 VCI 指数更可信。若把 TCI 和 VCI 组合成一个指数 VTCI, 使之能在所有季节使用, $VTCI = \alpha \cdot TCI + \beta \cdot VCI$, α, β 为 VTCI 的权重系数, 与植被和季节有关。将是今后深入研究的方向。

参考文献 (References)

- [1] Li Kerang, Lin Xianchao. Drought Disaster in China [A], Natural Disaster in China [C]. Academic Books and Periodicals Press, 1993. [李克让, 林贤超. 中国干旱灾害 [A], 中国自然灾害 [C]. 北京: 学术书刊出版社, 1993.]
- [2] Ye Duzhen, Zeng Qingcun. The Deterioration of Subsistence Environment in China—A Kind of Chronic Natural Disaster Involved in Human Activities [A]. Analyses of Natural Disaster in China and Its

- Countemeasures [C] . Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1990. [叶笃正, 曾庆存等. 关于我国的生存环境的恶化——一种包含人为因素的慢性自然灾害 [A] . 中国自然灾害的灾情分析与减灾对策 [C] . 武汉: 湖北科学技术出版社, 1990.]
- [3] Tao Shiyun. The Meteorological Disaster in China [A] . Analyses of Natural Disaster in China and Its Countemeasures [C] . Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1990. [陶诗言. 中国的气象灾害 [A] . 中国自然灾害的灾情分析与减灾对策 [C] . 武汉: 湖北科学技术出版社, 1990.]
- [4] Kogon F N. Remote Sensing of Weather Impacts on Vegetation in Nonhomogeneous Area [J] . *Int. J. of Remote Sensing*, 1990, **11**, 1405—1420
- [5] Kogon FN. Droughts of the Late 1980s in the United States AS Derived from NOAA Polar-orbiting Satellite Data [J] . *Bull Am Meteor. Soc.*, 1995, **76**: 655—668.
- [6] Liu W T, Kogon. Monitoring Regional Drought Using the Vegetation Condition Index [J] . *Int J. of Remote Sensing*, 1996, **16**: 1327—1340.
- [7] Chen Weiyang, Xiao Qianguang, *et al.* The Application of the Departure Vegetation Index in the Monitoring of the Extreme Drought in 1992 [J] . *Remote Sensing of Environment*, 1994, **9**: 106—112. [陈维英, 肖乾广等. 距平植被指数在 1992 年特大干旱监测中的应用 [J] . 环境遥感, 1994, **9**: 106—112]
- [8] McVicar T R, Jupp D L B, Billings S D, *et al.* Monitoring Drought using AVHRR [C] . Proceedings of the 8th Australian Remote Sensing Conference, March 25—29, Canberra, Thursday, 1996, 254—261.
- [9] McVicar T R. The Use of Remote Sensing to Aid Decision on Drought Exceptional Circumstances [R] . Report to Bureau of Resources Sciences Dept. of Primary Industries and Energy (Consultancy Report 97-14), 1997.
- [10] David L B Jupp, Tian Guoliang, *et al.* Soil Moisture and Drought Monitoring Using Remote Sensing [R] . Report Australia-China Joint Science and Technology Commission Project 1992-1997, EOC Report, 1998. 1.
- [11] Xiong Yi, Li Qingyun. China's Soil [M] . Beijing: Science Press, 1987. [熊毅, 李庆远. 中国土壤 [M] . 北京: 科学出版社, 1987.]
- [12] Zhuang Liwei, *et al.* The GIS System for Agro-Drought Monitoring in Jing-Jin-Ji Region [M] . Beijing: Meteorological Press, 1999. [庄立伟等. 京津冀地区农业干旱监测地理信息系统 [M] . 北京: 气象出版社, 1999.]
- [13] Feng Qiang. Research on the Operational System of Drought Monitoring by Remote Sensing in China [D] . Institute of Remote Sensing Applications, CAS, 2001. [冯强. 中国干旱遥感监测系统的研究 [D] . 中国科学院遥感应用研究所博士后出站报告, 2001.]

Research on the Operational System of Drought Monitoring by Remote Sensing in China

FENG Qiang, TIAN Guo-liang, LIU Qin-huo

(Laboratory of Remote Sensing Information Sciences, Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101)

Abstract: *VCI* computed from *NDVI* is a recommendatory index usually used in drought monitoring by remote sensing, but it could be different criterion on scaling the drought severity in different region. It is more important to get an objective scaling method for *VCI* than *VCI* itself. By analyzing the historic data (1981—1994) of NOAA AVHRR *NDVI* (resolution of 8 km) and soil humidity (—20cm) observed by 102 permanent agro-meteorological stations in the whole China, the statistical models have been made out between the vegetation condition index (*VCI*) and the soil moisture index (*SHI*) . The scales of *VCI* in determining the drought severity can easily form the ones of *SHI* in describing the drought through the models, so drought monitoring in every ten days is practical. Based on that, the operational system of drought monitoring by remote sensing in China has been developed, which can be used to monitor the occurrence of the drought in China for every ten days from March to September. It would be beneficial to policy-maker for disaster reduction.

Key words: drought; remote sensing monitoring; *NDVI*; *VCI*

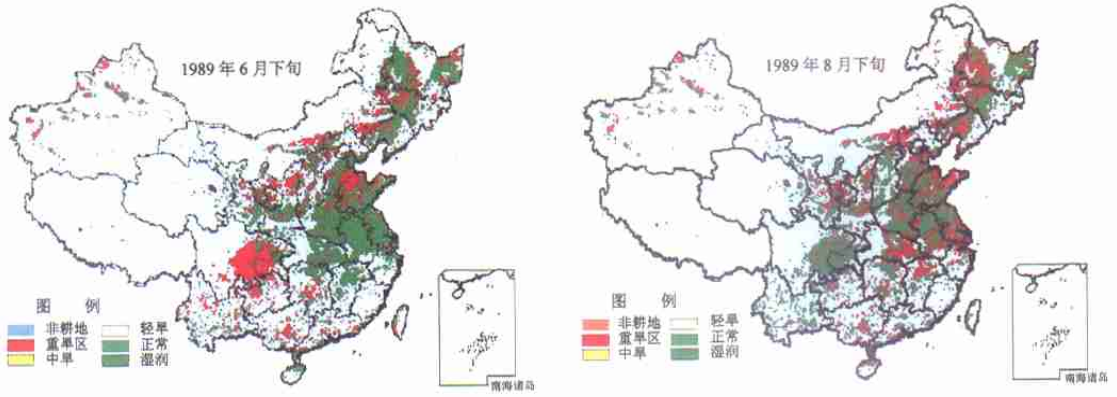


图3 1989年6月下旬和8月下旬的旱情分布图

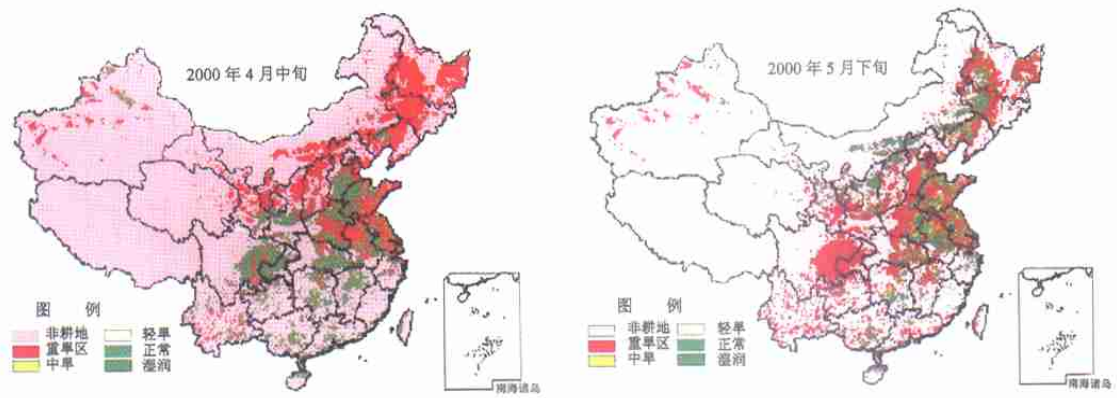


图4 2000年4月中旬和5月下旬的旱情分布图

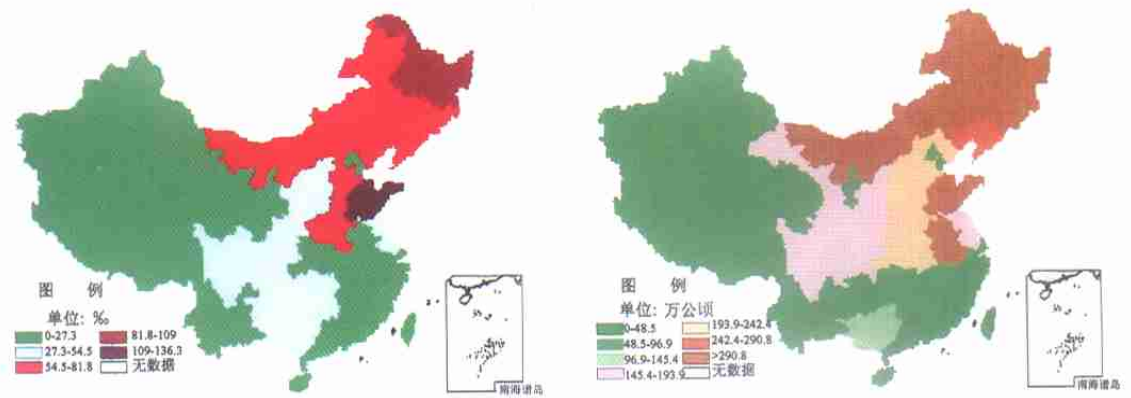


图5 1989年各省旱灾受灾面积占全国的总的旱灾受灾面积的千分率

图6 2000年各省区旱灾受灾面积分布图