

## 秋季低温对水稻空瘪率的影响和有关指标值的研究

王兆骞 潘德云 (浙江农业大学, 杭州)

### Effect of Cool Temperature in Autumn on the Seed-set Percentage of Rice and the Relevant Temperature Index

Wang Zhaoqian, and Pan Deyun (Zhejiang Agricultural University, Hangzhou)

**Abstract:** The main objective of the experiment is to study the effect of cool temperature on the percentage of filled grains of rice. The results showed that daily mean temperature is the main temperature index; daily minimum temperature is the supplementary index during meiosis stage; and daily maximum temperature is the supplementary index during flowering stage. If the adverse effect of cool temperature during sensitive stages was serious, the effects could be accumulated. It would be better to calculate the critical cool temperature during flowering stage for both *Japonica* and *Indica* type of rice by using the average temperature value of successive three days. The critical values of cool temperature for early-maturing *Indica*, hybrid *Indica*, medium-maturing and late-maturing *Japonica* type of rices at flowering stage had been suggested. When rice was treated by the same daily mean temperature but with different range of temperature in a day at flowering stage, the percentage of filled grains was low if the temperature difference was too small or large. Among the meteorological factors affecting the percentage of filled grains, temperature is the most important one; sunlight did not significantly affect it under cool temperature condition, but it negatively correlated with the percentage of filled grains under normal temperature condition. The relationship between the seed-set percentage and rainfall was not significant.

**Key words:** Rice; Cool injury; Seed-set percentage; Simulation; Temperature index

**提 要:** 本试验旨在探索秋季低温对水稻开花结实影响的若干不够明确的问题。结果表明: 低温指标中, 日平均温度是主要指标; 日最低温度是减数分裂期的辅助指标; 日最高温度是开花期的辅助指标。如在不同低温敏感期均受害较重, 则低温危害表现为累加效应。计算低温临界温度时, 籼粳稻均以连续三天的温度平均为好。提出了开花期籼稻、籼型杂交稻、中粳、晚粳四类型的低温临界值。开花期的日温差过大或过小均导致空瘪率上升。气象因子中, 温度对空瘪率的影响最大; 适温条件下, 空瘪率与日照呈负相关; 雨量与空瘪率关系不显著。

**关键词:** 水稻; 低温冷害; 结实率; 模拟; 温度指标。

低温冷害是温带、亚热带水稻生产的一个重要限制因子。我国南方双季晚稻常因秋季低温而减产。探索冷害规律是水稻生产的重要一环。

我国自60年代在长江流域发展双季稻和70年代推广籼型杂交稻以来, 对障碍型冷害进行了深入研究。南京农科所<sup>[1]</sup>认为较耐寒

粳稻临界温度为连续3天不低于19℃; 何维勋<sup>[2]</sup>、胡芬<sup>[3]</sup>认为日平均温度、日最低温度作为低温指标不当, 而以日最高温度为好; 雷克森<sup>[4]</sup>则认为低温指标可采用日平均温度, 并以五天平均为好。这些颇有差异的见解, 使生产应用时莫衷一是, 而相对正确的

1988年2月4日收到。Received Feb. 4, 1988

结论必须从不同气候年份连续试验的分析中求得,才能使结论避免偶然性。这正是本试验的目的。

## 材料与 方法

笔者从1972年至1983年已做了多年试验,为获得各种气象条件下的试验资料,于1985、1986年在浙江农业大学实验场重复了所有田间试验和人工气候箱辅助试验。文章分析时采用了气象上有代表性的五年资料。试验品种为广陆矮4号、汕优6号、京引15、农虎6号分别代表早籼稻、籼型杂交稻、中粳(糯)稻、晚粳稻四种类型。用分期播种法获得在各种自然温度下开花的颖花。汕优6号和农虎6号的播种期自6月10日至7月5日;广陆矮4号和京引15自7月5日至7月25日。在此期间每隔5天播种一期。试验分大田及人工气候箱试验两部分。

1. 大田试验 按品种、播期设置四重复,其育秧、管理同一般大田生产。始穗时剪去非当天开花的颖花。每天每重复剪30~40穗。至成熟或最迟至11月10日收获。

2. 人工气候箱试验 将稽期如上的水稻种子盆钵里,抽穗后取始花期的盆钵于上午9时置人工气候箱内,于第一、第二、第三天剪去非当天开花的颖花,每处理剪80穗。广陆矮4号、汕优6号的日平均温度为22℃,温差设0、5、10、15℃四种;京引15、农虎6号的日平均温为19℃,温差设0、4、8、12℃四种。处理72小时取出至成熟或最迟至11月10日收获。

1985年、1986年用温度记录仪测定并修正所得温度资料,其余均采用杭州市气象站记录资料。数据用电子计算机处理。

水稻空瘪率的变化表现为随着温度的升高而降低,如果在特高温条件下开花,则空瘪率又有上升的趋势,呈曲线分布。据此用下列函数描述其变化特征:

$$(1) Y = AX^2 + BX + C$$

$$(2) Y = A - B \ln X$$

$$(3) Y = Ae^{-Bx}$$

$$(4) Y = AX^B$$

$$(5) Y = X / (A + BX)$$

$$(6) Y = 1 / (A + BX)$$

式中A、B、C为待定系数。

将试验数据输入计算机用上述模式进行拟合,结果表明以 $Y = AX^2 + BX + C$ 的离回归平方和最小,拟合精度最高。抛物线模式表明:空瘪率随温度的增高而下降,达最小值后又随温度的增高而上升,物理意义、生物学意义明确。

## 结果与 分析

### (一) 低温危害的温度指标

拟合显著性检验F值越大,则反映变量间关系越密切。据此对各开花日空瘪率与开花日的日平均温、日最高温、日最低温的关系进行显著性检验。F值(见图1)表现为:以日平均温度为最大;开花期日最高温大于日最低温;开花前第九天相当于小孢子收缩期的日最低温大于日最高温。可见日平均温度与空瘪率的关系最密切;授粉受精时日最高温比夜间的低温更为重要;小孢子收缩期主要受低温的影响。对空瘪率与开花日及前后1天共3天,前后2天共5天日平均温、日最高温、日最低温的平均值进行拟合(表1),F值也以日平均温度为最大,日最高温次之,日最低温最小。

人工气候箱结果表明(表2),各品种最小日最高温处理的结实率比其最小日最低温处理的结实率小得多,日最高温偏低时空瘪率增加较大,日最低温偏低时,空瘪率增加较小。显然授粉受精时的日最高温对空瘪率影响较大。

### (二) 低温危害的时段

图1表明,有二个F值的峰,即开花日与开花前第九天,其中,开花日的峰值更大。这说明授粉受精对低温更敏感。开花后3天起,F值不显著,表明此后温度对空瘪率的影响已大为减弱。

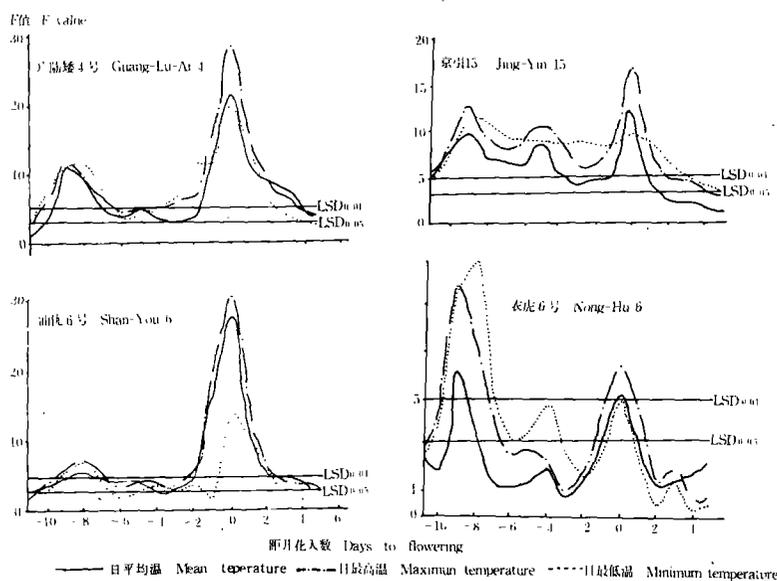


图1 4品种的F值变化趋势

Fig. 1. The variation of F value of significance test between percentage of unfilled grains and average temperature

以开花日为中心，连续3天、5天日平均温度平均值与空瘪率关系拟合F值(表1)以连续3天的为大。人工气候箱试验中(表3)，籼型品种连续处理3天可出现大于30%的空瘪率，故计算低温危害临界温度时，籼稻宜采用连续3天温度平均。由于低温的累加效应，粳稻也以3天为好。

(三) 低温危害的临界值

空瘪率与连续3天日平均温度平均值的

拟合关系式:

广陆矮4号:

$$Y = 355.613 - 26.5271X + 0.5054X^2$$

汕优6号:

$$Y = 383.948 - 27.7405X + 0.51256X^2$$

京引15:

$$Y = 289.87 - 21.7337X + 0.4227X^2$$

农虎6号:

$$Y = 403.295 - 33.9659X + 0.7409X^2$$

表1 空瘪率与不同天数平均温度关系拟合F值

Table 1. F values of significance test of the relationship between percentage of unfilled grains and average temperature

温度 Temperature	天数 Days	广陆矮4号 Guang-Lu-Ai 4	汕优6号 Shan-You 6	京引15号 Jing-Yin 15	农虎6号 Nong-Hu 6
日平均温 T <sub>m</sub>	3	52.22	65.18	34.34	15.75
	5	44.84	58.17	32.45	13.11
日最高温 T <sub>max</sub>	3	35.71	44.25	27.32	11.95
	5	35.01	42.88	25.71	10.67
日最低温 T <sub>min</sub>	3	30.43	38.58	20.70	8.31
	5	28.96	35.74	19.49	6.40

Note: T<sub>m</sub>, Daily mean temperature; T<sub>max</sub>, Daily maximum temperature; T<sub>min</sub>, Daily minimum temperature

表2 人工气候箱的处理温度与结实率

Table 2. The treatment and seed-set percentage in chamber experiment

温 度 (°C) Temperature	广陆矮4号 Guang-Lu-Ai 4	汕优6号 Shan-You 6	京引15 Jing-Yin 15	农虎6号 Nong-Hu 6
日平均温 $T_m$	22	22	19	19
日最高温 $T_{max}$	22 25 27 30	22 25 27 30	19 21 23 25	19 21 23 25
日最低温 $T_{min}$	22 20 17 14	22 20 17 14	19 17 15 13	19 17 15 13
结实率 (%) Seed-set	69 62 90 87	51 89 92 66	76 81 81 90	87 91 79 92

表3 连续三天温度平均的临界值

Table 3. The critical temperature of successive 3 days

品 种 Variety	日 平 均 温 $T_m$		日 最 高 温 $T_{max}$		日 最 低 温 $T_{min}$	
	20%*	25%*	20%	25%	20%	25%
广陆矮4号 Guang-Lu-Ai 4	21.3	20.4	25.3	24.0	17.5	16.2
汕优6号 Shan-You 6	22.3	21.4	27.6	26.0	18.8	17.8
京引15 Jing-Yin 15	21.0	19.9	25.3	23.3	16.9	15.6
农虎6号 Nong-Hu 6	20.0	19.1	24.1	22.7	15.9	14.4

\*空瘪率 The percentage of unfilled grains.

表4 受二次低温危害的结实率 (%)

Table 4. The percentage of filled grains under two times of cool injury

日 期 Date	京 引 15 Jing-Yin 15	农 虎 6 号 Nong-Hu 6	日 平 均 温 $T_m$	日 最 高 温 $T_{max}$	日 最 低 温 $T_{min}$
Sep. 18	73.1	68.8	23.1	27.7	19.2
19	67.7	73.4	16.1	19.3	14.5
20	66.7	69.4	17.2	18.2	15.7
21	75.7	74.9	20.0	22.2	18.1
22	80.5	75.3	21.4	25.0	19.5
23	76.8	81.3	21.2	23.8	19.8
24	78.8	73.6	22.1	27.5	18.9
25	70.5	79.0	21.8	26.1	17.8
26	82.2	62.5	20.3	23.6	17.2
27	75.1	55.1	18.2	19.3	17.1
28	41.4	49.4	18.0	19.2	17.1
29	78.8	46.2	20.4	24.8	17.0
30	79.7	77.8	21.0	26.0	17.5

空瘪率20%、25%时温度临界值一并计算于表3。各品种的温度临界值表现为汕优6号>广陆矮4号>京引15>农虎6号,反映了它们的抗寒性依次递增。由于剪穗处理的养分供应较好,试验结实率稍大于大田结实率,故实际临界值稍大于表3值。

对  $Y=AX^2+BX+C$  式求导,得其极小值。以开花期连续3天日平均温度平均值计算的空瘪率极小值为:广陆矮4号7.5、汕优6号8.6,京引15为10.5、农虎6号13.9。可以认为最低空瘪率是由遗传特性决定的。试验中有低于最低空瘪率的现象存在,这是由

表5 空瘪率与低温积累量关系模拟

Table 5. Simulation of the relationship between the percentage of unfilled grains and cool temperature accumulative amount

品 种 Variety	方 程 Equation	F 值 F value	S 值 S value	
			空瘪率 Unfilled grain %	
			20%	25%
广陆矮4号 Guang-Lu-Ai 4	$Y = 120 / (1 + 10.1116 e^{-0.06438x})$	184.0**	11.0	15.5
汕优6号 Shan-You 6	$Y = 120 / (1 + 7.48336 e^{-0.03726x})$	106.3**	11.0	18.5
京引15 Jing-Yin 15	$Y = 120 / (1 + 8.37369 e^{-0.06683x})$	64.9**	7.9	11.9
农虎6号 Nong-Hu 6	$Y = 120 / (1 + 8.90315 e^{-0.035867x})$	80.1**	6.8	10.0

\*\*0.01水平下极显著 (Significant at 0.01 level)

于计算值反映的是平均值。

(四) 低温的累加效应

表4为1987年试验, 9月18日前夕未出现低温, 9月27日、28日的降温幅度比九天前的19日、20日的降温幅度小, 但结实率却比第一次低。由此可见, 不同敏感期的低温危害可以累加。

据此设想建立函数关系。由于二个敏感期的低温危害均与日平均温度关系密切, 除授粉受精短时段外, 与日最低温度相关性高, 故选用日平均温与日最低温二项指标。低温积累量S计算如下:

$$S = \sum_{i=-9}^2 ((T_1 - T_{ai}) + (T_2 - T_{li})) \quad (T_{ai} < T_1, T_{li} < T_2)$$

上式中  $T_1$  为空瘪率20%时各品种的日平均温度临界值;  $T_2$  籼稻17℃, 粳稻15℃;  $T_{ai}$  为日平均温度;  $T_{li}$  为日最低温度。计算时段从开花前第9天至开花后第2天, 共12天。

空瘪率(Y)与低温积累量(X)的定量关系经拟合以  $Y = K / (1 + Ae^{Bx})$  为最佳(表5)。

(五) 不同温差对空瘪率的影响

广陆矮4号、汕优6号二个品种以温差10℃空瘪率最低(图2), 随温差的增大或减小空瘪率迅速增加; 京引15表现为随温差的提高空瘪率降低; 农虎6号则变化较小, 可见后二品种的耐寒力较强。需热量较高的品种不耐过大或过小温差, 其原因可能是过小温差时日最高温偏低; 过大温差时日最低温偏低。可见, 阴(雨)天开花会降低结实率。

(六) 日照与雨量对空瘪率的影响

将空瘪率与开花日起前七天和后七天的日照时数关系分别用前六个模式与  $Y = KX + B$  式进行拟合, 以  $Y = KX + B$  式最佳。结果表明: 用同一品种的全部样本计算, 四个品种均未达显著水平; 将每一品种样本划分为高温段与低温段样本, 则高温段空瘪率与开花前七天日照时数呈负相关而且均达极显著水平, 开花后七天仅一品种达显著水平,

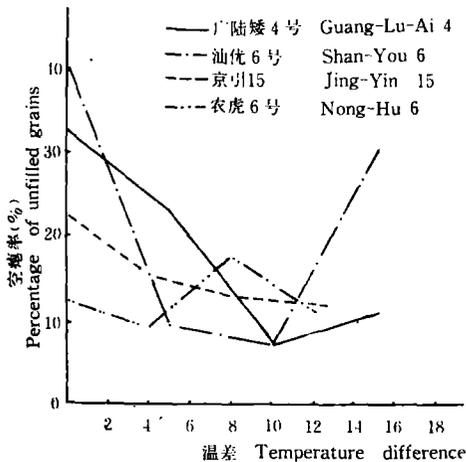


图2 不同温差处理时空瘪率比较

Fig. 2. Percentage of unfilled grains under different temperature difference

低温段样本均不显著。因此,低温条件下,温度起主导作用,光照作用不显著;高(适)温条件下空瘪率与光照呈负相关,且光照的作用主要在开花前。

任意取开花日日平均温度为21.0~21.9℃的空瘪率与雨量资料(温度效应差异较小),四个品种中,有雨量低而空瘪率低,也有雨量高而空瘪率低的。模拟结果表明:空瘪率与雨量没有显著的定量关系。

## 讨 论

1. 低温指标问题 在日平均温度、日最高温、日最低温三项指标中,选择何者作为低温指标的问题有许多不同的见解<sup>[1, 4, 6]</sup>。造成差异的原因可能在于试验所处气象类型及试验方式的局限性。本文据多年田间试验与人工气候箱试验资料分析表明,日平均温度反映了日最低温、日最高温及温度变化趋势的综合信息,用它来作温度指标具有代表性。高庆芳<sup>[10]</sup>人工气候箱试验也肯定了日平均温度的主导作用。因此,日平均温度可作为主要指标。

人工气候箱试验表明,若开花受精时日最高温偏低则空瘪率明显增加。空瘪率与日最高温的关系密切,开花期应将日最高温作为辅助指标;在减数分裂期,日最低温的F值大于日最高温的F值,定性地反映了空瘪率与日最低温的关系密切,同样,减数分裂期应将日最低温作为辅助指标。

2. 临界温度及持续天数问题 对同一品种,用同一空瘪率标准,各地试验所得临界温度有差异。就杂交稻而言,全国不同纬度、不同海拔的临界温度从19.8~22.9℃<sup>[11]</sup>,除了作物对低温的锻炼效应、纬度、海拔差异外;未消除低温累加效应是一重要原因。低温累加效应表明最终考查的空瘪粒之中,有一部分是由于减数分裂期低温危害未能被其后的适温恢复而造成的。在不同试验地区,小孢子收缩期遭遇1~2天乃至3~4天(低于连续5天的计算标准)低温而造成的

空瘪粒是不等的,这可能是导致临界温度差异的主要原因。

有的研究指出开花期受2~3天的低温<sup>[6, 12]</sup>即受害明显,有的则认为4~5天低温才受害严重<sup>[4, 9]</sup>。本文人工气候箱试验表明,籼稻连续三天低温受害明显。对粳稻来说,事实上大面积稻区因品种、播栽期差异使开花期不一致,常有部分颖花在小孢子收缩期已受害。因此用5天温度平均值作指标,保证率有偏低之嫌,而以用3天温度的平均值为好。

## 参 考 文 献

- [1] 南京市农科所, 1976. 后季稻安全齐穗与栽培的研究, 中国农业科学(4): 43-51
- [2] 何维勋等, 1979. 水稻低温冷害的模拟试验初报, 农业气象(1): 42-47
- [3] 胡芬, 1981. 水稻花期低温冷害的气象指标与机理, 中国农业科学(2): 60-64
- [4] 雷克森等, 1979. 低温影响晚稻抽穗开花的试验, 气象(7): 29-32
- [5] 全国杂交稻气象科研协作组, 1980. 杂交稻秋季冷害指标及其变化规律的探讨, 气象(11): 1-4
- [6] 王洪春等, 1979. 水稻开花期冷害及其防御, 上海农业科技(8): 1-4
- [7] 华南农学院植物生长室, 1979. 低温对水稻结实率的影响, 广东农业科学(6): 22-26
- [8] 《国外农学-水稻》编辑部, 1980. 水稻的生理生态, 水稻冷害问题
- [9] 上海植物生理研究所, 1975. 低温对后季稻开花结实的影响, 植物学报17(3): 213-221
- [10] 高庆芳, 1982. 水稻抽穗开花期的低温冷害研究, 江苏农业科学(7): 7-10
- [11] 全国杂交水稻气象科研协作组, 1982. 杂交水稻气候适应性研究文集, 气象出版社
- [12] 蒋德龙, 1983. 水稻生产与气象, 气象出版社
- [13] Satake T, 1976. Sterile-type of cool injury in paddy rice plant, in Climate and Rice, 281-300, IRRI