

2006 年上半年全国生态气象监测与评估研究

毛留喜¹ 李朝生¹ 侯英雨¹ 钱 拴¹ 唐世浩²

(1. 国家气象中心, 北京 100081, 2. 国家卫星气象中心)

提 要: 为了对 2006 年上半年全国生态环境进行以气象条件为主要驱动因子的监测与评估, 研究创建了基于植被第一性生产力 (NPP) 估算的生态气象监测与评估指数 (EMI) 模型。通过计算生态气象指数、划分生态气象等级, 进行生态气象监测与评估。2006 年上半年全国大部地区生态气象条件较差, 平均生态气象优劣评价指数仅为 -30; 生态气象等级好、中、差的比例大约为 2: 45: 53。对我国生态及生产起重要作用的林地、草灌、农田的生态气象等级在中等以上的面积较 2005 年上半年显著减少。1—6 月平均生态气象指数在逐月降低, 虽处于正常等级范围之内, 但 5、6 月份处于临界状态已接近较差等级。其主要原因是持续干旱和低温冷害的影响, 多起森林与草原火灾和大范围高频度的沙尘天气与生态状况互为因果。所构建的生态气象监测评估模型, 有良好的理论基础和科技含量, 也有较好的时空分辨能力, 可以进行生态气象定量监测和评价, 监测与评估结果科学、客观、合理, 能够反映气象条件对生态环境的作用。

关键词: 生态 环境 气象驱动 监测评估

China Meteorologically-driven Ecological Monitoring and Assessment in the First Half of 2006

Mao Liuxi¹ Li Chaosheng¹ Hou Yingyu¹ Qian Shuan¹ Tang Shihao²

(1. National Meteorological Centre, Beijing 100081; 2. National Satellite Meteorological Centre)

资助项目: 本研究工作得到中国气象局 2006 年新技术推广项目“中国北方草地生态气象监测预测 (CMATG2006M01)”和国家气象中心项目“生态气象业务技术应用研究”的资助。

收稿日期: 2006 年 9 月 5 日; 修定稿日期: 2006 年 9 月 10 日

说明: 该文原刊于本刊第 32 卷第 11 期, 遗漏了附图 3 张。为保持文章的完整, 本期重新刊载。在此对作者和读者表示歉意。

Abstract: For the meteorologically-driven ecological assessment of China in the first half of 2006, based on the estimate of net primary productivity (NPP), the meteorologically-driven ecological assessment index (EMI) model is developed. Monitoring and assessment show that the ecological and meteorological conditions are worse in the most part of China, and the meteorologically-driven ecological assessment index of China is only -30. The better, moderate, worse proportions of ecological and meteorological condition grade give a ratio of 2 : 45 : 53. The woodland, grass-shrub-land and farmland area, which are very important for environment and production, have its ecological and meteorological condition grade being better or moderate, and but their area decreases obviously compared with that in the first half of 2005. From January to June, the meteorologically-driven ecological assessment index is receded month by month, it is order but approaches to critical state and even to worse grade almost in May and June. The main causation is the effect of drought and low temperature in a long period of time. The more forest and grass fires and the frequent sandstorm happening in large area are the environment causes and effects. There are some physical and ecological significances in the meteorologically-driven ecological assessment index model. The model is applied and has better space-time resolution. The model was applied to ecological monitoring and assessment in the first half of 2006, its result was objective and reliable.

Key Words: ecology environment meteorologically-driven monitoring and assessment

引 言

生态系统为人类提供了必不可少的生命维系和从事各种活动所必需的最基本的物质资源^[1,2], 是构建和谐社会的重要基石。生态环境的优劣直接关系到区域、国家乃至全球的安全, 如何对这一复杂系统进行科学的监测与评估, 是一个重要而有意义的课题^[3,4]。

在年际或更短的时间尺度上, 变化最频繁最迅捷的气象因子是生态系统最直接最根本的驱动力之一^[5,6]。本研究以植被第一性生产力 (Net Primary Productivity, NPP) 估算为基础, 构建气象驱动的生态监测评估模型, 通过计算生态气象指数 (Meteorologically-driven Ecological assessment Index, EMI)、划分生态气象等级, 以期对我

国的生态环境状况做出客观、动态的监测与评估。

1 模型与方法

生物生产力是生物及其群体甚至更大尺度 (包括生态系统) 上生命有机体的物质生产能力, 它随环境不同而发生变化, 因此它又成为生态环境变化和生态系统健康与否的指示物^[7]。植被净第一性生产力是指绿色植物在单位时间内所累积的有机物数量^[8,9], 它较短时间尺度变化的主要驱动力是气象条件。NPP 既是判定生态系统碳汇和调节生态过程的主要因子^[10,11], 更直接反映了植被群落在自然环境条件下的生产能力, 表征陆地生态系统的质量状况。

基于 NPP 估算的生态气象监测评价模型, 包括辐射、土壤水分、总第一性生产

力、呼吸作用、净第一性生产力和监测评价指数 6 个子模型。

其中,生态气象监测评价指数子模型:

$$EMI = \frac{NPP - \overline{NPP}}{\overline{NPP}} \times 100$$

或

$$EMI = \frac{NPP - \overline{NPP}}{\sigma_{npp}} \times 100 \quad (1)$$

式中 $\overline{NPP}$ 为植被第一性生产力的历年平均值, σ_{npp} 为植被第一性生产力的均方差。

净第一性生产力子模型:

$$NPP = GPP - R \quad (2)$$

式中 GPP 、 R 分别表示净总第一性生产力和呼吸消耗量 ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$)。

总第一性生产力子模型:

$$GPP = \varepsilon_g \times FPAR \times PAR \times f_1(T) \times f_2(\beta) \quad (3)$$

式中 ε_g 表示植被将所吸收的光合有效辐射转化为有机物的转化率,即光能转化率 ($\text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$)。FPAR 表示植被吸收光合有效辐射的比例,由 NDVI 资料确定。PAR 表示入射光合有效辐射 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$)。T 表示气温 ($^{\circ}\text{C}$), $f_1(T)$ 表示温度对光合作用的影响。 β 是蒸发比, $f_2(\beta)$ 表示土壤水分对光合作用的影响。

辐射子模型:

$$PAR = 0.47Q = 0.47Q_0 \left(a_0 + b_0 \frac{n}{N} \right) \quad (4)$$

PAR 表示光合有效辐射 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$), Q 表示太阳总辐射量 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$), Q_0 表示最大晴天总辐射量 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$), n/N 表示日照百分率,其中 n 表示实照时数, N 表示可照时数, a_0 和 b_0 是系数。

呼吸作用子模型:

木本植物的日呼吸消耗:

$$R_m = WR_{m0} Q_{10}^{(T-T_0)/10} \quad (5)$$

草本植物 (包括农业植被及草地等) 的呼吸消耗:

$$R_m = \frac{NDVI}{NDVI_{\max}} WR_{m0} Q_{10}^{(T-T_0)/10} \quad (6)$$

上两式中 R_m 表示日维持呼吸量 ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), R_{m0} 是维持呼吸系数 (d^{-1}), T 为气温 ($^{\circ}\text{C}$), T_0 取为 20°C , Q_{10} 表示温度系数,取值 2.0, W 表示干物重 ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2}$)。

生长呼吸量:

$$R_g = \gamma(GPP - \Sigma R_m) \quad (7)$$

式中 R_g 表示生长呼吸消耗量 ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$), ΣR_m 表示月维持呼吸消耗量, γ 表示将初级光合产物转化为结构物质所消耗的部分。

土壤水分子模型:

$$w_i = \min(w_{i-1} + PT_i - ET_{ai}, w_{FC}) \quad (8)$$

式中 w_i 、 w_{i-1} 分别表示 i 月和 $i-1$ 月的土壤水分含量 (mm), PT_i 表示 i 月降水量 (mm), ET_{ai} 表示 i 月实际蒸散量 (mm), w_{FC} 代表田间持水量 (mm)。

首先通过辐射子模型由气象站点纬度、海拔高度、月平均日照百分率及绝对湿度计算到达地表的辐射平衡和光合有效辐射。将土壤质地、月平均日照百分率、平均风速、月降水量及由辐射子模型所输出的地表辐射平衡输入土壤水分子模型,计算蒸发比。同时由月植被指数 (NDVI) 计算植被所吸收的光合有效辐射比例。然后将各子模型的输出结果,包括月总光合有效辐射、蒸发比、植被所吸收的光合有效辐射比例以及月平均气温作为总第一性生产力子模型的输入变量,计算月总第一性生产力。接着将植被类型、月平均气温和月总第一性生产力输入呼吸作用子模型,计算月呼吸消耗量。由总第一性生产力和月呼吸消耗量计算月净第一性生产力。最后利用历年与当年月净第一性生产力的统计比较特征,构建生态气象监测评

价指数模型，通过生态气象优劣评价指数进行生态气象监测与评估（图 1）。

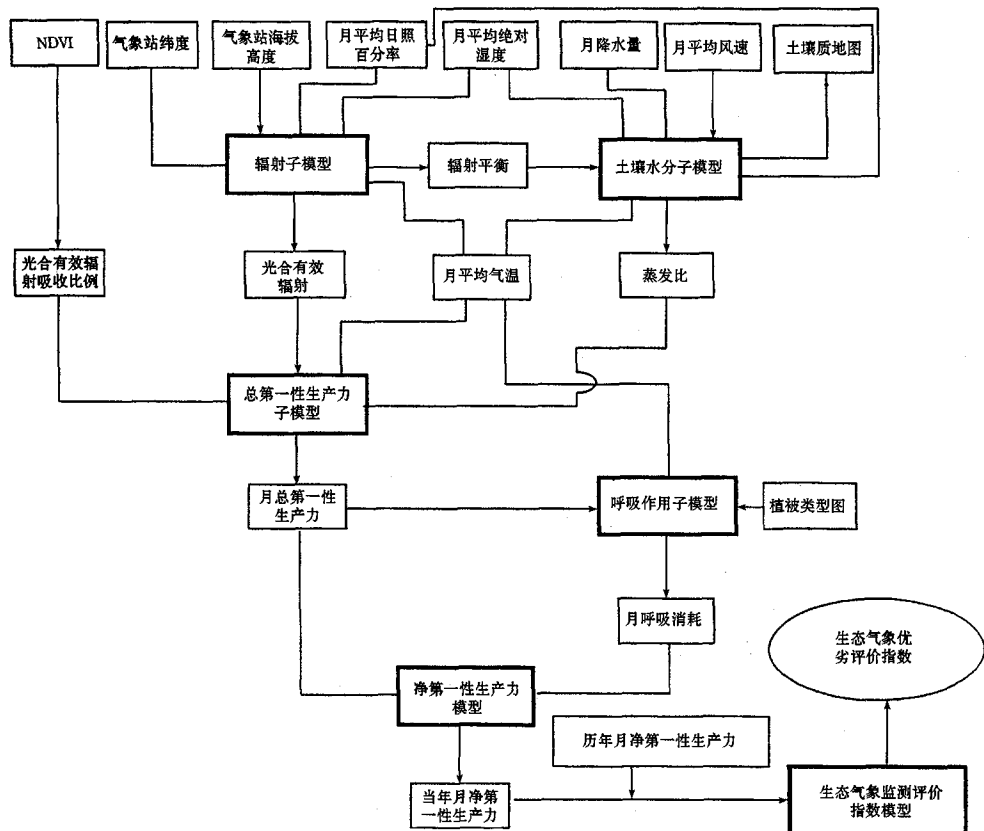


图 1 基于 NPP 的生态气象监测评价模型结构框图

2 全国概况

2006 年上半年，全国平均生态气象优劣评价指数为 -30，表明我国大部地区生态气象条件较差（图 2，见彩页）。全国生态气象等级好、中、差的比例大约为 2 : 45 : 53。其中，生态气象优劣评价指数处于“很差”等级的面积占全国总面积的 28.1%；处于“较差”等级的面积占全国总面积的 24.9%；处于“正常”范围的 44.9%；处于“较好”等级的 1.4%；处于“很好”等级的仅 0.6%。

不同地表覆盖类型生态气象优劣评价指

数及其生态气象等级统计显示，2006 年上半年，仅林地和沙漠、戈壁等类型的生态气象等级为正常，草灌、农田、城镇及其它均为较差以下等级（表 1）。

表 1 2006 年上半年不同地表覆盖类型的生态气象优劣评价指数与分级*

覆盖类型	生态气象优劣评价指数 (I_{EM})	生态气象等级
林地	-15	正常
草灌	-38	较差
农田	-33	较差
沙漠、戈壁等	-5	正常
城镇及其它	-75	很差

* 生态气象等级划分： $I_{EM} < -50$ 为很差； $-50 \leq I_{EM} < -25$ 为较差； $-25 \leq I_{EM} \leq 25$ 为正常； $25 < I_{EM} \leq 50$ 为较好； $I_{EM} > 50$ 为很好

3 生态气象等级的动态分析

1—6月全国平均生态气象指数在逐月降低,虽处于正常等级范围之内,但5、6月份处于临界状态已接近较差范围(见图3,图4(彩页))。1—2月,西南地区东南部和华南部分地区生态气象等级好于正常水平。3月生态气象等级较差的区域主要集中在四川中西部、云南东部、贵州东部、华南南部和西藏的部分地区。4月,西南地区生态气象等级较差的区域已不再连片,生态环境质量有所好转,但东北地区南部、华南华北东部、西北地区东北部、江南北部和华南大部,出现了大面积生态气象等级较差区。5月,华南大部生态气象指数提高,但华北东部、西北地区东北部生态气象等级持续偏低,同时,东北地区大部、内蒙古中东部、青藏高原东部生态气象等级很差的区域明显增加。6月,全国生态气象等级与5月接近,长江以南各生态气象等级区形成小斑块镶嵌分布格局,但东北地区西部和东部部分地区、内蒙古中东部、西北地区中北部、华北东部、黄淮大部、江淮东部的生态气象等级较差区仍集中连片。

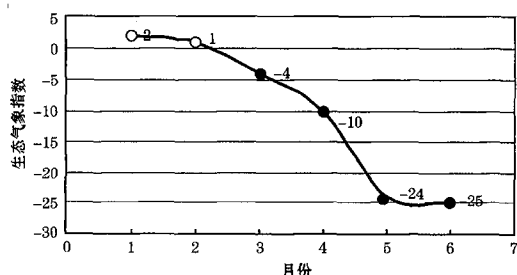


图3 全国2006年1—6月生态气象指数变化

不同地表覆盖类型生态气象等级面积百分数统计表明,我国大部地区生态环境质量较去年同期明显下降,仅沙漠、戈壁、城镇

及其它类型的生态气象等级变化不大,而对我国生态及生产起重要作用的林地、草灌、农田的生态气象等级在中等以上的面积较2005年上半年显著减少(表2),部分地区的农林牧业生产受到影响。

表2 不同地表覆盖类型的生态气象等级面积百分数

覆盖类型	2006年上半年			2005年上半年		
	好	中	差	好	中	差
林地	6.6	56.9	36.5	17.1	69.8	13.1
草灌	1.4	33.4	65.2	24.4	51.7	23.9
农田	0.9	36.7	62.4	9.4	64.6	26.0
沙漠、戈壁等	0.4	80.7	18.9	9.0	82.7	8.3
城镇及其他	0.4	1.4	98.2	1.8	3.0	95.2

4 生态气象等级的空间分布特征

气象要素的空间差异造成了生态气象等级地域分布的不同,上半年全国仅华北中部和华南中部部分地区生态气象指数等级好于去年;东北地区西部和东部部分地区、内蒙古中东部、西北地区中北部、新疆西北部、华北和黄淮东部、江淮和江汉部分地区、江南北部以及青藏高原大部,生态气象等级则明显低于去年同期,其余大部地区与去年同期水平相当(图5,见彩页)。

2006年上半年分省生态气象优劣评价指数(平均值)表明,各省均低于正常水平;按等级划分,陕西、湖北、安徽等11个省份在正常范围内,海南、甘肃、江苏等16个省区较差,北京、宁夏等4省区为很差(表3)。与去年同期相比,仅广西、广东、海南3省区生态气象优劣评价指数好于去年;其他省区则明显不及去年同期。

生态气象优劣评价指数偏低直接导致植被相应生态服务功能的减弱,宁夏、新疆、青海、内蒙古、甘肃等北方省区评价指数今

表 3 全国各省市区生态气象优劣评价指数

省份	2006 年上半年		2005 年上半年		评价指数差值 (2006—2005)
	排名	评价 指数	排名	评价 指数	
陕西	1	-6	1	20	-26
湖北	2	-11	10	6	-17
安徽	3	-15	3	23	-38
河南	4	-17	17	-7	-10
云南	5	-17	15	-4	-13
重庆	6	-20	14	-3	-17
山西	7	-21	16	-4	-17
贵州	8	-21	23	-15	-6
四川	9	-21	13	-2	-19
湖南	10	-22	24	-16	-6
广西	11	-24	30	-35	11
海南	12	-25	29	-32	7
甘肃	13	-26	7	8	-34
江苏	14	-26	8	7	-33
浙江	15	-29	6	10	-39
青海	16	-32	4	17	-49
西藏	17	-33	2	32	-65
福建	18	-33	28	-28	-5
江西	19	-34	22	-14	-20
广东	20	-35	31	-42	7
吉林	21	-37	27	-24	-13
新疆	22	-38	5	16	-54
山东	23	-38	19	-11	-27
辽宁	24	-40	21	-12	-28
河北	25	-41	18	-10	-31
黑龙江	26	-46	25	-16	-30
内蒙古	27	-47	12	1	-48
北京	28	-51	20	-11	-40
宁夏	29	-57	11	3	-60
上海	30	-64	9	7	-71
天津	31	-66	26	-19	-47

年较去年同期偏低 30~60, 植被覆盖度明显降低且受沙尘天气影响严重, 其中部分草原区牧草产量降低, 实地调查表明 (图略), 内蒙古呼伦贝尔草原牧草高度、盖度、产量均较去年同期降低 20%~50%。2006 年入春以来, 内蒙古苏尼特草原再度出现罕见旱灾, 据有关部门统计, 约 2 亿多亩草场受灾, 严重的沙尘风暴导致全旗 500 多眼筒井被掩埋, 牧区人畜饮水困难, 大量牲畜死

亡, 牧民损失严重, 生态气象条件恶劣。

5 生态气象等级较低的气象成因

5.1 干旱

2006 年 1—4 月, 东北地区西部、华北大部、西北地区东部、黄淮北部、内蒙古中东部、青藏高原中部等地降水量较常年同期偏少 3~8 成, 特别是华北大部自 2005 年 10 月以来持续少雨, 接近 50 年来最小值; 同期, 云南省平均降水量仅为 70.8mm, 干旱为近 20 年来最重; 宁夏、甘肃东部发生连续 5 年严重春旱。5 月, 东北西部及内蒙古东部旱情持续, 6 月, 西北地区东部及湖北、重庆、河南、内蒙古等地的部分地区旱情发展。上半年持续时间长、范围较广的干旱导致农作物及自然植被生长状况不良, 部分地区发生人畜饮水困难, 生态气象等级明显下降。

5.2 低温冷害

由于强冷空气的影响, 2006 年 3 月 10—14 日, 西北地区东部、华北地区西部、东北地区东部及江南、华南中部和北部降温幅度达 12~20℃, 江南中北部最低气温下降至 0℃左右。4 月 9—13 日, 西北地区大部、华北地区西部、江淮西部、江南中西部以及重庆、贵州东北部、两广北部等地降温幅度达 15~20℃, 西北大部及山西等地出现霜冻。5 月 8—16 日, 9~16℃的剧烈降温致使甘肃、青海、新疆、云南、四川、贵州、湖南等省 (区) 的局部地区出现了冻害。低温冻害不仅使农作物受灾, 对处于返青、萌发等关键发育期的其他植物危害也极为严重, 这亦是我国生态气象等级较低的原因之一。

5.3 沙尘天气

沙尘天气既是生态环境恶劣的表现,又进一步影响生态环境的质量。2006 年春季,不仅我国沙尘源地气旋活动频繁,气温较高,而且北方大部干旱导致植被覆盖稀疏、表层土壤含水量低,局地扬沙较多。这些因素为沙尘天气发生提供了必要的气象与地表条件,造成上半年我国北方地区沙尘天气过程频繁发生,且影响范围很广。统计表明,2006 年 1—5 月共出现 25 次沙尘天气过程,其中强沙尘暴过程 5 次,沙尘暴过程 10 次,扬沙过程 10 次。沙尘过程次数为 2000 年以来同期最多。其中,4 月 9—11 日,我国北方 13 个省(市、区)出现 2006 年范围最大、强度最强沙尘暴天气过程。4 月 16—18 日,我国北方又出现影响范围约 120 万平方公里的强沙尘暴天气过程,其中内蒙古中部出现了能见度仅 200m 的强沙尘暴。4 月 16—17 日中午,北京总降尘量约 33 万吨。沙尘天气不仅使大气环境质量严重降低,给人民的生产生活造成不良影响和直接损失,而且大面积的风蚀与风积使植被生长不良、地表裸露,形成沙尘天气频发的反馈机制。

5.4 火灾

2006 年上半年,由于长期降水偏少、旱情严重,火险气象等级居高不下。据统计,1—2 月全国共发生森林火灾 1141 起,火灾次数比去年同期上升了 2.1%;河北省仅 3 月 25 日一天就发生森林火灾 14 起,其中丰宁县发生的森林火灾烧入北京市怀柔区境内。3 月 29 日云南和山西省的局部地区发生较大火灾,4 月 23 日山西省火灾再次出现。2006 年春季东北、云南、山西、河北等地发生的严重森林火灾是 1988 年以来最严重的年份。5 月下旬至 6 月上旬,四川省凉山州和甘孜州连续发生森林火灾。5 月

6 日内蒙古呼伦贝尔盟、黑龙江齐齐哈尔市发生火灾。5 月 21 日至 6 月 2 日内蒙古自治区鄂伦春旗、牙克石市、陈巴尔虎旗以及黑龙江省黑河市发生特大森林火灾。火灾使局地的植被覆盖急速降低、物种减少,最直接的表现就是生态气象等级明显降低。

6 结论与讨论

基于植物第一性生产力(NPP)估算,所构建的生态气象监测评估模型,可以对全国生态环境进行宏观、动态的监测与评估。计算的生态气象优劣评价指数,以气象条件为主要驱动因子,既有良好的理论基础和科技含量,也有较好的实用性和时空分辨能力。

以 2006 年上半年为例,生态环境监测与评估应用证明,该方法既可以对全国宏观状况进客观定量的监测和评价,也可以进行上半年逐月动态分析;既可以对不同地表覆盖类型,包括农田、森林、草灌、沙漠与戈壁、城市与其它等,进行生态气象优劣评价和等级计算,也可以对全国各省(市、自治区)的生态气象条件进行排序对比。

对生态气象监测与评估进行的成因分析表明,监测与评估结果确实在一定程度上反映了气象条件的优劣。干旱、低温冷害的时段和分布与生态气象优劣评价指数较低的时段和分布基本吻合,说明气象条件是其主要驱动因子。同时,频发的沙尘暴和火灾,与生态气象评价结果相互印证,更说明其结果的客观性和合理性。

但是,对生态环境的监测和评价是一个涉及多学科的复杂问题。生态气象监测与评估,还是一个刚刚提出不久的新概念。一般说来,生态气象监测与评估,从时间上讲,既有天气尺度的,也有气候尺度的;从空间上讲,既有全国的、跨省的、某一行政区

的,也有针对某一生态单元或某生态工程作用区的;从内容上讲,既有针对单一典型生态系统、单一生态环境问题的,也有不同区域的综合监测与评估。这里所构建的模型和指标,仅是从一个侧面对生态环境的相对优劣进行的以气象条件为主要驱动因子的监测和评估。考虑更多因子,进行生态系统综合、全面的监测与评估,还有待进一步深入研究和应用检验。

参考文献

- [1] Millennium Ecosystem Assessment [M]. Ecosystem and Human Well-being: A Framework for Assessment. Washington: Island Press, 2003.
- [2] Cairns, J. Protecting Delivery of Ecosystem Service [J]. Ecosystem Health, 1997, 3 (3): 185-197.
- [3] 曹明奎. 中国农业生态系统的生产潜力和人口承载力 [J]. 生态学报, 1993, 13 (1): 83-91.
- [4] 姜春云. 中国生态演变与治理方略 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 281-288.
- [5] Allen H D. Mediterranean Ecogeography [M]. London: Prentice Hall, 2001.
- [6] 刘纪远, 岳天祥, 鞠洪波, 等. 中国西部生态系统综合评估 [M]. 北京: 气象出版社, 2006: 112-120.
- [7] 李文华, 赵景柱. 生态学研究回顾与展望 [M]. 北京: 气象出版社, 2004: 402-428.
- [8] Liu J, Chen J M, Chen W. Net Primary Productivity Distribution in the BOREAS Region from a Process Model Using Satellite and Surface Data [J]. Journal of Geophysical Research, 1999, 104 (D22): 27735-27754.
- [9] Lieth H, Whittaker R H. Modeling the Primary Productivity of the World. Primary Productivity of the Biosphere. New York: Springer-Verlag, 1975. 237-263.
- [10] Fied C B, Behrenfeld M J, Randerson J T, et al. Primary Productivity of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components [J]. Science, 1998, 281: 237-240.
- [11] 朱文泉, 潘耀忠, 龙中华, 等. 基于GIS和RS的区域陆地植被NPP估算——以中国内蒙古为例 [J]. 遥感学报, 2005, 9 (3): 300-307.

毛留喜等：2006 年上半年全国生态气象监测与评估研究

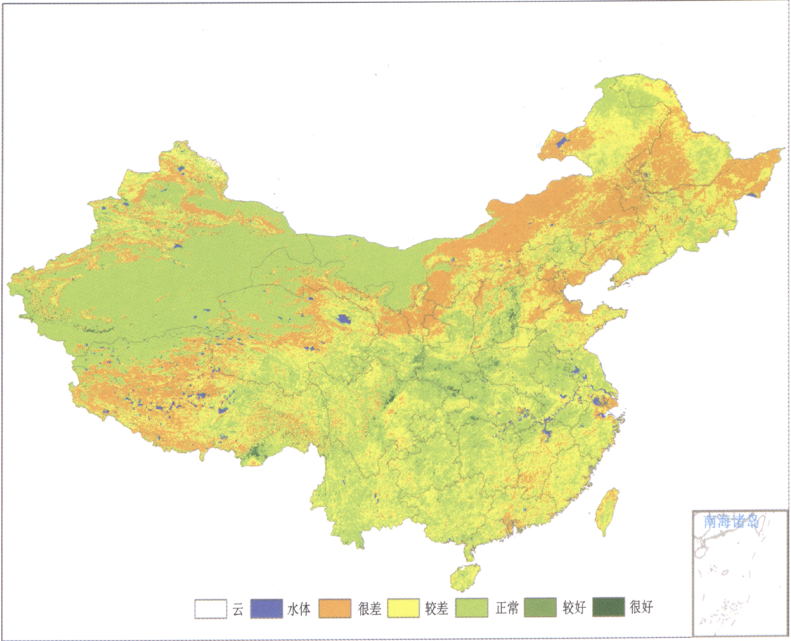


图 2 2006 年 1 至 6 月中国生态气象等级

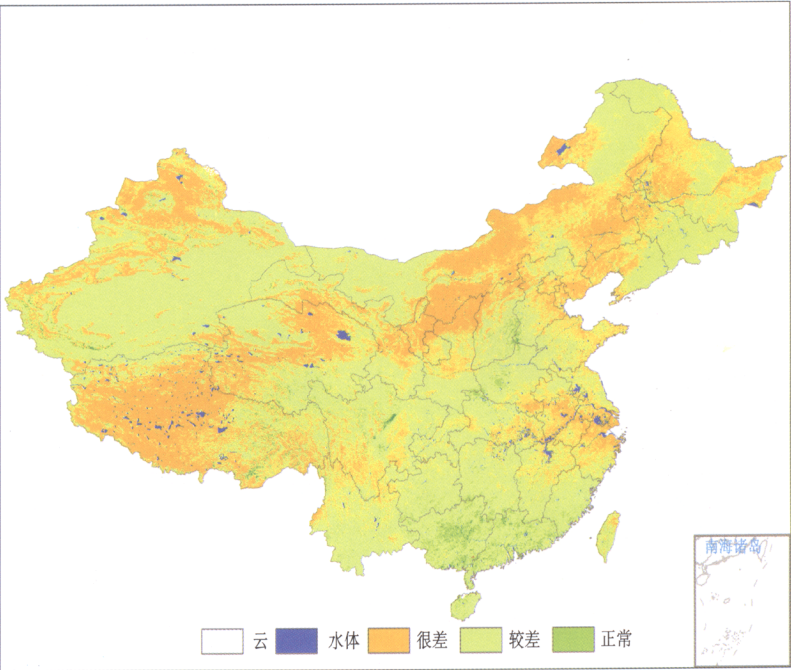
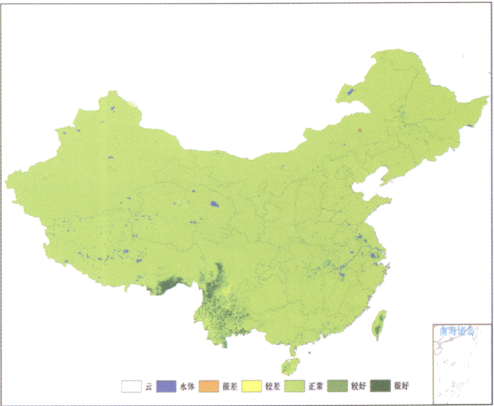
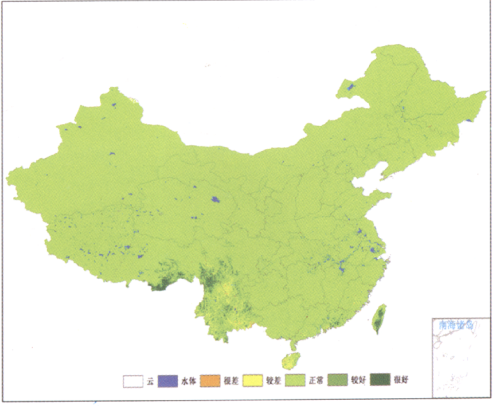


图 5 2006 年 1 至 6 月生态气象等级与 2005 年同期对比

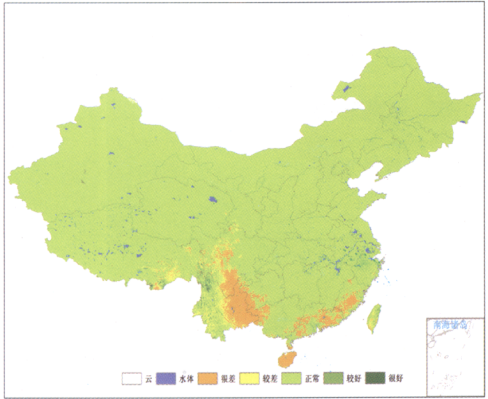
毛留喜等：2006年上半年全国生态气象监测与评估研究



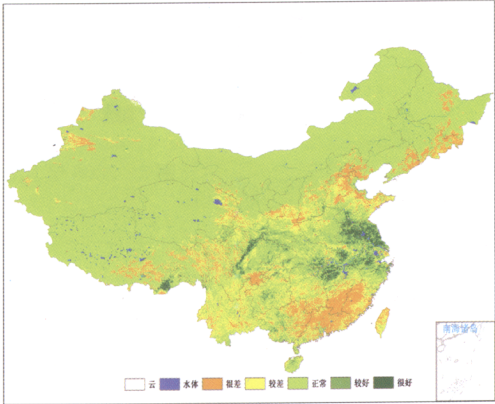
(1月)



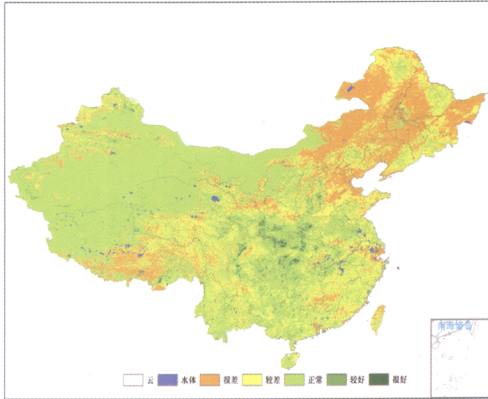
(2月)



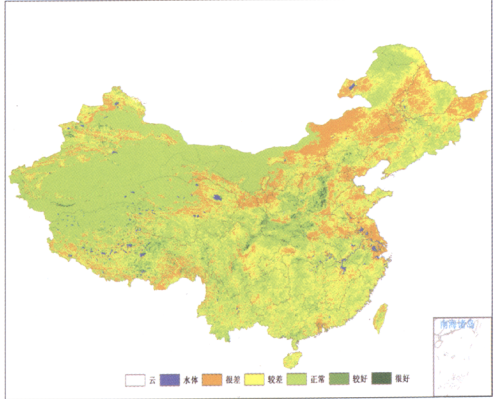
(3月)



(4月)



(5月)



(6月)

图4 2006年1至6月中国生态气象等级逐月分布