

1993 1

ATMOSPHERIC SCIENCE RESEARCH AND APPLICATION

大气科学研究与应用

上海市气象科学研究所编辑

气象出版社出版

大气科学研究与应用

(四)

目 录

论 文

坡地地形对近海热带气旋的影响	王玉清	朱永禔 (1)
三麦产量结构系统动态预测模型研究	李临颖	(8)
七层套网格降水数值天气预报模式研究	李用左	王达文 (15)
福建寒露风场的 EOF 分析及其预报	鹿世瑾	(23)
共轭方程理论和最优控制在数值模式中的应用简析	郜吉东	丑纪范 (31)
长江中下游一次气旋过程中的次级环流	江敦春	(41)
多普勒天气信号和频谱的模拟试验	吴志根	宋声平 (50)

技术报告

开阔水域水面蒸发量的计算	闵 骞	(57)
上海地区 1991 年 8 月 7 日特大暴雨卫星云图分析	姚祖庆	张建国 (67)
蔺草生产与气候	汪治澜	王承澍 (74)
树形决策寻优法在天气预报中的应用	杨庆莘	宋海鸥 (80)
8807 号近海热带气旋形成和发展的云图分析	潘小凡	(85)
厄尔尼诺 / 南方涛动与浙东北降水的关系	王德翰	(90)
1992 年西北太平洋热带气旋综述	薛宗元	吴天泉 邱君瑞 (96)

短 论

上海风暴潮灾害的特点和对策	陆亚龙	(111)
带有回归系数的多层递阶预报模型	李邦宪	(116)
广东暴雨的分布特征及其洪涝灾害	仲荣根	(121)

《大气科学研究与应用》首届编审委员会名单

主 编: 秦曾灏 副 主 编: 朱永禔 徐一鸣

委 员 (以姓氏笔划为序)

王达文	王全发	王善型	王馥棠	叶榕生	朱永禔
朱盛明	严济远	林元弼	周曾奎	费 亮	胡伯威
徐一鸣	徐国昌	徐裕华	栾宝储	唐新章	奚熙贤
秦曾灏	黄 炎	黄福均	鹿世瑾	曹钢锋	游景炎
潘云仙	潘根发	滕中林			

Atmospheric Science Research and Application

(IV)

Contents

Articles

- The Effect of Topography on the Tc Disturbance... Wang Yuqing Zhu Yongti (1)
- The Study on the Dynamic Forecasting Models of Yield Structural
System of Wheats Li Linying (8)
- Study and Application of the 7-Layer Nested Precipitation NWP Model
..... Li Yongzuo Wang Dawen (15)
- EOF Analysis and Forecast for Wind Fields of Cold Dews in Fujian Province
..... Lu Shijin (23)
- A Simple Analysis of the Adjoint Equation and the Optimal Control Technique
Applied to the Numerical Model Gao Jidong Chou Jifan (31)
- The Secondary Circulation of a Cyclone Process Over the Middle and Lower
Reaches of the Yangtse River Jiang Dunchun (41)
- Computer Simulation Test of Doppler Radar Spectra and Signals
..... Wu Zhigen Song Sengping (50)

Technical Reports

- The Calculations of Water Surface Evaporation on Vast Water Areas ... Min Qian (57)
- Satellite Image Analysis for Rainstorm of August 7, 1991 in Shanghai
..... Yao ZhuQing Chang Jianguo (67)
- The Study on Climate for Juncus Effusus Growing
..... Wang Zhilan Wang Chenshu (74)
- The Application of Tree-like Decision-making in Weather Forecast
..... Yang Qingping Song Haiou (80)
- Satellite Image Analysis for Genesis and Development of 8807 Tropical
Cyclone Pan Xiaofan (85)
- The Relationship Between El Nino / Southern Oscillation and Rainfall Over
the North-Eastern Part of Zhejiang Province..... Wang Dehan (90)
- Review on Tropical Cyclones Over the Northwest Pacific Ocean in 1992
..... Xue Zongyuan Wu Tianquan and Qiu Junrui (96)

Short Contributions

- Characteristics of and Countermeasures for Stormsurge Disaster in Shanghai
..... Lu Yalong (111)
- A Step Prediction Model With Regression Coefficients Li Bangxian (116)
- Distribution Features of Heavy Rains in Guangdong Province and Their
Flooding Disaster Zhong Ronggen (121)

坡地地形对近海热带气旋的影响*

王玉清 朱永祺

(上海市气象局 上海 200030)

提 要

本文应用两层线性模式研究了坡地地形对近海热带气旋的影响。结果表明,坡地地形对于热带扰动的发展具有抑制作用,而对其移动亦有一定影响。应用文中所得分析结论对热带气旋登陆前后的强度变化及路径偏折等观测事实给出了理论解释。

关键词 地形影响 热带气旋

一、 引 言

观测研究表明^[1-2],热带气旋在移近和穿越岛屿时,伴有强度的变化和路径的偏折。可见坡地地形不仅对热带气旋的发展有影响,而且对其移动亦有作用。探求其理论解释,不仅有理论意义,而且有实际价值。本文试用两层线性模式对坡地地形对于热带气旋的影响进行了动力学研究,应用解的分析结果可以对近海热带气旋在登岛(陆)前后强度变化和路径变化现象作出合理的解释。

二、 模 式 及 解

为简单起见,我们采用平面对称坐标,并分别取不同的平面(x -, y -)对称坐标进行求解,在 x 轴对称情况下,扰动方程组可写为

* 本文1991年3月4日收到,1993年2月5日收到修改稿。本文受国家自然科学基金的资助(项目49070238)。

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = f v \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y} = -f u \\ \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial p} = -\frac{R T}{p} \\ \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{p S}{R} \omega = \frac{Q}{C_p} \end{cases} \quad (1)$$

方程组 (1) 中, u 、 v 、 ω 分别为 x 、 y 、 p 方向的扰动风速分量; Φ 和 T 则分别为扰动位势和扰动温度; f 是柯氏参数 (设为常数); $S = -\frac{R}{p} (\frac{\partial \bar{T}}{\partial p} - \frac{R \bar{T}}{p C_p})$ 为 p 坐标下的静力稳定度参数; R 、 C_p 和 Q 分别为气体常数, 定压比热和对流凝结加热率。

由方程组 (1) 消去变量 v 、 T 、 Φ 后可得关于 u 和 ω 的两个方程, 再从中消去 u , 最终可获得关于 ω 的诊断方程如下:

$$f^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} + S \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} = -\frac{R}{C_p p} \frac{\partial^2 Q}{\partial y^2} \quad (2)$$

类似于 Ooyama⁽³⁾, 设对流凝结加热率与边界层顶垂直速度 ω_b , 具有关系式

$$Q = -\frac{C_p p S}{R} \eta(p) \cdot \omega_b,$$

据此, (2) 式可写成

$$f^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} + S \frac{\partial^2}{\partial y^2} (\omega - \eta \omega_b) = 0 \quad (3)$$

式中 ω_b 为边界层顶的 ω 值, $\eta(p)$ 为无量纲的对流加热垂直分布函数。

根据 Pedlosky⁽⁴⁾, 在存在坡地地形情况下, 边界层顶的垂直速度可表为

$$\omega_b = -\rho_b g \mathbf{V}_b \cdot \nabla h - \frac{1}{2} \rho_b g D (\sin 2\alpha) \cdot \zeta_b \quad (4)$$

式中 $h(x, y)$ 为地形高度, ρ_b 为边界层顶空气密度, $\mathbf{V}_b$ 为边界层顶水平风速矢量, D 为摩擦层厚度, α 为地面风向与等压线交角 (设为常值), ζ_b 为边界层顶的地转涡度 ($\zeta_b = -\frac{\partial u_b}{\partial y}$)。

为使问题简化, 我们仅讨论均匀坡度的情况, 即设 $\triangle h$ 为常值, 这样, 由 (4) 式可得

$$\frac{\partial \omega_b}{\partial t \partial y} = -\rho_b g \left[\frac{\partial^2 u_b}{\partial t \partial y} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial^2 v_b}{\partial t \partial y} \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{D}{2} \sin 2\alpha \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 u_b}{\partial t \partial y} \right) \right],$$

根据方程组 (1), 可消去上式中关于 u_b 和 v_b 的项, 得到关于 ω_b 的方程如下:

$$\frac{\partial^2 \omega_b}{\partial t \partial y} = \rho_b g \left[f \left(\frac{\partial \omega}{\partial p} \right)_b \frac{\partial h}{\partial x} + \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial t \partial p} \right)_b \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{f}{2} D \cdot \sin 2\alpha \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \omega}{\partial p} \right)_b \right] \quad (5)$$

设方程组 (3) 和 (5) 有如下形式的解:

$$\omega = \Omega e^{ily + \sigma t}, \quad \omega_b = \Omega_b e^{ily + \sigma t},$$

式中 l 为 y 方向的波数。

由此, 可得振幅 Ω 和 Ω_b 的方程如下:

$$f^2 \frac{d^2 \Omega}{dP^2} = S l^2 (\Omega - \eta \Omega_b) \quad (6)$$

$$\sigma \Omega_b = - \left(\frac{d\Omega}{dp} \right)_b \cdot \left[\frac{f}{z} \rho_b \cdot g \cdot D \sin 2\alpha + \frac{\rho_b g i}{e} \left(f \frac{\partial h}{\partial x} + \sigma \frac{\partial h}{\partial y} \right) \right] \quad (7)$$

为便于求解, 我们取简单的两层模式自由大气, 令垂直分层的气压层厚度为 ΔP , 在两层大气交界面上的变量以下标 2 表示。考虑到大气顶有边界条件, $\Omega_1 = 0$, 则方程 (6) 在此交界面上的差分式为

$$(2C^2 + l^2) \Omega_2 = (C^2 + \eta_2 l^2) \Omega_b \quad (8)$$

式中 $C^2 = f^2 / (S_2 \cdot \Delta P^2)$

对于边界层顶的一阶微商, 我们取近似式

$$\left(\frac{d\Omega}{dp} \right)_b \cong a \cdot (\Omega_b - \Omega_2) / \Delta P,$$

则方程 (7) 可写为

$$[l(\sigma + K) + i(A + \sigma B)] \Omega_b = [lK + i(A + \sigma B)] \Omega_2 \quad (9)$$

式中 $A = \frac{a \cdot \rho_b \cdot g \cdot f}{\Delta P} \frac{\partial h}{\partial x}$, $B = \frac{a \cdot \rho_b \cdot g}{\Delta P} \frac{\partial h}{\partial y}$, $K = \frac{a f \rho_b}{2 \Delta P} g \cdot D \cdot \sin 2\alpha$, 由

(8) 和 (9) 式消去 Ω_2 和 Ω_b 得

$$\sigma = (1 + i \frac{A}{lK}) \sigma_0 / (1 - i \frac{B \sigma_0}{lK}) \quad (10)$$

其中

$$\sigma_0 = K [(\eta_2 - 1) l^2 - C^2] / (2C^2 + l^2)$$

为无地形时 (即 $A = B = 0$) 热带扰动的增长率, 由 (10) 式可得坡地地形影响下扰动的增长率和圆频率分别为

$$\sigma_r = \sigma_0 (1 - \frac{A \cdot B}{l^2 K^2} \sigma_0) / (1 + \frac{B^2}{l^2 K^2} \sigma_0^2) \quad (11)$$

$$\sigma_i = \frac{\sigma_0}{lK} (A + B \cdot \sigma_0) / (1 + \frac{B^2}{l^2 K^2} \sigma_0^2) \quad (12)$$

由此可得扰动的径向移速为

$$C_y = -\frac{\sigma_i}{l} = -\frac{\sigma_0}{l^2 K} (A + B \cdot \sigma_0) / (1 + \frac{B^2}{l^2 K^2} \sigma_0^2) \quad (13)$$

类似地, 我们可以求得对于 y 轴对称扰动的增长率、圆频率和相应的纬向移速为

$$\sigma_r = \sigma_0 (1 + \frac{A_1 \cdot B_1}{k^2 K^2} \sigma_0) / (1 + \frac{A_1^2}{k^2 K^2} \sigma_0^2) \quad (14)$$

$$\sigma_i = \frac{\sigma_0}{k \cdot K} (A_1 \cdot \sigma_0 - B_1) / (1 + \frac{A_1^2}{k^2 K^2} \sigma_0^2) \quad (15)$$

$$C_x = -\frac{\sigma_i}{k} = \frac{\sigma_0}{k^2 K} (B_1 - A_1 \cdot \sigma_0) / (1 + \frac{A_1^2}{k^2 K^2} \sigma_0^2) \quad (16)$$

上式中 K 为 x 方向的波数, $A_1 = A/f$, $B_1 = B \cdot f$.

三、解的分析和讨论

以上为了简便, 我们在考虑坡地地形情况下分别对于 x 和 y 轴对称的热带扰动方程进行了求解, 分别得到了相应的移速和增长率表达式, 实际上, 在取 x 轴对称时含有 y 方向的非对称性, 而在取 y 轴对称时则含有 x 方向的非对称性, 因此将二者结合起来分析将更有普遍意义。

对于东海热带气旋而言, 无论是台湾岛或是浙闽沿海的丘陵地带, 都可近似地视为具有东西向坡度的南北走向地形, 即可设 $\partial h / \partial y = 0$ (亦即 $B = B_1 = 0$)。此外, 对于闭合的低压扰动, 可近似地取 $k = l = m$, 由 (11) 和 (14) 式可见, 对于 x 轴对称的情况, 我们有 $\sigma_r = \sigma_0$, 而对于 y 轴对称的情况, 则有

$$\sigma_r = \sigma_0 / (1 + \frac{A_1^2 \sigma_0^2}{m^2 K^2}) \quad (17)$$

由上式可见, σ_0 与 σ_r 同号。这就是说, 地形影响并不能改变增长率的符号, 为了考察地形对扰动增长率数值的影响, 由 (17) 式不难得到

$$|\sigma_r| - |\sigma_0| = |\sigma_0| \cdot \left(\frac{m^2 K^2}{m^2 K^2 + A_1^2 \sigma_0^2} - 1 \right) \quad (18)$$

上式右端圆括号内第一项显然总小于 1, 所以有 $|\sigma_r| - |\sigma_0| < 0$, 这就是说, 坡地地形对热带气旋的发展具有抑制作用, 对增强的热带气旋 ($\sigma_0 > 0$) 地形将减缓其发展速率, 对减弱中的热带气旋 ($\sigma_0 < 0$) 地形亦将减缓其减弱率, 由 (18) 式还可以看到, 扰动尺度愈大 (即 m 愈小) 和地形坡度愈大, 地形影响愈明显。

在东西向坡度地形情况下, (13) 和 (16) 式可化为

$$C_x = -A_1 \sigma_0^2 K / (m^2 K^2 + A_1^2 \sigma_0^2) \quad (19)$$

$$C_y = -A\sigma_0 / (m^2 K) \quad (20)$$

由此可见, 热带扰动除主要受基本气流的引导外, 尚有一地形作用产生的附加移速, 为了考察这一附加移动的特征, 考虑到 $A = A_1 \cdot f$, 由 (19) 和 (20) 式不难得到附加移速分量的比为

$$\frac{|C_y|}{|C_x|} = \frac{f}{|\sigma_0|} \left(1 + \frac{A_1^2 \sigma_0^2}{m^2 K^2} \right) \quad (21)$$

在低纬带, 柯氏参数 f 的数量级在 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 之间, 而扰动增长率最大值具有量级 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ (文献 [1]), 由 (21) 可见, $|C_y| > |C_x|$, 这表明地形导致的附加移速以径向运动为主。

对于东海热带气旋而言, 与地形坡度有关的 A 和 A_1 均为负值, 因此, 总有 $C_x > 0$, 而径向附加移速的符号则取决于扰动原先的增长率符号。对于原为发展中的扰动 ($\sigma_0 > 0$), 有 $C_y > 0$, 这表明, 东西向坡度的地形可使扰动有一向北偏东的附加移速; 而对于原来减弱中的扰动 ($\sigma_0 < 0$), 有 $C_y < 0$, 这时, 东西向坡度的地形使扰动产生一向南偏东的附加移动。根据上述分析, 我们可以给出在东风带中西行热带气旋在地形影响下移动的示意图 (图 1)。图 1a 为发展中的热带气旋的移动。可见, 由于地形影响, 热带气旋移动将沿引导气流方向右折 ($C_y > 0, C_x > 0$); 图 1b 给出了减弱中的热带气旋移动。由图可见, 地形将使其沿引导气流方向左折 ($C_y < 0, C_x > 0$)。当热带气旋移至地形的下坡方 ($A > 0$) 时, 类似地可以推知, 增强中的热带气旋 ($\sigma_0 > 0$) 将折向引导气流的左侧 ($C_y < 0, C_x < 0$), 而削弱中的热带气旋 ($\sigma_0 < 0$) 则将偏向引导气流方向的右侧移动 ($C_y > 0, C_x < 0$)。上述附加移速的大小取决于地形坡度 (A), 扰动尺度 (m)、原先的增长率 (σ_0) 和扰动所处的纬度。

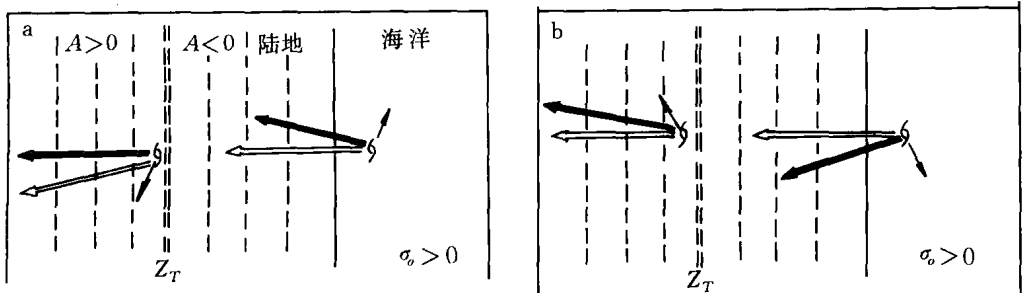


图 1 地形对东海热带气旋移动影响示意图

a、发展的热带气旋移动 b、减弱的热带气旋移动

(双线矢表示基本气流, 细线矢为地形影响的附加移动,

粗线矢为地形影响下热带气旋的移动, 虚线为地形等高线)

对于南海热带气旋而言, 华南的地形坡度基本上呈南北向, 即有 $A \approx 0$ 和 $A_1 \approx 0$, 而 B 与 B_1 均为正值, 由 (13) 和 (16) 式可得

$$C_x = \frac{B \cdot f \cdot \sigma_0}{m^2 K},$$

$$C_y = - \frac{B \cdot K \cdot \sigma_0^2}{m^2 K^2 + B^2 \sigma_0^2} \quad (22)$$

由(22)式可得附加移速比值为

$$\left| \frac{C_x}{C_y} \right| = \frac{f}{|\sigma_0|} \left(1 + \frac{B^2 \cdot \sigma_0^2}{m^2 K^2} \right) \quad (23)$$

上式与(21)式相似, 可见 $|C_x| > |C_y|$, 表明在广东登陆的热带气旋, 因地形作用具有以纬向运动为主的附加移速, 其移向取决于原先增长率的符号, 当热带气旋在未受地形影响时处于增强情况下 ($\sigma_0 > 0$), 有 $C_x > 0$, 即以向东的附加移速为主, 反之, 若热带气旋处于减弱阶段, 当其移近华南坡地地形时, 将有向西的附加移速, 由(22)式可见, 经向的附加移速始终为负值。由此, 在附加移速和引导气流的综合影响下, 原先增强中的南海北折登陆热带气旋将折向引导气流的右侧移动(图2a), 而原先减弱中的南海北折登陆热带气旋则将折向引导气流的左侧移动(图2b)。

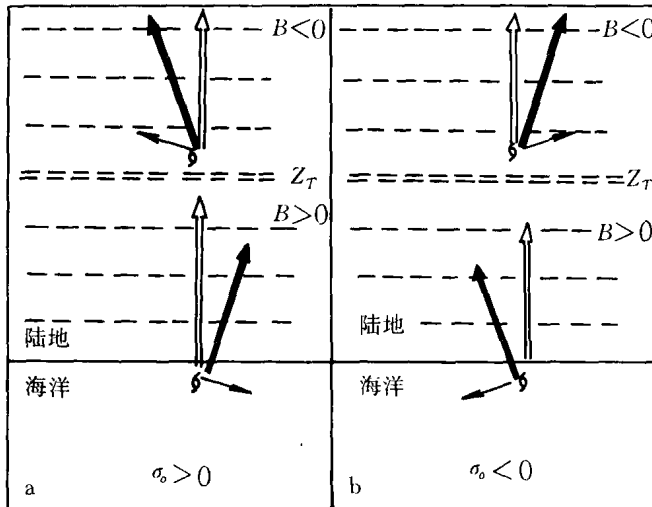


图2 地形对南海热带气旋移动影响示意图(说明同图1)

长期以来, 人们对于登陆热带气旋的强度减弱归因于地面摩擦作用和潜热能减少的原故, 而上述理论分析表明, 坡地地形的抑制作用也是热带气旋在登陆前、后强度减弱的一种动力机制, 可用以说明文献〔2〕对41个登陆海南省热带气旋统计获得的登陆前12小时强度即减弱的统计规律。关于地形对热带气旋移动影响的理论分析更可用以解释文献〔2, 5〕中有关热带气旋登陆前、后路径左折和右折的统计事实。

四、 结 语

本文应用两层线性化扰动模式研究分析了坡地地形对于近海或登陆热带气旋强度和路径的影响, 结果表明:

1. 热带气旋在移近坡地地形时, 地形具有抑制其发展的动力作用, 无论是增强或减弱中的热带气旋, 在其移近坡地地形时, 其增长率均将减小;
2. 对于热带气旋强度变化的抑制作用与热带气旋的扰动尺度和地形坡度成正比;
3. 移近华东、华南沿海的热带气旋在坡地地形的影响下, 其路径可偏向引导气流的右侧(对于增强中的热带气旋)或左侧(对于减弱中的热带气旋)。

参 考 文 献

- (1) 陈锡璋, 正面登陆台风的路径左偏现象, 天气月刊, 7, 1955.
- (2) 李曾中, 对海南岛登陆台风的研究, 1978年台风会议文集, 110-116, 上海科学技术出版社, 1981.
- (3) Ooyama, K., A dynamic model for the study of tropical cyclone development, Geofis. Intern., (Mexico), 4, 187-198, 1964.
- (4) Pedlosky, J., 地球物理流体动力学导论, (王斌、翁衡毅编译), 海洋出版社, 170-176, 1981.
- (5) 董克勤、李曾中, 海南岛地形对过岛台风影响的初步研究, 大气科学, 4, 1980.

THE EFFECT OF TOPOGRAPHY ON THE TC DISTURBANCE

Wang Yuqing Zhu Yongti

(Shanghai Typhoon Institute Shanghai 200030)

Abstract

The effect of topographic slope on the tropic disturbance has been studied based on a simple linearized two-layer atmospheric model in this paper. It has been shown that the topography not only can cause the growth rate of TC to slow down, but also can lead to an additional moving to add to the TC disturbance. Furthermore, some phenomena, such as the change of strength and track deflection of TC crossing the island or land-falling over a mountain range etc. have been discussed by using the theoretical results derived in the paper and some significant knowledge has been obtained.

Keywords: Sloping topography effect, tropic cyclone.

三麦产量结构系统动态预测模型研究*

李临颖

(上海市气象科学研究所 上海 200030)

提 要

本文根据对各个产量要素形成过程的生物学分析和各阶段气象条件对产量结构系统的影响,将各产量要素的形成划分成互为关联、重叠的奠基期、决定期和巩固期;采用逐步剩余回归方法分阶段建立各产量要素的预报模型,从而实现对产量结构系统形成过程的动态预测与监测。回报与试报表明,模型时效和精度均较为满意。

关键词 产量结构 动态预测 模型 三麦

一、 引 言

三麦产量结构系统的建成与生育期之间存在着某种对应关系^[1],产量各构成要素的形成时期相互重叠,同一时期的气象条件可以影响几个产量要素,同一产量要素的形成经历几个生育阶段。另外,作物群体结构和产量结构还可通过自身的调节、补偿机制来适应气象条件的变化^[2]。以最终产量为因变量建模,气象因素的影响信息可能因此而被部分地淹没或丢失,这种模型一般只能做一次预报,因而时效短、风险大,难以实现动态预测与监测^[3]。国家气象局最近颁发的“农业气象产量预报业务服务工作暂行管理办法”中规定,对麦类作物应做三次产量预报,且时效也要提前。本研究结合上海地区三麦生产的实际情况,把产量结构系统的建成看成是一个系统的、动态的和联系的过程,提出了一套适用性较强的三麦产量结构系统动态预测模型,较好地克服了以往模型中存在的不足,使模型的时效、精度、系统性和动态功能均得到明显改善。

二、 三麦产量结构要素形成时期的生物学分析及其划分

三麦产量由每亩穗数、每穗粒数和千粒重三个要素构成。气象条件对它们的形成影响很大,但不同生育阶段影响的重点各不相同^[3-4]。

* 本文1991年11月1日收到,1992年2月26日收到修改稿。

1. 播种出苗期 (11 月中旬至 12 月中旬)

这一阶段气象条件是基本苗数、穗数的奠定期。

2. 越冬分蘖期 (12 月下旬至 2 月中旬)

分蘖的消长和苗期生长对这一阶段温度、日照和土壤湿度都很敏感, 是每亩穗数的决定期, 同时, 麦苗的素质也为后期幼穗分化能力奠定了基础。

3. 拔节孕穗期 (2 月下旬至 4 月上旬)

拔节孕穗期是穗数形成巩固期。拔节后温度的高低对小穗和小花原始体分化的开始时间及持续时间有很大的影响, 是穗粒数形成的决定期。这一阶段个体及群体生长较快, 个体素质及群体功能都将影响后期开花、灌浆的质量, 是千粒重奠定基础时期。

4. 抽穗开花期 (4 月中旬至 5 月中旬)

抽穗开花期的阴雨、高温、干旱不仅影响穗粒数, 而且对粒重的形成也至关重要, 可以分别是两者的巩固期和决定期。

5. 灌浆成熟期 (5 月下旬至 6 月上旬)

该阶段是粒重形成的巩固期, 不利气象条件可使灌浆过程缩短, 灌浆速度减慢, 从而使粒重下降, 造成瘪粒; 干热风还可引起高温逼熟。

综上所述, 可将三麦各产量要素的形成时期都划分为奠定期、决定期和巩固期三个阶段, 它们相互重合, 这样全面考虑了每一产量结构的形成过程和各个生育期对每个产量结构的影响。

表 1 三麦产量结构形成时期划分示意图

生育期	播种	——1——	越冬	——2——	拔节	——3——	孕穗	——4——	灌浆	——5——	成熟
亩穗数		——奠定期——		——决定期——		——巩固期——		——		——	
穗粒数		——		——奠定期——		——决定期——		——巩固期——		——	
千粒重		——		——		——奠定期——		——决定期——		——巩固期——	

以上划分虽然不是绝对的, 但由于建立在对三麦产量结构形成的生物学分析基础上, 且采用自然的生育期为标准, 有许多方便之处。

三、 三麦产量结构系统动态预测模型的建立

1. 建模方法

模型中使用下列符号:

Y —产量实测值 ($\text{kg}/\text{亩}^*$); Y_i —第 i 个产量要素的实测值 ($i=1, 2, 3$, 分别代表每亩穗数 (Y_1 , 10^4 穗/亩), 每穗粒数 (Y_2 , 粒/穗) 和千粒重 (Y_3 , 10^{-3} g/粒); $\hat{Y}_i^1$ —第 i 个产量要素在奠定期的估计值; $\hat{Y}_i^2$ —第 i 个产量要素在决定期的订正值; $\hat{Y}_i^3$ —第 i 个产量要素在巩固期的订正值; $\hat{Y}_i$ —第 i 个产量要素的模型估

* 1亩=666.6 m²

计值； $\hat{Y}$ —产量的模型估计值； X_j^k —第 j 个生育期内第 k 个气象因子， j 取 1、2、3、4、5，分别表示上述 5 个生育期； k 取 1、2、3、4、5、6，分别表示每个生育期内的有效积温（ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ）、总雨量（mm）、总雨日、总日照时数、极端最低或最高气温（ $^{\circ}\text{C}$ ）和某一气象要素超过特定界限的日数。这些气候因子是影响三麦产量高低及其构成的主要因素^{〔5〕}。

考虑到产量要素 Y_i 要经过三个阶段才能最终确定，因此采用剩余回归的思路，即以实际值扣除上一阶段模型估计值后的残差作为下一阶段模型的拟合对象（表 2）；

表 2 产量要素 Y_i 动态建模示意表

功能期	因变量	气象因子	模型形式
奠基期	Y_i	X_i^k	$\hat{Y}_i^1 = f_i(X_i)$
决定期	$Y_i - \hat{Y}_i^1$	X_{i+1}^k	$\hat{Y}_i^2 = g_i(X_{i+1})$
巩固期	$Y_i - \hat{Y}_i^1 - \hat{Y}_i^2$	X_{i+2}^k	$\hat{Y}_i^3 = h_i(X_{i+2})$

依次将各阶段模型估计值进行叠加，逐步逼近实际值。产量 Y 由各产量要素 Y_i 按乘法公式计算

产量要素 Y_i 的估算模型为

$$\begin{aligned}\hat{Y}_i &= f_i(X_i) + g_i(X_{i+1}) + h_i(X_{i+2}) \\ &= \hat{Y}_i^1 + \hat{Y}_i^2 + \hat{Y}_i^3 \\ &= \sum_{j=1}^3 \hat{Y}_i^j\end{aligned}\tag{1}$$

产量 Y 的预测模型为

$$\begin{aligned}\hat{Y} &= C \hat{Y}_1 \hat{Y}_2 \hat{Y}_3 \\ &= C \prod_{i=1}^3 \hat{Y}_i \\ &= C \prod_{i=1}^3 \left(\sum_{j=1}^3 \hat{Y}_i^j \right)\end{aligned}\tag{2}$$

式中 C 为单位换算系数。

随着生育期的推进，不断得到各个产量要素的初报值和订正值，充分利用已知气象信息监测产量结构系统的形成和变化情况，以达到动态预测的目的。

2. 实例

以上海市宝山区 1980—1989 年的三麦产量结构资料和生育期内气候要素为样本，按上述方法建立产量结构各阶段预报模型，经逐步回归方法筛选后，各阶段入选因子如下（表 3）：

表 3 宝山区三麦产量结构系统动态预测模型入选因子 X_i^k 及相关系数 R

生育期	播种 —1— 越冬 —2— 拔节 —3— 孕穗 —4— 灌浆 —5— 成熟					
亩穗数	X_i^k	X_1^5	X_2^1	X_3^1		
	R	0.629	0.724	0.749		
穗粒数	X_i^k		X_2^6	$X_3^1 X_3^3 X_3^4$	X_4^6	
	R		0.625	0.803	0.806	
千粒重	X_i^k			$X_3^4 X_3^5 X_3^6$	$X_4^1 X_4^3$	$X_5^1 X_5^3 X_5^4$
	R			0.943	0.841	0.959

表 4 宝山区三麦产量结构系统动态、预测模型效果检验

产量要素	年份	实际值	奠 定 期		决 定 期		巩 固 期	
			预报值	相对误差(%)	预报值	相对误差(%)	预报值	相对误差(%)
每 亩 穗 数	1981	36.26	36.06	0.55	37.80	4.24	35.79	1.30
	1982	38.32	35.73	6.76	36.11	5.76	36.98	3.49
	1983	38.65	34.07	11.86	34.13	11.70	36.64	5.20
	1984	40.64	37.39	7.99	40.84	0.49	41.71	2.65
	1985	36.66	37.95	3.51	38.80	5.83	37.61	2.59
	1986	34.29	33.73	1.62	35.07	2.27	36.35	5.99
	1987	31.94	35.73	11.86	32.43	1.52	30.42	4.77
	1988	31.35	34.95	11.49	32.79	4.58	32.01	2.10
	1989	31.90	34.40	7.83	32.05	0.48	32.51	1.90
	1990	30.43	31.25	2.70	30.93	1.64	31.20	2.53

续 表 4

产量要素	年份	实际值	奠 定 期		决 定 期		巩 固 期	
			预报值	相对误差(%)	预报值	相对误差(%)	预报值	相对误差(%)
每穗粒数	1981	25.40	25.14	1.03	24.83	2.22	25.57	0.67
	1982	25.80	26.15	1.35	25.23	2.19	25.58	0.85
	1983	21.67	25.77	18.92	22.81	5.27	22.78	5.07
	1984	22.92	22.98	0.29	23.22	1.32	22.80	0.57
	1985	26.52	25.26	4.74	25.75	2.90	26.10	1.59
	1986	27.15	25.39	6.48	25.28	6.87	26.41	2.72
	1987	27.28	26.91	1.36	28.43	4.21	27.21	0.24
	1988	28.10	27.03	3.79	28.53	1.53	28.88	2.77
	1989	27.34	27.54	0.73	28.08	2.72	26.87	1.72
	1990	27.13	26.32	2.99	27.14	0.01	27.25	0.44
千粒重	1981	34.80	35.07	0.77	35.28	1.37	34.89	0.27
	1982	35.40	34.46	2.64	34.84	1.59	35.45	0.14
	1983	32.70	33.67	2.96	32.33	1.12	32.62	0.24
	1984	35.17	33.98	3.38	34.70	1.34	35.24	0.20
	1985	30.29	30.56	0.89	30.36	0.23	30.23	0.20
	1986	36.23	36.01	0.62	36.15	0.21	36.07	0.43
	1987	31.73	31.64	0.28	32.16	1.36	31.72	0.02
	1988	37.23	37.15	0.21	37.28	0.13	37.12	0.31
	1989	34.83	35.84	2.89	35.28	1.30	35.03	0.58
	1990	37.97	36.20	4.66	36.25	4.53	36.92	2.76

根据模型（1），在三麦生长期内的不同生育阶段对产量结构进行动态预测，1980—1989 年的回报及对 1990 年的试报（表 4）表明，在奠定期，模型给出相应产量要素的趋势值，对于误差较大的年份，经决定期和巩固期的订正预报后，误差都明显减小，大都在 3% 以下，尽管产量结构年际变化幅度很大，但模型拟合值与实际值非常接近，表明模型具有较高的精度。

在对产量结构系统动态预报的基础上，根据模型（2），可对三麦产量进行动态预测。整个生育期内可对产量结构系统进行五次预报，其中后三次，即可给出有意义的产

量预报，回报及试报结果见表 5。

表 5 宝山区三麦产量结构系统动态预测模型回报及试报误差

年 份	第 一 次 预 报		第 二 次 预 报		第 三 次 预 报		实 际 理 论 产 量
	4 月 上 旬		5 月 中 旬		6 月 上 旬		
	预报值	误差(%)	预报值	误差(%)	预报值	误差(%)	
1981	318	0.93	331	3.12	319	0.62	321
1982	322	8.00	317	9.43	335	4.28	350
1983	296	8.03	252	8.03	272	0.73	274
1984	292	10.98	329	0.30	335	2.13	328
1985	293	0.34	303	3.06	296	0.68	294
1986	308	8.61	320	5.04	346	2.67	337
1987	304	10.14	297	7.61	263	4.71	276
1988	351	7.01	349	6.40	343	4.57	328
1989	340	11.84	318	4.61	306	0.66	304
1990	298	4.79	304	2.88	314	0.03	313
平均		7.07		5.05		2.10	

第一次预报可在 4 月上旬发出，经二次订正预报后，相对误差均小于 5%，平均只有 2.1%，说明预报效果较好。

四、 结论与讨论

- 1、 三麦产量结构系统的形成是一非常复杂的生物物理过程，各阶段气象条件对产量结构系统和最终产量的影响是非常微妙和复杂的，因此，产量结构系统的实时监测和产量的动态预测及各阶段气象条件利弊评判都必须贯彻系统的、动态的和联系的观点，必须联系作物的一生。
- 2、 三麦产量结构系统动态预测模型将各产量要素的形成时期按生物学过程划分为莫定期、决定期和巩固期，采用剩余逐步回归方法分阶段追踪模拟三麦产量结构系统的形成，使模型的时间积分特征进一步规范化、系统化，因而可作为一种追踪型的准实时的动态监测和预测业务模式，使产量情报、预报的信息量、时效和准确性得到提高，更加突出模型的生物学意义。

参 考 文 献

- (1) 南京农学院等, 作物栽培学, 186-214, 上海科学技术出版社, 1983。
- (2) 江苏农学院农学系, 水稻苗管理图册, 江苏省科技出版社, 1979。
- (3) 王馥棠等, 农业气象预报概论, 473-476, 农业出版社, 1991。
- (4) 上海市农业局, 农业生产技术手册, 44-46, 上海科学技术出版社, 1979。
- (5) 上海市农业区划办公室, 上海农业气候, 156-164, 学林出版社, 1985。

THE STUDY ON THE DYNAMIC FORECASTING MODELS OF YIELD STRUCTURAL SYSTEM OF WHEATS

Li Linying

(Shanghai Meteorological Institute, Shanghai 200030)

Abstract

The building of yield structural system (YSS) is regarded as the systematic and dynamic procedure. Based on the biological analysis of the forming process of each yield component and the function of meteorological factors in each developing period, the formulation of each yield component is divided into three periods: establishment, determination and consolidation. A set of forecasting models for YSS was built with the method of residual progressive regression. These models can be used to make dynamic forecasting and monitoring of YSS and are especially suitable to be applied in operational use of yield forecasting.