

籼型杂交水稻气候适应性的研究

全国杂交稻气象科研协作组

提 要

气候条件是影响杂交水稻产量和分布的重要因素。本文通过全国联合试验,研究了籼型杂交水稻生育期的时空变化和产量构成因素的地区差异,计算了各地区的产量结构气候指数,为杂交稻的布局提供了农业气候依据。

一个地方取舍杂交水稻品种原因很多,但地区气候差异在很大程度上是影响杂交稻发展的重要因子。我们在1979年试验工作的基础上,又于1980年在南方13省(市、自治区)的17个点,按统一方案进行联合试验,研究杂交稻的气候适应性,为耕作制度的改进以及栽培措施的方向等农业决策问题,提供农业气候依据,也为农业气候区划方法从农业气象试验角度探索一条途径。决定杂交稻气候适应性,主要研究在不同气候条件下杂交稻生长发育和产量构成因素的表现如何,因此本文即从这两个方面讨论气候因素的影响。

一、籼型杂交水稻的发育与气候

(一) 生育期与积温的时空变化

作物生育期的长短构成地区气候生产力的时间要素,也是熟制安排必须考虑的方面。同一作物在不同地区、不同季节栽培,由于光温因子的差异,全生育期的长度、总

表 1 汕优 6 号不同季节栽培的生育期天数与积温

季 节 (播期)	早季 (4月中旬前)			中季 (4月中—5月)			晚季 (6月及以后)		
项 目	全生育期 $n/\Sigma t$	播—抽 $n/\Sigma t$	抽—熟 $n/\Sigma t$	全生育期 $n/\Sigma t$	播—抽 $n/\Sigma t$	抽—熟 $n/\Sigma t$	全生育期 $n/\Sigma t$	播—抽 $n/\Sigma t$	抽—熟 $n/\Sigma t$
平 均 值	150.3 3318.5	113.8 2484.0	36.6 834.6	133.7 3195.7	97.9 2383.7	35.8 812.0	124.9 3053.3	87.2 2288.8	37.7 764.5
最 多	175 3635.1	134 2659.8	41 975.3	162 3485.6	120 2540.6	42 945.0	145 3343.8	97 2454.7	48 889.1
最 少	125 2965.0	100 2231.6	25 733.4	110 3054.1	87 2313.3	23 840.8	104 2804.3	74 2158.0	30 646.4

叶龄数以及对积温的要求都是不同的。本试验中汕优 6 号和汕优 2 号物候期相近, 现仅以汕优 6 号资料(表 1)加以分析。在相对低温、长日的早季栽培全生育期最长, 要求积温最多; 在相对高温、短日的晚季栽培, 全生育期最短, 积温最少; 作中稻栽培, 全生育期与积温均居中(表 1)。各季生育期的不同, 主要是播种至抽穗期天数的差异造成的。从抽穗到成熟, 各季平均值大致是稳定的。在地理分布上, 以华南沿海生育期最短, 随纬度与高度的增加, 生育期延长。华南晚季栽培汕优 6 号, 全生育期不到 120 天, 长江流域为 120—130 天, 而在北纬 32° 以北或 800 米以上山区, 作一季中稻栽培, 全生育期可长达 150 天左右, 海拔 1300 米的贵州安顺地区, 全生育期长达 160—170 天。

以汕优 6 号中季或晚季栽培的物候资料分析, 作物物候期与高度、纬度的相关是显著的。

对 108° — $118^{\circ}E$ 、高度 500 米以下, 从 22.8° — $34.3^{\circ}N$ 的 14 个站点资料统计, 汕优 6 号播种至抽穗期天数 N 与纬度 φ 的关系为

$$N = 43.20 + 1.55 \varphi \quad (r = 0.8090 \quad n = 14) \quad (1)$$

对 25° — $27^{\circ}N$ 范围内不同高度的 8 个站点播种至抽穗期天数 N 与高度 H (以 100 米为单位) 的关系为

$$N = 77.56 + 3.43 H \quad (r = 0.9841 \quad n = 8) \quad (2)$$

上两式说明, 纬度每增加 1° , 播种至抽穗期天数增加 1.55 天, 而高度增加 100 米, 抽穗期天数增加 3.43 天, 这可能是由于稻作生育期 4—10 月南北温差减少, 而温度的垂直递减率却以夏季为最大, 再加上不同纬度的日长影响所致。

杂交稻所需积温随纬度与高度变化的相关性不如生育期显著, 其关系式有

$$\sum t = 1779.9 + 19.2734 \varphi \quad (r = 0.7412 \quad n = 14) \quad (3)$$

$$\sum t = 2251.4 + 14.30 H \quad (r = 0.6766 \quad n = 8) \quad (4)$$

上两式说明, 纬度每增加 1° , 汕优 6 号播种至抽穗期所需积温 $\sum t$ 增加 $19^{\circ}C$, 高度上升 100 米积温增加 $14^{\circ}C$ 。这是因为在南北温差不大情况下, 纬度升高光长延长, 生育期积温增加较多, 而高度升高 100 米, 虽延长生育期 3.43 天, 但海拔增高, 气温降低, 因此, 总积温增加不显著。

(二) 安全生长季的热量条件

各地生长季长短与热量条件对杂交水稻的布局和熟制安排起着重要影响。考虑水稻生育期的季节是由春季播种期和秋季安全齐穗期的迟早决定的。在危害杂交稻正常抽穗结实的秋季低温出现之前, 使杂交水稻安全齐穗是高产的重要条件, 1979—80 年对杂交水稻秋季低温冷害指标的鉴定结果表明, 冷害指标虽随地形、纬度在地区和年际间约有 $2.5^{\circ}C$ 变化幅度, 但仍有相对稳定性, 一般取值均在 20° — $22^{\circ}C$ 范围内^{[1][2]}。考虑到同一地点冷害指标的年际变化特点以及实际气候分析中计算的便利, 本文以日平均气温连续 3 天 $\leq 22^{\circ}C$ 的 50% 机率的出现日期作为南方稻区杂交稻秋季低温冷害的共同指标。

根据南方 103 个站点秋季低温开始出现日期作出的分布图(图略)来看, 各地秋季低温开始出现日期主要受纬度与地形的综合影响。在北纬 32° 以北, 四川盆地西缘及贵

州高原，秋季低温出现早，在9月上旬以前。北纬25°以南的华南地区秋季低温出现最迟，在10月上旬以后。对于种植杂交水稻来讲，如果秋季低温在9月上旬前出现，就只能作一季中稻栽培，在9月下旬后出现的地区，作双季稻连晚栽培，季节就较充裕。

本文将各地水稻可播种期至安全齐穗期这一阶段称为水稻的安全生长季。由于水稻播种出苗要求环境温度在10—12℃以上，因此以稳定通过10℃的日期来作为各地的水稻气候播种期。从多数地方看，稳定通过10℃的平均日期比大田适宜播种期偏早5—7天，但如果采用温室薄膜等保温设施育秧，此时也可以开始播种育秧，这一日期称为气候可播期较为恰当。

可播期主要也受纬度与地形影响。闽南，广东南部、桂南播种最早在2月中下旬，南岭一带及四川盆地在三月上旬，长江中下游在3月下旬到4月上旬，北纬32°以北则在4月上旬。

南方稻区各地的安全生长季由北亚热带160天左右到华南南亚热带的250天以上，南北向差90天以上。四川盆地安全生长季较同纬度长，贵州高原不到160天。等值线160天线与200天线在110°E以东地区分别在北纬31—32°及25—26°，大致和纬度平行。

由(1)式，当 $\varphi = 32^\circ N$ 时，汕优6号播种至抽穗需93天，当秧龄为30—40天，移栽至抽穗为50—60天，当早季早熟品种全生育期为100—110天，则安全生长季在160天以上地区杂交稻才有可能作连作晚稻栽培。当作早稻栽培时，由表1，全生育期为150天左右，因此种植两季杂交稻，按现有的组合，安全生长季须在200天以上，才有可能大面积发展。

各地安全生长季内的总积温分布，如图1所示。对杂交稻生产具有明确农业意义的积温有2400℃，3800℃，4300℃以及4800℃几个量值。由(3)式、(4)式汕优6号在32°N左右或海拔800—1000米以上的山地作一季中稻栽培，播种至抽穗需积温2400℃，因此，安全生长季内总积温2400℃是种植杂交稻的临界指标。其余反映了双季稻地区早季不同熟性品种搭配杂交晚稻汕优6号所需的热量条件(表2)。3800℃积温是杂交稻作一季晚稻或双季晚稻栽培的临界值，4300℃为杂晚前茬早稻可种植中迟熟品种地区，4800℃为种植双季杂交稻的热量条件。积温3800℃，4300℃，4800℃等值线分别与安全生长季160，180，200天线大体上一致。

表2 双季稻地区种植杂交晚稻的热量指标(汕优6号)

早稻品种及熟性		早稻全生育期积温(℃)	杂交晚稻移栽至齐穗积温(℃)	双季安全齐穗热量指标(℃)
常规早稻	早熟品种	2200—2400	1600	>3800
	中熟品种	2400—2600		4000—4200
	迟熟品种	2600—2800		4200—4400
杂交早稻(2号、6号系列)		>3200		>4800

(三) 杂交稻布局熟制分区

根据作物发育及地区热量条件进行杂交稻布局与熟制的研究已在一些省内进行*。在全国范围内则尚未进行此项工作。由上述对安全生长季、秋季低温及积温的分析,我们提出如下三类分区指标(表3)。

表3 杂交稻熟制分区指标

熟制分区类型		安全生长季天数	积温 (°C)	秋低温危害始现日期
Ⅰ 一季杂交稻区		110—160	2400—3800	9月上旬前
Ⅱ	双季稻杂 搭配区	160—180	3800—4300	9月中旬
	晚栽培区 主栽区	180—200	4300—4800	9月下旬
Ⅲ 双季杂交稻区		>200	4800以上	10月上中旬

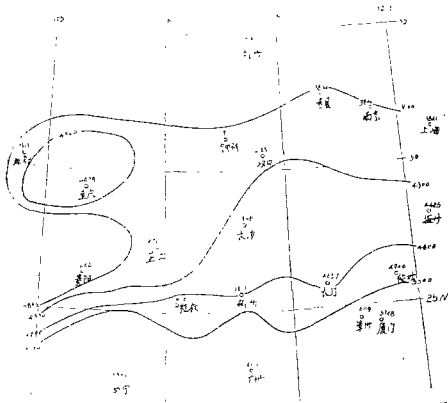


图1 各地安全生长季内的总积温分布图

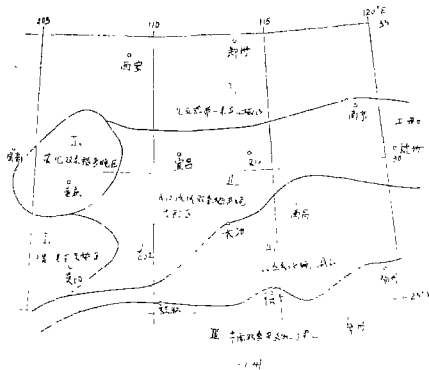


图2 杂交稻熟制区划示意图

根据上述分区指标,综合各地的安全生长季,积温及秋季低温危害始现日期,南方稻区杂交稻熟制区划粗略地考虑如图2,共有三类六个区。

Ⅰ₁区:南方稻区北缘一季杂交稻区。安全生长季150—160天,积温3500—3800°C,秋季低温出现在8月下旬至9月上旬,栽培杂交水稻一季有余,两季不足。作麦茬稻种植,在4月中下旬播种时,全生育期135—145天,播种至抽穗期为95—105天,可在8月上中旬抽穗,9月中下旬成熟,抽穗期不易受秋低温危害。

Ⅰ₂区:低纬高原贵州与川西山区一季杂交稻区。区内各地热量条件差异较大。大部分地区安全生长季积温在2400°C以上,天数在110天以上,可以种植一季杂交中稻。春季回暖较早,3月下旬到4月上旬即可播种,秋季低温在8月下旬至9月上旬,由于夏无高温,全生育期表现特长,一般约为160—170天,播种至抽穗期长达110—120天。此区杂交稻的个体发育表现良好。

Ⅱ₁区:双季稻杂晚主栽区。一季常规早稻加一季杂交晚稻,热量条件较好,春季

*参见沈国权,湖南水稻发育的气候生态研究,湖南农业科技,1980年6期。尹世勋,贵州省杂交水稻气候条件的初步分析及其区划,杂交水稻气象条件研究文集,1979,1980年。

早稻播种期在3月中下旬,秋季低温在9月下旬,安全生长季天数在180天以上,积温超过4300℃,早季常规早稻以中迟熟品种为主,晚季杂交稻季节尚较充裕。

Ⅱ₂区:长江流域双季稻杂稻搭配区。在一季常规早稻加一季杂晚种植区中,热量条件较差。早稻播期在3月下旬至4月上旬,秋低温在9月中旬,安全生长季160—180天,积温3800—4300℃,为双季稻北界地区,早稻只能以中熟品种为主,晚季季节紧张,杂交晚稻只能适当搭配。

Ⅱ₃区:四川盆地双季稻杂晚区。总热量虽与Ⅱ₁区相近,但热量分配与长江中下游不同,以早季热量条件为好,秋季热量相对较少,且秋雨较多,秋低温较早,杂交水稻作双季晚稻栽培主要在盆地中部偏南偏东地区。

Ⅲ区:华南双季杂交稻区。热量条件最好。2月下旬3月上旬播种至10月上中旬安全齐穗,安全生长季在200天以上,积温超过4800℃,可种植双季杂交稻。此区北界的广东韶关地区,杂交早稻3月上旬播种季生育期140天,7月下旬8月上旬移栽杂晚,9月下旬10月上旬即可齐穗。华南珠江三角洲2月中下旬播种,早季生长期有160—170天,不仅可种植杂交早稻,且可配置一些生育期更长的特迟熟常规品种。

二、杂交水稻产量因素与气候

上面分析了杂交稻生育期、安全生长季与积温的关系,并据以进行初步区划。但杂交稻气候适应与否,最终要看产量如何。影响产量的因子很多,在栽培条件和施肥水平大致相同的条件下,产量明显受地区气候的影响,因此本节从产量构成因素讨论它们与气候的关系,再综合上节与本节的论述对本课题的要求提出看法。

(一) 产量构成因素的地区差异

水稻的产量构成因素,可由田间测得的每平方米颖花数(M),结实率(P)和千粒重(g)代表。统计各试验点 M 、 P 、 g 1979和1980年的平均值,并分别加以分析,这三项因素均有明显的地区差异,且具有大致相似的地理分布规律。

M 、 P 和 g 总的分布都呈现南高北低的特点。每平方米颖花数4.0万,千粒重26.0克的等值线都大体与27°N线平行,结实率85%等值线也大体如此,只位置略偏北,并在华东向北上翘。这一界线大体与南岭和武夷山的走向相吻合。

每平方米颖花数4.0万,千粒重26.0克以及结实率85%均可视为正常的穗粒结构指标,按此计算理论产量,每亩约为1180斤,以南地区则高于1180斤。这个数值较实际产量偏高,主要原因是结实率是按照100%减空壳率计算的。

在27°N以北的产量因素低值区内,按其分布状况和地理位置,又可分两个低值区,一是四川盆地;二是长江中下游,沿海的宁波和上海这一狭长区域内, M 、 P 、 g 值又较上述两地区略有上升。

在27°N以南的高值区内,三项因素的分布则略有不同。 M 以安顺、桂东、汤川等高原、山区较高;而 P 和 g 则以南宁、柳州、南海、漳州、上犹等南部丘陵区偏高。

根据产量构成因素的分布特点,南方稻区可按地形分成五片:即贵州高原和山区;岭南丘陵区;四川盆地区;长江中下游和淮北平原区。分片归纳 M 、 P 、 g ,并以距平符号进行统计整理得出:贵州高原及山区,岭南丘陵区的 M 、 P 和 g 除个别点以外,均

属正距平；而淮北平原、四川盆地和长江中下游、两湖盆地则多呈负距平。

产量构成因素的差异，还可以从各地叶面积动态测定结果的分析中，得到佐证。

表4是1980年9个联合试验点叶面积动态三项指标的测定值（共有15个点进行了叶面积动态的测定，部分点因资料不完整或因有明显观测误差而没有使用）。其中“叶日积”系采用近似积分法计算，平均叶日积指数则反映了叶面积的平均增长水平。该表表明、无论是最高叶面积指数，叶日积量还是平均叶日积都以丘陵山区为最优，长江流域及四川盆地较差。表明各地区群体光合作用的强弱，也存在地区差异，且与产量构成因素的地区差异相一致。

表4 各地区叶面积动态指标的差异比较

项 目	最高叶面积指数	叶 日 积	平均叶日积指数
丘 陵 山 区 汤川 桂东 上犹平均	7.8	438.8	3.41
长 江 流 域 长沙 宁波 南京 宣城平均	6.5	377.1	3.07
四 川 盆 地 温江 宜宾 平均	5.4	289.4	2.24

（二）气候因子与产量因素的相互关系

气候因子对产量构成的影响是一个十分复杂的问题，这不仅因为气候因子本身的多样性和复杂性，而且产量因素本身并非完全受制于气候条件。因此，本文首先根据上述区域之间的主要气候差异，来研究气候因子与产量因素之间的关系，再分析对产量构成因素影响原因。

考虑产量构成因素在其形成过程中都具有不同的关键生育阶段，故选择各试点的旬际气温变化率(K)和产量形成过程相配合的不同时段组成的旬平均日较差($\Delta \bar{T}_{n+m}$)；旬平均最高气温($\bar{T}_{M n+m}$)；旬平均气温($\bar{T}_{n+m}$)等因子筛选(n 表示抽穗前的旬数, m 表示抽穗后的旬数)，结果 K 值（由最高旬的旬平均气温与抽穗旬的旬平均气温之差，除以间隔旬数而得）与产量构成因素的相关系数，均达0.01显著标准； $\Delta \bar{T}_{-1+0}$ （抽穗前一句和抽穗旬的平均日较差）与每平方米颖花数相关达0.05标准； $\Delta \bar{T}_{0+1}$ ，则与 P 和 g 的相关达0.01标准（表5）。

K 值与产量三项构成因素却呈显著的负相关。对各试点 K 值的计算表明，岭南丘陵和贵州高原山区的 K 值都比较小，这一范围内的11个试点两年的平均 K 值在0.6左右，四川盆地和长江中下游的13个试点两年平均 K 值为1.5左右。这种差异显然能够比较合理地反映各地温度水平及其变化程度。 K 值大的地区表明在水稻主要生殖生长阶段有较高的温度水平和较为剧烈的温度变幅。 K 值低的地区则反之。本试验研究的实际测定还证明 K 值大对增加颖花数是不利的。

表5

气候因子与产量结构的相关系数表

相关系数 穗粒结构	气候因子 旬际变温率 (K)	平均气温($\bar{T}$)		日较差(ΔT)		最高气温(T_M)	
		-1旬+0旬	0旬+1旬	-1旬+0旬	0旬+1旬	-1旬+0旬	0旬+1旬
每平方米颖花数(M)	-0.4324	-0.2879		0.3524		-0.0880	
结实率(P)	-0.6299		-0.4626		0.5327		0.6404
千粒重(g)	-0.6707		-0.066		0.5720		0.3182
显著性检验标准	每平方米颖花数样本个例40,信度0.01标准为0.393,0.05为0.304。 结实率样本个例为39,信度0.01标准为0.418,0.05标准为0.325。 千粒重样本个例为43,信度0.01标准为0.393,0.05标准为0.304。						

表6中不同地区的谷叶比*表明,凡K值大的地区,谷叶比值大,而K值小的地区则谷叶比值也小。即说明单位营养面积所能形成的稻谷产量值,以较小的K值为好。

表6

各地区谷叶比值

地区	谷叶比值	统计站 点
长江中下游	2.83	南京 长沙
四川盆地	1.98	温江 宜宾
山区	3.60	安顺 桂东 汤川
岭南	3.98	始兴 上犹 柳州 南海

对结实率的大量研究证明,在正常情况下,生长后期叶片的相互遮荫对粒重和结实率是不利的,前期的低温锻炼,对后期的抗低温能力有所提高,K值和 ΔT 值显然和上述二项因素密切相关。实际的生态考察可以清楚看到,K值大的地区,叶片宽而披散,而K值小的地区则叶片短狭而挺笃。因而K值大的地区后期的相互遮荫必然比较严重。 ΔT 值能较好地反映各地区日照状况,它和结实率的正相关关系也已为我们的研究结果所说明[2]。至于K值和后期粒重的关系可能是和颖壳的大小(即“库”的大小)有关。K值小的地区,谷粒较短,个体较小。

因此,可认为K值和 ΔT_{n+m} 值与杂交水稻产量形成的关系是密切的,且具有相当充分的实验依据。

*谷叶比=谷粒重/叶片重;取样时段齐穗后20天。

K 值和 $\Delta \bar{T}_{n+m}$ 值对于 M 、 P 和 g 的关系,可拟合成以下表达式:

$$\hat{M} = 4.309 - 0.485 K \quad (r = -0.4324 \quad n = 40 \quad \alpha_{0.01} = 0.393)$$

$$\hat{P} = 56.02 - 511 K + 1.48 \bar{T}_{0+1} \quad (r = 0.7432 \quad F = 10.51 \quad \alpha_{0.01} = 0.418)$$

$$\hat{g} = 24.55 - 1.26 K + 0.32 \Delta \bar{T}_{0+1} \quad (r = 0.7191 \quad F = 21.42 \quad \alpha_{0.01} = 0.393)$$

(三) 杂交稻产量结构气候指数

鉴于 K 值和 ΔT 对产量构成有着密切关系,可以用这两个物理量,综合成产量结构气候指数($C.Y.I$)。

$$C.Y.I = \frac{C.Y.I'}{\text{平均值}} \quad \text{其中}$$

$$C.Y.I' = \frac{\Delta T}{K}$$

式中 K 为各地实际的气温旬际变化率, ΔT 为抽穗前一句至当旬20天平均日较差与抽穗当旬至后一句20天平均日较差之和。 $C.Y.I'$ 是根据各地 ΔT 和 K 得到的当地产量结构气候指数值,除以 $C.Y.I'$ 的平均值,即为当地产量结构气候指数。

各试验点1979和1980年两年 $C.Y.I$ 的平均值,也具有明显的地理分布规律。与产量构成因素相似,在北纬 27° 线附近,同样有一条北低南高的分界线。华南沿海及贵州高原是一个高值区;浙闽沿海,武夷山和南岭山区一带及淮北在10—20范围内,而长江中下游地区以及四川盆地为低值区 $C.Y.I < 10$ 。

气候指数高的地区,为适应性的有利气候区域,这些地区适合于杂交水稻的生长,容易获得高产。气候指数低的地区,杂交稻受到气候条件的制约,优势不能充分发挥,增产潜力不高。

将两年各试验点的实测产量和理论产量,分区统计结果:贵州高原及山区和岭南丘陵,无论是实际产量或是理论产量均居高值,距平值均在+200左右。而长江中下游、四川盆地则产量偏低,距平值在-300~-50斤/亩之间,其中以四川盆地的负距平值最大。

计算产量结构气候指数与实际产量和理论产量的相关系数,检验显著。其方程式如下

$$\hat{g} = 775.8 + 215.4 x \quad (r = 0.821 \quad n = 24)$$

$$g = 715.1 + 106.5 x \quad (r = 0.527 \quad n = 23)$$

两式中 $\hat{g}$ 、 g 分别为理论产量和实际产量, x 为气候指数($C.Y.I$)。

结合本研究关于杂交水稻熟制分区的讨论,可以看到:双季稻杂晚主栽区(Ⅱ),华南双季杂交稻可栽区(Ⅲ),贵州高原一季杂交稻区(I_2)以及北亚热带一季杂交稻区(I_1)产量结构气候指数高,热量条件又较优越,杂交稻的种植面积,可以适当发展扩大。而长江流域双季稻杂晚搭配区以及四川盆地双季稻杂晚区的热量条件不够充

裕, 季节紧张, 气候指数也比较低。因此, 这些地区杂交稻只能适当搭配, 发展要谨慎。

需要说明, 对南方杂交稻区的气候适应性研究, 仅以25个试验点两年资料平均值为依据, 站点稀疏, 只能反应较大范围的趋势, 深入的区划还待今后的工作。

应看到杂交稻的产量与当地实际的生产水平有关, 还受到土壤、病虫害和栽培技术水平等因子的制约。因此, 产量结构气候指数只是从气候适应性的角度, 对杂交稻的发展与布局提供依据。

参 考 文 献

- [1] 全国杂交水稻气象科研协作组, 杂交稻秋季低温冷害指标及其变化规律, 气象, 1980, 11。
- [2] 全国杂交稻气象科研协作组, 杂交稻秋季冷害指标变化规律的分析, 南京气象学院学报, 1981, 2。
- [3] 南京气象学院杂交稻气象研究小组, 从气象条件看杂交水稻的分蘖利用和结实率, 南京气象学院学报, 1979, 2。

A Study on Climatic Adaptability of Hybrid Rice (Long Shaped)

The National Cooperation Group for Agrometeorological
Research of Hybrid Rice

ABSTRACT

Climatic condition is an important factor that may greatly affect the delineation of hybrid rice growing areas and its yield. Based on the data from nation-wide coordinated experiments, analyses are made of time and space variations of hybrid rice growth periods and the difference in the structural elements of yield for various rice growing areas. And climatic indices of structural elements of yield in different areas are computed in order to provide an agroclimatic basis for the delineation of hybrid rice growing areas.