

水稻障碍型冷害损失评估及预测动态模型研究^{*}

马树庆

王 琪

(吉林省气象台, 长春, 130062)

(吉林省气象研究所, 长春, 130062)

沈享文 许英子 李 哲

(吉林省延边州农业气象试验站, 延吉, 133001)

摘 要

在分析东北水稻生殖生长关键期低温生理反应的基础上, 建立了计算日冷积温(时积温)及其与空壳率关系的模式和敏感期内每日水稻敏感群体数量比率分布标准化模式, 进而建立了水稻在生殖生长关键期内因低温影响而导致空壳率及减产率评估、预测模式。该模式可较精确地计算出逐日低温导致的空壳率及减产率, 可比成熟期提前 25 d 左右进行冷害评估和损失预测。

关键词: 水稻, 障碍型冷害, 冷积温与时积温, 空壳率与减产率, 动态评估模式。

1 引 言

水稻是喜温作物, 对低温条件反应敏感, 尤其是在生殖生长的关键期内, 环境温度过低会导致障碍型冷害的发生。东北地区热量条件不足, 即使 7~8 月份也常出现短期低温天气, 因而常发生水稻障碍型冷害, 一般每 3~4 a 就发生一次, 1957, 1971, 1976 等年份冷害影响到全东北, 1980, 1982, 1986, 1988, 1993 和 1998 年延边、牡丹江等地区发生水稻严重障碍型冷害, 减产都在 25% 以上, 个别市县绝收。因此, 水稻障碍型冷害的分析预测一直是个十分重要的课题, 如能在水稻成熟前对冷害损失情况进行科学的评估和预测, 对防御及产量预报都是有利的。

多年来, 国内外对水稻障碍型冷害已有较深入的研究^[1~11], 基本明确了冷害产生的机制、指标及地域变化特征。但有关水稻障碍型冷害损失的评估, 多采用平均气温及其距平为指标, 以定性的、静态的分析为主, 量化程度和精确度都不够, 且很少考虑到水稻进入敏感期的时间动态变化。本文在明确水稻低温生理反应和冷害机制的基础上, 引入时积温概念和水稻进入生殖生长低温敏感期的概率分布

函数, 建立了参数化的、定量的、能反应逐日损失程度的动态评估预报模式。该模式的建立以吉林省东部延边地区为例。

2 水稻生殖生长关键期低温反应及冷害机制

建立水稻障碍型冷害模式首先应明确水稻在关键时期内对低温条件的生理反应, 清楚冷害形成的机制。从孕穗初到抽穗开花这段时间是水稻生殖生长的关键期, 也是对低温反应敏感的时期, 此时遇低温天气, 将导致水稻颖花不育率上升, 穗粒数下降, 产生障碍型冷害。孕穗期气温 20~30℃ 为宜, 遇低温后, 幼穗发育速度下降, 阻碍穗的形成。16℃ 以下低温使幼穗分化受阻, 支梗和颖花数明显减少^[2,6]。最重要的是低温引起不育, 这是形成障碍型冷害的关键因素。孕穗过程中的花粉母细胞减数分裂及小孢子期对低温反应最为敏感。该时期处于抽穗前的 12 d 前后, 东北各地为 7 月下旬初, 为整个生殖生长敏感期的中间阶段。该时期遇 18℃ 以下低温, 会引起花药发育停止, 花粉发育不良, 从而导致颖花空壳不育。此外, 低温还推迟抽穗期。水稻抽穗开花适宜温度为 25℃ 左右, 以最高气温

^{*} 初稿时间: 2002 年 4 月 10 日; 修改稿时间: 2003 年 5 月 14 日。

资助课题: 国家十五攻关项目: 重大农林病虫害及农业气象灾害控制技术(20001BA509B14)。

30℃,最低气温15℃为界限。日平均气温20℃时开花受到影响,18~19℃开花障碍显著增加,气温低于17℃不能正常开花,受精过程受阻^[2,6,7]。此期间,低温强度和持续期与受精障碍发生率和空壳率均为正比例关系,低温强度和持续时间综合指标为冷积温,它与空壳率关系极为密切,为近似直线的二次函数关系^[3,4]。日平均气温17℃持续数天后,空壳率达到40%~50%。

根据减数分裂期间低温处理试验证明,低温引起颖花雄蕊发育异常,按时间顺序分,其影响结果依次为:花药发育停止、花粉充实不饱满、花药开裂不良、花粉分散受阻、授粉不充分、柱头上花粉发芽状况不好^[6],从而导致不育。水稻障碍型冷害可分为孕穗期冷害和开花期冷害,前者为花粉发育不良,临界温度为日平均气温18~19℃;后者为授粉、授精不良,临界温度为日平均气温20~21℃。其实两者在过程上是密切联系的,其核心是雄性不育导致空壳率上升。

3 模型的建立

3.1 模型的基本框架

如上所述,水稻进入生殖生长低温敏感期后,遇低温天气而使生殖生长过程受阻,雄性不育产生空壳,这是障碍型冷害形成的主要机制,也是我们建立模式的主要理论依据。因每日温度条件和水稻群体进入敏感期数量比例都不同,因而每天低温对水稻减产的程度有很大差别,不能用某一时段的平均来代替。实际上,障碍型冷害损失程度是每日低温导致不育数量的累积,其表达式为:

$$y = \frac{1}{\epsilon} \sum_{j=t_1}^{t_2} [(X_j - X_0)P_j] = \frac{1}{\epsilon} \sum_{j=t_1}^{t_2} (Q_j P_j) \quad (1)$$

其中, y 为研究区域内水稻障碍型冷害减产率(%), X_j 为某日的空壳率(%),其中包括生理空壳率,取决于日内低温强度,即与日内冷积温(W_j)有关($X_j = f(W_j)$)。 P_j 为所研究范围内某一日水稻群体进入生殖生长低温敏感期的数量概率(%), X_0 为水稻生理空壳率,可视为不随温度变化的常数,也就是无冷害时的自然空壳率,一般为5%~10%^[2],根据文献^[2~4],这里取7.5%。 $Q_j = X_j - X_0$,为由低温导致的逐日空壳率。 j 为日期顺序, t_1, t_2 为敏感期的开始、结束日期,表明障碍型冷害形成的期限。 ϵ 为水稻空壳率占总体减产率的比重系数,一般为0.85~0.90。根据延边地区各市县1988和1993年

障碍型冷害空壳率与减产率的资料^[9],经分析取 ϵ 为0.87,即水稻障碍型冷害减产中的87%左右是因低温不育造成的,其余部分由粒数减少、粒重下降所致。

3.2 日内冷积温(时积温)及其标准化计算模型

本研究要用日冷积温与日空壳率的关系计算每日不育率,因而首先应明确日内冷积温及其计算方法。冷积温是指低于水稻生殖生长临界温度的气温的累积,计算日内冷积温要进行逐时气温累积,即

$$W_j = \int_{h_1}^{h_2} (T_0 - T_i) dh = \sum_{i=h_1}^{h_2} (T_0 - T_i) \quad (2)$$

式中, T_i 为某时气温, h_1 和 h_2 分别为低于临界气温(T_0)的开始和结束时间, i 为时序。显然,一日内 h_1, h_2 可以是不连续的。 T_0 为水稻生殖生长受到一定影响的临界温度,与所处时期及品种抗寒性有一定关系,一般情况下,孕穗初期 T_0 约为19.0℃,在减数分裂和开花期间 T_0 为19.5~21℃较合理^[2,9]。就整个生殖生长关键期而言, $T_0 = 0.6L_n + 11.6$,其中 L_n 为某品种主茎上的叶片数,早熟品种叶片少,较晚熟品种耐寒, T_0 稍低一些。对于整个敏感期,早、中、晚熟品种参考值为18.5~19.0, 19.5~19.9, 20~21.0℃。

很显然,式(2) W_j 的计算要求有逐时气温资料,这对于多数气象站和县以下乡镇是有困难的。为此,沈亨文等^[9]研究出一种只用日最高和最低气温就可算出日冷积温的简易方法。在有24h观测的气象台站进行计算试验。为了使该方法适用于不同地区和不同时间,首先将每日24h的气温进行标准化处理:

$$E_i = (T_i - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min}) \quad (3)$$

$T_{\max}$ 和 $T_{\min}$ 为日最高气温和日最低气温, E_i 为 i 时标准化气温。则 $1 \leq i \leq 24, 0 \leq E_i \leq 1$ 。将 E_i 从小到大排列,形成新的时序。大量试验事实表明,标准化气温在新时序上的分布呈现增长曲线形状(图1),只是中心点稍有偏移,这里用逻辑斯谛函数模拟:

$$E_i = \frac{U}{1 + e^{a(I-b)/c}} - r \quad 1 \leq I \leq 24 \quad (4)$$

线性化后解方程,并在微机上进行参数分析,以确定最佳参数。例如敦化市 $U = 1.3, a = -9.2, b = 14.2, c = 53.0, r = 0.1$ 。

通过式(4)的反函数求出在 $T_i = T_0$ 的标准临

界气温(E_{0j})下所经过的低温时间(I_j, h):

$$I_j = b + \frac{c \ln[U/(E_{0j} + r) - 1]}{a} \quad (5)$$

令 $E_{0j} < 0$ 时, $I = 0$; $E_{0j} > 1$ 时, $I = 24$ 。对式(4)积分得到积分函数

$$g_j = k \ln(e^{a(I_j - b)/c} + 1) + f \cdot I_j - e \quad (6)$$

则日内标准冷积温(图 1)

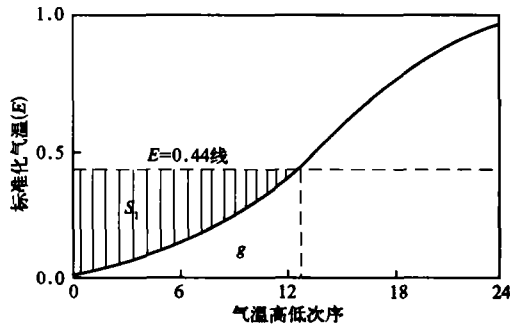


图 1 日内标准气温在新序列上的分布及其冷积温(S_1)面积示意图

$$S_1 = E_{0j} \cdot I_j - g_j \quad (7)$$

实际某日冷积温 $W_j (^\circ C \cdot h)$ 为:

$$W_j = S_1 \times (T_{\max} - T_{\min}) \quad (8)$$

用这种简化方法求日内冷积温或有效积温很精确,多个站不同日期计算分析表明,该方法计算结果与实际逐时累加结果相关系数达到 0.99,且在时空上都很稳定。

3.3 X_j 的计算模型

许多研究表明^[3,4,6],水稻空壳率与低温强度和低温持续时间有密切关系,其实质是与低温的累积(冷积温)有关。因而水稻某一日产生不育的数量是该日内冷积温(W_j)的函数,即: $X_j = f(W_j)$ 。

内岛立朗^[4]、马树庆、王连敏等^[3]通过试验研究认为,水稻生殖生长敏感期内某一时段的空壳率与用日平均气温计算的该阶段冷积温的关系为近于直线的二次函数关系,并建立了相应的一元二次方程。那么,以小时为计算单位的日内冷积温(W_j)与日内所产生的空壳率(X_j)也应有相应的关系,但量级或系数会有较大的差别。同时认为,当日冷积温达到一定强度时,日内空壳率将达到 100%;而当日冷积温为 0 时,水稻也会保持一定低水平的空壳率,即生理空壳率。根据马树庆、内岛立朗的试验研究结果,结合资料统计和生产经验,我们建立了日内空壳率与日内冷积温的关系为:

$$X_j = \begin{cases} 7.620 + 1.351 W_j + 0.0102 W_j^2 & 0 \leq W_j \leq 53 \\ 100 & W_j > 53 \end{cases} \quad (9)$$

X_j 代表 j 日内产生的空壳数占该日处于低温敏感期的稻颖应形成的总粒数的百分比。显然, $W_j = 0$ 时, $X_j = 7.62\%$,即为生理空壳率。

3.4 水稻进入生殖生长低温敏感期的概率分布

无论是一个稻穗、一亩稻田、一个乡镇或一个县、市的范围,水稻群体(整体而言)进入生殖生长低温敏感期内数量是不同的,即敏感期内每天处于敏感期的稻颖的数量比例是不同的,则同样低温条件下影响结果大不相同。在生殖生长期,水稻进入低温敏感期的数量百分率(F_j)的时间分布规律是开始低、中期高、末期低,符合正态分布,其每天数量(%)的累积符合增长曲线函数规律,但其高峰期都略偏前一点(图 2)。因此,文中引入高峰系数和进入敏感期始末间隔数参数,用逻辑斯谛函数对累积数量百分率分布进行模拟,并在计算机上优选参数。其模式经简化后为

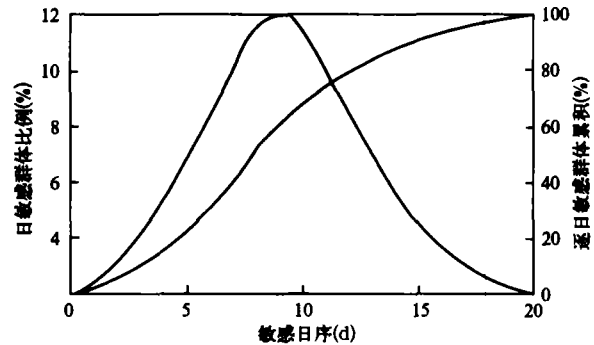


图 2 敏感期内逐日敏感水稻数量比例的正态分布及其累积函数特征

$$F_j = \frac{1}{1 + e^{-9.19(j - nd)/Z}} \quad (10)$$

其中, $Z = 2nd + (2 - 4d)j$, j 为水稻进入敏感期的日序(时间), n 为敏感期长度,即水稻进入敏感期开始到结束的间隔日数,由研究范围大小、区内各地气候差异、品种、栽培方式、播种时间等因素有关。一般情况下,从孕穗初期到扬花期这段主要敏感期内,乡级 n 为 15~20 d,县级为 20~25 d,地区级为 25~30 d。 d 为敏感高峰期系数,即高峰期日序与 n 的比例,因高峰期偏前,一般 $d \approx 0.4$,而不是 0.5。一般敏感高峰期处于止叶期或止叶期的前 2~3 d。已知止叶期和 d 值,可推测出在 n 值下的高峰期及

始、末日期。这样,一地的 F_j 值除取决于日序 j 外,还因 n, d 而有所变化,更能灵活地反映实际情况。以敦化市为例, $n = 20, d = 0.4$, 则 $j = 2, 8, 10, 20$ 时,对应的 F 值分别为此 0.04, 0.50, 0.72 和 0.99。表 1 给出了 $d = 0.4$ 时, n 为 20, 25 和 30 d 及 $n = 20, d = 0.5$ 的情况下的逐日值及其累积值。

某日水稻处于敏感期的稻颖数量占总体的百分率 P_j 为

$$P_j = F_j - F_{j-1} \quad (11)$$

综合上述各项,得到水稻障碍型冷害损失率的评估、预测值。

表 1 逐日敏感群体数量比例分布($d = 0.4$)

日序号	$n = 15$		$n = 20$		$n = 25$		$n = 20$	$d = 0.5$
	数量比率	累计	数量比率	累计	数量比率	累计	数量比率	累计
1	0.014	0.024	0.009	0.019	0.010	0.017	0.006	0.016
2	0.030	0.054	0.017	0.036	0.011	0.028	0.009	0.025
3	0.057	0.110	0.029	0.065	0.018	0.046	0.014	0.039
4	0.095	0.206	0.046	0.110	0.026	0.072	0.021	0.060
5	0.136	0.342	0.068	0.178	0.038	0.110	0.032	0.091
6	0.159	0.500	0.091	0.269	0.052	0.162	0.046	0.137
7	0.150	0.650	0.111	0.380	0.068	0.230	0.064	0.201
8	0.120	0.770	0.120	0.500	0.082	0.312	0.084	0.285
9	0.084	0.854	0.115	0.615	0.092	0.404	0.102	0.387
10	0.055	0.909	0.100	0.715	0.096	0.500	0.113	0.500
11	0.034	0.943	0.080	0.794	0.093	0.593	0.112	0.613
12	0.021	0.964	0.600	0.854	0.084	0.677	0.102	0.715
13	0.013	0.977	0.043	0.897	0.072	0.749	0.084	0.799
14	0.008	0.985	0.031	0.928	0.059	0.808	0.064	0.863
15	0.005	0.990	0.021	0.949	0.046	0.854	0.046	0.909
16			0.015	0.964	0.036	0.890	0.032	0.940
17			0.010	0.974	0.027	0.917	0.021	0.962
18			0.007	0.981	0.020	0.937	0.014	0.975
19			0.005	0.986	0.015	0.952	0.009	0.984
20			0.004	0.990	0.013	0.964	0.006	0.990
21					0.009	0.972		
22					0.006	0.979		
23					0.005	0.984		
24					0.004	0.987		
25					0.003	0.990		

4 应用举例

上述模式中的待定参数是通过分析延边等地近几年严重障碍型冷害年,并考虑到无冷害年和其他市县的情况,经参数分析优化确定的,经试用效果较好。以 1998 年为例,该年吉林省延边地区各市县发生了严重的孕穗—开花期障碍型冷害。以延吉市为例,取 $n = 25, d = 0.4$, 止叶期为 7 月 21 日,也是高峰期,则初始日期为 7 月 12 日($j = 1$),末期为 8 月 5 日($j = 25$)。该市为中熟品种区,初期(前 5 d) $T_0 = 19.0$,而后 $T_0 = 19.8$ 。计算结果如表 2,由低温引起的总空壳率为 54.3%,该年因障碍型冷害减产为 62.4%,与实况基本吻合。用同样方法计算了延边

州市各县 1998 年障碍型冷害减产率为 43%~66%, 1993 年延吉市等市县障碍型冷害空壳率约为 48.4%,均与实况相符。计算长春等市 1999 年的情况,因低温所引起的空壳率为 1.2%左右,即非冷害年。

5 总结与分析

(1) 上述水稻障碍型冷害评估模式,考虑了水稻在生殖生长关键期对低温的反应特征,考虑到强低温持续期及冷积温对水稻不育率的影响,并且充分考虑了水稻群体进入敏感期的逐日数量分布规律。该模式可在扬花后较精确地计算出每日由低温导致的空壳率,进而计算出冷害减产率。模式所需参数为每日最高、最低气温、不同时期的临界气温、

表 2 1998 年延吉市水稻障碍型冷害损失评估预测结果

J	$T_{\max}$	$T_{\min}$	ΔT	E_0	$I(h)$	G	S_1	$W(^{\circ}C \cdot h)$	Q	P	$H(\%)$	$\Sigma H(\%)$
1	22.3	16.4	5.9	0.44	12.29	2.16	3.26	19.21	29.83	0.010	0.300	0.30
2	24.6	13.0	11.6	0.52	13.66	2.82	4.25	49.25	91.34	0.011	1.031	1.33
3	20.7	16.8	3.9	0.56	14.49	3.27	4.90	19.12	29.69	0.018	0.521	2.85
4	22.0	17.2	4.8	0.38	11.06	1.66	2.49	12.00	17.73	0.026	0.467	2.32
5	25.8	15.7	10.1	0.41	10.12	1.33	1.98	20.01	31.24	0.038	1.186	3.51
6	27.8	11.1	16.7	0.52	13.73	2.86	4.30	71.75	100.00	0.052	5.211	8.72
7	28.6	12.3	16.3	0.46	12.64	2.32	3.50	56.99	100.00	0.068	6.752	15.47
8	27.0	16.0	11.0	0.35	10.49	1.45	2.17	23.91	38.24	0.082	3.130	19.60
9	24.2	16.9	7.3	0.40	11.48	1.82	2.74	20.01	31.23	0.092	2.879	21.48
10	19.6	16.4	3.4	1.00	24.00	10.91	13.59	44.52	80.44	0.096	7.733	29.21
11	20.8	16.9	3.9	0.74	17.79	5.44	7.79	30.38	50.56	0.093	4.705	33.92
12	22.2	16.0	6.2	0.61	15.36	3.79	5.63	34.91	59.69	0.084	5.024	33.94
13	22.1	15.4	6.7	0.66	16.16	4.29	6.32	42.33	75.56	0.072	5.433	44.37
14	21.6	16.5	6.1	0.65	15.98	4.18	6.16	31.44	52.65	0.059	3.090	47.46
15	20.5	16.5	4.0	0.82	19.46	6.75	9.30	37.20	64.47	0.046	2.985	50.45
16	27.1	17.4	9.7	0.25	8.44	0.84	1.25	12.10	17.97	0.036	0.641	51.09
17	29.6	16.8	12.8	0.23	8.14	0.77	1.14	14.59	22.01	0.027	0.596	51.68
18	22.0	17.2	4.8	0.54	14.10	3.05	4.58	22.00	34.78	0.020	0.708	52.39
19	22.7	15.9	6.8	0.57	14.66	3.37	5.04	34.28	58.39	0.015	0.889	53.28
20	24.0	17.2	6.8	0.38	11.20	1.71	2.57	17.49	26.87	0.013	0.306	53.59
21	20.0	17.4	2.6	0.92	21.80	8.81	11.32	29.42	48.68	0.009	0.415	54.00
22	22.4	16.9	5.5	0.53	13.84	2.91	4.38	24.11	38.61	0.006	0.247	54.25
23	28.4	17.4	11.0	0.22	7.76	0.68	1.01	11.13	16.43	0.005	0.079	54.33
24	31.2	19.4	11.8	0.03	1.83	0.00	0.07	0.93	1.39	0.004	0.005	54.34
25	27.1	20.2	6.9	0.00	0.00	6.18	0.00	0.00	0.12	0.003	0.000	54.34

注:表中 $H = QP$ 为每日空壳数量占总空壳数的比率。

敏感期始-末日期及敏感高峰期系数。评估方法具有定量化和动态化特征。因冷积温计算及敏感期数量概率分布函数均采用标准化处理及相对值,故可适用于东北各地,试用效果较好。

(2) 研究表明,在水稻生殖生长温度敏感期内,每日产生的不育率及其数量主要取决于日内冷积温和当日处于敏感期的颖花数量比率。当日最低气温 $15^{\circ}C$ 以下,日冷积温达到 $53^{\circ}C \cdot h$ 以上,则当日生殖生长停止,空壳率达到或接近 100%。个别日期尽管白天温度较高,但夜间最低温度很低,冷积温较高,因而空壳率也比较高。而日最低气温 $19^{\circ}C$ 以上、最高气温 $25^{\circ}C$ 以上,总空壳率基本上等于生理空壳率,即无低温影响。在敏感初期及末期,因敏感群体比例较小,尽管外界温度很低,冷积温较多,但损失并不大;而在敏感高峰期前后,因处于敏感期的群体比例较大,因而一定强度的低温就能造成较大的损失。这些结果都与水稻对低温的反应相吻合。把孕穗至开花看成是个不可分割的连续过程,则敏

感高峰期减数分裂及小孢子期,即抽穗前的十多天,其敏感持续期一般为 20~30 d,东北大部为 7 月 15 日~8 月 10 日前后,研究范围越大,其持续期越长。当然,也可以将孕穗期和开花期分开来分析,分别为 10~15 d 左右,其总的结果基本相同。

(3) 分析认为,用该模式计算障碍型冷害损失率,其客观性及精确程度取决于临界温度和始末日期的确定。在生殖生长期日内冷积温对空壳率的影响也有时间差异,可通过 T_0 的变化来实现。 T_0 取决于不同时期及区域内主栽品种。孕穗初期 T_0 稍低,减数分裂、小孢子期及开花期稍高;早熟区(冷凉地区)的 T_0 明显低于晚熟区(温暖区),其变化范围为 $18.5 \sim 21^{\circ}C$ 。敏感期长度(n)是个生物学及栽培学参数,取决于区域范围大小,区域内品种、气候差异及栽培方式,而不取决于低温日数。而敏感高峰期一般处于止叶期的前一两天或抽穗前 12 d 左右。只要这些参数确定的合理,则会得到客观准确的分析结果。

参考文献

- 1 马树庆. 吉林省农业气候研究. 北京: 气象出版社, 1996. 171~177
- 2 王书裕. 农作物冷害的研究. 北京: 气象出版社, 1995. 97~107
- 3 马树庆, 王琪, 王连敏等. 水稻开花期低温不育评估模式的试验研究. 气象学报, 2000, 58(增刊): 954~960
- 4 内岛立郎. 低温条件与水稻空壳. 气象科技资料, 1977, 4: 9~13
- 5 孙玉亭, 王书裕, 杨永岐. 东北地区作物冷害研究. 气象学报, 1983, 41(3): 313~321
- 6 Tetsuo Satake. Determination of the most sensitive stage to Sterile-type cool injury in rice plants, Res. Bull. No113 Hokkaid National Agricultural Experiment Station, 1976, 1~35
- 7 王连敏. 低温对水稻小穗结实的影响. 黑龙江农业科学, 1996, 1: 12~16
- 8 张养本, 何维勋, 李世奎. 中国农业气象灾害概论. 北京: 气象出版社, 1991. 33~48, 90~93
- 9 沈享文. 水稻减数分裂期冷害减产评估方法初步研究. 吉林气象, 1996, 4: 7~9
- 10 王连敏. 小孢子阶段低温对水稻结实的影响. 中国农业气象, 1997, 18(4): 9~11
- 11 汪林. 日本水稻障碍型冷害研究. 气象科技, 1980, 附刊(三), 14~20
- 12 蓝鸿第. 水稻光温问题研究. 北京: 气象出版社, 1982. 50~70

MODEL STUDY ON THE EVALUATION AND FORECAST OF LOSS FOR STERILE-TYPE COOL INJURY IN RICE PLANTS

Ma Shuqing

(Meteorological Observatory of Jilin Province, Changchun 130062)

Wang Qi

(Jilin Institute of Meteorological Science, Changchun 130062)

Shen Hengwen Xu Yingzi Li Zhe

(Yanbian Region Experiment Station of Agro-meteorological Science, Yanji 133001)

Abstract

On the basis of the analysis of the physiological reaction of rice reproduction to low-temperature, several models were developed in the Northeast China. They were the normal model the calculating of daily cool accumulated temperature, the relational model of the accumulated temperature and daily rice sterile rate, the normal probability distribution of the temperature-sensitive spikelu amount in the rice reproductive growing period, and the model of the evaluation. The forecast of the sterile rate and loss rate in rice plants by the effect of the low-temperature on the rice reproduction was made with these models. The sterile rate and the yield-drop can be calculated 25 days earlier than rice mature by using daily maximum temperature, minimum temperature and several parameters. The method suited for every region of Northeast China.

Key words: Rice sterile-type cool injury, Day cool accumulated temperature, Daily sterile rate Loss rate in rice plants, Evaluating model.