

气候与水稻

国际水稻研究所编



农业出版社

气 候 与 水 稻

国际水稻研究所 编

中国农业科学院农业气象研究室
中央气象局情报研究所 译
北京农业大学气象系

PROCEEDINGS OF THE
SYMPOSIUM
CLIMATE AND RICE
THE INTERNATIONAL RICE
RESEARCH INSTITUTE 1976

气候与水稻

国际水稻研究所 编

中国农业科学院农业气象研究室
中央气象局情报研究所 译
北京农业大学气象系

农业出版社出版 (北京朝内大街 130 号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

850×1168 毫米 32 开本 14.75 印张 407 千字

1982 年 6 月第 1 版 1982 年 6 月北京第 1 次印刷

印数 1—10,000 册

统一书号 16144·2405 定价 1.80 元

内 容 提 要

本书介绍了水稻栽培、品种、生理、生态与不同气候环境所形成的不同生长类型。同时又对水稻生长的环境控制与产量形成做了大量的实验，用热量平衡方法分析了水层和土层中影响水稻生长和产量的温度变化规律。书中还介绍了日本不同气候区的水稻生产力。根据五年田间试验资料分析了气候因子对净生产量与作物生长率的影响。分析了水稻病虫害与气候条件的关系；温度与淹水土壤的化学动态变化； CO_2 施肥与水稻生产；水稻冷害；热带环境条件下水旱稻对氮肥的反应等。此外，还通过系统分析和模拟技术简要地阐述了作物研究策略中的一些基本问题。书中介绍的研究手段、资料、研究分析方法可供广大农业气象、农业科研工作者参考。

翻 译 说 明

水稻和气候条件关系十分密切，温度、光照和降水是水稻生长发育最基本的外界环境条件。由于地理、纬度、海拔等因子的综合影响，形成了我国南北气候差异很大，广大水稻工作者和农民群众根据我国不同的气候区域培育了多种多样的水稻品种类型。虽然如此，但对水稻与气候关系的研究开展较少，研究方法和手段遭受到一定的限制。

1976年国际水稻研究所编著出版的《气候与水稻》是一本内容丰富的研究论文集，它介绍了一些新的研究方法，把作物与气候条件的关系分析得比较全面，特别是对水稻产量形成与气候条件、水稻与气候适应性的关系，从品种、生理和形态等方面进行了研究，取得了不少具有生产意义的指标，这为进一步研究水稻育种、栽培、病虫害等与气候条件的关系提供了依据。在研究手段方面应用人工气候室，能在人工模拟条件下在短时间内进行多次重复试验，取得大量资料。还有应用多个点的实际产量资料与气候资料，通过电子计算机计算建立了模式，分析了温度和光对水稻生殖生长和成熟的影响。我们希望本书中介绍的一些研究结果，方法能作为我们开展水稻与气候研究的借鉴。

译者

1980年4月

前 言

在世界上水稻比其它粮食作物能在较多的各种环境条件下生长。水稻原产在潮湿的热带地区，至少一年中有一段时间是栽培在多雨和洪水季节。适合水稻生长的范围很广，如从日本北海道至澳洲的南部。水稻除了在巴基斯坦南部和伊朗的干热气候条件下栽培外，还可在高海拔的尼泊尔和印度的冷凉气候条件下栽培，在非洲、拉丁美洲和亚洲的一部分，在水稻全生育期中像山地作物一样常遭到频繁的干旱。从另一方面看在泰国、孟加拉国、缅甸和越南，每年都有频繁的洪水，局部水深达到或超过三米而形成“深生稻”。

国际水稻研究所的科学家们和他们的合作者在计划中敏锐地意识到需要更进一步了解气候与水稻之间的相互影响。在政府的积极帮助下，澳洲管理协会慷慨地赠送了现代人工气候室装置，这是热带第一个生物气候研究试验室，这个简易装置是在1974年9月23日完成的，国际水稻研究所从9月24日至27日主办了为期四天的“气候与水稻”专题讨论会。国际上所有知名的生物学家和物理学家极为关心水稻生长的气候及其对作物的影响。这本著作包括有这次专题讨论会的论文和会议记录。

座谈会认真研究分析水稻的商业种植或实验种植的气候环境，检验了影响水稻各个不同发育期的气候分量，鉴定了灾害和病虫害的发病率，并注意到在多变的气候条件下进一步得到水稻高产和稳产的意义。具有专业训练的科学家小组(继续从事水稻和其他作物)参加了这个座谈会。其他来自世界各地地理学家、植物学家、物理学家、气候学家、土壤学家，在七次专题讨论会上发表的二十五篇有关广泛范围内的气候与水稻的学术论文。

国际水稻研究所科学家T. T. Chang、B. S. Vergara和S. Yoshi-

da 等博士是组成这次座谈会的委员，S.Yoshida 博士担任了委员会主席并主持了会议。另外，他还担任了论文集的技术主编。每次专题会议的主席，还担任所提出的论文评论者，他们的评论已经包括在这些论文中。

我们赞赏并感谢世界气象组织主办的这次专题讨论会。

这个会议录，发表的论文力求完善，其共同的课题是弄清气候与水稻的相互关系。

会议理事 N.C.Brady

目 录

前言

国际水稻研究所人工气候室:

科学服务于人类幸福.....	1
人工气候室在农业科学研究中的作用.....	9

水稻栽培的气候环境

地理和水稻气候.....	27
作物规划与气候特别是与降水量的关系.....	47

水稻品种对气候的适应性

水稻品种对气候的生理和形态的适应性.....	61
水稻品种对气候适应性的遗传报告.....	77

稻作的物理环境

稻作小气候.....	101
环境控制物理学和植物生长.....	123

生长的环境控制与产量

温度对水稻营养生长的影响.....	139
温度和光对水稻生殖生长和成熟的影响.....	157
二氧化碳和水稻生产.....	177
气候对水稻的光合作用和呼吸作用的影响.....	186
温度与淹水土壤的化学动态变化.....	208
根据特定的生长单位理论来看气候对于水稻根	

系生长及养分吸收的影响.....	222
水稻不育型冷害.....	233
深水稻及其对深水压力的反应.....	249
谷类子粒缺水的生理.....	264

气候对病虫害发生的影响

昆虫和气候关系的试验方法.....	285
气候与稻作害虫.....	302
稻瘟病病害循环和气候因素.....	322
气候对植物病害发生的影响:	
玉米小斑病的流行学.....	330

气候与作物产量

不同环境下水稻生长情况的比较.....	359
日本不同气候区的水稻生产力.....	378
热带气候对水稻产量和产量成分的影响.....	397
澳大利亚的气候和作物生产率.....	418
热带环境条件下水旱稻对氮肥的反应.....	432

国际水稻研究所人工气候室： 科学服务于人类幸福

O. H. Frankel

且看当今之世界，人们最基本的愿望乃是为自身和后代谋求粮食与和平。此二者常密切关联着。确有为数众多的人在这两方面都得不到保证，而生活在和平与粮食的压力之下，为即将到来的下一个十年中迅速增长的世界人口而忧虑。当然，还有另外因素影响着人类进入下一世纪的生活水平，但粮食无疑是最基本的一项因素。幸好粮食可以有赖于很多人的共同努力做出贡献，而和平则不同，它可以被少数人所破坏。

的确，为解决世界粮食问题，需要广大群众共同努力。这在很多发展中国家已经明显地得到证明。那里的很多农民把古老的土地利用方式改变为高产量、高投资的农业方式。众所周知，把古老的方式改革为具有现代化科技水平的农业，引出了农民多种多样的要求。就其总体来说，要求社会提供专门技术、经济以及社会基本结构的保证。不少实例说明，正是设备和方法成了农业革命的基础。

农业的开发是如此复杂的多因素作业。农艺学本身就是相当复杂的多成分组成的一门技艺。其中任何一个单因素的失败，都会招致经济损失。过去传统的耕作方式，作物歉收造成的经济损失，由于投资水平低，多种经营和作物的多样化使其严重程度减缓。而近代在机具、肥料、种子、病虫害防治、栽培、灌溉、支付税息以及其他管理费用等方面的投资是很高昂的。取代了古老混杂农家种的纯种，逐渐失去它们的原始性状，产生了“遗传脆性”。现代的农民，不能再靠自然选择和老经验来充分利用天时，也不能躲避围绕高成本的

种种风险。高产栽培已经成为依靠农作学和其他有关科学的分支学科，这同它本身技术和管理经验的增加是相应提高的。

在影响农业生产率的诸因素中，影响最大而又最不易掌握的是气候因素，或者说是其中最主要的温度和降水。当然，行之有效的合理灌溉可以补充或取代降水。但是，甚至连水稻这种悠久的水田庄稼也是在大面积的天然降水条件下种植的。温度的控制需付出极其昂贵的代价，限制了今后园艺产品的高成本栽培。

在世界范围内，目前温度对生产率的限制，显得最普遍，也最不易控制，虽然在热带并不明显。一般条件下，只要水分充足，生产率就和温度相关。由于山峰和水槽的温度效应而分割成许多气候区，其影响的范围以及时限再加上与水分供应的关系，决定着一个地区的生产率。温度就是这样强有力的支配着作物生长季的环境参数。在水分供应不规则的地区，如像季风带，生长季将更为缩短。

种植制度自古以来都是逐渐适应于主要的气候型。提高这种制度的生产效率，意味着最大限度地利用生长季；并在其允许的限度内，投资于肥料、栽培、改良品种、灌溉、除草、植物保护等。所有这些，都是为了提高单产所必须强调的因素。温度是一个支配因子，它决定着投资的部分或全部是否值得。在一些重要实例中，温度又和日照长度互相交叉，发挥影响。因此，希望查明温度及日照长度对单季作物发育的效应，对水肥的利用以及对病虫害侵染途径如成形、脱壳、潜伏、产卵等方面的影响。显然，总的方针是制订一套种植制，以最大限度利用天然太阳能，并避开其危害。当农业生产由原始水平提高到集约化，就愈加要求精细调整作物遗传性与环境条件之间关系，因而需要详细探索决定产量的植物发育阶段，正是在这些阶段植物表现得敏感易受损害。

早先，人们就认为环境控制设备能够大大促进这个调整过程，而且能做得十分接近实际。这就是“实用人工气候学”。在选种或栽培方面应用人工气候室，一般能充分了解植物生理过程，探明生长和发育的临界期。昼夜的温度，每日的光照周期，以及日光的强度与光谱组成对植物生长都具有充分的效应。在田间，这些气候因子

是综合呈现的，其中某一因素的效应与另外的因素效应不可能被分割开来。

环境控制设备，不可能模拟那种用来选择或鉴定植物的综合气候，也不谋求做这样的设计。因为气候包括着一小时又一小时、一天又一天和年复一年的变化，不需仿造这样的气候。它的功能应是分离和解析出特定的和关键性的生物环境特征来，以便其效应能够被检验并能任意重现。一旦认识到自然界这种关键性的环境因子及其在临界状态下对植物产生的效应，就有可能选择或繁育植物使适应于这种临界条件；或者有可能更合理地使用改善环境的投资，例如植物的营养或植物保护，这些都可以根据温度的状况得到最好效果。

美国加利福尼亚州帕萨迪纳技术研究所植物生理学教授 F. W. Went，很早就认识到这些问题。他体会到，如果不能在自己的实验处理中有多种可控环境条件，那么研究进展就很缓慢。有些比较简单的问题，例如日照长度在发育过程和花芽分化期效应的问题，可以用简易方法处理。早在 1935 年，N. I. Vavilov 给我看过列宁格勒附近不少木板制成可移动的小窝棚，用来限制日照时数，使夏季 18 小时的长日照缩短到热带马铃薯所需的 12 小时。这个研究所还有效地做到了应用比较简单的日照时数控制室来分析许多水稻品种的感光特性。但 Went 认为，更为普遍的问题是若干控制条件之间的相互作用。他怀着极大的热情，大胆设想，从事于这项使人望而生畏的任务。他着手第一座环境控制实验室的设计，筹集资金并动工建造其工作量之巨大是现今难以设想的。Earhart 植物研究室是用于生物学研究的最早环境控制设备。所用的投资额看来不论对于哪个物理学家都会习以为常，而对生物学家则简直出乎意料！从那以后，“人工气候室”的称号就被幽默地称之为：“可与回旋加速器相比美的植物科学加速器”。感谢 Earhart 基金会捐助的 407,000 美金，Pasadena 人工气候室完成了设计、建造，并在 1949 年 6 月提交使用。尽管困难重重，它还是坚持运转了差不多 1/4 个世纪。由它繁衍下来的第二代、第三代后裔遍及全球。而今使用的环境控制设备，对

Earhart 植物研究室来说，虽然已属于第三代了。现在我就来谈谈关于第二代堪培拉人工气候室。

1953年，(CSIRO)*所属植物学分会参观了 Earhart 实验室深受鼓舞，产生了要建造人工气候室的想法，该组织的工程处处长 R. N. Morse 同时也受到启发，他在 1955 年参观了欧美各种各样环境控制设备。在英格兰 Rothamsted 实验站也见到过，W. W. Schwabe 博士的生物培养箱，这种设备带有用手工操作的光周期控制器。受这种培养箱的启发，他进一步想到采用连同动力组装在一起并带有自动光周期调节器的玻璃温度控制箱，控制箱能够提供大型玻璃房内不具备的温度条件。此外，这种独立控制箱作为标准的组合件，比起庞大、复杂、花钱昂贵的中央控制室式空调设备来，既精简节约，又便于维修保养。除了利用自然光的控制箱以外，人工光照控制箱也得到发展，其中包括一些带有经济高效温度控制器的类型。

实现这个方案固然需要专门技术知识，但同样要靠想象力、干劲和持久毅力。

Lloyd Evans 博士，这位新西兰的年青人，在埃哈特实验室工作过，他曾是该小组的生物学家。此外还有 Morse 先生和他的那些在努力进行探索和革新的工程师同事们，也都具有这种品质，甚至更充分一些。进行设计和开展工作的资金虽少，但人们热情相当的高。到了 1955 年访问 Went 以后，联邦科学与工业组织在 Went 的鼓舞下经过几年的努力，工程重点设计和建造完成了，并由墨尔本的工程师和堪培拉植物生理学家进行了严格的性能鉴定。这项工程的主体建筑 and 它的工作部件都要求做大量实验研究和计算。由于设计良好和施工的努力，设备完成以后没有发生意外情况，也很少出问题。从最初到现在实验进行很顺利，为保证这项工程，各方面的总开支为 1350,000 澳币 (A \$)，最后由澳大利亚政府资助了全部费用。当时的澳大利亚总理 罗伯特 (Robert Menzies)，于 1962 年 8 月创建了勘培拉环境控制研究实验室。

* CSIRO: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization 联邦科学与工业研究组织。

国际水稻研究所 (IRRI) 目前使用的人工气候室, 继承了堪培拉环境控制研究实验室的全部设计思路, 包括设置许多独立的控制箱。尽管近年来的设计倾向宁愿采用日本的方式, 也不用澳大利亚的。此外, 再没有采用这种独立的利用自然光照的控制箱群作组装件的大型人工气候室。一般说来都是由小型的房间构成, 其中的温度、日照长度、湿度是可以控调的, 还有一些可以更进一步调节空气的成分和光质。多数的设备都同时具有自然光和人工补充光照, 但也有些只用人工光照。大型人工气候室, 按其建成年限有: 帕萨迪纳 (1949, 现已拆除), 莫斯科 (1957)、北海道 (1956 老、1966 新)、基辅 (1958—1963)、堪培拉 (1962)、麦迪逊 (1964)、达勒姆和罗利 (1968) 北帕默斯顿 (1970)、毛尔通瓦沙尔 (1972)、以及其它各种较小的典型, 如象米赛和京都, 埔浦色拉和布里斯班以及瓦赫宁根的三个。

这种设备大多是用在研究植物科学基础问题以及研究与经济生产到有关的问题两个方面。通常这两者又是相互联系交叉在一起的。在人工气候室中进行这些研究, 目的是有助于破除科学上的障碍, 使得科研人员在很多领域——遗传、植病、昆虫、农艺、生态等学科中——思考其与生理学基本条件方面的关系。以及反过来研究生理学与其他一些学科特别是遗传学的关系。确实, 勘培拉环境控制研究实验室和其他一些地方开展的大量研究工作是多学科的。

人工气候室被应用于很多方面, 但可以概括为以下三个主要方面:

1. 研究一系列气象要素单因子或多因子综合作用于植物所引起的特定生物学反应。例如对于营养生长、开花、结实、产量形成、抗病性、施肥效果、缺水反应等。

2. 在可控与可重复再现的培植条件下, 从生物学科各个方面, 例如生物化学、生理、遗传等来满足作物实验条件的要求。与其说人工气候室被用以提供“标准”环境条件, 倒不如说是保证一系列试验方案中所要求的特定环境。尽管用比较简单的手段就可以做到这一点, 但环境条件差异产生的效应, 却具有很大的实用价值。例

如，在研究遗传特性时为控制小麦穗分化，在其阶段发育中就使用了四种不同的光照、温度组合。

3. 利用临界环境条件，研究有关育种、生态、农艺、植保等。在人工气候室里研究自然环境组合中阻碍生长、生产等的限制因子，一旦掌握了这方面的基本资料，就有可能用这种临界环境条件来改造植物或栽培措施。当在人工气候室有效空间要求特定条件超过其作用范围时，可花不同代价由别处提供场地。

上述各项的应用均有可能增进科学知识，并对人类福利作出贡献。一个典型例子是 Went 发现了在加利福尼亚夏天商品番茄的所以低产，是由于番茄要求较低的夜间温度未能满足。这个发现，是人工气候室的工作人员，对许多番茄品种在盛果期配合以高的夜间温度进行培育获得的研究成果。

我提到这项典型人工气候室应用实例，不只是对往事的兴趣，而是要引出这样一种见解，即今天在人工气候室里的研究工作，接触的是一个更为错综复杂的自然领域，将会遇到许多有待解决的农艺学问题。我不在这次会上打算多谈人工气候室的应用问题，因为人工气候室在研究中的应用问题将由 Evans 博士专题报告。现在回到我所谈的主题上来——关于提高农业产量及生产率的研究。

为此，仅就研究中心在热带水稻方面所取得的进展做必要的回顾。这些进展已被研究中心影响所及的世界各重要地区所公认。一系列带有新的设想的热带新品种以及在耕作、施肥、除草、植保等方面的大量实践，使得新的遗传类型得以扩充。取得了在热带农业实践和水稻生产率方面显著的效果，并不断地推广到许多方面。但是研究中心的首任负责人 R. E. Chandler 博士指出：为进一步提高劳动生产率而必须充分理介植物生长过程的时代已经到来。为了提高植物生产效能，充分认识植物的营养生长和产量形成的相互影响，以及探明在水稻生长的特定气候条件下，光合物质的积累与贮备的营养物质向籽粒的运转等等生理调节过程都十分必要。类似的分析工作，需要采用我再三重复提到过的那种生产效率系统分析法。

国际水稻研究所经常使自己的眼界不局限于自身所处的生态区

域，而是与许多国家建立了可靠的协作，使研究中心的成就得以推广。但是它远不能深入研究另一些地区的某些问题，尽管其影响已经扩大到这些地区。例如热带边缘较冷凉的水稻种植区，这类问题目前就在人工气候室内进行探索。我相信这类工作的进展，对提高农业生产是十分重要的。不论国际水稻研究所育出的水稻，还是国际小麦玉米改良中心（CIMMYT）育出的小麦，尽管其适应性已被广大地区的成就所充分肯定，但适应性是相对有条件的。它表明广大地运用的栽种方式在农艺学上取得了成就。有一种想法是很使人感兴趣的，即对于引进品种和与之相配的本地品种，不仅应该掌握有效的纯系和杂交系，而且应该掌握比较优秀的用以配制这些品系的亲本，这些亲本也应该具备优秀的种性并便于处置。从这些亲本中有可能选育出适于当地的高产栽培种。国际水稻研究所一贯支持这种努力，而人工气候室则帮助了研究所的科学家们积累水稻栽培所面临的复杂环境问题方面的知识。其工作的方便程度，就好像在各地研究里一样的便利。

我还想强调一下国际水稻研究所的另一项工作，这也正是我本人兴趣所在并为之努力的。即水稻遗传种质的收集工作。其中包括整个亚洲地区的样品材料以及日益增多的非洲稻样品。通过遍及这些地区的部分水稻工作者努力协作，研究所正在完成着从所有稻作区选来的常用典型“原始”类型样品和为数众多的正在生长着的野生稻样品。

这些选样被送进电子计算机进行分析鉴定，作出明确的记录并永久保存下去。这项工作确实可以做为其他工作的一个典范。它的完成靠严密的规划和艰巨努力，靠详尽地宣传和协作。现在人工气候室将为评价和研究这批完整的选样开辟新的领域，并为我和未来一代人提供进一步的知识。可以期望，人工气候室的作用将像导航器和探测器一样服务于南亚和东南亚广大地区。依我看来，这成就将进一步对那些在农业技术和基础生物科学的发展证明建立环境控制实验室是正确的地区起促进作用。几年前曾讨论过一个印度提出的兴建人工气候室方案，我看过这个方案。当这个方案重新提到

日程上时，已是不久以前的事了。也许是由于气候严酷，印度当局向我征求过意见，我基本同意并推荐在那里建人工气候室。后来计划被延期了。但人们从中得到了启发。我希望有机会能重新着手处理。我相信，这种设备定会给那些真正有能力利用它的科学研究机构打开一个惊人的良机。确实如此，人工气候室在推动和加速工作方面有着直接的实用价值。而当超出了现有的知识范围，它将给具有远见和想像力的工作者提供可能的机会去探索眼下尚不知道的某些起因、相互作用及影响，并以严格的精确度去验证设想，以及探测什么是已知的和可能开发的~~最大范围~~——人类世界资源的边界。为通向未来与彼岸提供良机。

最后，我认为人工气候室如同电子计算机一样，是一种复杂而昂贵的设备。但是它是一种有利的工具，能够吸引和带领有才干的人们为他们的理想迈进并结出硕果。我谨向研究所、人工气候室以及其他地区有志于此的工作者们致以良好的祝愿，祝愿这种丰富学识的趋势不断增长。这也是本协会人士当今的期望。

（罗中岭译 徐师华校）