

中国水稻的气候资源 与气候生态研究

高亮之 等

江苏省农业科学院

一九八四年十二月

5511
98

前 言

水稻是我国最主要的粮食作物，其总产量占全国粮食总产量44%以上，全世界以我国的水稻面积最大，总产最多，品种资源最丰富，在我国，除西藏高原外，水稻的分布遍及全国各地。因此，我国丰富多样的气候条件对水稻生产具有极为深刻的影响。

本研究系统地阐述我国水稻的光照、温度、水分等气候资源，气候条件与水稻生长发育，季节变化，光合生产，水分平衡以及自然灾害之间的生态关系，从而阐明我国水稻各种主要类型，品种的分布界限，不同稻作制度的地区适应性，各地水稻的生产潜力与增产途径，各地水稻的需水量与最低灌溉量，各种主要气象灾害的发生规律与防御途径，并提出我国水稻气候生态区划与我国南方稻区的种植制度的气候生态区划，以求有助于我国进一步发展水稻生产，争取水稻大面积的高产稳产与持续增产。

本研究是受全国农业气候区划协调委员会的委托而进行。在研究开展过程中，作者等曾去福建、广东、云南、贵州、四川、湖北、湖南、江西、安徽、上海、江苏、山东、河南、陕西、甘肃、辽宁、黑龙江等省、市、自治区进行调查研究，得到各地水稻、农业气象、农业区划专家、干部与群众的大力帮助，在此一并志谢。

已故我国卓越的农业科学家丁颖先生生前对中国稻作的气候生态研究十分关注，作者曾亲自受其教诲与鼓励。今年正值丁颖先生逝世十周年，谨以此项研究成果纪念敬爱的丁颖先生！

高 亮 之

1984年10月15日

5511
37

目 录

中国不同类型水稻生育期的温光模式及其应用.....	1—10页
高亮之 金之庆 李林	
中国水稻生长季与稻作制度的气候生态研究.....	11—17页
高亮之 李林 郭鹏	
中国水稻的光温资源与光能利用研究.....	18—32页
高亮之 郭鹏 张立中 林武	
中国水稻生长季水分条件的研究.....	33—42页
金之庆 高亮之 陆景淮	
中国水稻生长季气象灾害的研究.....	43—48页
高亮之 高庆芳 陆景淮	
中国水稻气候生态区划.....	49—68页
高亮之 李林 金之庆	

附：“我国南方稻区种植制度的气候生态区划”资料一份

中国不同类型水稻 生育期的温光模式及其应用

高亮之 金之庆 李 林

(江苏省农科院)

摘 要

本文运用全国有代表性的水稻品种在全国种植的生育期资料, 提出不同生育期以及不同品种从播种到抽穗的温光模式, 提出水稻三大类型 1、早籼、早粳, 2、中籼、中粳, 3、晚籼、晚粳的不同模式类型。指出了生育期的温光模式具有的应用价值。运用模式计算的生育期误差和有效积温法的误差相比较, 对感光性弱的品种精度要提高三天左右, 对感光性中等的品种要提高 6—12 天, 对感光性强的品种则提高 18—20 天。

一、前 言

了解作物生育期的变化规律, 对于作物与品种布局, 种植制度的安排, 适宜播栽期的选择以及各种栽培措施的制定, 都有十分重要的意义。

作物生育期主要受作物的生理特性以及当地气候条件的限制, 当然亦受到土壤, 肥料, 灌溉等其它条件的影响。但这些因素的影响, 相对来说是不显著的, 因此有关作物生育期的问题, 在作物生理生态学以及农业气象学领域内研究得较多。作物生理生态学侧重研究作物生育期变化的生理生态机制, 而农业气象学则侧重研究作物生育期与气象条件的数量关系。

自从法国科学家 Reaumur 在 18 世纪 40 年代提出“积温”的概念后, 近代农业气象学家长期以来沿用“积温”方法来反映作物生育期与气象条件的数量关系。“积温”学说认为, 作物自播种到成熟每日平均气温的总和是一个常数。后来发现这个学说对某些作物, 某些地区比较适用, 但对另一些作物, 另一些地区往往很不适用。同一作物, 同一品种在不同条件下, 积温差异甚大。有些科学家采用“有效积温”, 即日平均气温减去一定低限或高限的总和。这对减少积温的偏差有一些作用, 但偏差往往依然很大。对水稻来说, 情况就是这样。到目前为止, 国际上对水稻仍然较多地应用“积温”法, 尽管存在着相当大的误差。

我国农业气象学界对水稻生育期与气象条件的关系有较多的研究。1958 年, 前华东农科所农气组高亮之、阳体冰提出光温系数法, 考虑了光长对积温的影响。1978—1979 年兰鸿弟提出“暗长积量”, 反映水稻感光阶段长短与气象条件的关系。1978—1979 年, 南京气象学院, 湖南, 江西, 江苏等省气象台站, 在杂交稻花期相遇研究中, 采用选择不同的低温与高温界限的方法。1979—1980 年沈国权提出非线性模式及积温当量, 反映非感光品种生育期与温度条件的关系。

林武、陈玉泉同志参加本文部分计算工作

本文作者1976年对南京地区五个水稻品种，初步提出水稻生育期的温光模式。本文进一步完善这个方法，对全国有代表性品种在全国范围内提出通用的温光模式。

二、研究思路

提出水稻生育期温光模式的主要思路为：1、水稻生育期的温光模式必须反映出影响水稻生育期的各主要因子。积温法，没有反映光长对生育期的影响，不同的不同反应恰是水稻不同品种生态型的十分重要的特征。大量资料表明，水稻对光长的反应，主要反映在播期和纬度两个方面。这是因为，水稻的感光性亦表现为二方面，不同水稻品种进入穗分化，要求一定的临界光长，而播期不同达到临界光长的天数就不同，（2）水稻在感光阶段（大约4—5叶到幼穗分化），不同品种对该阶段日长的反应不同，而纬度不同该阶段的日长就不相同。因此我们在本模式中，不直接采用光长，而采用播期和纬度这两个在生产实践中更为重要的因子。2、水稻生育期的气象模式要求清晰地反映出水稻的感温性，即温度变化对水稻生育期的影响。感温性是水稻品种重要特征之一，它直接反映水稻生育期的稳定程度，在稻作制度，品种布局，播栽期确定上都是必须考虑的。积温法能反映水稻对总热量的要求，但不能反映“感温性”。生育期的温光模式对感温性的反映，根据水稻品种生态特性的不同，采用线性的和非线性的两种形式。3、水稻生育期的温光模式中，既有品种本身固有的生物学因素，又有可变动的气象因素。同时还要考虑到一些其它因素，如秧龄、肥力等。在确定某种稻作制度的温光模式时，还要考虑劳力（农耗）因素。4、本文提出的温光模式，不追求其复杂性，相反，而是力求模式表达方式的简明易用与精确可靠相结合。积温法虽然形式简单，但在精确可靠方面是不够要求的。

三、研究材料与方 法

本文所取材料：主要来自1962—1963年全国水稻品种光温试验，选择自北到南不同地区有代表性的早、中、晚熟籼稻粳稻地方品种。每个品种都采用分布在全国范围的八个地点（崖县、广州、昆明、长沙、南京、天津、米泉、公主岭）二年二期，共20—30个资料。进行统计分析。同时，亦在江苏省范围内选取当前应用的籼粳稻良种及杂交稻。

气象生态模式的求取方法有以下考虑：

1、在统计方法上采用多元回归法与多元曲线回归法。在模式求取过程中以T表示该生育期平均气温， ϕ 表示纬度，D表示播期， T^2 表示温度的非线性效应， $\phi \cdot D$ 表示纬度与播期的交互作用，分别试用一元、二元、三元、四元、五元回归法，进行统计检验及误差比较，寻找误差较小而又较为简单（元数较少）的方法。作者等亦曾应用逐步回归法，发现此法选出的要素不一定反映水稻生育期的气象生态要求，因此该法计算结果只作参考。

2、在气象条件的处理上采用标准条件法，即在全国范围内选定以25℃为标准气温条件（考虑到25℃为所有水稻品种的适宜温度），以北纬30°N为标准纬度（考虑到30°N处在我国稻区的中间位置），以四月一日为标准播期（考虑到就全国来说，绝大部分稻区，播种期在4月1日后）。在上述标准条件下的生育期即称为标准生育期。某一品种的标准生育期及相应的气象生态模式在全国范围内可以通用。

四、研究结果

(一) 水稻不同发育期的温光模式 水稻不同发育期对温、光的反映是不一样的。为了探求水稻不同生育期和温光条件之间的数量关系, 选择两个感光性较强的水稻品种浙场九号(晚粳)与猪毛簇(晚粳), 分成五个发育期, 1、播种—出苗, 2、出苗—五叶(五叶期与感光阶段开始期相接近), 3、五叶—分化(感光阶段), 4、分化—抽穗, 5、抽穗—黄熟, 分别用不同方法进行统计检验, 比较其误差。

1、播种到出苗:

表 1 播种到出苗发育阶段不同模式的误差天数

品 种	Y X	天 数 (D)	Σt	(粳) $\geq 12^{\circ}\text{C} \Sigma t$ (粳) $\geq 10^{\circ}\text{C} \Sigma t$	12—26 $^{\circ}\text{C} \Sigma t$ 10—26 $^{\circ}\text{C} \Sigma t$
浙场九号(粳)	样本 (Y)	± 5.6611	± 3.5591	± 2.0278	± 1.5604
	一元 (T)	± 3.3455	± 2.9324	± 2.0775	± 1.5962
猪毛簇(粳)	样本 (Y)	± 6.5500	± 4.0056	± 2.5558	—
	一元 (T)	± 4.5009	± 3.4423	± 2.7053	—

表 2 出苗到五叶生育阶段模式的误差天数

品 种	Y X	天 数	总 积 温	粳 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 积温 粳 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温	12—26 $^{\circ}\text{C}$ 积温
浙场九号	三元(T、 Φ 、D)	± 2.9667	± 2.2916	± 2.0790	± 1.9168
	一 元 (T)	± 2.3800	± 2.0392	± 1.8790	± 1.8547
	样 本 (Y)	± 4.8637	± 2.2220	± 2.2039	± 1.8466
猪毛簇	三元(T、 Φ 、D)	± 4.6672	± 3.6008	± 3.0142	—
	一 元 (T)	± 4.7544	± 3.5425	± 3.1389	—
	样 本 (Y)	± 5.4730	± 3.3525	± 3.6111	—

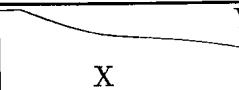
表 1 中的误差值全部折算为天数单位, 以便比较。例如总积温 (Σt) 的误差除以平均气温即为 Σt 的误差天数。Y 为应变变量。X 为自变量。“样本”一行的数值指 Y 的各种指标值如天数、总积温等本身的误差。一元 (T) 一行的数值表示以平均气温 (T) 为自变量, 而以 Y 的各种指标值为应变变量的各个一元回归方程的误差。

如 $D = b_0 + b_1 T$ (浙场九号) 这一回归方程的误差为 ± 3.3455 (天)。

表 1 说明 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ (粳), $\geq 10^{\circ}\text{C}$ (粳) 积温与 12—26 $^{\circ}\text{C}$, 10—26 $^{\circ}\text{C} \Sigma t$ 是二个较好的模式, 误差值比天数、总积温都少, 并不需要再与平均气温 (T) 进行回归。12—26 $^{\circ}\text{C}$ 积温的误差更小一些, 但 $\geq 12^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的计算比较方便。

2、出苗到五叶：表2中三元（ T ， ϕ ， D ）一行表示以平均温度（ T ）、纬度（ ϕ ）、播期（ D ）为三个自变量的回归方程的误差。表2说明12—26℃积温的误差最小， $\geq 12^\circ\text{C}$ 、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温本身（样本）的误差与总积温的误差相近，一元、三元回归对误差虽有些改善，但改善很小。因此根据情况的需要，可采用12—26℃积温或总积温或 $\geq 12^\circ\text{C}$ 、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温三种模式。

表3 五叶到分化生育阶段模式的误差天数

品 种		天 数	总 积 温	$\geq 12^\circ\text{C}$ $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温	12—26℃ 积 温
浙场九号	五元(T 、 ϕ 、 D 、 T^2 、 ϕ 、 D)	± 5.1549	± 5.9068	± 6.6490	± 5.4728
	三元(T 、 ϕ 、 D)	± 6.2189	± 6.4773	± 6.7977	± 6.0422
	一元(T)	± 20.6558	± 19.6917	± 18.9105	± 17.1709
	样 本	± 19.5300	± 19.2800	± 19.6800	± 17.0161
猪毛簇	五元(T 、 ϕ 、 D 、 T^2 、 ϕ 、 D)	± 5.6008	± 7.5453	± 8.8608	—
	三元(T 、 ϕ 、 D)	± 5.4512	± 7.7073	± 9.1849	—
	一元(T)	± 26.8520	± 26.4206	± 29.9749	—
	样 本	± 25.8029	± 25.0246	± 25.7346	—

3、五叶到分化：五叶到分化期是水稻的感光阶段，亦是决定水稻生育期变化的关键阶段。因此作了详尽的研究，表3说明：

（1）不论天数，总积温， $\geq 12^\circ\text{C}$ ， $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温或12—26℃积温，其样本误差均极大，浙场9号为 ± 17.02 — 19.68 天，猪毛簇为 ± 25.02 — 25.80 天。而以平均气温 T 为自变量，以 Y 的各种指标数为应变量的各一元回归方程，其误差也同样极大。这说明，只采用积温、有效积温（即使减去低限与高限）对于感光水稻品种的五叶到分化期来说都不宜使用，其误差与天数本身的误差相接近，甚而超过。换言之，这个阶段的长短不能只从温度因素来反映。

（2）两个品种 T ， ϕ ， D 三元模式中的误差有极显著的改善。

（3）四元，五元模式并不能明显地改善模式的精确性。

（4）总积温， $\geq 12^\circ\text{C}$ ， $\geq 10^\circ\text{C}$ 有效积温与12—26℃积温三种指标与天数相比，并不改善模式的精确性，然而以天数为指标在计算上及应用上要简便得多。

4、分化到抽穗：

表4 分化到抽穗生育阶段模式的误差天数

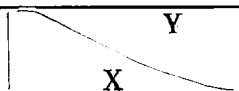
品 种		天 数	总 积 温	$\geq 12^\circ\text{C}$ $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温	12—26℃ 积温
浙场九号	三元(T 、 ϕ 、 D)	± 7.1544	± 7.3331	± 7.4863	± 6.4671
	一元(T)	± 7.3354	± 7.5693	± 7.7663	± 6.8757
	样本(Y)	± 7.1516	± 7.8672	± 8.8488	± 7.1546
猪毛簇	三元(T 、 ϕ 、 D)	± 5.0270	± 5.3702	± 5.8187	—
	一元(T)	± 7.1719	± 7.5358	± 7.8116	—
	样本(Y)	± 7.7687	± 7.4474	± 8.7308	—

表4说明浙场9号在这个阶段,采用各种模式都不能改善误差的精确性,倒是天数样本本身的误差最小,亦即可以直接采用平均天数作为模式。猪毛簇以天数为指标的三元(T 、 ϕ 、 D)模式误差最小,但与天数样本误差的差异亦不很大(比后者减少2.7%),因此可知这个阶段天数较为稳定,受光、温的影响都较小。不必要用光、温因子建立的模式来表示生育期的变化。

表5 抽穗到成熟生育期模式的误差天数

品 种	Y X	天 数	总 积 温	$\geq 12^{\circ}\text{C}$ 积温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$	12—26 $^{\circ}\text{C}$ 积 温
浙场九号	一元(T)	± 4.4816	± 4.7308	± 4.6564	± 3.8358
	样本(Y)	± 6.7909	± 4.7312	± 8.1221	± 5.4905
猪毛簇	一元(T)	± 4.9221	± 4.4225	± 4.2297	—
	样本(Y)	± 7.8908	± 4.2308	± 7.2958	—

5、抽穗到成熟:表5中,这个阶段以天数为指标的温度一元回归比天数样本本身的误差有一定的改善,说明这个阶段受温度影响较明显,各种模式中总积温本身不仅应用方便并且误差亦比较小。 $\geq 12^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温及12—26 $^{\circ}\text{C}$ 积温的温度一元回归虽然误差稍有减小,但计算不便,因此这一阶段可采用总积温或天数的一元温度回归为模式。

6、播种到抽穗:对多数品种来说,在实用上不要求将生育期分得过细,最主要的是探求播种—抽穗的模式:

表6说明:(1)对播种—抽穗来说,不论总积温, $\geq 12^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温,或12—26 $^{\circ}\text{C}$ 积温,其误差都极大,为20—26天,不能应用。(2)温度一元回归的误差仍然太大,19—27天,不能应用。(3)对这二个晚稻品种来说温度、纬度、播期(T 、 ϕ 、 D)三元回归的误差有较显著的改善,而五元回归(T 、 ϕ 、 D 、 T^2 、 ϕ 、 D)误差最小。用天数为指标的多元回归比用各种积温指标的要简便得多。因此对播种—抽穗来说,我们一律采用以天数为指标的多元回归为模式类型。

表6 晚籼、晚粳稻播种到抽穗生育阶段的误差天数比较

品 种	Y X	天 数	总 积 温	$\geq 12^{\circ}\text{C}$ 积温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$	12—26 $^{\circ}\text{C}$ 积温 10—26 $^{\circ}\text{C}$
浙场九号	五元(T 、 ϕ 、 D 、 T^2 、 ϕ 、 D)	± 3.9647	± 4.2364	± 4.8932	± 3.9152
	四元(T 、 ϕ 、 D 、 T^2)	± 9.4011	± 8.4380	± 8.0978	± 6.2749
	三元(T 、 ϕ 、 D)	± 9.3883	± 8.1986	± 8.2501	± 6.8515
	一元(T)	± 24.7489	± 23.5403	± 22.8431	± 19.4035
	样本(Y)	± 29.0530	± 23.4994	± 22.1713	± 19.9129
猪毛簇	五元(T 、 ϕ 、 D 、 T^2 、 ϕ 、 D)	± 5.8176	± 5.5340	± 5.5737	± 5.0637
	四元(T 、 ϕ 、 D 、 T^2)	± 5.8895	± 5.7788	± 5.9933	± 6.1976
	三元(T 、 ϕ 、 D)	± 6.3824	± 6.9262	± 8.7174	± 8.4769
	一元(T)	± 23.0371	± 25.2300	± 26.6731	± 24.0197
	样本(Y)	± 33.1121	± 26.1373	± 25.9705	± 23.6172

综上所述, 可知对感光性较强的水稻品种的生育期变化规律来说, 可以明确几点: ①生育前期即播种—出苗, 出苗—五叶以及生育后期抽穗—成熟, 这几个阶段生育期的变化主要受品种特性及气温条件的影响, 可以用积温法表示, 并可根据情况采用总积温, $\geq 12^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温以及 $12-26^{\circ}\text{C}$ (梗), $10-26^{\circ}\text{C}$ (籼) 三种形式。抽穗—成熟以总积温为好。而播种—五叶期以有效积温为好。②五叶—分化期为水稻感光阶段。这一阶段生育期变化受温度影响很小, 主要受日长影响, 而日长影响又通过播期, 纬度两个因子表现出来, 可以用天数的多元回归来表示。③分化—抽穗这一时期穗发育期天数比较稳定, 受温度与日长影响都比较小, 可以直接用天数来表示。④播种—抽穗期采用天数的多元回归的模式类型既可靠又简便。

(二) 水稻不同品种生育期的气象生态模式: 对不同水稻品种类型, 主要分析播种—抽穗这个阶段, 为应用方便起见, 对同一类型品种选择比较好的通用模式, 而不要求每一个品种都有不同的模式。

1、早籼, 早粳: 从表7 综合分析, 可知对感光弱的早稻来说, 天数的 T 、 ϕ 、 D 、 T^2 回归是比较好的模式类型, T 、 ϕ 、 D' 模式也可以用。

2、中籼, 中粳稻: 表8 说明, 中籼稻可用 T 、 ϕ 、 D' , T 、 ϕ 、 T^2 与 $T\phi D' T^2$ 等模式, 选择其中误差较小者。

表 7 早籼早粳稻生育期模式误差天数比较

模式类型	五月黄中熟早籼	南特号中熟早籼	米泉黑芒早熟早粳	卫国迟熟早粳
T 、 ϕ 、 T^2	± 5.3514	± 5.8709	± 5.6298	± 4.9339
T 、 ϕ 、 D'	± 6.3810	± 6.2587	—	± 4.9072
T 、 ϕ 、 D	± 8.8742	± 10.3251	± 8.8343	± 7.0953

D' 表示播期在低纬度 (广州、崖县) 不订正, 仅在中高纬度进行订正

表 8 中籼中粳稻生育期模式误差天数比较

模式类型	胜利 籼 早熟中籼	大姚麻线 中熟中籼	矮子占 中熟中籼	水原300粒 早熟中粳	台中 65 中熟中粳	黄壳早廿日 迟熟中粳
T 、 ϕ 、 T^2	± 4.5607	± 5.7706	± 5.5670	—	—	± 9.8944
T 、 ϕ 、 D'	± 4.4013	± 7.7042	—	± 5.8439	± 3.8359	± 3.7653
T 、 ϕ 、 D	—	—	—	± 7.3433	—	± 10.2477
T 、 ϕ 、 D' 、 T^2	± 4.0939	± 5.7899	± 5.7231	—	—	± 3.6258

不论早稻, 中稻在低纬上不考虑播期影响的误差显著减小。这是因为早、中稻感光性弱或中等, 在高、中纬度受播期一定影响, 而在低纬夏季日长较短的地方, 不论什么播期其对短日的要求都能满足, 因此不受播期影响, 这是本研究发现的一个有较重要意义的现象。

3、晚籼、晚粳: 已见表6 所示, 采用 T 、 ϕ 、 D 、 T^2 、 ϕ 、 T 五元模式为最好, 晚粳稻用 T 、 ϕ 、 D 模式也可。即使在低纬, 也必须考虑播期影响, 这是因为这类品种感光性很

强，即使在低纬日长较短地方，不同播期的日长效应对生育期仍显出较明显影响。

综上所述，可将水稻不同品种类型的气象生态模式分为三大类：

品 种 类 型	生 育 期 模 式 类 型
1、感光性弱的早、中粳与早粳	T, T^2, ϕ 或 T, ϕ, D'
2、感光性中等的中粳、中粳	T, ϕ, D' 或 T, T^2, ϕ, D'
3、感光性强的晚粳、晚粳	T, ϕ, D, T^2, ϕ, D 或 T, ϕ, D

4、不同品种气象生态模式：表9列出各代表性水稻品种播种—抽穗的气象生态模式。表9—1为全国代表性地方品种，表9—2为当前推广品种。

表中各模式的通用公式为：

$$N = N' + b_1 \Delta x_1 + b_2 \Delta x_2 + b_3 \Delta x_3 + \dots$$

N 为 生育期 N' 为标准生育期。 $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \dots$ 为距离各标准的气象、地理及栽培等其它条件差值。如 ΔT 即为与标准平均气温（25℃）的差值，比25℃高为正，低为负值。 ΔD 即为与标准播期（4月1日）的差值，比4月1日迟为正值，反之负值。 $\Delta D'$ 表示低纬（广州以南）播期无甚影响（可把播期视为一个固定常数），但中、高纬度需考虑播期的影响。 $\Delta \phi$ 即为与标准纬度（30°N）的差值，在30°N以北为正，以南为负。 $(\Delta T)^2$ 为与标准平均气温（25℃）差值的平方。而 $\Delta \phi \cdot \Delta D$ 表示 $\Delta \phi$ 与 ΔD 的乘积项。在较小地区范围内还可以增加地形影响（ ΔH ）、秧龄影响（ ΔS ）与肥力影响（ ΔF ）等等。

表10所示各种模式在全国范围的误差约为±3—6天，如与总积温法的误差相比，对感光弱的品种，精度提高3—14天，对感光中等的品种，精度提高6—14天，对感光强的品种，提高20天左右。与有效积温法的误差相比，则感光弱、中、强的品种，其精度分别提高3天左右，6—12天和18—20天。据在江苏省统计检验，气象生态模式在一省范围内误差为±（2—4）天。如再考虑肥力，秧龄等因子的影响，则以上误差均还可以进一步减少。这样的误差对生产实践各方面应用来说是够小的了。

类型	品 种	播 种——抽 穗 模 式	模式误差	样本误差	R ²	F 检验
早 中 籼 稻	五 月 黄	$N = 69.32 - 3.50\Delta T + 0.22(\Delta T)^2 + 0.70\Delta\phi$	± 5.3514	± 14.0885	0.8724	**
	南 特 号	$N = 74.94 - 3.11\Delta T + 0.07(\Delta T)^2 + 0.63\Delta\phi$	± 5.8709	± 13.4841	0.8105	**
	胜 利 籼	$N = 83.25 - 3.92\Delta T + 0.49(\Delta T)^2 + 0.55\Delta\phi$	± 4.5607	± 11.1278	0.8572	**
	大姚麻线	$N = 90.90 - 4.73\Delta T + 0.58(\Delta T)^2 + 0.58\Delta\phi$	± 5.7706	± 18.6595	0.9133	**
	矮 子 占	$N = 97.85 - 4.54\Delta T + 0.55(\Delta T)^2 + 0.75\Delta\phi$	± 5.5670	± 12.0629	0.8190	**
早 中 粳 稻	米泉黑芒	$N = 61.97 - 3.39\Delta T + 0.31(\Delta T)^2 + 0.89\Delta\phi$	± 5.6298	± 15.9010	0.8891	**
	卫 国	$N = 80.32 - 3.93\Delta T - 0.047(\Delta T)^2 + 0.738\Delta\phi$	± 4.9339	± 15.9639	0.9116	**
	水原300粒	$N = 77.33 - 2.99\Delta T + 0.74\Delta\phi - 0.047\Delta D'$	± 5.8439	± 17.0810	0.8468	**
	台 中	$N = 98.84 - 3.63\Delta T + 0.94\Delta\phi - 0.032\Delta D'$	± 3.8359	± 12.1044	0.9154	**
	黄壳早甘日	$N = 111.41 - 3.83\Delta T + 0.98\Delta\phi - 0.35\Delta D'$	± 3.7653	± 22.6259	0.9769	**
晚 籼 粳 稻 9—2	浙场九号	$N = 155.35 - 0.69\Delta T + 5.95\Delta\phi - 0.963\Delta D + 0.844(\Delta T)^2 - 0.066\Delta\phi \cdot \Delta D$	± 3.9647	± 29.0530	0.9860	**
	猪 毛 簇	$N = 159.76 - 2.34\Delta T + 0.993\Delta\phi - 0.717\Delta D$	± 6.3824	± 33.1121	0.9687	**
早 中 籼	广 四	$N = 71.74 - 3.83\Delta T - 0.09\Delta D' + 1.86\Delta\phi$	± 3.8231	± 11.1035	0.8870	**
	南京11号	$N = 94.49 - 3.98\Delta T - 0.14\Delta D' + 0.49\Delta\phi$	± 3.3500	± 9.3038	0.8770	**
杂 交 籼 稻	汕优 8 号	$N = 83.72 - 4.90\Delta T + 0.80(\Delta T)^2 - 0.08\Delta D' + 2.85\Delta\phi$	± 2.4000	± 10.5095	0.9524	**
	汕优 2 号	$N = 101.34 - 3.52\Delta T + 0.16(\Delta T)^2 - 0.16\Delta D + 3.28\Delta\phi$	± 2.9800	± 8.6919	0.8909	**
中 粳	农 垦 57	$N = 114.27 - 1.78\Delta T - 0.39\Delta D' + 1.92\Delta\phi$	± 4.7429	± 13.2542	0.8800	**
	南 粳 34	$N = 122.25 - 3.13\Delta T - 0.39\Delta D' + 1.09\Delta\phi$	± 2.7966	± 13.1015	0.9566	**
晚 粳	武 农 早	$N = 122.09 - 3.04\Delta T - 0.46\Delta D + 2.66\Delta\phi$	± 3.1616	± 17.2879	0.9711	**
	农虎 6 号	$N = 139.92 - 2.62\Delta T - 0.58\Delta D + 3.48\Delta\phi$	± 4.5255	± 15.7379	0.9222	**

表10

模式与积温法误差比较表

感光类型	品种类型	代表品种	样本误差	总积温误差	有效积温误差	10—26℃ 12—26℃ 积温 误差	模式误差
弱	中熟早籼	五月黄	±14.0885	±8.2170	±7.8922	—	±5.3514
	中熟早粳	米泉黑芒	±15.9010	±10.4522	±8.8970	8.36	±5.6208
中	早熟中粳	水原300粒	±17.0810	±12.6450	±12.1626	11.3003	±5.8430
	迟熟中粳	黄壳早	±22.6259	±17.3824	±15.6364	—	±3.7653
强	早熟晚籼	浙场九号	±29.0530	±23.4994	±22.1713	18.9129	±3.9647
	早熟晚粳	猪毛簇	±33.1121	±26.1373	±25.9705	23.6172	±5.8176

五、生育期模式的应用

(一) 适宜播栽期的确定: 我国农业气象学家在50年代提出水稻安全齐穗期的概念与确定方法, 在全国所有稻区得到广泛应用。但确定安全齐穗期后, 还必须确定安全播栽期, 以确保水稻在安全期前齐穗。怎样确定安全播栽期, 多年来主要凭经验或用积温方法, 但这两种方法都不够可靠, 因为不同年份, 不同播期, 不同纬度, 积温出入很大, 以致如不进行各种订正也难以应用。本文提出的生育期模式, 在各种条件上可以通用, 误差也比较小, 因此可以运用生育期模式与相应的气候生态分析来确定安全播栽期。确定安全播种期的方法为:

1、弱感光品种, 从历史气候资料求得播种到齐穗时段80%保证的平均气温 T_s , 用 ΔT_s (即 $25 - T_s$) 代入模式, 即可求得该品种在当地的安全生育期。而播种到齐穗时段选择, 可以用迭代法。先假定一个时段, 将气象资料代入模式, 若计算值与假定值出入较大, 则调正时段, 到二者接近时止。安全齐穗期向春季方向推算安全生育期, 即得安全播种期。

安 全 播 种 期

安 全 齐 穗 期

安 全 生 育 期

2、中或强感光品种模式 (T 、 ϕ 、 D) 取四月一日到当地安全齐穗期天数为 N_m , 假设四月一日到安全播种期天数为 ΔD_s , 并如前述方法取 ΔT_s , 则:

$$N_m + \Delta D_s = N' + b_1 \Delta T_s + b_2 \Delta \phi + b_3 \Delta D_s$$

$$\Delta D_s = [N_m - (N' + b_1 \Delta T_s + b_2 \Delta \phi)] / (b_3 - 1)$$

求得 ΔD_s 即得安全播种期。南京地区及江苏省其它地区自1977年以来运用生育期模式测定各类型水稻品种的安全播栽期。多年来生产实践证明, 模式所定安全播栽期是符合客观规律的, 凡在安全期限播栽的一般都能安全齐穗, 均能使水稻得到稳产高产, 如迟于安全播栽期, 就会遭受低温危害。

(二) 稻作布局的气候生态分析: 合理的稻作制度 (单季稻, 双季稻, 三熟制, 麦—玉—稻等) 是水稻生产上的一个战略性问题。多年来在水稻地区提高复种方面 (单改双, 双改三) 取得很大成绩, 对全国粮食增产有重大作用, 但在有些地区也出现了复种过高, 布局不合理的问题, 如双季稻、三熟制向北及向高海拔地区扩种过多, 也造成了一定损失。因此从

气候生态角度对稻作合理布局进行分析，在生产上有重要意义。本文提出的生育期模式可以较可靠而简易地应用于稻作布局的分析，分析时用以下公式：

$$RVP = \frac{RDL}{RD_m} \quad RCP = \frac{RDL}{\sum RD_m + \sum DA}$$

式中，RVP：水稻品种气候保证系数，RCP：水稻种植制度气候保证系数，RD_m：水稻模式生育期，RDL：当地水稻安全生长季，DA：农耗天数。气候保证系数 ≥ 1.0 的地区，从气候与季节条件来说适宜于发展该种植制度；气候保证系数 $0.9-1.0$ 的地区可以局部安排该种植制度；气候保证系数 < 0.9 的地区，不适宜于该种植制度。当然具体种植比例还要根据当地劳力，土壤肥力，生产水平，其它作物面积及农副业结构，因地制宜地确定，决不能一刀切。

（三）生育期预测：作物生育期预测在农情工作中及栽培管理上都是很有用的。但我国目前这项工作开展还不广泛，随着科学种田及农业领导水平不断提高，这项工作必将愈来愈受到重视。应用水稻生育期模式，在每一地方，在一定播期条件下，只要有平均气温的中长期预测值或概率预测值，就可以预告生育期来临日期，方法很简便。

参 考 文 献

- （1）吴光南，中国水稻品种对光照长度反应特性的研究（1），华东农业科学通报，（8），367—382页，1957年。
- （2）唐夕华等，水稻茎生长点分化与光照发育阶段的关系，植物学报，5，279—296页，1956年。
- （3）高亮之、阳体冰、蔡显圣，双季稻的农业气象问题，天气月刊，1958年（3）。
- （4）兰宏弟，水稻品种光照阶段发育速度模式的初步研究，科学通报，1979年。
- （5）南京市农科所（高亮之、张立中），后季稻品种的温光反应与安全播栽期，植物学报，1976（1）。
- （6）李林、高亮之、沙国栋，杂交稻适宜季节的气象生态研究，江苏农业科学，1980（2）。

中国水稻生长季与稻作制度的气候生态研究

高亮之 李 林 郭 鹏

(江苏省农科院农业气象研究室)

一、前 言

我国水稻栽培面积大,分布广阔,自南而北跨越了热带、亚热带、温带、寒温带各种不同气候生态环境。栽培制度复杂,有单季稻、双季稻以及麦(油)稻稻的三熟制等。

建国以来,水稻栽培面积不断扩大,复种指数逐渐提高,对增加水稻总产起了积极作用。但有的地方在改制过程中未能因地制宜,不适当地扩大晚熟种和双季稻三熟制,加剧了水稻低温冷害与用养地的矛盾。实践证明,栽培季节与稻作制度是否适宜,品种布局是否合理,是影响水稻产量的关键因素。

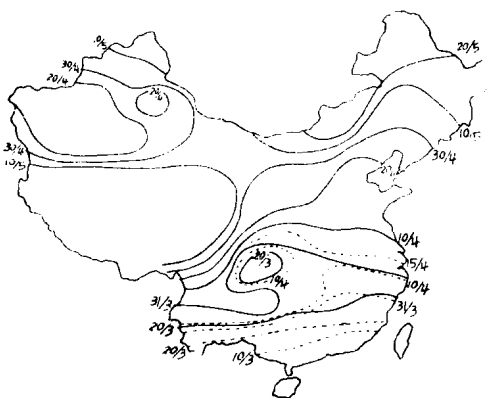
根据我国各地气候生态特点,确定适宜的栽培季节与稻作布局,对夺取水稻高产稳产和引种、育种都具有十分重要的意义。

二、我国水稻的栽培季节

由于我国南北气候生态环境存在着显著的差异,因而水稻栽培品种各不相同,秦岭淮河以北稻区与云贵高原以粳稻为主;长江流域为籼粳稻交错区;华南和云南南部以栽培籼稻为主。因此各地水稻栽培季节因品种类型而异。

(一) 水稻安全播种期 多年试

验证明,在恒温下,水稻发芽出苗的最低温度,粳稻为 12°C ,籼稻为 14°C 。这几年的播期试验与各地调查认为:日平均气温稳定通过 10°C 和 12°C 的80%保证日期,可作为粳、籼(包括杂交籼粳)稻的安全播种期。如用塑料薄膜育秧可提早播种(长江流域约10天,东北达20天)。南方双季早稻为了争取季节,实际播期往往比安全播期提早5天左右。



——粳稻……籼稻

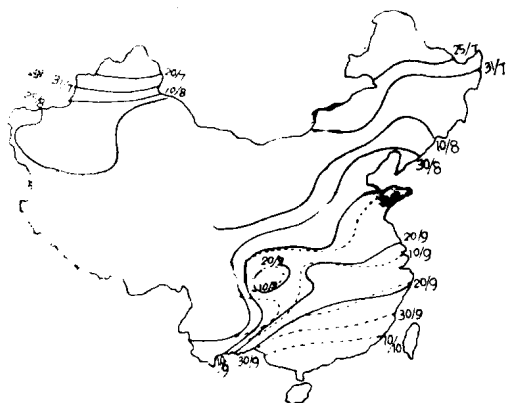
图1 全国水稻安全播种期(日/月)

*本研究所利用全国各省主要代表台站的气象资料进行统计分析,未考虑地形对气候生态的影响。因此在水稻栽培季节的分析中,如云贵高原和四川盆地,仅表示昆明、贵阳、成都、重庆等所在海拔高度的气候生态特征。

图1为我国水稻安全播期的分布，其特点：1、随纬度升高逐渐推迟。华南地区和云南南部的籼稻为3月上旬至中旬，海南岛的南部可提早到年前11—12月播种。长江流域粳、籼稻分别在3月下旬至4月上旬与3月底至4月中旬。华北平原春温回升较快，粳稻安全播期在4月中旬。东北地区最晚，在4月底至5月中旬。南北相差约2—3个月。2、播期受地形的影响比较明显。西北地区粳稻在4月中、下旬，比同纬度华北平原要迟。云贵高原在3月中旬至4月初，比同纬度东部地区晚，低山平坝比高原早，视海拔高度而异。四川盆地由于秦岭阻挡冷气流，春温回升早，播期比同纬度长江下游早10天左右，粳、籼稻分别为3月中、下旬和3月底至4月上旬。

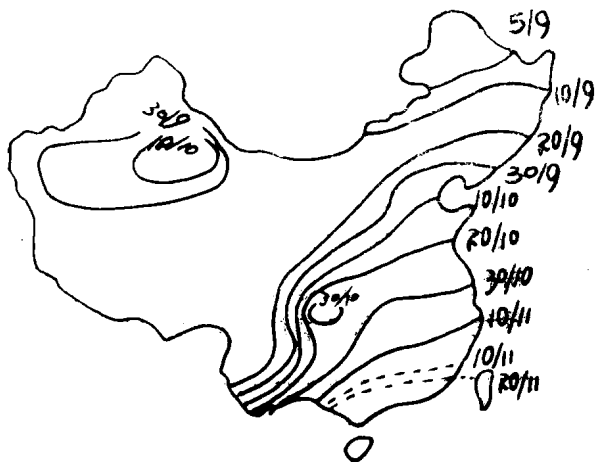
(二) 水稻安全齐穗期 根据近年来对水稻低温冷害研究的结果，以秋季日平均气温稳定在 20°C （粳）和 22°C （籼）以上，不连续出现三天以上日均温低于 20°C 和 22°C 的天气，并结合各地水稻生产实践，确定其安全齐穗期。其结果如图2所示。

图2说明：1、我国水稻安全齐穗期由南而北逐渐提早。东北地区在7月下旬至8月下旬初。华北平原（包括苏、皖淮北地区）在8月下旬至9月上旬，南部的籼稻在8月底以前。长江流域粳稻在9月中、下旬，籼稻为9月上旬至中旬。华南地区的籼稻在9月底至10月中旬。2、东部沿海地区安全齐穗期比内陆晚。3、随着地形的增高而提早。西北地区粳稻在8月上、中旬，比同纬度华北平原早10—20天。四川盆地秋季降温快，



——粳稻……籼稻

图2 全国水稻安全齐穗期（日/月）



——粳稻……籼稻

图3 全国水稻安全成熟期（日/月）

成都平原的籼、粳稻安全齐穗期分别为9月初与中旬初，比同纬度长江中下游早7—10天。云南高原粳稻在8月中旬至9月上旬，南部的籼稻在9月上、中旬，比同纬度东部地区早10—20天。

(三) 水稻安全成熟期 多年生产实践证明，水稻齐穗至成熟粳稻约需40天，籼稻为30天左右。因此从气候上说，安全齐穗期向后推40或30天即为安全成熟期。

由图3可知各地水稻安全成熟期的分布与安全齐穗期大致相同。就粳

稻而言，东北地区最早，在9月上一旬。华北平原在10月上中旬，比同纬度黄土高原（9月中、下旬）晚20—30天。北疆在9月中旬以前，南疆则在10月上旬，与同纬度华北北部相近。长江流域在10月底至11月上旬，比同纬度四川盆地10月中、上旬要迟10天左右。云贵高原亦比同纬度的华南早20—30天，在9月下旬至10月上旬。华南和云南南部的籼稻在10月中旬至11月中、下旬。

（四）水稻生长季 水稻生长季是指从安全播期至安全成熟期的总天数。我国水稻生长季长短主要决定于温度条件，即春季升温的快慢与秋季降温的迟早。

图4表明我国水稻（粳）生长季分布：1、南北差异大。东北北部在110—120天；南部为150—160天；华北平原及汉中盆地180—200天；长江流域为200—250天；华南在260天以上（籼稻约短15—20天）。2、随地势的升高明显缩短。西北地区只有140—180天，比同纬度华北平原短20—30天；云贵高原180—210天，比同纬度华南北部短30—60天，高原南部的河谷平原比山地的生长季也显著增长。3、东长西短。东部面临海洋，秋季降温迟，西部内陆秋季降温早，水稻生长季东西相差10天以上。

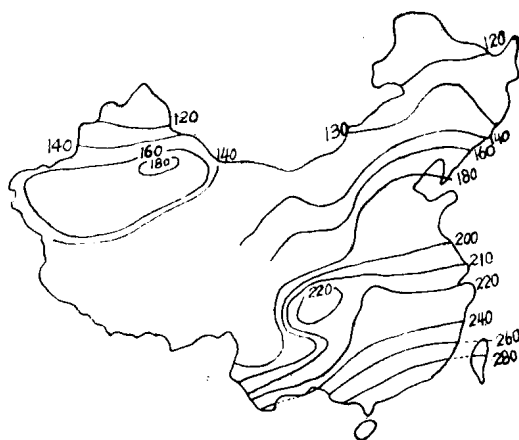


图4 全国水稻（粳）生长季（天）

三、我国水稻熟制的分布

（一）水稻生育期气象生态模式的应用 感温性、感光性是水稻品种的重要特性。水稻对光长的反映表现在因播期和纬度的改变生育期长短也随之变化。而对温度的反映则表现为线性和非线性两种形式。传统的积温法不能很好地反映水稻生长发育与温光条件之间的关系，因而采用水稻生育期温光模式的方法，其精度比积温法显著提高。

1、各熟制代表品种与模式

（1）一熟单季稻：早粳，如黑粳一号、长白6号、吉粳60和卫国等；中粳，如京引47、京越一号和南粳33等；杂交籼稻，如汕优2号。

（2）麦稻二熟：小麦+中粳（南粳33代表）与小麦+杂交籼稻（汕2代表）或晚粳（农虎6号代表）。

（3）双季稻：早双季用中熟早粳（元丰早、湘矮早代表）+中粳（南粳33代表）或早熟晚粳（武农早）；中双季用迟熟早粳（广四、红410、广选早）+杂交籼稻或晚粳；晚双季用早熟中粳（南京11、桂朝）+晚粳（竹矮选四号、包胎矮）或两季杂交籼稻。

（4）三熟制：早、中、晚三熟分别用早大麦（114或早熟三号）+早双季；迟大麦或早油菜+中双季；小麦（油）+晚双季。各品种模式列表如下。

品种类型	品 种	生 育 期 温 光 模 式
中熟早籼	元 丰 早	$N = 71.82 - 2.42\Delta T - 0.14\Delta D + 1.49\Delta \phi$
晚熟早籼	广 四	$N = 71.74 - 3.826\Delta T - 0.088\Delta D + 1.856\Delta \phi$
晚熟早粳	卫 国	$N = 80.32 - 1.58\Delta T - 0.047(\Delta T)^2 + 0.758\Delta \phi$
早熟中籼	南 京 11	$N = 94.49 - 3.98\Delta T - 0.14\Delta D + 0.49\Delta \phi$
中 粳	南 粳 33	$N = 109.63 - 3.13\Delta T - 0.32\Delta D + 1.15\Delta \phi$
杂交籼稻	汕优 2 号	$N = 101.56 - 3.52\Delta T + 0.16(\Delta T)^2 - 0.16\Delta D + 3.28\Delta \phi$
早熟晚粳	武 农 早	$N = 122.09 - 3.04\Delta T + 2.057\Delta \phi - 0.465\Delta D$
迟熟晚粳	农虎 6 号	$N = 139.92 - 2.62\Delta T - 0.577\Delta D + 3.48\Delta \phi$

模式中，N为播种至齐穗天数， ΔT 为播种至齐穗平均温度减去25℃的差值， ΔD 为与4月1日之播差，4月1日前取负值，后取正， $\Delta \phi$ 为与30°N纬度差，30°以北取正值，以南取负。

2、农耗标准：以水稻生产为主的南方，就大范围平均而言，按每劳力负担1.5亩耕地计算，每亩耕地收、种约耗工6—7个，因此，1.5亩耕地每次收、种农耗按10天计算，具体地区应视实际情况而定。

3、计算模式生长期

(1)不同品种的模式生长期：以各地纬度、播期、播种至齐穗时段（该时段求算用迭代法代入方程若干次求得预定值与计算值相近的时段）的80%保证平均气温代入模式计算播种至齐穗的天数加40或30天灌浆期，即为模式生长期。

(2)麦稻二熟：复种条件下的品种模式生长期。

(3)双季稻与三熟制：早稻模式生长期+后季稻模式生长期-（后季稻秧龄-双抢农耗10天）。

4、计算水稻复种生长季：水稻复种生长季是指麦（油）茬复种水稻的实际播期（按当地麦或油成熟期*与适宜秧龄求算）至安全成熟期的天数。如水稻安全成熟期至三麦适宜播期**不足10天（农耗所需），则将安全成熟期相应提前（见示意图）。

5、计算稻作制度的气候保证系数（RCP）

$$RCP = \frac{\text{当地水稻生长季或水稻复种生长季}}{\text{水稻模式生长期}}$$

当 $RCP \geq 1.0$ 为该熟制适宜种植区，可以此稻作制为主； $0.9 \leq RCP < 1.0$ 为部分种植区； $RCP < 0.9$ 为不宜种植区。

(二)我国水稻布局与气候的关系

1、单季稻布局的气候生态：我国单季稻主要栽培在淮河以北与长江流域北部稻区。

*用小麦生育期温光模式： $N = a + b\Delta D + cT_j - y$ 求算（a、b、c为回归系数， ΔD 为播差，T为j-y月平均气温）

**据小麦适宜播期温度指标（日均温稳定通过15℃）求算。