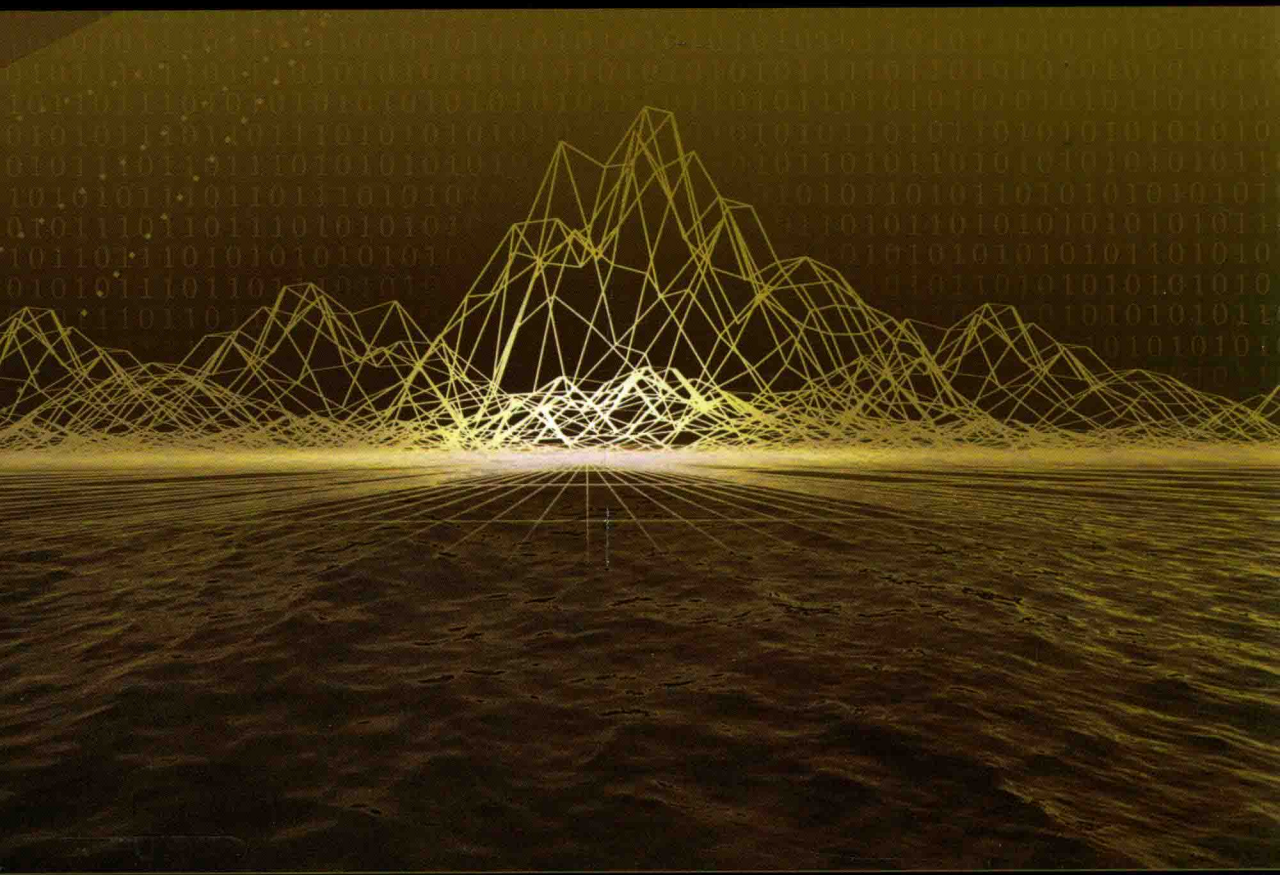


The Application and Research
of Mathematical Model
in Ecology

33

数学模型在生态学 的应用及研究

杨东方 王凤友 编著



 海洋出版社

数学模型在生态学的应用及研究(33)

The Application and Research of Mathematical Model in Ecology(33)

杨东方 王凤友 编著

海洋出版社

2015 年 · 北京

内 容 提 要

通过阐述数学模型在生态学的应用和研究,量化地展示生态系统中环境因子和生物因子的变化过程,揭示生态系统的规律和机制以及其稳定性、连续性的变化,使生态数学模型在生态系统中发挥巨大作用。在科学技术迅猛发展的今天,通过该书的学习,可以帮助读者了解生态数学模型的应用、发展和研究的过程;分析不同领域、不同学科的各种各样生态数学模型;探索采取何种数学模型应用于何种生态领域的研究;掌握建立数学模型的方法和技巧。此外,该书还有助于加深对生态系统的量理解,培养量化研究生态系统的思维。

本书主要内容为:介绍各种各样的数学模型在生态学不同领域的应用,如在地理、地貌、水文和水动力以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和结构以及其数学模型应用的意义。

本书适合气象学、地质学、海洋学、环境学、生物学、生物地球化学、生态学、陆地生态学、海洋生态学和海湾生态学等有关领域的科学工作者和相关学科的专家参阅,也适合高等院校师生作为教学和科研的参考。

图书在版编目(CIP)数据

数学模型在生态学的应用及研究. 33/杨东方,王凤友编著. —北京:海洋出版社,2015.8
ISBN 978-7-5027-9214-5

I. ①数… II. ①杨… ②王… III. ①数学模型-应用-生态学-研究 IV. ①Q14

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第176000号

责任编辑:鹿 源

责任印制:赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京华正印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2015年8月第1版 2015年8月第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:20

字数:460千字 定价:60.00元

发行部:62132549 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《数学模型在生态学的应用及研究(33)》编委会

主 编 杨东方 王凤友

副主编 王 林 吴有富 朱四喜 童 红 陈 豫

编 委 (按姓氏笔画为序)

邓 婕 田景仁 冯志纲 孙玉东 李伟民

杨丹枫 杨吟野 杨佩华 张 玮 金良琼

赵孝梨 贺华中 黄 宏 黄介武 常彦祥

数学是结果量化的工具
数学是思维方法的应用
数学是研究创新的钥匙
数学是科学发展的基础

杨东方

要想了解动态的生态系统的基本过程和动力学机制,尽可从建立数学模型为出发点,以数学为工具,以生物为基础,以物理、化学、地质为辅助,对生态现象、生态环境、生态过程进行探讨。

生态数学模型体现了在定性描述与定量处理之间的关系,使研究展现了许多妙不可言的启示,使研究进入更深的层次,开创了新的领域。

杨东方

摘自《生态数学模型及其在海洋生态学应用》

海洋科学(2000),24(6):21-24.

前言

细大尽力,莫敢怠荒,远迹辟隐,专务肃庄,端直敦忠,事业有常。

——《史记·秦始皇本纪》

数学模型研究可以分为两大方面:定性的和定量的。要定性地研究,提出的问题是:“发生了什么或者发生了没有”,要定量地研究,提出的问题是“发生了多少或者它是如何发生的”。前者是对问题的动态周期、特征和趋势进行了定性的描述,而后者是对问题的机制、原理、起因进行了定量化的解释。然而,生物学中有许多实验问题与建立模型并不是直接有关的。于是,通过分析、比较、计算和应用各种数学方法,建立反映实际的且具有意义的仿真模型。

生态数学模型的特点为:(1)综合考虑各种生态因子的影响。(2)量化描述生态过程,阐明生态机制和规律。(3)能够动态地模拟和预测自然发展状况。

生态数学模型的功能为:(1)建造模型的尝试常有助于精确判定所缺乏的知识和数据,对于生物和环境有进一步定量了解。(2)模型的建立过程能产生新的想法和实验方法,并缩减实验的数量,对选择假设有所取舍,完善实验设计。(3)与传统的方法相比,模型常能更好地使用越来越精确的数据,从生态的不同方面所取得材料集中在一起,得出统一的概念。

模型研究要特别注意:(1)模型的适用范围:时间尺度、空间距离、海域大小、参数范围。例如,不能用每月的个别发生的生态现象来检测1年跨度的调查数据所做的模型。又如用不常发生的赤潮模型来解释经常发生的一般生态现象。因此,模型的适用范围一定要清楚。(2)模型的形式是非常重要的,它揭示内在的性质、本质的规律,来解释生态现象的机制、生态环境的内在联系。因此,重要的是要研究模型的形式,而不是参数,参数只是说明尺度、大小、范围而已。(3)模型的可靠性,由于模型的参数一般是从实测数据得到的,它的可靠性非常重要,这是通过统计学来检测。只有可靠性得到保证,才能用模型说明实际的生态问题。(4)解决生态问题时,所提出的观点,不仅从数学模型支持这一观点,还要从生态现象、生态环境等各方面的事实来支持这一观点。

本书以生态数学模型的应用和发展为研究主题,介绍数学模型在生态学不

同领域的应用,如在地理、地貌、气象、水文和水动力以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和结构以及其数学模型应用的意义。认真掌握生态数学模型的特点和功能以及注意事项。生态数学模型展示了生态系统的演化过程和预测了自然资源可持续利用。通过本书的学习和研究,促进自然资源、环境的开发与保护,推进生态经济的健康发展,加强生态保护和环境恢复。

本书获得贵州民族大学博点建设文库、“贵州喀斯特湿地资源及特征研究”(TZJF-2011年-44号)项目、“喀斯特湿地生态监测研究重点实验室”(黔教全KY字[2012]003号)项目、教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-12-0659)项目、“西南喀斯特地区人工湿地植物形态与生理的响应机制研究”(黔省专合字[2012]71号)项目、“复合垂直流人工湿地处理医药工业废水的关键技术研究”(筑科合同[2012205]号)项目、水库水面漂浮物智能监控系统开发(黔教科[2011]039号)项目、基于场景知识的交通目标行为智能描述(黔科合字[2011]2206号)项目、水面污染智能监控系统的研发(TZJF-2011年-46号)项目、基于视觉的贵阳市智能交通管理系统研究项目、基于信息融合的贵州水资源质量智能监控平台研究项目、贵州民族大学引进人才科研项目([2014]02)、土地利用和气候变化对乌江径流的影响研究(黔教合KY字[2014]266号)、威宁草海浮游植物功能群与环境因子关系(黔科合LH字[2014]7376号)以及国家海洋局北海环境监测中心主任科研基金——长江口、胶州湾、莱州湾及其附近海域的生态变化过程(05EMC16)的共同资助下完成。

此书得以完成应该感谢北海环境监测中心崔文林主任、上海海洋大学李家乐院长和贵州民族大学校长张学立;还要感谢刘瑞玉院士、冯士筭院士、胡敦欣院士、唐启升院士、汪品先院士、丁德文院士和张经院士。诸位专家和领导给予的大力支持,提供的良好的研究环境,成为我们科研事业发展的动力引擎。在此书付梓之际,我们诚挚感谢给予许多热心指点和有益传授的其他老师和同仁。

本书内容新颖丰富,层次分明,由浅入深,结构清晰,布局合理,语言简练,实用性和指导性强。由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,望广大读者批评指正。

沧海桑田,日月穿梭。抬眼望,千里尽收,祖国在心头。

杨东方 王凤友

2015年6月7日

目次

北京土壤墒情的预报模型	(1)
土壤的剥蚀率计算	(8)
蔬菜清洗机的清洗模型	(13)
农产品的光学无损测量方程	(20)
香蕉树的蒸散量公式	(23)
地表温度的遥感反演公式	(26)
沼气工程的温室气体排放量估算	(30)
猪生长的环境控制模型	(33)
多喷嘴射流泵的控制方程	(37)
田间渗灌的水分运动模型	(40)
土壤养分的管理分区模型	(45)
平面翻堆机的转子调节模型	(49)
遥感图像的退化模型	(54)
毛乌素沙地的土壤水分遥感模型	(58)
蒸散和土壤含水量的遥感模型	(63)
食品的挤压模型	(70)
地膜覆盖的作物产量公式	(82)
盐碱土的水盐运移函数	(85)
植物生长的结构功能模型	(88)
蔬菜基地的评价公式	(91)
土地质量的评价模型	(94)
农业机械化的系统发展模型	(99)
农产品的导热公式	(102)
蛋清粉的起泡公式	(106)
玉米生长的土壤水含量公式	(109)
昆虫种群密度的形态公式	(112)
收获机的甘蔗运动公式	(114)
远程控制系统的故障诊断模型	(119)
农地征收的价值模型	(127)
冻藏猪肉的保水性公式	(131)

地下滴灌的土壤水能态公式	(134)
发动机的轴承载荷模型	(138)
社会发展的环境压力模型	(140)
土壤有机质的空间预测模型	(143)
连续通电的豆浆电导率计算	(146)
机器人采摘番茄的力学公式	(150)
投资风险的概率函数	(153)
温室环境的网络测控模型	(155)
塑膜防渗渠道的设计公式	(158)
地下水来源的氧同位素公式	(163)
沉积物的粒度判别模型	(165)
乔木侧根的牵引模型	(168)
乔木侧根的抗张强度模型	(170)
农业生态系统的预警模型	(174)
软弱层的压应力公式	(177)
滑坡活动空间的分维公式	(180)
土地荒漠化的遥感图像公式	(183)
山地可持续利用的协调度模型	(186)
黏性泥石流的阻力运动方程	(189)
物种三维空间的分布函数	(191)
土壤的抗蚀性模型	(193)
山地文化的经济公式	(195)
铁路泥石流的预报模型	(197)
边坡稳定性的可靠度模型	(201)
等高植物篱的带间距公式	(206)
排导槽的横断面函数	(212)
坡面泥沙的输移模型	(216)
土壤养分的流失公式	(218)
土壤侵蚀的地形因子公式	(222)
台风浪的模拟公式	(225)
浮式防波堤的消浪计算	(228)
海雾的预报模型	(231)
波能资源的估算模型	(233)
防波堤的设计波高计算	(236)
方块码头的增稳板公式	(239)

不同时距的平均风速换算公式	(242)
泥沙回淤量的估算公式	(244)
港池内的淤积模型	(247)
温排水的扩散公式	(250)
波浪的特征值计算	(252)
海堤的抗浪模型	(254)
浮托力的计算	(256)
港池的回淤公式	(260)
波浪谱的折射模型	(263)
冬季大风的预报方程	(267)
潮汐类型的判别式	(269)
波要素的预报模式	(273)
大型海浪的物理模型	(277)
年极值波浪的分布函数	(279)
海洋工程的水位计算	(282)
胶州湾排水沟的流量公式	(284)
大暴雨的预报方程	(286)
天文潮的增减水方程	(288)
不规则波浪力的概率函数	(290)
海底波动的轨迹速度计算	(293)
波浪变形的数值方程	(296)
海堤软基的土工布模型	(299)
海浪谱的预报模式	(301)
潮位的特征值方程	(303)
堤顶高程的效益公式	(305)

北京土壤墒情的预报模型

1 背景

土壤墒情的变化在不考虑人工管理(如灌溉、翻耕)条件下,主要是由温、风、湿、日照、降雨等气象要素的变化引起的,因此对墒情的预报实质上是针对未来气象要素对土壤水分变化的综合影响进行预报。刘勇洪等^[1]依据北京市气象台未来一句的气象要素预报,根据农田土壤水分平衡原理,应用双作物系数法和 Priestley—Taylor 模型,对旬末农田水分的盈亏状况进行预测,从而开展土壤墒情等级预报服务。在预报模式中,引入 RS 和 GIS 技术,获取当前地表植被覆盖类型、反照率、植被覆盖度、土壤质地、土壤水分特性(田间持水量、容重、凋萎湿度)在空间上的分布,实现点预报向面预报的扩展,从而可实现北京地区空间范围的土壤墒情可视化预报。

2 公式

2.1 墒情预报原理

降水、土壤蒸发、作物蒸腾是农田土壤水分变化的主要影响因素,此外灌溉量也影响着土壤水分变化。农田土壤水分平衡是指一定时间内、一定深度内土壤的水分收支状态,即在任意土壤区域,一定时段内进入的水量与输出的水量之差等于该区域内的储水变化量^[2],可以用土壤水分平衡方程表示:

$$W_{n+1} = W_n + P_n + G_n + D_n - R_n - Ea_n - F_n - I_n \quad (1)$$

式中, W_{n+1} 为预报时段末($n+1$)的土壤水分预报值, mm; W_n 为预报时段初(n)的土壤初始含水量, mm; P_n 为预报时段内的降水量, mm; G_n 为预报时段内的灌溉量, mm; D_n 为预报时段内的地下水补给量, mm; I_n 为作物冠层对降水的截留量, mm; Ea_n 为预报时段内农田蒸散量, mm; R_n 为地表径流, mm; F_n 为土层底部的毛管上升水和向下渗漏的水, mm。

针对北京地区,地下水位很低,地下水补给量 D_n 可忽略不计,即 D_n 为 0; 预报时,由于难以掌握灌溉量,一般不考虑灌溉,即 G_n 为 0; 由于中国农业气象实时业务不能获取连续土层水分观测资料,且毛管上升水和下渗水量级较小,一般不考虑,即 F_n 为 0。这样,土壤水分平衡方程变为:

$$W_{n+1} = W_n + P_n + R_n - Ea_n - I_n \quad (2)$$

即在北京地区,土壤水分预报值 W_{n+1} 主要由预报的土壤初始含水量 W_n 、预报时段内的降水量 P_n 、地表径流 R_n 、农田蒸散量 Ea_n 和作物冠层对降水的截留量 I_n 确定,除降水量 P_n 可直接由气象台的要素预报中直接获取外,其余各分量均要进行计算求取。

2.1.1 土壤初始含水量 W_n

土壤含水率 W (土壤水分占干土质量百分比) 与土壤相对湿度 Wr (土壤水分占田间持水量百分比) 之间的换算:

$$W = Wf \times Wr \quad (3)$$

将土壤水分换算为水层厚度以毫米(mm)记:

$$W_n = 10 \times h \times d \times W / 100 \quad (4)$$

式中, Wf 为田间持水量, 土壤水分占干土质量百分比; W_n 为换算后的水层厚度, mm, 在预报模型中就是预报时段初(n)的土壤初始含水量, mm; h 为土层厚度, cm; d 为土壤容重, g/cm^3 。

2.1.2 地表径流 R_n

地表径流 R_n 的计算方法有很多种, 这里采用 HobKrogman 方法^[3], 即:

$$R_n = \begin{cases} 0.1P_n & P_n < 25.4 \\ 2.54 + [(P_n - 25.4) \times 0.5]k & P_n \geq 25.4 \end{cases} \quad (5)$$

2.1.3 作物冠层对降水的截留量 I_n

降水截流量 I_n 的大小与植被的疏密状况及降水强度有关, 可由下式计算^[2]:

$$I_n = \begin{cases} 0.55 \times fc \times P_n \times [0.52 - 0.0085 \times (P_n - 5.0)] & P_n < 17 \\ 1.85 \times fc & P_n \geq 17 \end{cases} \quad (6)$$

式中, fc 为植被覆盖度, 可由下式计算:

$$fc = 1 - \exp(-0.5 \times LAI) \quad (7)$$

而 LAI (叶面积指数) 可由具体作物和发育阶段经验确定^[2]。

2.2 农田蒸散 Ea_n 的计算

在这里我们采用最经典也最常用的参考作物系数法^[4-6], 其中联合国粮农组织 (FAO) 1998 年推荐的双作物系数法最具代表性, 精确度也较高^[6]。

参考作物系数法计算农田蒸散的一般公式为:

$$ETp = Kc \times ET_0 \quad (8)$$

式中, ETp 为潜在农田蒸散, 也称作物需水量, 未考虑水分胁迫、盐度胁迫等因素; Kc 为参考作物系数; ET_0 为参考作物蒸散。FAO 推荐的双作物系数法则以此为基础, 考虑了水分胁迫和降雨或灌溉后湿土蒸发对作物系数的影响, 发展了采用双作物系数来计算实际农田蒸散 Ea_n 的方法^[4], 即:

$$Ea_n = (Kcb \times Ks + Kw) \times ET_0 \quad (9)$$

式中, Ea_n 为实际农田蒸散; Kcb 为基本作物系数, 是表土干燥而根区水分满足作物蒸腾时 ET_p/ET_0 的比值; Ks 为水分胁迫因子, 反映根区水分不足对作物蒸腾的影响; Kw 为湿土蒸发系数, 反映灌溉或降雨后因表土湿润致使土面蒸发强度短期内增加对 Ea_n 的影响。双作物系数方法相当于把实际农田蒸散分为考虑水分胁迫的干燥农田蒸散和湿土表面蒸发两部分。

2.2.1 水分胁迫因子 Ks 的计算

Ks 可采用有效含水量法^[4]来计算, 即:

$$Ks = \begin{cases} 1 & We \geq Wt \\ We/Wt & We < Wt \end{cases} \quad (10)$$

式中, $We = \frac{W_n - Wd}{Wf - Wd}$, 为土壤有效含水量, %; Wd 为土壤凋萎湿度, mm; Wf 为田间持水量, mm; Wt 为水分临界系数, 高于此值表示作物蒸腾不受水分限制, 低于此值则表示作物蒸腾受阻, 参考有关文献^[5], 在北京地区暂定 Wt 为 0.75。

2.2.2 湿土蒸发系数 Kw 的计算^[4]

湿土蒸发系数 Kw 的计算采用如下方式^[4]:

$$Kw = \begin{cases} 0 & Kcb > 1.0 \\ (1 - Kcb) \times (1 - fc) \times f(t) & Kcb \leq 1.0 \end{cases} \quad (11)$$

式中, Kw 为湿土蒸发系数; Kcb 为基本作物系数; fc 为植被覆盖度; $f(t)$ 为湿润后经过的时间 t (天数) 变化的湿土表面蒸发衰减函数, 与土壤质地有关, 可根据典型土壤的湿土表面蒸发衰减函数 $f(t)$ 表查询得到^[4]。例如砂壤土, 湿润后当天 $f(0)$ 为 1, 湿润 1 d 后 $f(1)$ 为 0.5, 湿润 2 d 后 $f(2)$ 为 0.29, 湿润 3 d 后 $f(3)$ 为 0.13, 湿润 4 d 后 $f(4)$ 为 0。

2.2.3 参考作物蒸散 ET_0 的计算

参考作物蒸散 ET_0 的计算是农田蒸散的核心, 计算方法也很多, 其中以 FAO - Penman - Monteith 模式最为常见^[7-8], 即:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_{net} - G_s) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (12)$$

式中, ET_0 为日参考作物蒸散, mm; T_a 为 2 m 高度处的平均气温, $^{\circ}\text{C}$; Δ 为饱和水汽压 - 温度曲线斜率, hPa/K; u_2 为 2 m 高度处的风速, m/s; γ 为干湿表常数, kPa/ $^{\circ}\text{C}$; e_s 为饱和水汽压, kPa; e_a 为实际水汽压, kPa; R_{net} 为净辐射, MJ/($\text{m}^2 \cdot \text{d}$); G_s 为土壤热通量 MJ/($\text{m}^2 \cdot \text{d}$)。

此方法的各项参数均可从气象观测数据中获取或计算得到, 因此在土壤墒情监测中最为实用, 但参数中的风速因子 u_2 在预报中不能获取, 且风速对 ET_0 影响也较大, 不能忽略。因此在实验中采用另一种曾被 FAO 推荐的 Priestley—Taylor 模式来计算预测的参考作物蒸

散 $ET_0^{[2,7-8]}$, 即:

$$ET_0 = e \frac{\Delta}{\lambda(\Delta + \gamma)} (R_{net} - G_s) \quad (13)$$

式中, λ 为汽化潜热, MJ/kg; e 为常数。Priestley—Taylor 模式仅涉及辐射项, 把空气动力项 (主要是风速造成) 的影响折算为辐射项的 0.26 倍, 即一般 e 为 1.26, 便于业务预报使用。由于空气动力项在一年四季的变化差异较大, 因此在北京地区的墒情预报中, 参考有关文献[8]对 e 进行了本地化订正, 即每个月采用不同的 e 值, 使之更适合实际情况, 本预报中采用的 12 个月份的 e 值如下: $e = [1.55, 1.48, 1.55, 1.30, 1.23, 1.15, 1.10, 1.13, 1.15, 1.55, 1.63, 1.70]$ 。

净辐射 R_{net} 的计算采用 FAO-56 中推荐的方法:

$$R_{net} = (1 - \alpha) \times R_s - \eta \times \left(\frac{T_{max}^4 + T_{min}^4}{2} \right) \times (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \times \left(1.35 \times \frac{R_s}{R_{s0}} - 0.35 \right) \quad (14)$$

式中, α 为农田反射率; R_s 为接受的太阳辐射, MJ/(m² · d); η 为斯蒂芬-波尔兹曼常数 (4.903×10^{-9} MJ · m⁻² · d⁻¹); T_{max} 为最高气温, K; T_{min} 为最低气温, K; R_{s0} 为晴空太阳辐射, MJ/(m² · d)。

1) 农田反射率 α 的计算

可采用下式求算^[2]:

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_s, & LAI = 0 \\ 0.23 - (0.23 - \alpha_s) \times \text{Exp}(-0.75 \times LAI), & LAI \neq 0 \end{cases} \quad (15)$$

式中, α_s 为裸地反射率, 一般定为 0.15; LAI 为叶面积指数, 由各作物发育期经验确定。

2) 接收的太阳辐射 R_s 和晴空太阳辐射 R_{s0} 的计算^[2]

$$R_s = \left(a + b \times \frac{n}{N} \right) \times R_a \quad (16)$$

式中, a, b 为常数 (FAO 推荐分别为 0.25 和 0.50); n, N 分别为日照时数和可照时数, h; n/N 为日照百分率; R_a 为大气外辐射, MJ/(m² · d)。由于辐射地区差异较大, 因此对北京地区, 采用本地经验公式^[9]:

$$R_s = C_i \times \left(0.18 + 0.55 \times \frac{n}{N} \right) \times R_a \quad (17)$$

即系数 $C_i \times 0.18$ 和 $C_i \times 0.55$ 分别代替了式(16)中的常数 a 和 b , 12 个月份的 C_i 值分别为:

$$C_i = [1.046, 1.076, 1.067, 1.040, 1.010, 1.002, 0.986, 0.973, 0.984, 1.003, 1.004, 1.053]$$

在预报中, 由于缺少日照时数的预报, 在这采用 FAO 推荐的 Hargreaves 模式^[10]来计算 R_s :

$$R_s = K_{rs} \times \sqrt{T_{max} - T_{min}} R_a \quad (18)$$

其中, K_{rs} 为修正系数, 在 0.16 ~ 0.19, 在北京地区取 0.18。

对北京地区而言, 晴空太阳辐射 R_{s0} 采用下式计算:

$$R_{s0} = C_i \times (0.18 + 0.55) \times R_a \quad (19)$$

2.3 遥感信息提取技术的嵌入应用

2.3.1 农田反射率 α 的计算

由前面计算过程可知, 在计算农田蒸散时, 农田反射率是计算净辐射的一个重要参数, 对农田蒸散的结果影响较大。在前面的常规方法中是根据叶面积指数经验公式求取的, 而叶面积指数是由作物具体发育期经验确定, 实际上在不同年份不同空间位置上此值差异较大。而遥感 (RS) 信息提取技术则能提取实时反射率, 从每天接收的 MODIS 250 m 分辨率晴空遥感影像可计算得到反射率 (又称反照率)。在这里我们采用有关文献 [11] 中的方法计算反射率:

$$\alpha = 0.207 \times r_1 + 0.244 \times r_2 + 0.371 \times r_3 + 0.178 \times r_4 \quad (20)$$

其中, r_1 、 r_2 、 r_3 和 r_4 分别为 MODIS 第一、第二、第三和第四波段的反射率。

2.3.2 植被覆盖度 fc 的计算

在前面的计算中, 植被覆盖度 fc 也是一个非常重要的参量, 是由叶面积指数经验公式求取, 而引入遥感信息提取技术则可实时获取。在这里由 MODIS 250 m 分辨率晴空遥感影像采用植被指数转换模型^[11]来进行提取, 具体公式为:

$$fc = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (21)$$

式中, fc 为植被覆盖度; $NDVI_{\min}$ 、 $NDVI_{\max}$ 分别为一个生长季内所有图像的最小、最大归一化植被指数值。其中取代表性裸地的 $NDVI$ 均值作为 $NDVI_{\min}$, 取高度覆盖的植被 $NDVI$ 均值作为 $NDVI_{\max}$, 令小于 $NDVI_{\min}$ 的 fc 值为 0, 大于 $NDVI_{\max}$ 的 fc 值为 1。

根据前面计算过程, 预测的结果是不同植被类型不同深度的总含水量 (mm), 结合田间持水量, 转化为该土层深度的平均相对湿度 Wr (%) 后, 即可进行农业干旱预报应用。2007 年 5 月上中旬气温显著偏高, 降水明显偏少, 旱情发生比较严重。5 月 18 日测墒结果与卫星监测表明: 本市粮田作物表层土壤轻旱 (土壤相对湿度小于 60%) 以上面积占总面积的 79%, 适宜面积仅占 20%, 这与 5 月中旬末的墒情等级预测 (图 1) 基本一致。

3 意义

研究在已有土壤墒情预报方法基础上, 提出了一种新的土壤墒情预报方法, 即根据未来一段时间里的气象要素预报因子来预测土壤水分变化, 实现了真正意义上的土壤墒情预报, 并引入 RS 和 GIS 技术, 获取预报时的北京地区植被类型、反照率、植被覆盖度、土壤质地等重要预报模型参数, 初步实现了北京地区空间范围内的土壤墒情可视化预报, 在农业

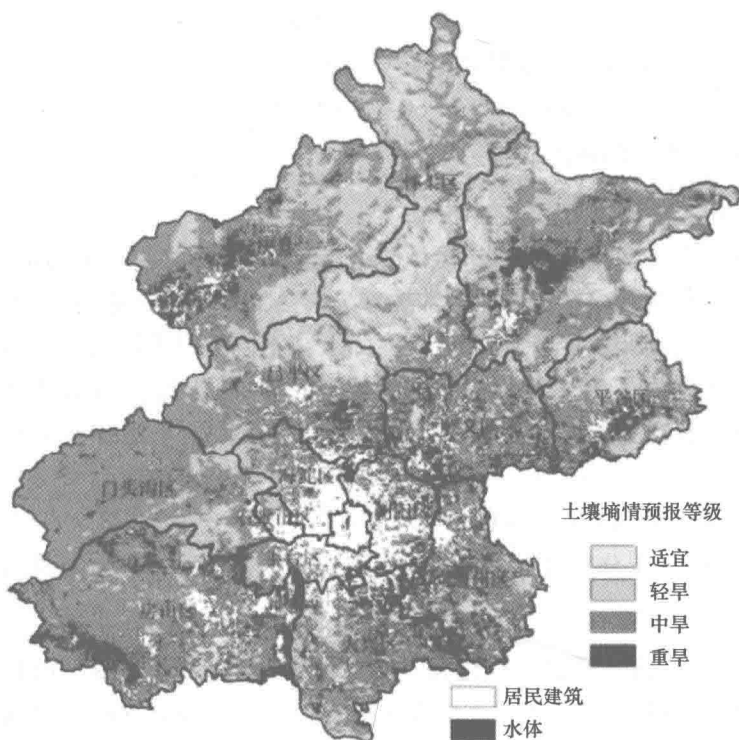


图1 北京地区2007年5月中旬末土壤墒情预报等级

气象预报业务方面具有实际意义。开展土壤墒情预报,预测未来旱情发展变化,对于指导农业抗旱减灾具有重要意义。

参考文献

- [1] 刘勇洪,叶彩华,王克武,等. RS和GIS技术支持下的北京地区土壤墒情预报技术. 农业工程学报, 2008,24(9):155-160.
- [2] 王建林,吕厚荃,张国平,等. 农业气象预报. 北京:气象出版社,2005:89-109.
- [3] 王西平,姚树然. VSMB多层次土壤水分平衡动态模型及其初步应用. 中国农业气象,1998;19(6): 27-31.
- [4] 水利部国际合作司,水利部农村水利司,中国灌排技术开发公司. 美国国家灌溉工程手册. 北京:中国水利水电出版社,1998:59-134.
- [5] 樊引琴,蔡焕杰. 单作物系数法和双作物系数法计算作物需水量的比较研究. 水利学报,2002,(3): 50-54.
- [6] 刘钰,Pereira L S. 对FAO推荐的作物系数计算方法的验证. 农业工程学报,2006,15(6):26-30.
- [7] 吕厚荃,钱拴,杨霏云,等. 华北地区玉米田实际蒸散量的计算. 应用气象学报,2003,14(6):