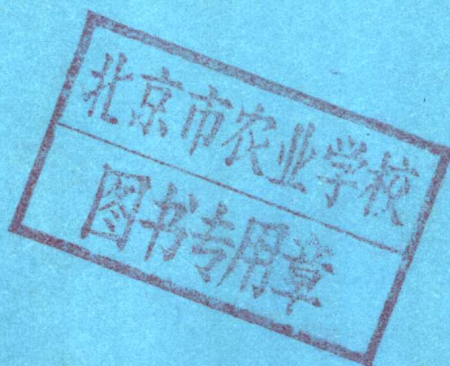


杂交水稻气候适应性 研究文集

全国杂交水稻气象科研协作组编



气象出版社



杂交水稻气候适应性研究文集

全国杂交水稻气象科研协作组编

内 容 简 介

本文集选自1979—1983年全国杂交水稻气象科研协作组和各气象局(台、站)的部分代表性成果共26篇。内容包括杂交水稻气候适应性、秋季低温冷害指标及其变化规律以及亲本花期相遇的积温稳定性研究等。

本文集可供农业、气象部门的领导和广大科技人员以及有关院校师生参考。

杂交水稻气候适应性研究文集

全国杂交水稻气象科研协作组编

责任编辑 张国秀 霍总会

* * *

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

长沙气象印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

* * *

开本: 787×1092 1/16 印张: 11.75 字数: 264 千字

1985年10月第1版 1985年10月第1次印刷

统一书号: 13194·0248

印 数: 1—1,400

定价: 2.75元

前 言

我国的杂交水稻自1976年大面积推广以来,发展迅速,增产明显。到1982年底,全国累计种植杂交水稻3.3亿亩,不仅增产稻谷300多亿斤,而且为调整农业布局创造了有利条件。许多地区发展杂交水稻以后,既保证了粮食的持续增产,又促进了多种经营的发展。不少中、低产地区,粮食产量迅速提高,有的甚至赶上高产地区。

杂交水稻的杂种优势发挥和种植推广都与气象条件关系密切。1979年国家气象局下达了“杂交水稻气象条件研究”的国家重点气象科研项目。为了协作攻关,由湖南省气象局、南京气象学院以及浙江、江苏、广东、广西、四川、湖北、江西、福建、云南、贵州、安徽、河南、陕西、上海等十五个省(市、区)气象局和气象科学研究院组成协作组进行联合试验。在统一试验方案的布点中,设置了自最南的海南岛的陵水($18^{\circ}30'N$)到最北的徐州($34^{\circ}19'N$),东起宁波($121^{\circ}26'E$),西截建水($102^{\circ}50'E$),从海拔最低的南海(0.8米)到最高的曲靖(1862米),三年中先后有陵水、湛江、南海、始兴、南宁、柳州、桂东、怀化、湘潭、长沙、岳阳、漳州、三明、汤川、上犹、井冈山、进贤、温州、丽水、宁波、杭州、嘉兴、上海、镇江、南京、徐州、宣城、宿县、信阳、孝感、建水、曲靖、安顺、宜宾、丰都、温江、勉县等37个气象台、站参加了117个课题的联合试验,还结合采用了地理移置、模拟试验以及其他一些新的思路方法。象这样协作的试验规模在全国农业气象研究中还是不多的,取得的资料十分宝贵,成果也是比较突出的,曾获得国家科委、国家农委的重大农业科技成果推广应用奖和国家气象局重大气象科技成果二等奖,它灌注着协作组数年来近百位同志的汗水。

为了促进我国杂交水稻的发展,提供杂交水稻趋利避害、熟制布局、品种组合、播期安排以及产量预报和农业气候区划依据,我们搜集了协作组1979—1983年长沙、苏州、漳州和昆明等杂交水稻气象条件研究学术会议各协作单位和协作试验点撰写的有关论文共计208篇中,除去已在省以上公开刊物和文集发表的论文外,选择了有代表性的26篇,集成《杂交水稻气候适应性研究文集》。本文集主要包括杂交水稻秋季低温冷害指标及其变化规律;杂交水稻亲本花期相遇积温稳定性和预报方法的研究;从农业生态的观点出发,较系统地研究杂交水稻的气候适应性等方面的内容。本文集既涉及农业气象基础理论的探讨,又紧密结合生产实际,分析了杂交水稻稳产高产的气候适应性。可供农业气象、农业科技和气象工作者以及有关院校师生参考。

参加本文集编辑修改工作的有申温文、冯达权、姚克敏、陈琦、王志南、太华杰等,由冯秀藻、赵春吾主编定稿。在编辑过程中得到南京气象学院、湖南省气象局和有关省(市、区)气象局(台、站)的大力支持,在此一并表示感谢。由于时间急促和篇幅有限,有些好的论文作了摘要或未能选登,在此亦表示歉意。我们的编辑水平不高,错误之处难免,敬请批评指正。

编 者 1983年12月

目 录

前 言

籼型杂交水稻气候生产力与区域分布特征的研究.....	全国杂交水稻气象科研协作组 (1)
杂交水稻秋季低温冷害指标及其变化规律的探讨.....	全国杂交水稻气象科研协作组 (41)
温度对发育速度及积温稳定性的影响——杂交水稻制种花期相遇的积温稳定性研究.....	全国杂交水稻气象科研协作组 (50)
温光条件与水稻干物质增长关系的研究.....	江苏省杂交水稻气象问题研究协作组 (61)
浙江省双季杂交晚稻播种至齐穗的积温指标及安全播种期区划.....	陈 琦 (69)
杂交水稻汕优 2 号光温特性的探讨.....	江苏省镇江地区水稻新品种气候适应性研究小组 (75)
低温对汕优 6 号产量影响的分析.....	陈志桂 (79)
杂交稻抽穗开花期温度指标的波动规律及安全齐穗期区划.....	王桂正等 (84)
南京地区合理利用杂交中稻分蘖优势的农业气象分析.....	姚克敏 (92)
水稻产量形成与气象条件.....	申温文 (99)
杂交水稻播种期的农业气象分析.....	王树斌 (106)
广东杂交稻制种基地农业气候条件的综合评判及区划.....	杨 宝、罗启贤、冯永基 (115)
对杂交稻穗期冷害指标差异的几点看法.....	黄昌鹏 (126)
杂交水稻光能利用率的探讨.....	左宗源 (131)
发展我区杂交稻生产的农业气象分析.....	何建国 (137)
黔中高原杂交水稻气候适应性的研究.....	贵州省安顺地区气象局农业气象组 (141)
杂交稻对山区气候适应性若干问题的探讨.....	金一春等 (147)
四川盆地东南地区杂交水稻农业气象灾害立体变化规律探讨.....	冯达权 彭国照 (154)
山区杂交水稻气候适应性分析.....	湖南省桂东县气象局 (160)
孝感地区汕优 6 号的气候适应性.....	冯 明 刘少方 (165)
南繁制种的开花习性与气象条件 (摘要).....	江西省吉安地区气象台 (169)
孕穗期和抽穗期低温对结实率的叠加危害 (摘要).....	安徽省宣城农业气象试验站 (173)
粳型杂交稻在浙江省山区的适宜种植高度 (摘要).....	顾仲贤等 (175)
籼型杂交水稻在低纬高原气候条件下出苗成秧的适应性初探 (摘要).....	严华生 浦吉存 (178)
穗花期低温的迭加效应 (摘要).....	四川省宜宾地区农业气象试验站 (179)
四川盆地杂交稻低温冷害的特征值研究 (摘要).....	冯达权 彭国照 钟万镛 (181)

粳型杂交水稻气候生产力与区域分布特征的研究

全国杂交水稻气象科研协作组

我国自1976年开始大面积推广种植杂交水稻以来,在生产上充分显示了杂交水稻的优势和巨大的增产潜力。目前全国粳型杂交水稻种植面积已达八千万亩,比常规水稻平均每亩增产70至100斤以上,为我国粮食增产发挥了巨大的作用。但是由于各地气候条件的差异,杂交水稻的生态适应性及优势的发挥却有不同的表现。因此在哪些地方、哪季茬口杂交水稻的优势发挥最好,是生产上急需回答的问题。这项研究是在杂交水稻的冷害指标变化规律及积温稳定性研究的基础上,于1980年继续在南方13省(市、自治区)的16个点,1981年在15省(市、自治区)的27个点上(图1),按统一方案,进行气候适应性的联合试验。目的在于鉴定不同地区气候与杂交水稻生产力的关系,为杂交水稻的因地制宜、合理布局以及耕作制度改革,适宜播栽期与栽培措施的选择,提供农业气候依据。

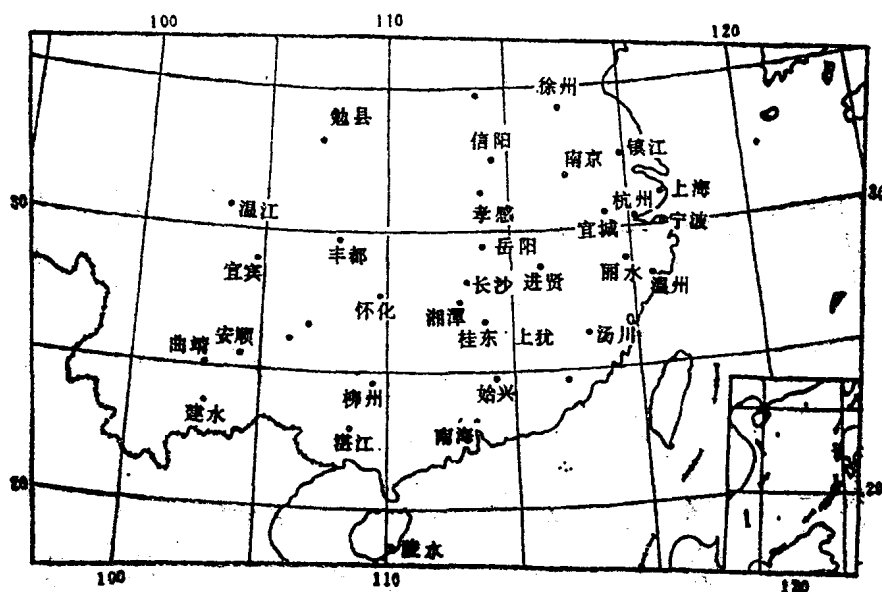


图1 杂交水稻气候适应性联合农业气象试验站点分布

一、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,是熟制安排的依据。同一品种在不同地区、不同季节栽培的表现,除了水肥栽培措施的影响外,在环境因子中,主要是由于光温因子的差异,全生育期的长度、总叶龄数以及对积温的要求不同所引起的。汕

优6号与汕优2号、南优3号、四优2号物候期相近(1981年26个站点162期次资料,南优3号、四优2号抽穗期分别比汕优6号早0.3天与1.1天),现仅以汕优6号资料加以分析。表1表示在相对低温、长日的早季栽培,全生育期最长,平均为148.7天,要求积温*最多,为3351.6℃;作晚稻栽培,全生育期最短,平均为124.1天,积温最少为3063.9℃;

表1 汕优6号不同季节栽培的生育期天数与积温
(1979—1981年多点资料)

季 别		平 均 值		最 多		最 少	
		生育期天数 (天)	积 温 (℃)	生育期天数 (天)	积 温 (℃)	生育期天数 (天)	积 温 (℃)
早 季 (四月中旬前)	全生育期	148.7	3351.6	189.0	3793.9	122.3	2960.7
	播种—抽穗	113.4	2501.5	153.7	2910.8	86.0	2197.6
	抽穗—成熟	35.3	850.1	45.0	1011.4	25.2	617.9
中 季 (四月中旬至五月)	全生育期	135.2	3238.4	172.0	3644.6	113.0	3027.4
	播种—抽穗	98.6	2398.8	140.3	2704.7	83.5	2203.9
	抽穗—成熟	36.6	839.6	53.0	1010.4	26.5	541.1
晚 季 (六月及以后)	全生育期	124.1	3063.9	145.0	3433.5	104.0	2804.3
	播种—抽穗	86.6	2306.6	98.0	2674.9	72.5	2025.9
	抽穗—成熟	37.5	757.9	48.0	974.7	26.0	530.8

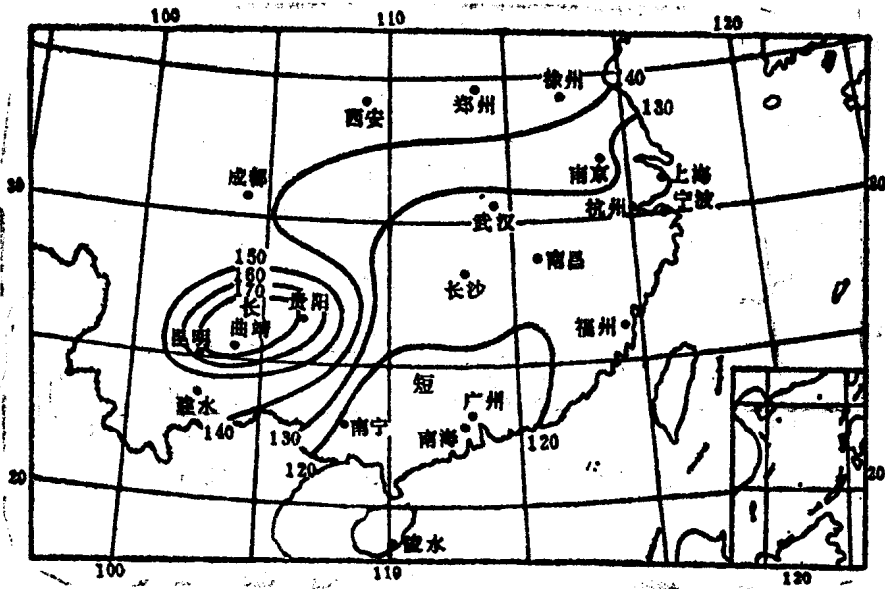


图2 汕优6号全生育期天数
(稻区北部点为中稻,南部点为晚稻,汤川、桂东、丽水等山区点在东部双季稻区,未参加等值线分析,1981年。)

*本文集除特别指明外,积温均指大于10℃的活动积温。

作中稻栽培,全生育期与积温均居中。各季生育期天数、积温不同,主要是播种至抽穗期的天数、积温随播种季节推迟而显著减少造成的。抽穗到成熟,天数平均为35.3—37.5天,积温平均为850.1—757.9℃,变化较小。在地理分布上,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,全生育期不到120天,长江流域为120—130天,而在32°N以北或海拔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米以上的贵州安顺及云南曲靖等地区,全生育期长达160天以上。(图2)

1980年我们曾经指出,杂交稻物候期、积温与纬度、高度的相关是显著的^[1]。这种关系在1981年试验中也反映的比较清楚(图3a, 3b)。

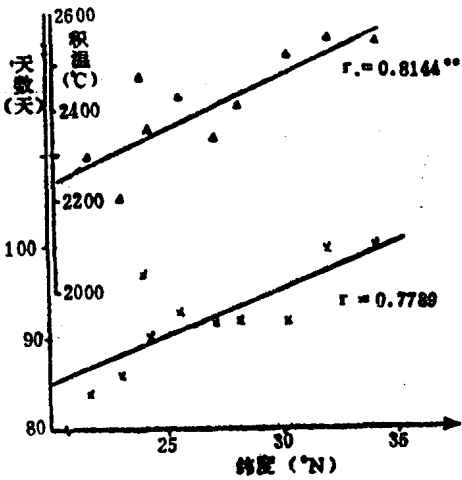


图3a 汕优6号播种至抽穗期天数(×)、积温(Δ)与纬度的关系
(1981年中季, 108—118°E, 500米以下站点)

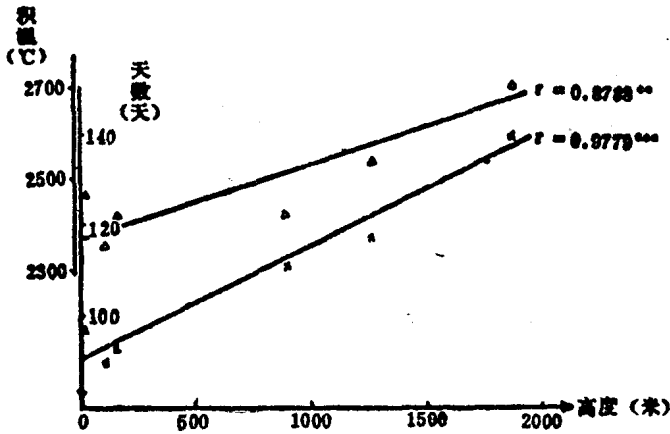


图3b 汕优6号生育期天数(×)、积温(Δ)与高度的关系
(1981年中季、播种至抽穗, 24—26°30' N)

纬度(Φ)、高度(H)对播种至抽穗期天数(N)及积温(Σt)的作用,有以下相关式:

早季 $N = 58.94 + 1.58\Phi + 2.39H(1)$
 $(R^2 = 0.9242^{***} \quad n = 25)$
 中季 $N = 65.29 + 0.89\Phi + 2.41H(2)$
 $(R = 0.9263^{***} \quad n = 25)$
 晚季 $N = 58.53 + 0.89\Phi + 1.36H(3)$

早季 $\Sigma t = 1824.41 + 22.33\Phi + 16.16H(4)$
 中季 $\Sigma t = 2020.84 + 12.36\Phi + 12.03H(5)$
 $(R = 0.5037^{**} \quad n = 28)$
 晚季 $\Sigma t = 1984.18 + 12.53\Phi - 7.21H(6)$
 $(R = 0.4227^* \quad n = 20)$

式中高度H以百米为单位。从(1) — (6)式可看到,

(1) 杂交稻播种至抽穗期,其生育期与纬度和高度的相关性比与积温的关系显著。

(2) 不论早、中、晚季,生育期天数均随纬度与海拔的升高而增加,各季变率不同。纬度每增加1°N,播种至抽

1) 本文以*表示信度0.05, **表示信度0.01, ***表示信度0.001。

穗期天数早季栽培增加1.6天,中季、晚季增加0.9天;而高度每增加100米,生育期天数早季、中季分别增加2.4天,晚季增加较少为1.4天。

(3) 杂交稻所需积温随纬度增加而增加,纬度每增加 1°N ,早季所需积温增加 22.3°C ,中、晚季增加较少,分别为 12.4°C 与 12.5°C ;随高度的升高,早季、中季积温增加,每升高100米,所需积温增加 16.2°C 与 12.0°C ,但晚季则相反,积温值随高度增加100米而减少 7.2°C 。这可能是由于晚季生育期天数随高度增加而延长的天数较少,海拔增高,气温降低,总积温反而减少的缘故。

(二) 安全生长季的热量条件与熟制安排的热量指标

1. 安全生长季的热量条件

春季水稻播种期的迟早与秋季安全齐穗期的迟早决定了一地水稻生育期的季节长度。水稻最早可播期至安全齐穗期这一阶段称为水稻的安全生长季,在危害杂交水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。南方稻区各地的安全生长季天数(80%保证率)由亚热带北部的160天左右到华南沿海的240天以上,四川盆地安全生长季较同纬度长,云贵高原东部则较同纬度的短(图4)。相应的积温值由江淮流域的不足 3500°C 到华南沿海 6000°C 以上。(图5)

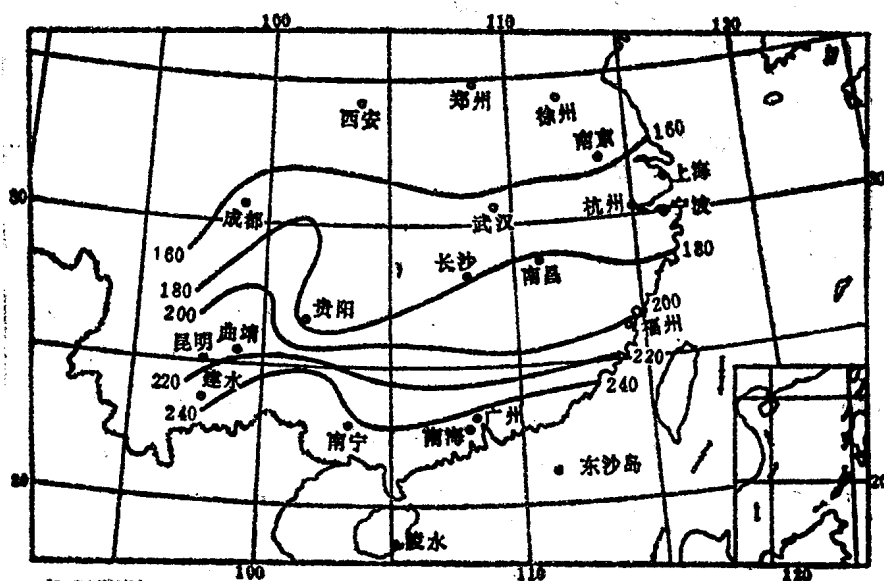


图4 杂交水稻安全生长季天数的分布

2. 熟制安排的热量指标

(1) 一季杂交水稻区

因各地纬度与高度的不同,杂交水稻生育期长度与需要的积温并不相同,因此满足一季稻生长发育的热量条件地区间也有不同的指标。

由前述(1)式与(4)式,可求得不同地区种植一季杂交水稻所需的安全生长季天数与积温值(表2)。

由表2可知,种植一季杂交水稻,在 32°N 以北低海拔的江淮平原,安全生长季天数约需110—115天,积温需 $2550—2600^{\circ}\text{C}$,在 $25—28^{\circ}\text{N}$ 海拔500米以上的浙闽丘陵及南

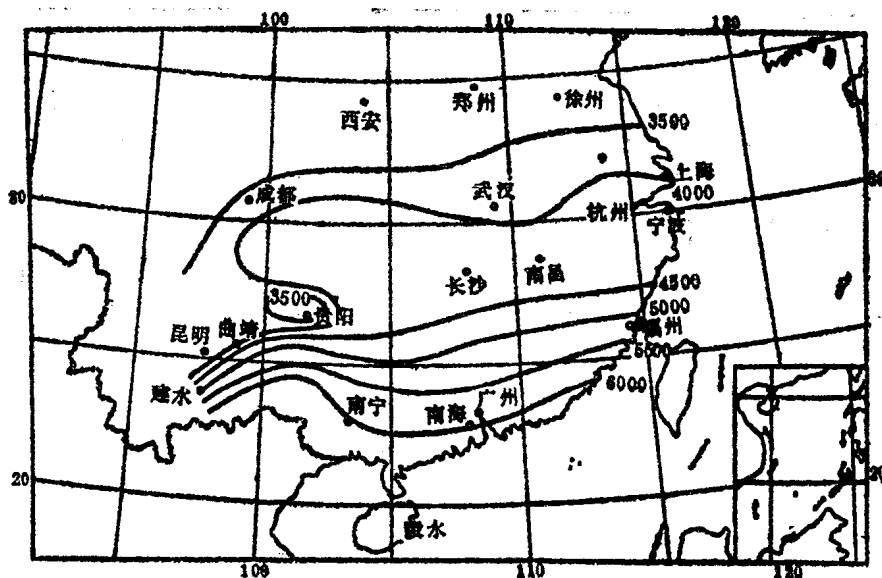


图5 安全生长季大于10℃活动积温的分布

表2 不同纬度、高度一季杂交稻安全生长季天数与积温指标

项 目	H(米)	$\Phi^{\circ}N$											
		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
安全生长季天数(天)	0	95.2	96.8	98.4	100.0	101.6	103.2	104.8	106.3	107.9	109.5	111.1	112.7
	100	97.6	99.2	100.8	102.4	104.0	105.6	107.2	108.7	110.3	111.9	113.5	115.1
	500	107.2	108.8	110.4	112.0	113.6	115.1	116.7	118.3	119.9	121.5	123.0	124.6
	1000	119.1	120.7	122.3	123.9	125.5	127.1	128.7	130.2	131.8	133.4	135.0	136.6
积温值(℃)	0	2338.1	2360.4	2382.8	2405.1	2427.4	2449.7	2472.0	2494.3	2516.6	2538.9	2561.2	2583.5
	100	2354.3	2376.6	2398.9	2421.2	2443.5	2465.8	2488.1	2510.4	2532.7	2555.0	2577.3	2599.6
	500	2419.1	2441.4	2463.7	2486.0	2508.3	2530.6	2552.9	2575.2	2597.5	2619.8	2642.1	2664.4
	1000	2500.1	2522.4	2544.7	2567.0	2589.3	2611.6	2633.9	2656.2	2678.5	2700.8	2723.1	2745.4

岭山地,安全生长季约需110—115天,积温需2500—2550℃;而在同一纬度、海拔1000米以上的云贵高原,安全生长季需要122—127天,积温2550—2600℃。

(2) 双季稻区杂交晚稻栽培北界的热量指标和不同熟制搭配的热量指标

杂交晚稻栽培北界的热量条件在于保证后季稻的安全齐穗。汕优6号作后季稻栽培,从移栽到安全齐穗,其生育期天数与积温随纬度、高度的变化的相关式为:

$$N = 39.08 + 0.71\Phi + 0.25H \quad (7)$$

$$(R = 0.7350^{***} \quad n = 18)$$

$$\Sigma t = 1338.68 + 9.92\Phi - 22.24H \quad (8)$$

$$(R = 0.8047^{***} \quad n = 18)$$

根据(7)、(8)式,可绘出晚稻移栽至齐穗热量指标列线图(图6)。在目前我国双季稻北界31—32°N地区,杂交晚稻移栽至齐穗61—62天,积温需1650℃左右。这

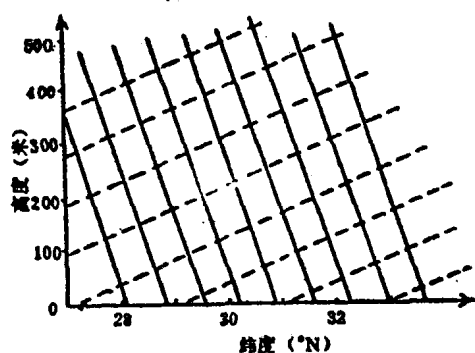


图6 杂交晚稻移栽至齐穗热量指标列线图
(汕优6号 天数——, 积温---)

些地区早季常规稻特早熟品种全生育期近 100 天, 早熟品种全生育期 100—110 天, 需积温 2200—2400°C, 因此在 31—32°N 地区, 杂交水稻汕优 6 号作连作晚稻栽培的热量指标为安全生长季天数 160 天以上, 积温 3850°C。

长江流域双季稻产区, 常规早稻品种甚多, 有早、中、迟熟之分, 杂交晚稻目前除 2 号、3 号、4 号、6 号系列等迟熟组合外, 也有一些早、中熟组合, 如 8 号系列以及早恢系统、75P12 系统等杂交早稻组合用作晚稻栽培的。对这一地区不同熟型品种要求的热量条件, 综合如表 3。

表3 长江流域双季稻区种植杂交晚稻的热量指标

熟制类型	常规早稻 全生育期			杂交晚稻移栽至齐穗		两季不同熟制搭配 常规早稻+杂交晚稻		
	早 熟	中 熟	迟 熟	早、中熟 组 合	迟 熟	早+迟 中+中	一迟 一中	两季 迟熟
天 数	100—110	115左右	>120	40—50	55—60	160—170	170—180	>180
积 温 (°C)	2200—2400	2400—2600	2600—2800	1360—1450	1450—1650	3850—4100	4100—4300	>4300

(3) 双季杂交水稻区的热量指标

在华南热量条件丰富的地区, 杂交水稻可作两季栽培。为了发挥杂交水稻的增产优势, 目前生产上作早季栽培的仍以迟熟型汕优 6 号、威优 6 号及 2 号、3 号系列为主。根据汕优 6 号的早季栽培全生育期天数, 积温与纬度、高度的相关关系式:

$$N = 72.20 + 2.20\Phi + 3.22H \quad (9)$$

$$(R = 0.9335^{***} \quad n = 25)$$

$$\sum t = 2499.81 + 29.19\Phi + 15.31H \quad (10)$$

$$(R = 0.5549^{**} \quad n = 25)$$

并考虑到后季稻的安全齐穗, 种植双季杂交水稻的安全生长季天数应该是早季杂交水稻的全生育期天数 (N_1), 加上晚季杂交水稻移栽至齐穗的天数 (N_2)。由于 N_1 可由 (9) 式得到, N_2 可由 (7) 式得到, 因此, 两季杂交稻的安全生长季天数:

$$N = N_1 + N_2 = (72.20 + 2.20\Phi + 3.22H) + (39.08 + 0.71\Phi + 0.25H)$$

$$\text{即 } N = 111.28 + 2.91\Phi + 3.47H \quad (11)$$

同样, 不同地区两季杂交水稻所需积温可由 (10) 式与 (8) 式得到, 即

$$\sum t = 3838.49 + 39.11\Phi - 6.93H \quad (12)$$

根据 (11)、(12) 式, 东部 23—30°N 地区不同纬度、不同高度种植两季杂交水稻所需热量条件列于表 4。

作为划区的农业气候热量指标必须既要考虑作物在不同地区对热量要求的动态变化, 又要考虑地区气候条件的实际可提供性。以两季杂交水稻的安全生长季为例(图 7),

表4 不同纬度、高度双季杂交水稻安全生长季天数与积温

项 目	高 度 (米)	纬 度(°N)							
		23	24	25	26	27	28	29	30
安全生长季 (天)	0	178.2	181.1	184.0	186.9	189.9	192.8	195.7	198.6
	100	181.7	184.6	187.5	190.4	193.3	196.2	199.1	202.0
	500	195.5	198.4	201.3	204.2	207.1	210.0	212.9	215.8
积 温 (°C)	0	4738.0	4777.1	4816.2	4855.4	4894.5	4933.6	4972.7	5011.8
	100	4731.1	4770.2	4809.3	4848.4	4887.5	4926.6	4965.8	5004.9
	500	4703.4	4742.5	4781.6	4820.7	4859.8	4898.9	4938.0	4977.1

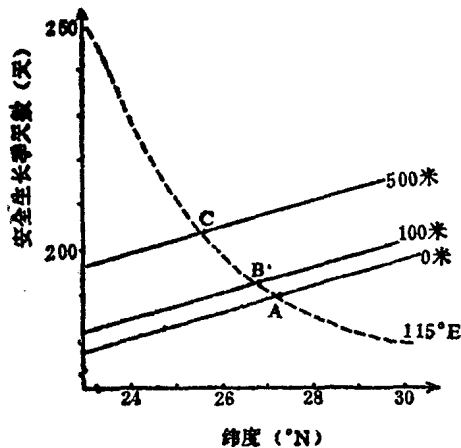


图7 两季杂交水稻安全生长季天数与实际地理分布 (115°E)

图中实线为不同高度种植两季杂交水稻所需要的安全生长季天数，虚线为 115°E 安全生长季天数的实际分布线。由图可见，27°N 以北不同高度两季杂交水稻需要安全生长季 185 天以上，但这一地区的实际安全生长季不足 185 天，不具备种植两季迟熟杂交水稻的热量条件；在 25°N 以南地区，从气候条件看，安全生长季天数在 200 天以上，已远远超过作物在这一地区需要 180—200 天安全生长季的要求。所以，在热量不足或热量过剩地区来确定分区指标均缺乏实际意义，唯有在 25—27°N 地区，图中实线与虚线相交，两季杂交水稻在低海拔可种到 27°N (图中 A、B 点)，在 500 米丘陵山区

其种植界限在 25—26°N (图中 C 点)，环境条件正好满足作物的要求，这时确定的区划指标才能体现作物与环境的统一性与区界的明确性。25—26°N 地区正处浙闽丘陵和南岭山地，以海拔 500 米确定种植两季杂交水稻 (迟熟型)，在该地区需要安全生长季天数 200 天以上，积温 4800°C 以上。

(三) 杂交水稻布局熟制分区讨论

在上述对杂交水稻不同地区的不同熟制热量条件进行鉴定的基础上，结合秋季低温出现的日期，我们根据杂交水稻熟制分区的农业气候指标 (表 5)，将南方稻区杂交水稻熟制划分为三类、六个区。图 8、表 6 列出了各区的气候要素值。

表5 杂交水稻熟制分区指标

熟制分区	类 型	安全生长季天数	活动积温 ($\geq 10^{\circ}\text{C}$)	秋季低温出现日期
I 一季杂交水稻区	江淮流域 (32°N)	110—160	2500—3500	9月10日
	云贵高原 (25—28°N)	> 125		
II 双季稻杂晚栽培区	搭配区 早+迟 或 中+中	160—180	3500—4200	9月10日—20日
	主栽区 迟+迟	180—200	4200—4800	9月20日—30日
III 双季杂交稻区	双季迟熟型	> 200	> 4800	9月30日以后

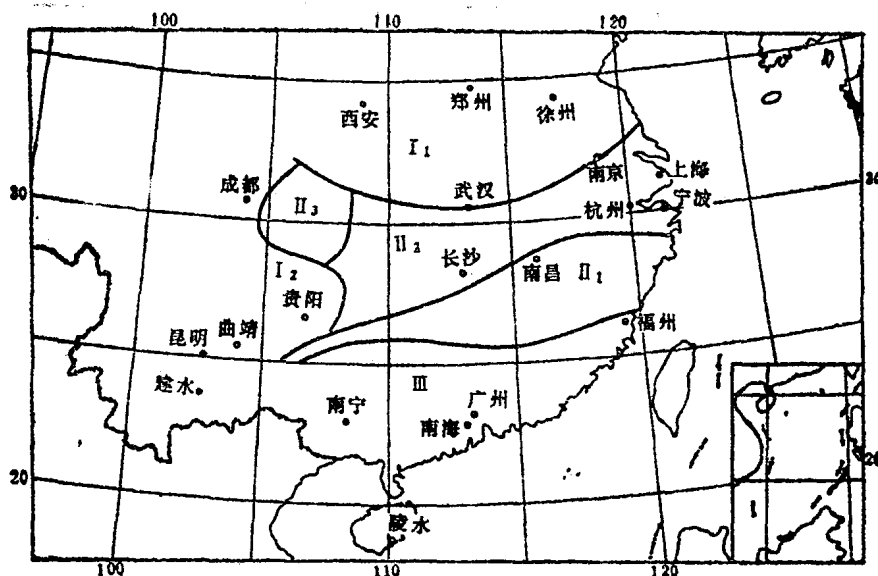


图8 杂交水稻熟制分区图

I₁区 江淮流域一季杂交水稻区。稻作生长季4—10月，雨量800毫米左右，可满足一季稻用水需要，日照时数1400小时左右，光照条件十分优越，安全生长季150—160天，积温3500—3800℃，秋季低温出现在8月下旬到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145—155天，播种至抽穗期105—115天，可在8月中、下旬抽穗，并以8月下旬抽穗为适宜，9月下旬至10月初成熟，抽穗期不易受低温冷害。

I₂区 低纬的云贵高原与川西山区一季杂交水稻区。区内各地热量条件有较大的差异。高原安全生长季天数在125天以上，积温2600℃以上地区可以种植一季杂交中稻。本区春季回暖较早，4月份月平均气温16.9℃，高于长江流域，3月下旬至4月上旬即可播种。秋季低温在8月下旬至9月上旬，由于海拔高，夏无高温，7、8月平均气温仅22℃左右，为稻作区温度强度最低的地区。作物全生育期表现特长，一般为160—170天，播种至抽穗期长达110—120天，灌浆成熟期50天，杂交水稻的个体发育良好。本区可实行稻麦或稻油两熟。在海拔400—500米以下的部分地区，热量条件较好，安全生长季200天以上，积温4100—4700℃，杂交水稻可作连作晚稻或两季栽培。高原区稻作生长季4—10月，雨总量1000毫米左右，日照时数偏少，在1100小时左右，4—5月日照条件较好，但月雨量偏少，易发生春旱。

II₁区 武夷、岭北双季稻杂晚主栽区。一季常规早稻加一季杂交晚稻，热量条件较好，稻作生长季4—10月，积温5100℃左右。仅次于华南。两季均可采用迟熟品种。春季早稻栽种期在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℃，晚季杂交水稻生长时间较充裕，许多地方杂交晚稻栽培面积占当地稻作面积的80%。此区稻作生长季4—10月雨总量1100毫米，日照近1300小时，光照、水分条件均较好，有利于杂交水稻优势的发挥。丘陵山区海拔500米以上地方，两季已感困难，杂交水稻作一季中稻栽培。

表6 杂交水稻熟制分区的气候要素统计 (1951—1970年)

地 区	要 素	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	生长季(4—10月)		早季(4—7月)		中季(5—9月)		晚季(6—10月)	
									合计值	范 围	平 均	与生长季之比(%)	平 均	与生长季之比(%)	平 均	与生长季之比(%)
淮 河 流 域 区	$\bar{T}$	14.5	20.1	25.0	27.6	27.0	21.9	15.9	21.7	12.9—28.5	21.8		24.3			
	Σt	435.0	623.1	750.0	855.6	837.0	657.0	492.9	4650.6	4405.2—4828.4	2663.7	57.3	3722.7	80.0		
	R	71.6	79.7	104.2	213.8	151.6	100.3	45.8	767.0	543.3—923.9	469.3	61.2	649.6	84.7		
	S	179.4	210.9	230.6	224.8	239.6	182.5	192.0	1416.7	1210.5—1633.3	845.7	59.7	1090.2	77.0		
长 江 区	$\bar{T}$	16.0	20.8	25.0	28.5	28.0	23.7	17.8	22.8	13.8—29.6	22.6		25.2		24.6	
	Σt	479.3	645.5	749.0	882.8	867.0	712.2	550.8	4886.6	4688.4—5059.8	2756.6	56.4	3856.5	78.9	3861.8	79.0
	R	140.3	196.1	197.4	162.8	130.8	95.9	75.7	1008.0	780.6—1177.7	705.6	70.0	783.0	77.7	662.6	65.7
	S	128.9	142.5	171.9	239.2	244.9	182.8	164.5	1263.4	901.2—1467.7	684.2	54.2	948.3	77.9	996.2	78.9
岭 北 区	$\bar{T}$	17.8	22.3	25.6	28.9	28.4	25.1	19.3	23.9	16.0—29.9	23.7		26.1		25.5	
	Σt	533.8	690.4	768.7	897.4	880.2	753.7	599.0	5123.2	4930.4—5377.6	2890.3	56.4	3990.4	77.9	3899.0	76.1
	R	202.5	265.2	254.4	128.5	129.1	95.3	69.3	1144.3	894.0—1489.7	850.6	74.3	872.5	76.2	676.6	59.1
	S	115.9	126.9	153.8	261.7	247.8	200.2	164.7	1284.3	948.0—1468.2	671.6	52.3	944.0	73.5	979.1	76.2
华 南 区	$\bar{T}$	21.2	25.1	26.9	28.4	28.0	26.6	23.0	25.6	18.1—29.1	25.4		27.0		26.6	
	Σt	637.1	770.6	806.5	880.4	869.1	798.2	713.2	5484.1	5168.6—5706.3	3103.6	56.6	4133.8	75.4	4067.4	74.2
	R	141.1	222.6	281.2	189.0	215.9	161.0	55.0	1265.8	858.2—1912.5	833.9	65.9	1069.7	84.5	902.1	71.3
	S	126.7	169.6	165.4	244.6	231.8	207.8	210.6	1344.6	1082.9—1504.6	706.2	52.5	1019.1	75.8	1060.2	78.8
盆 地 区	$\bar{T}$	18.5	22.0	24.8	27.6	27.3	23.1	17.9	23.0	17.9—28.6	23.2		25.0		24.1	
	Σt	555.4	683.3	744.4	855.6	845.9	692.1	555.8	4932.5	4728.6—5080.9	2839.7	57.6	3812.3	77.5	3693.8	74.9
	R	81.4	146.3	153.0	213.0	201.8	146.1	90.1	1033.7	916.3—1068.8	595.7	57.6	862.2	83.4	804.0	77.8
	S	128.1	126.6	133.7	199.5	205.4	120.9	67.8	981.9	835.6—1150.3	587.9	59.9	786.0	80.0	727.2	74.1
云 贵 区	$\bar{T}$	16.9	19.8	21.0	22.2	21.6	19.7	16.1	19.6	13.2—27.1	20.0		20.9			
	Σt	507.6	612.3	630.6	687.6	669.3	590.7	499.7	4197.7	3443.3—5163.0	2439.0	58.1	3190.4	76.0		
	R	55.0	134.0	166.4	222.5	190.3	110.5	95.1	1003.8	712.2—1391.4	607.9	60.6	853.7	85.0		
	S	187.4	170.7	130.9	159.5	171.2	155.2	114.9	1099.8	955.2—1335.0	648.5	59.5	787.5	72.3		

Ⅱ₂区 长江流域双季稻杂晚搭配区。本区在30°N南北、为双季稻区的北部地区，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，秋季低温在9月中旬，9月平均气温23.7℃，比南部Ⅱ₁区低1.4℃，安全生长季165—180天，积温3850—4300℃，生长季时间比较紧张。迟熟型杂交水稻组合的前作宜采用早、中熟早稻品种，杂交晚稻需抓住季节适当搭配。生产上若选用偏早熟的高产杂优组合，则可扩大杂交晚稻栽培比例。

Ⅱ₃区 四川盆地双季稻杂晚与一季杂交中稻区。此区稻作生长季4—10月，总热量比长江中下游区略多，但热量分配与长江中下游不同，盆地区早季热量占57.6%，比长江流域多，但秋季热量条件较差，晚季（6—10月）积温占4—10月的74.9%，长江流域晚季热量占79.0%，盆地晚季积温比长江流域少170℃。9月雨量比长江流域多50毫米，秋雨较多。晚季日照时数比长江流域少270小时，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。盆地中季5—9月平均气温25℃，与华南的早季，与岭北的晚季热量条件相近，7—8月盆地光热水条件均较好，月雨量超过200毫米，月日照时数近200小时。因此，发挥中季的优越气候条件，发展杂交中稻，在盆地是有实际意义的。

Ⅲ区 华南双季杂交水稻区。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200天以上，积温超过4800℃，可种双季迟熟型杂交水稻。稻作生长季水分、光照条件也充沛，4—10月雨量共1300毫米，日照时数1300小时以上，华南珠江三角洲杂交水稻作早稻栽培，全生育期120—130天，在2月下旬播种，抽穗期可避开5月下旬至6月上旬的“龙舟水”及7月份成熟期的台风害。北界的韶关地区仍应注意早晚稻的适宜播栽季节。中季5—9月本区温度偏高，5个月平均27℃，易受高温抑制，不宜配置杂交中稻。

二、杂交水稻的干物质生产与光合特征数分析

农作物中经济部分的产量Y是整个生长发育期间光合作用的最终产物，即干物质生产的累积与分配的结果，可以表达为总干重W乘以经济系数k，即

$$Y = k \cdot W \quad (13)$$

增加干物质生产和提高经济系数均有利于作物经济产量的增加。禾谷类作物的经济系数一般为0.5左右，1980—1981年杂交水稻多点联合试验k值为0.45—0.56。干物质W的生产与累积，和群体的光合面积、光合时间、光合效率以及外界环境条件密切相关。本节研究气象条件对杂交水稻光合产物的积累水平及光合特征数的影响。

（一）杂交水稻干物质生产的基本特征

据多点多期次实际测定，杂交水稻一季生产的干物质总量一般为1900—2000斤/亩（1400—1500克/米²）。各季中，早季的产量最高，中季次之，晚季较低（表7），生物学产量随播期推迟，生育期的缩短而减少。

将生物学产量W写为：

$$W = W' + \Delta W \quad (14)$$

式中W'为齐穗期干重，ΔW为齐穗后的增重。由表7可知，W'一般占W的72%，说

表7 干物质生产与经济产量

季 别	齐穗时干物质 W' (斤/亩)	齐穗后增重 ΔW (斤/亩)	经济产量Y (斤/亩)	生物学产量 W (斤/亩)	$\frac{W'}{W}$	经济系数k	点 次
早 季	1430 (1072.4)	537 (402.7)	1095 (821.2)	1967 (1475.1)	0.73	0.50	27
中 季	1424 (1067.9)	540 (405.0)	941 (705.1)	1964 (1472.9)	0.73	0.48	31
晚 季	1309 (981.7)	582 (436.5)	847 (635.2)	1891 (1418.2)	0.69	0.45	31
平 均	1387.7 (1040.7)	553.0 (414.7)	961.0 (720.7)	1940.6 (1455.4)	0.72	0.50	

注：括号内的数字以g/m²为单位。

明生物学产量的70%左右在抽穗时已形成，此时群体已达1300—1400斤/亩(1000—1100克/米²)，这是整个产量形成的基础。齐穗后生产的干物质一般为每亩500—600斤(400—450克/米²)，约占总干重的30%。

总干重W及齐穗时的干重W'与经济产量有显著的相关性(表8)。晚季因抽穗后结实状况对产量影响甚大而相关程度减弱。齐穗时的W'与 ΔW 之间相关性甚小，说明增加齐穗时的W'并不会造成对后期 ΔW 的反馈抑制。

表8 干物质与经济产量的相关系数

季 别	r_{YW}	$r_{YW'}$	$r_{Y\Delta W}$	$r_{W'\Delta W}$	样本数
早 季	0.7675***	0.7506***	0.3310	0.0660	28
中 季	0.7282***	0.6015***	0.3432	0.1090	31
晚 季	0.6078***	0.4638**	0.3601*	0.0394	31

注： r_{YW} 为经济产量(Y)与生物学产量(W)之间的相关系数，余类推。

齐穗后生产的干物质 ΔW ，主要贮存于穗部，成为经济产量的一部分。令经济产量Y与 ΔW 之差，即 $(Y - \Delta W)$ 为前期累积的干物质W'中转化而来的产量，以 k' 表示齐穗前累积的每一斤干重转化为经济产量的比重，则 $k' = (Y - \Delta W)/W'$ 。计算结果， k' 早季为0.39，中季为0.28，晚季为0.20。表明早季前期的干物质转化为经济产量的比重较高，晚季前期转化较低。显然，齐穗前干重W'转化为经济产量的比例为：

$$P = \frac{k' \cdot W'}{Y} = \left(\frac{Y - \Delta W}{W'} \right) \cdot \frac{W'}{Y} = 1 - \frac{\Delta W}{Y}$$

表9列出了计算结果。齐穗时形成的干重要占全部产量的0.31至0.51。一般认为抽穗后形成的产量要占全部产量的2/3—3/4，前期累积在茎叶中的干物质转化的产量，只占1/3—1/4。我们的计算，证实上述观点对晚稻(齐穗前后产量形成之比为3比7)是真实的。无疑，早、中季前期干物质生产对产量形成的比重要增大(早季是5比5，中季是

4比6)。一般而论, 早季结实灌浆期仅25天左右, 这使早季齐穗前积累的干物质中有相当一部分转化成经济产量。可见, 干物质生产的两部分 W' 与 ΔW , 在产量形成上都有很重要的意义, 应给以充分的重视。

表9 齐穗前后形成产量的比例

产量形成部分	早 季	中 季	晚 季
齐穗前干物质转化	0.51	0.43	0.31
齐穗后干物质形成	0.49	0.57	0.69

(二) 干物质生产与生育期天数

从生长解析来看, 干物质生产量可以表述为作物生长率对时间的积分,

$$W = \int_{t_0}^{t_e} \left(\frac{dW}{dt} \right) \cdot dt \quad (15)$$

式中 t_0-t_e 是作物生长时间积分域, $\left(\frac{dW}{dt} \right)$ 是作物干重某一时刻的增长率, 是一个随时间而变化的动态量, 称为作物生长率。某一时段平均的作物生长率用CGR表示。(15)式说明群体生物产量的增加包括生物产量的累积强度和累积时间两个方面。

图9表示作物的总干重是 $\left(\frac{dW}{dt} \right)$ 与时间的总效果。柳州与安顺的作物生长率相近, 但安顺全生育期长, 总生物学产量 W 超过柳州; 长沙与柳州的生育期天数相近, 但因生长率高于柳州, 因此, 也有较高的 W 值。

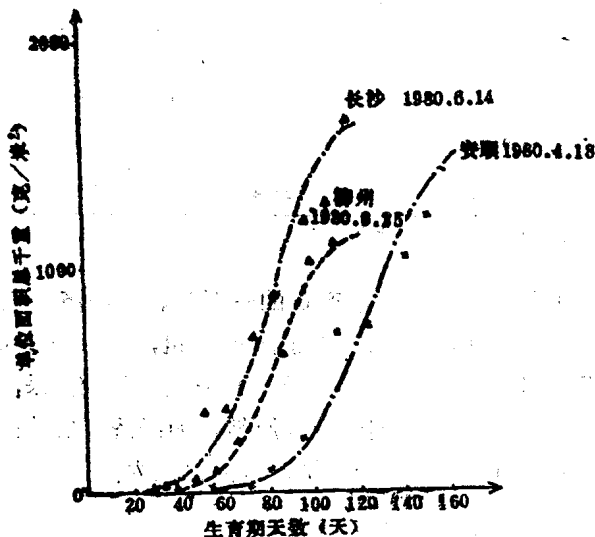


图9 单位面积总干重随生育期的变化

迟熟组合和全生育期长的地区, 有较高的生物学产量和经济产量, 表明了时间因素对干物质生产的影响。图10a、10b说明, 无论是全生育期总干重 W , 还是营养生长期的干重都和各地的生育期天数成正相关。

由图10a、10b可知, 杂交水稻生育期天数延长一天, 可以增加13.76—13.99斤/亩的干物质生产量, 按14斤/亩计算, 相当于10.49克/米²·日。据报导, 日本国际生物学研究计划(JIBP)1967—1971年田间试验, 水稻净生长量 P_n (克/米²)为1526克/米², 全生育期平均长度160天, 因此平均作物生长率CGR为9.54克/米²·日。

可见我国杂交水稻的生长率高于日本的水稻。本文上一节在杂交水稻发育与气候的研究中已经说明, 在环境条件中, 温度与光长对杂交水稻生育期天数有显著的影响。较高海拔的较低温度与较高纬度的较长日照, 都使发育速度延缓而使生育期延长, 因此这