

石家庄地区干热风年型指标分 析及统计预测模型*

王春乙 潘亚茹 季贵树

(国家气象局气象科学研究所) (河北省气象局气候资料室)

本文提出的干热风综合指数 (DHW) 能反映某时期内干热风日数累积影响和干热风强度的瞬时影响, 还可用来划分重、轻、无干热风年型指标。并采用岭回归方法组建 DHW 预测模式, 其试报结果较好, 克服了文献[1]的某些不足。

1. 干热风综合指数的确定

据文献[2]的研究, 华北区域冬小麦干热风主要出现时段为 5 月下旬至 6 月上旬, 而集中出现时段为 5 月下旬末至 6 月上旬初, 此期正值该地区冬小麦灌浆盛期, 相当于物候观测的乳熟至腊熟期, 是产量形成的关键时期。因此, 本文的分析时段定为 5 月 21 日至 6 月 10 日。新的干热风综合指数 DHW 由下式计算:

$$DHW = \sum_{5月21日}^{6月10日} I_i \quad (1)$$

$$I_i = W_1 \frac{T_i - T_0}{T_0} + W_2 \frac{|R_i - R_0|}{R_0} + W_3 \frac{V_i - V_0}{V_0} \quad (2)$$

式中, W_1, W_2, W_3 分别为气温、相对湿度、风速的权重系数; T_i, R_i, V_i 分别为日最高气温、14 时相对湿度和风速; T_0, R_0, V_0 分别为冬小麦停止灌浆的 (T_i, R_i, V_i) 上限边界值。这里仅在不等式:

$$T_i \geq T_0, R_i \leq R_0, V_i \geq V_0$$

同时成立的情况下, DHW 有效, 否则 $DHW = 0$ 。

1) 停止灌浆上限边界值的确定 据文献 [1], 在华北区域内整个冬麦区, 选取 9 个有代表性的站: 15 个高温低湿天气过程所造成的小麦灌浆速度下降值同对应的 T, R, V 三要素建立的多元回归方程:

$$\text{重区} \quad y = 7.6359 - 0.2663T + 0.00451R + 0.01398V \quad R = 0.5640 \quad (3)$$

$$\text{次重区} \quad y = 11.5274 - 0.3869T + 0.0058R - 0.0257V \quad R = 0.8870 \quad (4)$$

$$\text{全区} \quad y = 5.7166 - 0.2331T + 0.0351R - 0.0382V \quad R = 0.9155 \quad (5)$$

其中, y 为灌浆速度下降值, R 为相关系数。令其 y 为零时, 解出联立方程组的 T, R, V , 再考虑到各种年型间干热风对冬小麦的实际影响情况, 最后确定的 T_0, R_0, V_0 值分别为 $30^\circ\text{C}, 35\%, 1 \text{ m/s}$ 。

2) 权重系数的确定 众所周知, 在组成干热风 T, R, V 三要素中, 各自所起的作用是不同的。据上述全区的冬小麦灌浆速度下降值同 T, R, V 所建立的回归方程, 对 T, R, V 分别进行 t 检验, 可推得:

$$T = 5.9, R = 2.0, V = 0.2$$

这表明日最高气温是伤害冬小麦的主导因子, 相对湿度是重要因子, 风是辅助因子。按 $W_1 + W_2 + W_3 = 1$ 法则, 求得 T, R, V 所占的权重分别为 $0.73, 0.24, 0.03$ 。

3) 消除量纲的影响 因气温、湿度、风速具有不同量纲, 且绝对值差异较大, 所以采用各自的相对

* 本文于 1989 年 2 月 21 日收到, 1989 年 8 月 7 日收到最后修改稿。

值来求和更为合理,处理方法见(2)式。

2. 干热风年型指标的确定

据文献[1]所确定的干热风指标,统计出5月下旬至6月上旬干热风日数 DAY,得知 DHW 同 DAY 之间的关系如图1所示,回归方程为:

表 1 干热风年型指标

年 型	重	轻	无
指 标	$DHW \geq 2.00$	$1.20 \leq DHW < 2.00$	$DHW < 1.20$

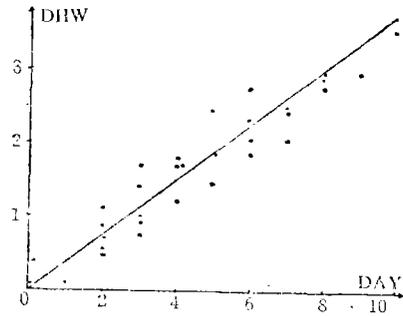


图 1 DHW 同 DAY 的相关关系

$$DHW = 0.1408 + 0.3363 \text{ DAY} \quad (6)$$

方程的相关系数为 0.9296,这说明两者之间存在着很好的相关关系。据历史上该地区干热风的出现情况[4]及对冬小麦的实际影响程度和本文的 DHW 指数,再参考 DAY,确定的干热风年型指标见表 1。据 1955—1986 年的统计,重、轻、无干热风年出现的频数分别为 12, 9, 11 次,也就是说,重、轻和无干热风年分别为三和四年一遇。自 1955, 1956, 1957, 1958 年起的每 4 年的滑动组合中(共 29 种组合),重、轻、无干热风 4 年不遇、1 遇、2 遇、3 遇的保证率如表 2 所示。

表 2 每 4 年遇不同等级干热风次数的保证率

等级	次数			
	无	1 次	2 次	3 次
重	10.3	44.8	34.5	10.3
轻	17.2	48.3	31.0	3.5
无	6.9	55.2	34.5	3.5

DHW 指数能较好地反映干热风的累积和瞬时变化对冬小麦产量的影响。例如,在重干热年中,1960 年 DAY 仅有 5 天,但 DHW 高达 2.69,说明该年具有明显的短时强干热风天气,1962 年 DAY 长达 9 天, DHW 仅有 2.82,说明该年具有长时期干热风天气的累积作用。从产量结构和千粒重来看,1962 年减产程度略重于 1960 年,1962 年的千粒重亦比 1960 年的轻。这说明长时期持续高温天气对冬小麦产量形成威胁性更大,它造成植株蒸腾加剧,光合速率降低,导致灌浆速度下降,以致造成产量降低。而短时强高温天气对冬小麦产量影响也很大,由于冬小麦已处于生长后期,根系活力和生理机能日趋衰退,这时气象要素突变,即温度骤升,湿度降低并伴有一定风力,造成冬小麦生理失调而“青枯”,以致于在短期内难于或无法恢复,而造成减产。总之,这是干热风天气对冬小麦造成影响的两种主要情况。在轻干热风年中也是如此。

3. DHW 预测模式的组建

1) 预报因子的选取 本文采用上年 11 月至当年 3 月大气环流因子同 DHW 进行单相关普查,粗选

出的因子为: 当年 2 月副高面积指数(x_1), 当年 2 月极涡位置(x_2), 当年 2 月副高北界平均位置(x_3), 上年 11 月东亚槽平均位置(x_4), 当年 3 月副高西伸脊点(x_5), 当年 3 月极涡强度(x_6), 当年 3 月副高强度指数(x_7), 当年 3 月副高北界平均位置(x_8), 它们同 DHW 的相关系数见表 3。由于粗选的同类环流因子彼此之间存在着共线性, 本文采用主分量分析方法, 对粗选因子进行正交化^[3]处理, 求得主分量组合因子。

表 3 粗选因子同 DHW 的相关系数

因子	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
相关系数	-0.4011	-0.3635	-0.3557	0.3734	0.3768	-0.3549	-0.3596	-0.4960

2) 预报量周期分量因子的生成^[3] 为了避免单相关系数的阶段性对模型的影响, 本文引入预报量的周期分量因子, 其生成如下: 设 $x = x_1, x_2, \dots, x_n$ 为时间序列, 按试验周期方法, 将资料以周期长度为 2 分成 2 组:

$$\begin{array}{cc} x_1 & x_2 \\ & x_3 \\ & \vdots \\ & x_{n-1} & x_n \end{array}$$

求出每列的平均值: \bar{x}_1, \bar{x}_2 。则周期序列为:

$$\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots$$

依次类推, 反复进行下去, 直到分组个数不大于资料样本数一半为止。由各组平均值所构成的周期序列称为周期分量因子。

3) DHW 预测模型的建立 本文采用能够在因子较多, 且彼此之间存在较强共线性时, 选择最优子集来确定回归方程, 其方程和回归系数的波动都较小的岭回归分析方法来组建 DHW 的预测模型。岭回归系数的估计式为^[1]:

$$\hat{\beta}_k = (X^T X + KI)^{-1} X^T Y \quad (7)$$

式中, X 为自变量矩阵, X^T 为 X 的转置, Y 为因变量矩阵, I 为单位矩阵, k 为给定的常数。据 Hoerl 等人的研究^[4], 若关系式:

$$0 < k < \sigma^2 / \max r_i^2 \quad (8)$$

成立, 则由(7)式定义的岭估计便更接近于真实回归系数。其中 $r = P^T \beta$, P^T 为正交矩阵, 由 $X^T X = P^T \Lambda P$ 得出, Λ 为对角矩阵。为了方便, 将 $\sigma^2 / \max r_i^2$ 记为 k_i , k_i 的确定详见文献[4-5]。在实际计算过程中, 取 $k = 0, 0.1k_i, 0.2k_i, \dots, k_i$, 选取方差最小者。

本文在建模过程中, 采取的步骤为, 首先使用逐步回归方法从 8 个主分量组合因子和 16 个周期分量因子中选取组建模式的最优子集, 取 F 值为 4.0, 入选因子为: 第一主分量组合因子(Z_2), 表达式为:

$$Z_2 = -0.16x_1 - 0.31x_2 - 0.02x_3 + 0.04x_4 + 0.82x_5 - 0.21x_6 - 0.38x_7 - 0.07x_8 \quad (9)$$

它集中了 8 个粗选环流因子的有用信息, 另外三个因子为预报量的 10 年(Z_1)、14 年(Z_3)、7 年(Z_4)周期分量因子, 它们体现了预报量的周期效应对回归模型的贡献。然后, 使用岭估计方法确定这 4 个因子最稳定的回归系数。计算表明, 当 $k = 0.3$ 时, 剩余标准差为最小, 则对应于 $k = 0.3$ 时的岭回归预测模型为:

$$\text{DHW} = -1.66 + 0.36Z_1 + 0.59Z_2 + 0.61Z_3 + 0.43Z_4 \quad (10)$$

方程的复相关系数为 0.9566。历史回代结果如表 4 所示, 历史拟合率为 91%。并以 1987, 1988 年为独立样本进行了试报, 结果见表 5, 预报准确。

表 4 模型的历史拟合结果

年	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
实际年型	重	无	无	轻	无	重	重	重	无	无	重	轻	重	重	无	无
拟合年型	重	无	无	轻	无	重	重	重	无	无	重	轻	重	轻	无	无
评 定	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓

年	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
实际年型	轻	重	无	轻	重	轻	无	轻	轻	无	重	重	轻	轻	无	重
拟合年型	轻	重	无	重	重	轻	无	轻	轻	无	重	重	无	轻	无	重
评 定	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓

表 5 预报结果检验

年	类 别	实际DHW值	预报DHW值	实际有无干热风	是否实际危害小麦
1987		1.10 < 1.20	0.38 < 1.20	无	否
1988		0.13 < 1.20	0.54 < 1.20	无	否

4. 结论

1) 干热风综合指数 DHW 能较好地反映某时期内干热风的累积及瞬时变化效应对小麦的危害;且用它所确定的干热风年型较符合客观实际,预报方便。

2) 在对粗选因子进行主分量和预报量的周期分量分析的基础上;利用岭回归分析方法 组建预测模型,对干热风年型做出预测,收到较好的效果。

致谢: 本文在修改过程中得到王馥棠、王石立同志的帮助,深表谢意。

参 考 文 献

- [1] 延珠等, 小麦干热风气象指标的研究, 中国农业科学, 1983年, 第4期, 68—75页。
 [2] 崇优森等, 北方小麦干热风气候区划, 气象, 1981年第5期, 11—15页。
 [3] 王余春乙等, 我国北方主要产麦区冬小麦产量海温业务预报模式, 数学的实践与认识, 1989年第1期, 19—25页
 [4] Hoar A. E., and R. W. Kennard, Ridge regression applications to nonorthogonal problems, Technometrics, 12, 1, 69—82, 1970.
 [5] 李耀1, i, 模糊集合嵌入岭回归在水稻产量年景气象预测中的应用, 气象学报, 44, 4, 456—463, 1986。

INDEX ANALYSIS OF DRY HOT WIND YEAR'S TYPE AND FORECASTING MODEL IN SHIJIAZHUANG DISTRICT

Wang Chunyi Pan Yaru

(Academy of Meteorological Science, State Meteorological Administration)

Ji Guishu

(Climate Information Office, Hebei Meteorological Bureau)

Abstract

A new synthesized index of dry hot wind (DHW) was put forward, and may be used to divide year type of dry hot wind. At the same time, on the basis of cycle analysis of predictand and main component to factors selected, ridge regressions are used to set up the forecasting model of DHW.