

春小麦干热风灾害监测指标与损失评估模型方法探讨 ——以宁夏引黄灌区为例*

刘 静 马力文 张晓煜

(宁夏气象防灾减灾重点实验室,银川 750002)

刘玉兰 武万里 孙银川

(宁夏银川市气象局,银川 750002)

摘 要

利用小麦干热风观测资料和产量统计年鉴,结合民政部门灾害历史资料,运用产量逐级分离模拟和给定初始聚类中心的逐步筛选聚类分析方法,分别确定了宁夏引黄灌区春小麦两类干热风灾害等级判别指标,并建立了各自的等级判别方程;通过小麦抽穗扬花前的气候模拟,分离出灌浆期间两类干热风影响的产量;根据不同时期小麦受不同程度的灾害对产量的综合影响建立了综合灾害等级查询表和灾损评估模型,代入灾害综合等级,实现了监测和产量损失评估。

关键词:春小麦 干热风 灾害指标 灾损评估

引 言

小麦干热风是我国北方普遍发生的一种农业气象灾害,分高温低湿型和雨后猛晴型,前者称干热风,后者称青干。一般会减产 5%~10%,危害严重年份减产可达 20%以上。20 世纪 80 年代全国范围的协作研究,形成了普遍流行的“三三”制指标^[1];史定珊等从干热风日、干热风天气过程、干热风年型 3 方面提出冬小麦干热风二级评判指标^[2];陈怀亮等利用上述指标,用自然正交函数分析了河南省干热风发生规律^[3];牛晋源等除考虑上述 3 项因子外,参考日蒸散量将晋城干热风分级^[4];曹玲、窦永祥^[5]用功率谱分析了甘肃河西走廊中部干热风情况,并用模糊多元回归建立了干热风天气预报模型;董永祥等根据干热风危害症状,总结出春小麦不同灌浆时段干热风和青干的 3 级气象指标,使干热风研究更细^[6]。上述研究主要是根据经验定性区分干热风影响程度,而定量确定其对产量的影响方面,文献较少。为了开展灾害监测与灾损评估,以建立宁夏引黄灌区两类干热风对产量影响的监测指标和损失评估模型为例,探讨定量确定干热风指标和实现两类干热风监测与灾损评估的技术方法。

* 由宁夏科技厅课题“宁夏主要农业气象灾害监测与灾损评估系统研究”资助。

2002-10-14 收到,2003-04-18 收到修改稿。

1 资料和方法

由于宁夏引黄灌区面积较小,地形、土壤类型、灌溉条件和灌溉时间基本一致,选用灌区中部的宁夏永宁国家基准农业气象实验站的资料代表引黄灌区的春小麦气象条件。其中1981~2000年干热风资料选自农业气象观测报表,1971~1980年资料选自十年减灾委员会灾害报表。气象资料为1971~2000年灌浆期逐日气象观测数据,春小麦单位面积产量资料选用自治区统计局年报,发育期资料参考历年农业气象观测报表。

首先,将历史产量序列 Y 看成是趋势产量 Y_t 、小麦抽穗前气象条件所决定的气象产量 Y_{W1} 、抽穗—成熟气象条件所决定的气象产量 Y_{W2} 之和,即:

$$Y = Y_t + Y_{W1} + Y_{W2} + \varepsilon \quad (1)$$

ε 为随机因素所造成的误差,在此忽略不计,于是,抽穗—成熟气象条件所决定的气象产量 Y_{W2} 可由下式分离:

$$Y_{W2} = Y - Y_t - Y_{W1} \quad (2)$$

其中,社会趋势产量 Y_t ($\text{kg}/\text{h m}^2$) 可用年序 t 进行正交多项式分离:

$$Y_t = 5575.3 - 226.3t + 30.307t^2 - 0.9687t^3 \quad (1971 \text{ 年}, t = 1) \quad (3)$$

小麦抽穗前气象条件所决定的气象产量 Y_{W1} ($\text{kg}/\text{h m}^2$) 可统计历年农业气象观测报表中不同发育期间气象要素,进行小麦开花前气象因子普查和偏相关分析,选择有生物意义的因子,建立拟合方程:

$$Y_{W1} = -2269.508 + 67.725 X_1 - 54.761 X_2 + 174.715 X_3 + 7.913 X_4 \quad n = 30 \quad (4)$$

X_1 为播种—出苗的最低气温, X_2 为拔节—孕穗的平均气温, X_3 为孕穗—抽穗的平均气温, X_4 为抽穗—开花的日照时数。 $R = 0.672$, $F = 3.288$, $F > F_{\alpha=0.05}$, 方程极显著。各因子均有生物学意义。 X_1 决定春小麦出苗的迟早和苗情;小花原基形成期—四分体形成期气温 (X_2) 偏低可延长小穗、小花分化时间,防止退化,提高结实率^[7];孕穗—抽穗阶段气温 (X_3) 偏高有利于提早抽穗,延长后期灌浆时间;抽穗扬花期日照时数 (X_4) 有正影响,湿度过大,花期遇雨影响受精,降低结实率。

根据式(2),原始产量经趋势拟合和灌浆前的气象因子拟合后,即剔除了趋势产量和灌浆前气象产量的贡献后的差值代表了灌浆期间气象条件对产量的影响和其它偶发因素对产量的影响。前者主要是干热风 and 青干的影响,后者如病虫害、倒伏等,历史上发生次数少,较难考虑,预测时可根据当年情况进行订正。

由于不同灌浆时段干热风的影响有差异,扬花期使小麦结实率降低,结实粒数减少,穗粒重下降,乳熟至蜡熟期影响灌浆结实,千粒重下降^[6];青干危害机理也有很大差异。我们将灌浆期分为抽穗扬花期、灌浆乳熟期和乳熟成熟期3个时段,分别统计各时段干热风和青干的灾害等级。运用给定初始聚类中心的逐步筛选聚类分析方法,对不同灌浆时段干热风和青干的气象因子与灾害等级进行筛选,用显著性强的因子确定了各自的聚类中心,并进行聚类效果检验,分别确定出宁夏引黄灌区春小麦两类干热风灾害等级判别指标。利用这些指标建立与分离产量的定量关系,达到干热风灾害监测与灾害损失评估的

目的。

为了实现自动监测灾害等级,减少人为判断误差,我们运用逐步判别方法,分别建立了春小麦两类干热风等级的 Fisher 线性判别方程组。根据不同时期受灾对产量的综合影响建立的综合灾害等级查询表,建立了灾损评估模型。

2 干热风 and 青干灾害的监测指标和等级判别

2.1 造成干热风因子的客观确定

确定小麦灌浆期气象因子对灌浆的影响,可用 Y_{W2} 与灌浆期平均气温 T 、最高气温 T_m 、平均相对湿度 f 、最小相对湿度 f_n 、平均风速 u 和平均日照时数 S 进行多种方法的相关分析^[8](见表 1),各种相关方法均显示 T_m 、 f_n 与 Y_{W2} 的相关性大于其它因素,从偏相关可看出, u 的作用较大,但 u 与其它因子相关性较大,其作用被掩盖,这可从其不相关概率最小得到验证。至此,我们可以确定干热风主要影响因子为 T_m 、 f_n 和 u 。同理,可确定青干影响因子为降水量 R 和 T_m 。

表 1 干热风影响因子的初步相关分析 ($n=50$)

方法	T	T_m	f	f_n	u	S
皮尔逊相关	- 0.202	- 0.242	0.21	0.258	0.048	- 0.141
肯道尔矢相关	- 0.174	- 0.150	0.161	0.201	0.019	- 0.038
斯费尔曼矢相关	- 0.221	- 0.244	0.287	0.315	- 0.013	- 0.154
偏相关	- 0.106	- 0.133	0.064	0.206	0.254	0.093
不相关概率	0.696	0.504	0.813	0.443	0.343	0.731

由于这些因子是灌浆期累计或平均值,而干热风的影响仅仅是其中一小段时间,因此其相关系数普遍偏小,仅起到一种指示作用,还没有实际用途。为了确定干热风影响因子的临界判定指标,我们对初步确定的 3 个因子和青干的 2 个因子给予不同的连续值,分别统计各年抽穗扬花期、灌浆乳熟期和乳熟—成熟期所选定的因子达到该设定界限值的天数,分别与 Y_{W2} 进行相关普查,普查结果可用图 1 的 Pearson(皮尔逊)相关系数变化曲线表示。选择各因子相关系数最大值所对应的因子界限值作为判定干热风的临界指标。

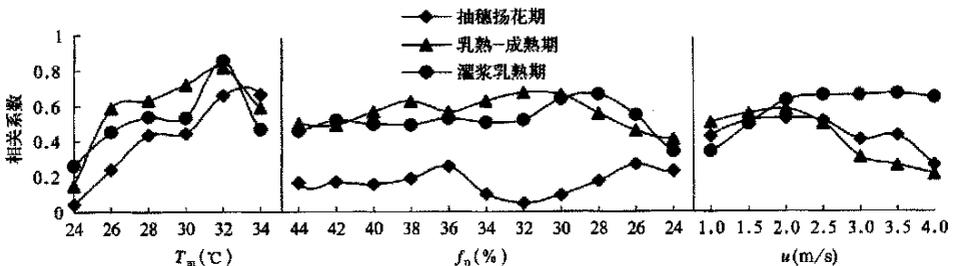


图 1 各因子不同界限值的出现日数与 Y_{W2} 的相关普查

图 1 有几点启示,一是从不同灌浆阶段因子影响来看,各阶段 T_m 影响均最大,其次

是 f_n , 再次是 u ; 二是不同灌浆阶段影响因子各有特点, 抽穗扬花期 T_m 、 u 影响显著, 而 f_n 不显著, 与此期间小麦生长旺盛, 根系活力较强有关, 即此时出现的干热风以热害和风害为主, 湿度不是限制因子; 灌浆乳熟期除 T_m 影响最大外, f_n 与 u 影响均重要, 且 u 的作用与 f_n 等价或略大, 即此期干热风受 3 个因素的共同影响; 乳熟—成熟期 T_m 影响最大, f_n 影响上升至第 2 位, u 影响虽仍显著, 但相关系数已下降, 即此期以热干为主, 风加重了植株水分的丧失; 三是从某因子在不同灌浆时段的作用来看, T_m 为乳熟—成熟期大于灌浆乳熟期, 二者又均大于抽穗扬花期; f_n 在灌浆乳熟期和乳熟—成熟期均显著且作用相当, 而抽穗扬花期作用不显著; u 在灌浆乳熟期最敏感, 只要 2.0 m/s 以上相关均较高且稳定, 而其它时段风速大于 2.5 m/s 相关系数下降较快。

选择图 1 中 3 个因子相关最显著的因子界限值, 作为各因子判别干热风的门限指标, 具有很好的指示意义: T_m 为 32 °C, f_n 为 30%, u 为 2.5 m/s。这些指标有一个共同特点, 在该处因子相关系数不同灌浆时段均最高或维持在最高水平上, 均通过 0.01 的 R^2 检验, 判别效果最理想, 在该门限两侧或一侧, 相关系数下降较快, 说明这些指标处于判别灾害等级的门限状态。

2.2 干热风发生程度等级指标的确定

以产量损失为依据, 结合历史记录的灾害程度, 参考十年减灾委员会的灾害上报资料, 对引黄灌区干热风影响等级进行了重新划分。以上述因子门限值确定历史样本每年灌浆期的日数, 按照灾害等级划分结果, 分别统计各类因子的平均值作为聚类中心, 利用给定初始聚类中心的 K 均值聚类方法, 对 1951~2000 年干热风样本按灾害程度进行 K 均值逐步筛选聚类。用有限次逐步逼近法^[9], 按聚类最优原则确定了干热风不同级别的聚类中心, 作为灌区春小麦干热风发生程度指标的确定依据。以相邻灾害等级的平均值为界限, 划分了引黄灌区春小麦干热风灾害等级, 以便在实际应用中能直观划分各类别, 见表 2。该指标的主要特点是引入的因子以对产量的影响最大为原则, 不同灾害等级间判别因子的交叉性小, 克服了以前干热风指标交叉性大, 指标表述不全, 难以实际应用的不足^[6]。

青干指标确定方法类似, 根据 1981~2000 年观测报表记录的小麦青干发生程度, 参考十年减灾委员会的灾害上报资料, 划分了青干等级; 参考青干危害机理和前人研究^[6], 选择小麦青干发生前的过程降水量、降水日数和降水后 2 天内的最高气温、日照时数, 进行因子逐步筛选聚类分析, 确定出不同等级青干的气象因子聚类中心, 从而确定不同等级的小麦青干指标。

为了检验聚类分析结果和所确定的指示因子的重要性, 我们将 1951~2000 年的灾害情况进行回代检验, 见表 2。结果显示, 历史样本判断准确率均在 60% 以上, 如果相邻级别的判断误差可以接受的话, 判断偏离 2 个等级的准确率为 88.6%~100%, 查阅历史灾情记载, 判别产生误差的年份往往存在病虫害较重的干扰, 可见, 这些判别指标基本令人满意。

由于判断灾害等级的指示因子较多, 我们按照最终聚类结果各因子 F 检验值(见表 2) 确定其影响程度, F 值越大, 该因子越重要。经排序, 在小麦干热风的各类判别因子中, 均以极端最高气温作为 I 级判别指标, 最高气温 ≥ 32 °C 日数为 II 级判别指标, 其他因

表 2 宁夏灌区春小麦两类干热风发生程度等级指标及显著性检验结果

类型	灌浆时段	因子	干热风等级			样本数	F	准确率(%)
			轻	中	重			
干 热 风	抽穗扬花期	最高气温 ≥ 32 °C 日数(d)	1~2	2~3	>3	45	21.0	
		极端最高气温(°C)	31.5~33.0	33.1~34.0	≥ 34.0	45	76.8	62.2
		平均风速 ≥ 2.5 m/s 日数(d)	1~2	>2	>2	45	8.0	
	灌浆乳熟期	最高气温 ≥ 32 °C 日数(d)	1~2	2~4	>4	45	19.9	
		极端最高气温(°C)	32.0~33.2	33.3~34.3	≥ 34.4	45	35.6	64.4
		当日最小相对湿度(%)	30~26	26~23	>23	45	4.4	
	乳熟成熟期	当日平均风速(m/s)	2.5~2.8	2.5~3.4	≥ 3.5	45	4.6	
		最高气温 ≥ 32 °C 日数(d)	1~2	2~3	≥ 4	45	10.2	
		最小相对湿度 ≤ 30 % 日数(d)	1~2	2~3	≥ 4	45	8.8	
		平均风速 ≥ 2.5 m/s 日数(d)	1~2	1~3	≥ 4	45	6.2	68.9
		极端最高气温(°C)	32.4~33.9	34.0~35.0	>35.0	45	42.4	
		当日最小相对湿度(%)	≤ 31	≤ 28	≤ 24	45	9.0	
青 干	抽穗扬花期	过程降水量(mm)	5~15	>15	—	30	144.0	
		降水日数(d)	2	3	—	30	7.8	80.0
		过程后 2 日内最高气温(°C)	28.0~29.6	≥ 29.7	—	30	2.6	
	灌浆乳熟期	过程降水量(mm)	4~9	9~17.7	≥ 17.7	56	227.1	
		降水日数(d)	2	2	≥ 3	56	4.4	67.0
		过程后 2 日内最高气温(°C)	≥ 29	≥ 29	≥ 29	56	0.8	
	乳熟成熟期	过程降水量(mm)	5~15.8	15.9~30.4	>30.5	27	225.5	
		降水日数(d)	2	3	≥ 3	27	9.2	75.0
		过程后 2 日内最高气温(°C)	≥ 29	≥ 28.8	≥ 29.7	27	1.7	

子作为 II 级判别指标。同理,小麦青干的指示因子中,各灌浆时段均以过程降水量为 I 级判别指标,降水日数为 II 级判别指标,降水过程结束后 2 日内的极端最高气温显著性较差,仅作为辅助判别因子。上述指示因子判别方法,克服了以前灌区干热风指示因子代表性不全,判断结果不唯一的缺陷^[6],可用于台站小麦干热风发生程度的监测。

2.3 干热风和青干灾害等级的自动识别

为自动识别干热风及青干的灾害等级,达到客观、及时监测与灾损评估,利用逐步判别分别建立小麦干热风和青干各灌浆时段的判别函数,监测时计算各类别的函数值,以最大值所在的类别为灾害等级。我们计算了小麦干热风和青干的 Fisher 线性判别方程系数(表略)。

表 3 是干热风和青干的 Fisher 线性判别方程的历史样本分类情况,从干热风的判别效果来看,不同灌浆时段轻、中、重灾害判别效果很理想,但在判别有、无灾害时存在错判现象,特别是抽穗扬花期,虽然 36 个无灾样本有 34 个判断正确,但有一次判断为重灾,经调查,是由于发生小麦病害引起产量下降所致。小麦青干的判别结果表明,在抽穗扬花期和灌浆乳熟期间,不同程度的灾害都有个别误判现象,说明方程中入选因子没有完全反映出青干等级,雨后升温因子虽没有入选,但某些年份对青干的影响还是很大的。从表 3 的判别准确率来看,干热风为 88.9%~95.6%,青干为 78.6%~96.3%,判别效果很好,且优于聚类分析确定的指标判别法,可用于灾害监测和灾损评估模型。

监测或评估时,不同灌浆时段可通过农业气象 AB 报监测的作物发育期观测资料作

为 3 个时段的划分依据,气象资料可通过天气报的逐日气象资料,根据小麦干热风 and 青干 Fisher 线性判别方程计算,以最大值所在的类别作为该时段干热风 or 青干的灾害等级。

表 3 春小麦干热风的 Fisher 线性判别方程分类结果

类型	灌浆时段	灾害级别	预测类别				样本数 合计	准确率 (%)
			无	轻	中	重		
干热风	抽穗扬花期	无	34	1	0	1	36	93.3
		轻	0	5	0	0	5	
		中	1	0	0	0	1	
		重	0	0	0	3	3	
	灌浆乳熟期	无	28	1	1	0	30	95.6
		轻	0	8	0	0	8	
		中	0	0	4	0	4	
		重	0	0	0	3	3	
	乳熟成熟期	无	18	5	0	0	23	88.9
		轻	0	12	0	0	12	
		中	0	0	5	0	5	
		重	0	0	0	5	5	
青干	抽穗扬花期	无	26	1	0	0	27	93.3
		轻	0	2	0	0	2	
		中	1	0	0	0	1	
		重	0	0	0	0	0	
	灌浆乳熟期	无	33	8	0	1	42	78.6
		轻	0	5	0	0	5	
		中	0	1	4	0	5	
		重	0	0	2	2	4	
	乳熟成熟期	无	18	0	0	1	19	96.3
		轻	0	4	0	0	4	
		中	0	0	2	0	2	
		重	0	0	0	2	2	

3 小麦干热风综合等级评定及灾害损失评估模型

由于两类干热风得到 6 个等级,而这些等级的影响并不等价,如黄熟以后即使发生严重干热风天气,对产量的影响并不大。因此在建立干热风灾损评估模型时,为避免引入过多因子使效果下降,须评定当年干热风灾害的综合等级,在明确不同灌浆时段干热风 or 青干灾害等级后,参考当年 Y_{W2} 的变化,建立了干热风灾害的综合等级查询表(见表 4)。

在分别确定当年干热风和青干灾害等级后,我们可以通过下式确定当年 Y_{W2} :

$$Y_{W2} = 587.212 - 219.221 D_{\text{干热风}} - 91.108 D_{\text{青干}} \quad (5)$$

式中, $D_{\text{干热风}}$ 、 $D_{\text{青干}}$ 分别是表 4 中确定的干热风和青干的综合灾害等级。方程的 $R^2 = 0.653$, $F = 6.694$, 达到了极显著。按照小麦灌浆前的气象条件,发生干热风后的产量 (Y') 比灌浆期未受灾的正常预计产量 (Y , 当 $D_{\text{干热风}} = 1$, $D_{\text{青干}} = 1$) 的减产百分比为:

$$Y_d = (Y - Y') / Y \cdot 100\% \quad (6)$$

式(6)可评定干热风灾害所造成的产量损失占不受干热风危害,由灌浆前气象条件和

表 4 干热风或青干综合等级查询表

抽穗扬花 期等级	灌浆乳熟 期等级	乳熟成熟 期等级	综合等级	抽穗扬花 期等级	灌浆乳熟 期等级	乳熟成熟 期等级	综合等级
1	1	1	1	3	1	1	1
1	1	2	1	3	1	2	2
1	1	3	2	3	1	3	3
1	1	4	2	3	1	4	3
1	2	1	1	3	2	1	2
1	2	2	2	3	2	2	2
1	2	3	2	3	2	3	3
1	2	4	3	3	2	4	3
1	3	1	2	3	3	1	3
1	3	2	3	3	3	2	3
1	3	3	3	3	3	3	4
1	3	4	3	3	3	4	4
1	4	1	3	3	4	1	3
1	4	2	3	3	4	2	4
1	4	3	4	3	4	3	4
1	4	4	4	3	4	4	4
2	1	1	1	4	1	1	2
2	1	2	2	4	1	2	2
2	1	3	2	4	1	3	3
2	1	4	3	4	1	4	3
2	2	1	2	4	2	1	2
2	2	2	2	4	2	2	3
2	2	3	2	4	2	3	3
2	2	4	3	4	2	4	4
2	3	1	3	4	3	1	3
2	3	2	3	4	3	2	3
2	3	3	3	4	3	3	3
2	3	4	4	4	3	4	4
2	4	1	3	4	4	1	4
2	4	2	3	4	4	2	4
2	4	3	4	4	4	3	4
2	4	4	4	4	4	4	4

注:表中,1 代表无灾,2 代表轻度灾害,3 代表中度灾害,4 代表重度灾害。

正常投入(社会计量产量)应得到的产量的百分比。这个比例无论在高、中、低产田上应相对稳定,因此可定量核定某一基础产量 B 的农田该年由干热风和青干所造成的产量损失 Y_B :

$$Y_B = B \cdot Y_d \quad (7)$$

若当年小麦价格为 P ,产量经济损失 L 为:

$$L = P \cdot B \cdot Y_d \quad (8)$$

4 结 语

本文从干热风和青干的基本判别指标做起,建立了一套集灾害判别、等级评定与计算

机自动识别,产量损失与经济损失的评估方法和模型。该方法物理意义明确,模拟准确率高,操作性强。可用于农业气象灾害监测与小麦因干热风减产损失的评估。这无论是对于决策部门和广大农业科技人员,还是对广大农民开展干热风灾害监测服务,都是一个较好且易于实现的方法。也为开展农业灾害保险的赔偿奠定了理论基础。

感谢: 本文得到高素华研究员、郑大玮教授和郑有飞教授的审阅,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 北方小麦干热风科研协作组. 小麦干热风. 北京: 气象出版社, 1988. 3 ~ 88.
- 2 史定珊, 毛留喜. 冬小麦生产气象保障概论. 北京: 气象出版社, 1994. 127 ~ 134.
- 3 陈怀亮, 邹春辉, 付祥建, 等. 河南省小麦干热风发生规律分析. 自然资源学报, 2001, 16(1): 59 ~ 64.
- 4 牛晋源, 石兰瑛, 王密凤. 晋城小麦干热风灾害分析. 山西气象, 1996, 3: 28 ~ 30.
- 5 曹玲, 窦永祥. 河西走廊中部干热风气候特征分析及其预报方法. 干旱地区农业研究, 1997, 15(3): 96 ~ 102.
- 6 董永祥, 周仲显. 宁夏气候与农业. 银川: 宁夏人民出版社, 1986. 77 ~ 82.
- 7 山东农学院. 作物栽培学(北方本). 北京: 农业出版社, 1982. 76 ~ 84.
- 8 黄海, 罗友丰, 陈志英, 等. SPSS 10.0 for Windows 统计分析. 第1版. 北京: 人民邮电出版社, 2001. 226 ~ 238.
- 9 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析. 第1版. 北京: 电子工业出版社, 2000. 343 ~ 350.

A METHOD FOR MONITORING DRY-HOT WIND OF SPRING WHEAT AND ESTIMATING ITS YIELD LOSSES: AN EXAMPLE IN IRRIGATED AREAS OF NINGXIA

Liu Jing Ma Liwen Zhang Xiaoyu

(*Ningxia Laboratory for Preventing and Avoiding Meteorological Disaster, Yinchuan 750002*)

Liu Yulan Wu Wanli Sun Yinchuan

(*Yinchuan Meteorological Bureau, Yinchuan 750002*)

Abstract

The historic observation data of dry-hot wind of spring wheat in Yongning, Ningxia and the wheat yield recorded by Ningxia Statistics Bureau are analyzed with the aid of disaster data got from Civil Administration Department of Ningxia. The clustering analysis method sieving step by step and giving an original clustering kernel as well as a segregated method step by step of the spring wheat yields are used. The indexes for two types of dry-hot wind of spring wheat in the Ningxia irrigated areas are obtained. Then, the discriminate equations are established respectively in the different disaster grades. The yield losses of spring wheat suffered from dry-hot wind in the grouting stage are segregated by means of climate simula-

tion before the flowering and tasselling stage . A synthetically checking table for different disaster grades is given to combining the influence between the yield loss and the disaster degrees suffered from dry hot wind in the different wheat growth stages . An estimating yield loss model is established and the monitoring disaster and the estimating yield losses are available .

Key words : Spring wheat Dry hot wind Disaster index Yield loss estimation