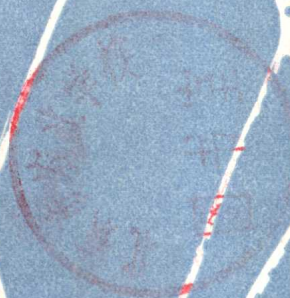




世界农业
丛刊

冷害与水稻



农业出版社

08

冷 害 与 水 稻

金人一 陈启官 竺万里等译

农 业 出 版 社

内 容 提 要

本书包括《冷凉环境下的水稻栽培》专著一篇，关于水稻生殖生长对冷害的反应的实验报告十一篇。前者是作者在日本北海道地区用了许多年时间研究水稻冷害，并就冷害问题进行了大量的田间研究的结果。后者是北海道试验场关于低温对水稻孕穗的影响做了深入探索的研究报告。这些论著对研究冷凉地区的水稻栽培都是很有价值的参考材料。

《世界农业》丛刊

冷 害 与 水 稻

金人一 陈启官 竺万里等译

农业出版社出版 新华书店北京发行所发行

农业出版社印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 6.25 印张 140 千字
1979 年 7 月第 1 版 1979 年 7 月北京第 1 次印刷
印数 1—18,000 册

统一书号 16144·1853 定价 0.52 元

《世界农业》丛刊编辑说明

为了实现农业现代化，我们对于世界上先进的科学技术，必须遵照华国锋同志的指示：“要认真学习，拿来为我所用”，“把学习外国和自己的独创结合起来，以利于尽快地赶上和超过世界上先进水平。”为此，我们除陆续编译出版《世界农业》外，还编辑出版《世界农业》丛刊，力求及时地介绍国外农业科学技术研究方面的新成果、新情况、新问题，以期在我国农业生产和科学技术发展上有所借鉴。这套丛刊，有的是按不同学科分别就某一专业连续出版一系列单册，每册包含若干篇新著；有的是就个别专业的某一专题编辑出版专集。取材着重于国外现期期刊的有学术价值的专题论著、实验报告，以及专业会议文集集中的学术报告等。由于我们水平所限，所选资料不一定都是最先进、最切合我国需要的，希读者去伪存真，去粗取精，结合我国的生产实践和科研成果有分析地参考借鉴，在观点上不要受它限制。并希对本丛刊的编辑工作提出批评指正，以使这套丛刊能够更好地为促进我国农业科学研究的发展服务。

《世界农业》丛刊编辑委员会

出版说明

这本《冷害与水稻》包括两部论著：《冷凉环境下的水稻栽培》是石冢喜明等根据他们多年来对北海道水稻栽培的研究写成的专著；其次是日本北海道试验场关于冷害研究的十一篇实验报告，这一系列报告分做两个标题，一是水稻减数分裂期低温处理引致的雄性不育；一是水稻小孢子初期低温处理引致的雄性不育。所有这些论著都是由中国农业科学院科技情报研究所组织翻译的，参加前一篇论著翻译的有：宁夏农学院竺万里、中国农业科学院情报研究所金人一、陈启官；参加试验报告部分翻译的有：宁夏农学院林伯荃、全国农业展览馆王济培等同志。原著是用英文写成，翻译时对日本人名所用汉字难免有误。

目 录

冷凉环境下的水稻栽培

绪 言.....	1
一、北海道水稻冷害概述	3
二、低温对水稻生理的影响.....	10
(一) 低温对一些生理过程的影响	11
(二) 低温引起的生理失调	13
(三) 低温对水稻器官生长和发育的影响	15
(四) 低温对生长和稻谷产量的影响	24
三、北海道水稻育种概况	29
四、控制土壤肥力和施肥方法	33
五、在冷凉气候下种植水稻时推荐的栽培技术	41
结束语.....	47

水稻减数分裂期低温处理引致的雄性不育

一、人工气候室中栽培水稻和诱发不育的方法.....	48
二、低温最敏感期和雌蕊的结实能力.....	53
三、花期的雄性异常.....	56
四、减数分裂期低温处理后花药的呼吸活性	60

水稻小孢子初期低温处理引致的雄性不育

一、花粉发育时期和对低温最敏感期的测定	65
二、临界期正常绒毡层细胞的电子显微镜观察	69
三、低温处理后肿大的绒毡层细胞的电子显微镜观察	74
四、花药的游离氨基酸	80
五、对花粉发育时期的划分及其术语的修订	85
六、在减数分裂始期的第二敏感期.....	88
七、一些化学物质对于不育的作用	91

冷凉环境下的水稻栽培

〔日〕石冢喜明等

绪 言

水稻是主要的粮食作物，亚洲的大多数国家都有种植，而且正在非洲和拉丁美洲不断扩大种植面积，在欧洲、澳大利亚、北美也有一定面积。目前世界稻米虽然大部分来自热带的季风地区，但水稻仍是一种世界性作物。

据报道，稻属有 23 个种，但用于栽培的只有两种，即栽培稻 (*O. sativa*) 和非洲栽培稻 (*O. glaberrima*)。前者起源于热带亚洲，遍布于世界各地，后者仅分布在其起源地——西非。

栽培稻 (*O. sativa*) 有两种，即热带型和寒冷型。分别分布于热带和较寒冷地区，前者主要在东南亚和印巴次大陆各国以及中国南部，后者是华中华北、朝鲜和日本的主要品种。

可见，扩大温带型水稻的种植范围都在北方地区。从该区种稻历史看，水稻是在不断克服低温的影响而生存的。本书所用的“低温”一词是指在水稻的生长季节气温变幅为 10—20℃ 的天气条件。必须指出，水稻在其生长期对温度的要求不是一成不变的。例如，北海道，在播种期一般气温约为 12℃，如果有 14℃，那就很理想了。播种期的适温为 14℃。可是在减数分裂期，如果气温是 14℃，就会带来危害，详见本文二。

在朝鲜和日本的北部稻区，是在不断克服低温的影响下栽培水稻的。即使在热带气候地区，水稻在冬季时节还有可能遭受低温危害；在高海拔的地区，如克什米尔，也有可能遭到冷害。

国际水稻研究所育成的热带型高产品种，目前在亚洲各国的种植面积显著增加，并且正扩大到对这些品种的要求来讲气温略低的地区。气温过低，水稻发育不良，不能充分成熟，造成减产。这个问题在高海拔热带地区和南温带国家尤为严重。北半球纬度高于北纬 23.27° 的国家，那里也有可能发生水稻冷害。

在北半球的大多数东南亚国家，水稻是在雨季种，这时水量充沛。但要获得高产还必须要有长的日照时数，以接受充足的阳光，促进水稻的光合作用，于是这里出现雨季贮水，旱季种稻的趋势，当然，还必须具备灌溉系统。不过，在旱季的生长季节，如发生短期性的低温灾害，则这种改制就会蒙受损害。因此，在上述地区种稻，迫切要求采用新的栽培技术，使在这些地区里冬季温度低的地方也能得到好的产量。

本文作者在日本北方北海道地区花了许多年时间研究水稻冷害，并就冷害问题进行了

大量的田间研究。对冷害问题虽未能作出完整的回答，但作者将其收集到的资料加以整理介绍。当然，要了解水稻冷害的详情包括防治的措施，还需要做大量的工作，然而，本文对寒冷地区种热带型稻，还是有参考价值的。

到底什么时候热带型稻种首次引进日本？这是日本研究人员很感兴趣的课题。在考古挖掘日本史前的古物时，发现了不少炭化稻谷，所以最新的设想，认为约在公元前 100 年，即 2000 年以前水稻首次引进了日本。

目前还没有有关 2000 年以前气象的确切资料。但是，假设当时的气象条件和现在一样的话，则水稻的分布区恰好处在年平均温度 15°C 的等温线以南，这条线落在本州南部沿海，也是二化螟分布的北界。

水稻产量的首次记录见于约公元 800 年的文献中（指日本——译注），有证据表明，那时水稻的种植范围的北界已扩大到年平均气温约 12°C 地区。表 1 是公元 800 年以来，水稻产量的变化情况。

表 1 日本自公元 800 年以来的水稻产量（吨）
（安藤与森永辑录）

年 代	面积(百万公顷)	总产量(百万吨)	产量 (吨/公顷)	备 注
800—900	1.05	1.06	1.01	
1550	1.05—1.20	1.80	1.65	
1720	1.64	3.15	1.92	建立完整的灌溉系统
1840	1.56	3.00	1.92	
1878—1887	2.58	4.77	1.85	
1908—1917	3.00	7.94	2.64	科学的品种改良（育种）
1938—1942	3.18	9.53	2.99	开始施用化肥
1956—1965	3.13	12.38	3.95	大量施用氮肥，采用整套技术包括用杀菌剂、除草剂等

有记录年代的早期，糙米平均产量估计约为 1 吨/公顷。过了 1000 年的时间以后，平均产量才上升为 2 吨/公顷。在此期间，日本北半部（这里正常年份的平均气温为 $15-12^{\circ}\text{C}$ ），由于低温，水稻曾多次遭受严重冷害，造成多次悲惨的饥荒。

在结束了多年锁国政策以后，约在 1850 年，日本向西方世界开放，政府开始从欧洲和美国引进了自然科学的研究成果，于是传统农业便在现代科学知识的光辉下受到严格的检验。

19 世纪 60 年代末，在北海道创办了札幌农学院（现为北海道大学），在东京创立了驹场农学院（现为东京大学）。差不多在同一时期，日本政府作出了决定，致力于开发北海道这个北方岛屿，有不少人从本州迁居到那里去。

不久，政府在给那些新去的移民供应粮食上遇到了极大的困难，冬季时节下大雪使运粮成了问题。面对这种情况，唯一的办法是科学种稻，即在其中部平原年平均气温约为 7.5°C 的北海道种稻，来克服上述困难。1875 年，北海道政府邀请美国政府的农业秘书凯普伦去协助制订发展农业的计划。他访问后提出：北海道不适应种稻，建议采用新西兰式

的旱地农业制度。

日本政府和北海道政府不顾这个令人沮丧的、但在当时倒确实是中肯的建议，竭尽全力在北海道种好稻子。100年之后的现在，北海道西部已成为日本的主要产稻区之一，由此可以认为上述努力是成功的。

在北海道种稻的历史记录得很完备，这部种稻史也是一部不断和低温条件作斗争的有价值的记录。本文将扼要叙述北海道水稻的生产历史，包括冷害现象的描述、冻伤的生理后果、有效地防御措施和新技术的推广。换言之，本文讨论的是以北海道为例的寒冷地区种稻的基本原理。

一、北海道水稻冷害概述

地理概况 北海道是日本最北岛屿，位于北纬 41.3° — 45.5° ，东经 137.5° — 145.8° 之间，和美国纽约州、法国的南部处于同一纬度。

岛上有二条山脉，一条纵贯南北，一条由中央向东走向，将该岛分割成三个斜坡区，各斜坡区气候和农业各有其特点。本岛西部地区面临日本海，气候比较温和，以冬季雪大为特征，这就为种稻提供了丰富的灌溉水源。东北部向鄂霍次克海倾斜，夏季气温较寒冷而且干燥。东部地区面对太平洋，冬天很冷，但夏天相当暖和。

由于这种气候差异，滨临日本海的西部地区就成了水稻主产区（全岛1971年水稻总面积250,000公顷的94%集中在西部地区）。这里水稻生产比其东部地区稳定。东部地区，由于夏季冷高压（这种冷高压经常延伸过鄂霍次克海）的不良影响，水稻产量极不稳定。这种冷高压产生吹向东部斜坡地区的又冷又潮的风，并且浓雾经常随之而来。中部有高山挡阻，这风一般吹不到西部地区，不过，如果出现特高冷高压，风还可能影响西部斜坡区，甚至有时西部半个岛都受冷高压控制，使全岛气温突然变寒冷，严重影响水稻生长，造成产量显著下降。

北海道的气候条件 在北海道种稻就相当于在美国纽约州或加拿大南部种稻。本岛北部地区年平均气温为 5°C ，南部为 8°C 。札幌市位于本岛中部，年平均气温为 7.5°C 。年平均气温虽然低，但夏季气温还是比较高的（见图1）。

北海道西部斜坡地区，夏季平均气温为 $15-16^{\circ}\text{C}$ ，东北和东南斜坡地区，则分别为 13.9 和 14.6°C 。这种气候条件是适于种

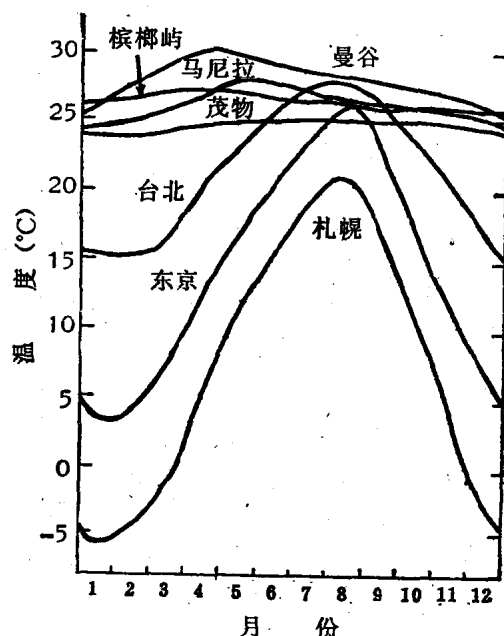


图1 日本和东南亚水稻主产区一些地点的气温年变化情况

稻的，但遇到夏季气温低的年份，则不管平均气温如何，水稻仍有显著减产。北海道气候的另一个特点就是，和南方相比，春天来得晚，秋天来得早。因此，无霜期比较短，这更增加了种稻的困难。

这是一种考验，促进人们发展新的种稻方法，即在早春进行水稻防护地育苗，使水稻有充分的时间来完成其生育。

不过，在北海道也有对种稻有利的气象因素。因为纬度高，夏季白天比较长，夏至时达 15.5 小时，相比之下，热带地区只有 13.0 小时（见图 2）。

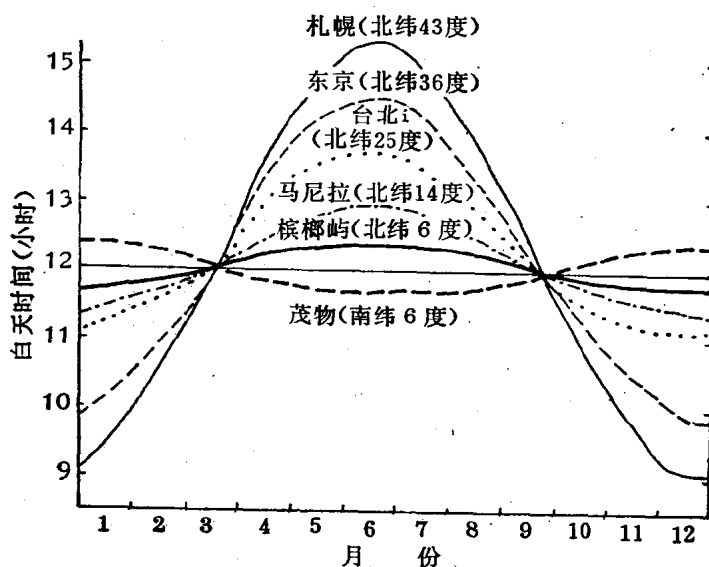


图 2 日本和东南亚水稻主产区一些地点日长的季节变化

白昼越长，水稻进行光合作用的时间愈充足，生产的干物质越多。相反，夜间时间相应地短，凉爽的夜间气温使水稻由于呼吸作用而消耗的干物质减到最低水平。

如把上述情况列成以下简单等式，即

$$\text{产量} = \text{光合作用} - \text{呼吸作用}$$

则可以很容易理解，北海道的气候对光合作用产物的积累（即产量）是有利的。

水稻要高产，还必须有足够的降雨量。在北海道种稻，水是不成问题的，因为这里雨量充沛，灌溉设施也很好。

冷害的定义 在北海道，水稻一欠收，都认为这是冷害造成的。根据作物的损失来给这种灾害下个确切的定义是困难的。不过，糙米产量低于 1.5 吨/公顷时，通常就用“冷害”一词来表示。然而，1961 和 1971 年，虽然产量分别为 2.83 和 2.73 吨/公顷，但在当时还认为是很低的。45 年前水稻的正常产量也就是这个水平，而且比 1.5 吨/公顷也要高得多。但是 1960 至 1970 年间，平均产量为 4.0 吨/公顷，因而 1961 和 1971 年由于冷害水稻产量比正常产量是要低很多。因此，1961 和 1971 年实际上减产 35%。同时应该认识到，由冷害造成的水稻减产将使农户收入显著减少。

由于农业技术的进步和改良品种的运用，尽管气候条件不好，水稻平均产量实际上是稳步上升的。有人认为，产量既有提高，水稻冷害问题业已解决了。事实并不是这样。在正常的气候条件下，即使平均产量比以往高，但一遇气温比平时低，就会大大减收（见图3，此图清楚地说明了这个事实）。北海道的北见地区，那里气候是种稻的北界，糙米平均产量一般为3.3吨/公顷，在极好年景，还可超过6吨/公顷。但是，在气温很低的年份里，产量则降为1.5吨/公顷。

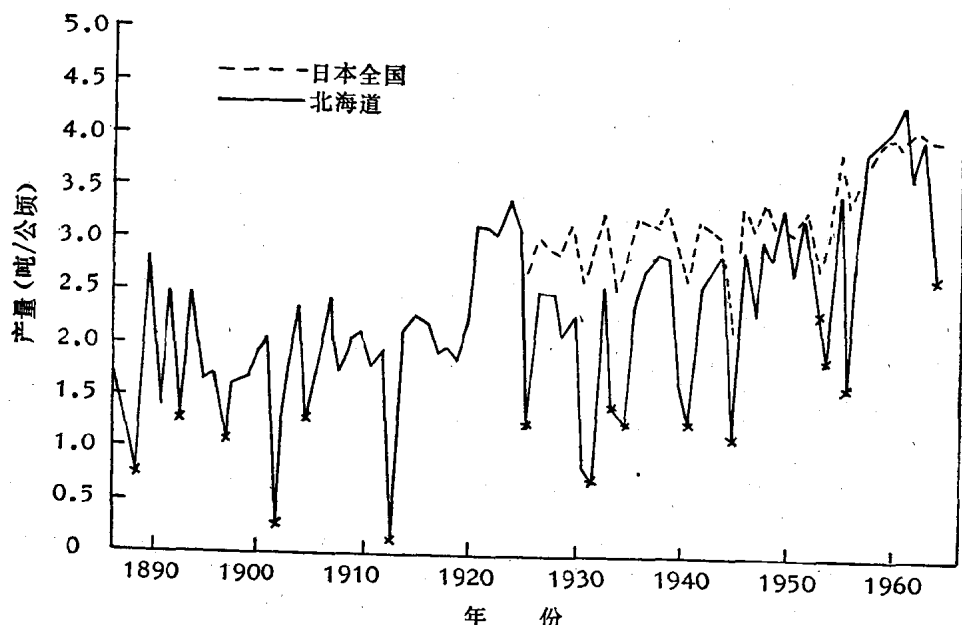


图3 日本全国及北海道，每公顷稻田的年产量变化（“×”标明夏季低温水稻遭受冷害）

从图中可看出，1962年由于低温，水稻受到严重冷害，亏得栽培技术有了改进，产量还是显著地比1900—1910年高。不过，必须看到，不管技术上如何进步，在气温低的年份，产量会比过去五年的平均产量约少30%。有讽刺意味的是，种稻技术越进步，低温造成的产量损失越大。

气候条件和产量的关系 前面已谈过，要给冷害下个确切定义并指出其对水稻的影响是困难的。但是，如果根据前述标准来考察冷害的话，那就会发现大约每4年的时间，出现一次坏年成；特别好的年成也是大约在每4年出现一次（见图3）。

我们已计算出日平均气温比正常年份高的天数与日平均气温比正常年份低的天数，计算结果见图4。

从这些数字可以很清楚地看到，在好的年成，7、8和9月的日平均气温常高于正常年份的这几个月的日平均气温。相反，在歉收年，以上三个月的日平均气温低于正常年份的日平均气温。7月中旬至8月份的头10天这段时间的气温对北海道的水稻产量影响极大。从图5可以看到1886年以来，每年的7、8月份的气温与水稻产量的关系。

如想了解7、8月份气温对水稻产量的影响，则这些数字就必须与这个时期水稻的生

长情况联系起来加以研究。图6按月份描绘了北海道水稻的生长情况。

7、8月份，是稻株通过花原基形成期—开花期—黄熟期的时期。下面有一章将讨论这些生育期在形态学和生理学上的意义。我们可以暂且先把从花原基形成期到黄熟这段时间称之为“生殖生长期”。

从4月中旬到5月中旬的水稻生长期，有时出现一段很冷的天气。第五章里将介绍如何通过防寒苗圃进行育秧来避免冷害，所以在这段时期寒冷天气不会使产量受严重影响。在北海道，从5月中旬至6月中旬，气温变动比较稳定，一般与正常年份的气温升降接近。但是，如果种在这段时间常常出现低温的地方，虽然不致对产量产生不可恢复的影响，但播种期仍必须相应地加以调整；不过，无效分蘖的出生倒能因寒冷而受到抑制。

9月后半月气温稍低些，影响不大，只要阳光充足光合作用进行顺利。不过，如果发生早霜，那就有危险了。虽然可以应用烟幕或其它的起烟雾方法来保护水稻免受霜害，但成本高，只有小面积如苗圃才适用，大面积就难以做到了。

7、8月份这段时间，水稻产量和气温之间的相关很密切，表明水稻在其生殖生长阶段的早期很容易遭受冷害，特别在营养阶段过渡到生殖生长阶段这段时间。这就是说，水稻的感光性是个重要因素，

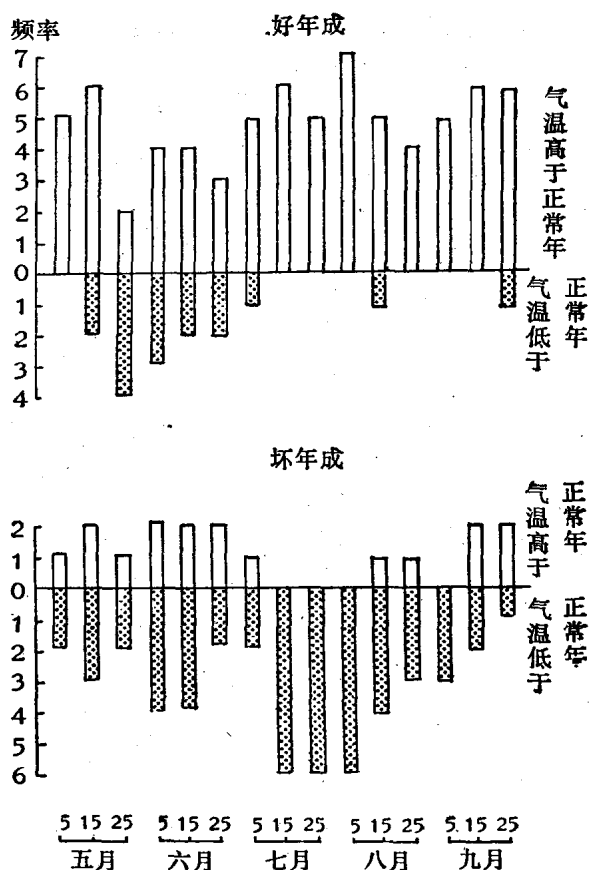


图4 日平均气温高于或低于正常年份的年数出现频率

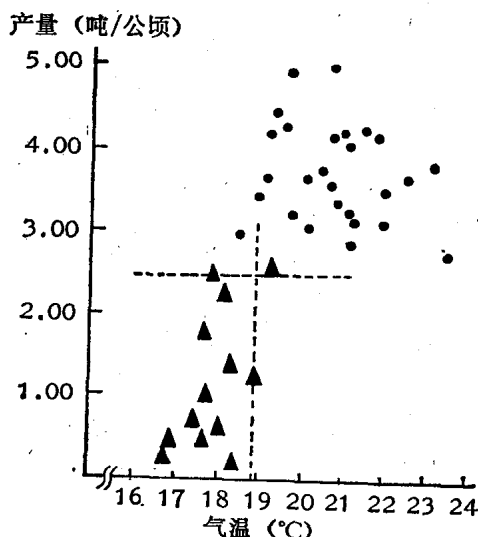


图5 北海道7、8月份平均气温与水稻产量的关系

决不可忽视。

水稻品种分两大类：一类对光周期敏感，叫感光型品种；一种不敏感叫非感光型品种或叫感温型品种。

一般说来，水稻是一种短光照作物，所以种植在冷凉的地区时，在其营养生长阶段尚未完成之前，生殖生长就开始了。在这种地区目前倾向于种植非感光型品种，否则就不能指望有好收成。在热带各国，特别在这些国家的高山地区冬季种稻时，也适用这个原理，应选择非感光型品种。由于水稻特性不同，其抗低温能力也各不相同，后面第三章将讨论这个问题。

还有一种方法可以确定一个地区的气候是否适合种

稻，即应用生长季节的积温法（在北海道，生长季节是从5月到9月）。这种数字是整个水稻生长季节日平均气温的总和。虽然有些人怀疑这种方法的好处，但这种方法是一种简便的方法，能依据它来预测在某一地区种某些作物是否可能。表2说明了过去25年中的积温和水稻产量之间的关系。表3也提供这方面资料。

根据表2和表3，可以认为：

在南部地区 歉收年 $< 2700^{\circ}\text{C}$ $<$ 丰收年
 在中部地区 歉收年 $< 2600^{\circ}\text{C}$ $<$ 丰收年
 在北部地区 歉收年 $< 2400^{\circ}\text{C}$ 丰收年

另外，在北海道南部地区，生长季积温高于或低于 2700°C 的年数几乎相等，因此，在这个地区栽培的品种都是为适应于 2700°C 积温而培育起来的。在这地区，水稻正常年景的平均产量已经比其它的地区高。

相反，在北海道北部地区，生长季积温高于或低于 2400°C 的年数差不多相等。为适应这种条件培育了品种；这些品种在正常年份产量较低。从目前的认识水平来看，可以认为 2400°C 是种稻的临界积温。这种积温概念是一种很简易的方法，根据该法能粗略地预测在某个地区种稻的可能性。

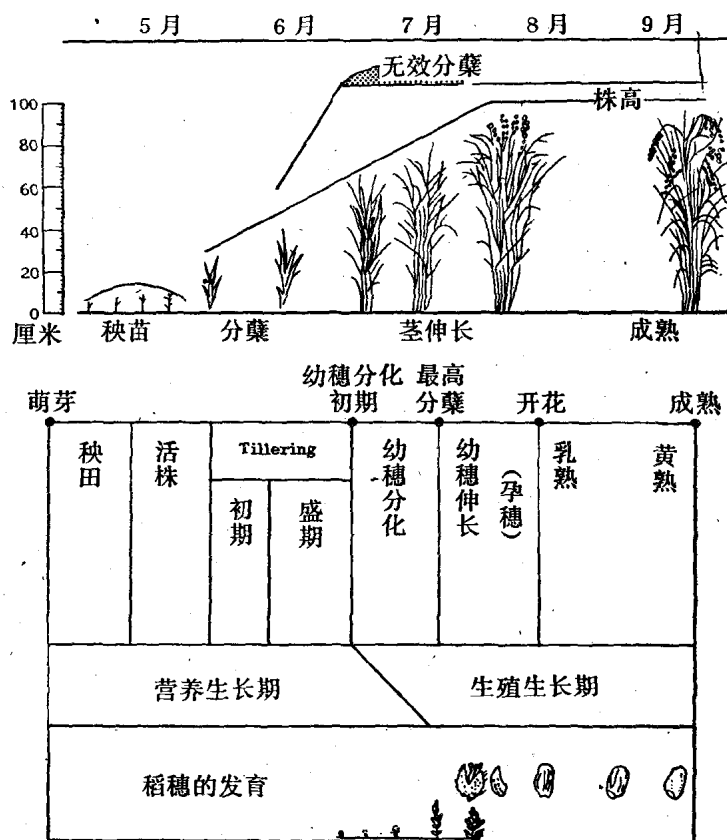


图6 北海道水稻的生长发育过程

表2 积温和水稻产量的关系

	年 份	札 幌	旭 川
丰收年	1946	2788	2679
	1948	2831	2748
	1949	2754	2705
	1950	2845	2779
	1955	2733	2607
	1961	2834	2773
	平 均	2798	2715
歉收年	1945	2382	2321
	1954	2467	2440
	1956	2568	2523
	1964	2585	2466
	平 均	2501	2438
正常年	1947	2549	2461
	1951	2679	2452
	1958	2608	2535
	1960	2673	2587
	1963	2644	2583
	平 均	2631	2524

表3 北见地方冷凉年气候条件与水稻产量

年 份	平均气温		5—9 月积温	初霜期	产 量 (吨/公顷)	冷 害 类 型*
	7 月	8 月				
1926	18.0	18.4	2288	10月4日	1.06	DS
31	14.7	21.7	2260	10月1日	2.48	DS、DL
32	16.6	18.8	2396	9月24日	0.67	DS
34	16.0	19.2	2380	9月30日	1.63	DS
35	18.9	18.0	2346	9月16日	1.58	DS、DL
41	15.9	17.8	2262	9月23日	0.30	DS、DL
45	15.5	21.2	2272	10月11日	0.41	DS
53	18.8	18.8	2342	10月5日	1.83	DS、DL
54	16.0	18.8	2285	9月30日	1.93	DS、DL
56	16.3	17.4	2382	10月13日	0.06	DS
57	18.3	19.3	2374	10月2日	1.20	DS
61	16.3	18.5	2204	9月23日	2.34	SD、DL
65	16.3	19.4	2322	10月1日	0.43	DS
66	17.1	20.3	2286	10月4日	1.26	DS、DL
71	17.7	18.1	2248	10月7日	1.14	DS

* DS = 障害型冷害

DL = 延迟型冷害

然而, 必须指出, 即使积温超过 2400℃, 从这个数字中看不出气温的变化。譬如说, 积温可能较高, 但如果水稻在减数分裂期, 连续一周遇到低温, 则会严重影响产量。不过, 积温高而在水稻减数分裂期遭遇到一段低温时间的情况是不多的。

表4 供积温不同的地区栽培的水稻品种

积 温	品 种	在不同积温条件下的生育期 (天)
2750—2650	松 前	170
	巴 胜	170
	姬 穗	160
	虾 夷	160
2650—2550	空 知	150
	丰 龙	150
	优 波	150
2550—2450	盐 狩	140
	石 狩	140
	早 雪	140
	农 林 20 号	140
2400	成 风	130
	清 风	130

现在想说一下关于“气候变化大循环(变程)”的问题。在温带的冷凉地区, 有每4年出现一年有若干天较低气温的趋势, 这是气候变化短循环。同时, 还存在有气候变化长循环(见图7)。

从1880年起, 北海道的的气温逐渐下降(1880年以前气温是否已开始下降, 没有这方

面的气象资料。但从已掌握的材料如水稻产量等情况来分析，看来那时以前气温就已经开始下降)。

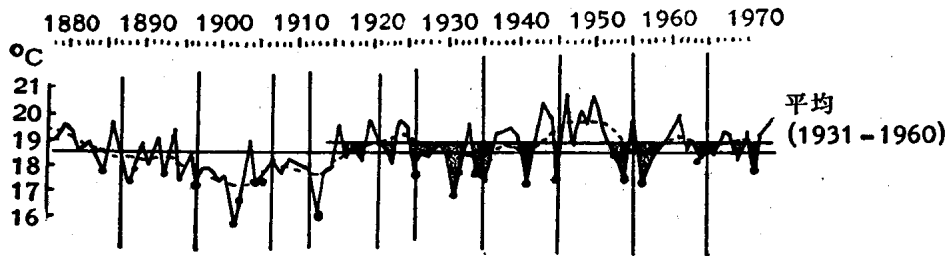


图7 1877年以来札幌地区水稻生长季节的平均气温

从上述气温资料看，可知1900年前后气温是最低的，其后逐渐开始上升，约在1950年达到顶点，随后又开始下降，因此，预料今后30年内年平均气温还将逐步下跌，应该注意，由于夏季气温低造成水稻歉收的机会在今后一段时期内正在逐渐增加。

面对上述情况，应十分警惕出现低温。在确定产量指标、栽培技术时，都应有低温下能稳产这个指导思想。

冷害类型 在探讨低温引致的水稻减产问题时，对可能发生的冷害类型进行分类是有益的。不同形式的低气温会引起水稻不同的冷害。水稻冷害可分为两类：

1. 障碍型冷害 如果总的气温变化对水稻生长有利，而后来，例如从花粉母细胞分裂期到开花期突然降温，白天气温甚至降至 16°C 以下时，则受精不良，颖花能育率大为降低，产量歉收。图8描绘出引起这种类型冷害的气温形式。虽然“障碍型”这个术语用来指这种冷害类型，但必须指出，水稻只有某些生殖组织受到破坏或变成不正常，而不是整个植株受破坏。

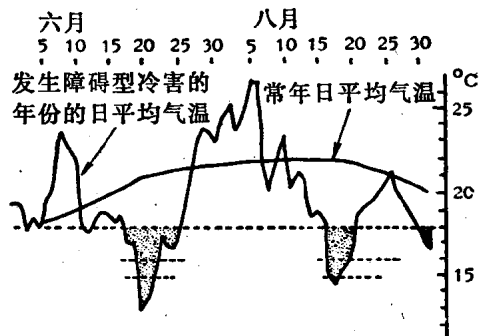


图8 引起障碍型冷害的典型气温

2. 延迟型冷害 如果在水稻开始生长时，遇到冷凉天气（即使气温并不特别低），水稻生长便逐渐受到抑制，延至秋季仍未能正常成熟。即使受精是正常的，由于成熟延迟，使秕谷率高，产量还是低的。

在有些年份，水稻有时会同时受两种冷害的影响。在这种情况下，水稻长势很差，产量很低。图9是造成这种情况的典型气温变化形式。

必须指出，冷害的这种分类方法只是一般概念而已，实际上，这两类冷害并不能明显地区别开。有时候甚至在同一个地区能出现这样的现象，即早熟品种遭到第一种冷害（“障碍型冷害”）的侵袭，而中熟或晚熟品种却受到第二类冷害的侵害，它们的花粉母细胞避过了冷害影响，但后期气温过低，使晚熟品种不能成熟。

对水稻冷害的这种分类命名日本水稻农艺工作者一般都同意，特别是北方地区的水稻

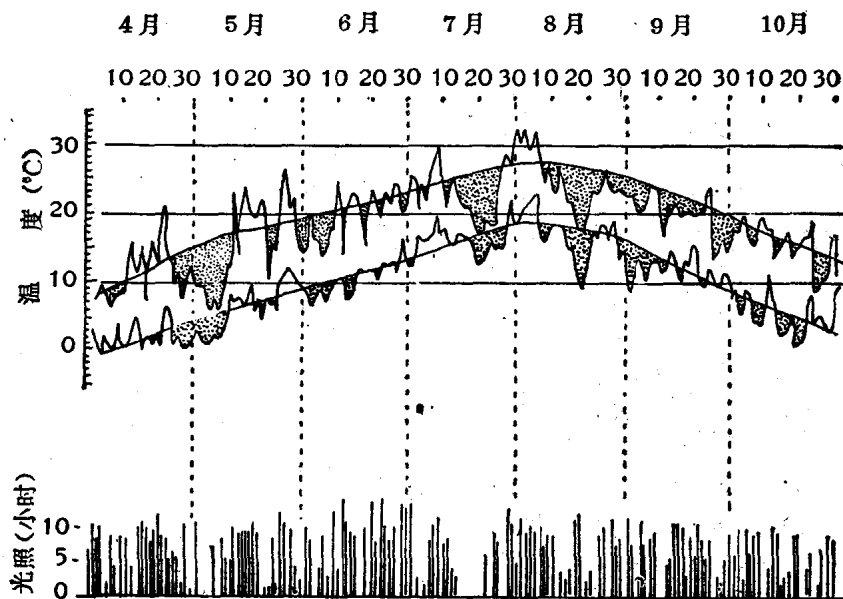


图9 1971年札幌的气温（两种冷害类型同时发生）

工作者。它为分析低温对水稻的影响以及提出较好的解决冷害问题的方法提供了方便。

二、低温对水稻生理的影响

前一节中已经提到，在水稻生长的某一个或某几个时期里遇到低温（经常伴随着太阳辐射量低），会使水稻产量受到不利影响。

本节将讨论低温对植株内部一些生理机能的影响。这些研究结果已作为提出减少冷害损失的措施的依据。

在水稻某些生育期内发生低温时，产量因下述因素而降低：

（1）温度降到一定程度以下时，光合作用、呼吸作用、矿物质吸收、矿物质和有机物在植株体内的运转等生理过程都大大减慢。

（2）由于这些生理活动减慢，在低温阶段中进行的器官分化、发育发生变化。这些变化的性质和程度因低温的强度、持续时间及频率而异，也因植株本身不同生育期而异。

1)在某些情况下，这些变化仅在低温阶段使一些生理过程减慢，气温一回升，这些过程就能恢复正常。

2)在另外情况下，这些变化是不可逆的，受影响的器官变得不正常，这种情况一旦发生，气温回升到正常仍不能恢复。

3)这些变化不论是可恢复的或不可恢复的，都会改变植株生长过程。因谷粒产量是各生育过程的最终结果，所以植株生育的某些特定时期的低温常使产量降低。

在试验条件下，研究第三个因素比第一、二两个因素困难。第三个因素有很多资料可供参考。可是，在接近自然条件下的太阳辐射和湿度条件下精密地控制气温、水温和土

壤温度，必须有大量的机械装备，只是到最近几年，人工气候室出现后才解决了这个问题。因此，过去得到的大量资料一般都是定性的而不是定量的。

影响第三个因素的，包含一些复杂的成分，所以在精确控制条件下进行的研究一直很少。不过已经有了在自然或半自然条件下的一些观察，使我们能据以提出措施，来减少冷害造成的损失到最低限度。

(一) 低温对一些生理过程的影响

光合作用 三井(1941)报道，在14—24℃范围内，单位叶面积光合作用率(p_o)的 Q_{10}^* 是1.4。山田等(1955)报道：光照强度大， p_o 值在18—33℃这样大的范围内，并没有大的差异，超过39℃时， p_o 值降低；光照强度小，则温度升高， p_o 值增大(图10)。

松岛等(1958)报道，植株的光合作用率在16—37℃温度范围内变化不大。村田(1961)报道，在 CO_2 浓度正常，光照强度大的条件下， p_o 的 Q_{10} 在20—33℃范围内是1.1，低于20℃时，温度降低， p_o 值减小(图11)。

以上这些结果表明，在空气中二氧化碳浓度正常，光照强度大的条件下，温度变化对 p_o 的影响不大；温度降至20℃以下， p_o 趋于减小，如光照强度小，这种趋势更为明显。

呼吸作用 山田等(1955)报道，在15—43℃温度范围内，稻叶呼吸作用率(r)的 Q_{10} 约为2；各种不同性质的叶片在各种温度条件下 r 与 p_o 之间有密切的相关； p_o/r 比率，温度愈低，数值愈大(图12)。因此，很显然，温度既影响光合作用，也影响呼吸作用；而呼吸作用率在低温下的降低尤为明显。

土井(1961)报道，根的呼吸作用率的 Q_{10} 在10—30℃范围内为2.5—2.8。受控于呼吸作用，其数值为呼吸作用率的函数的原生质流动，在10—25℃范围内其 Q_{10} 约为2；在10℃以下，几乎没有流动，超过33℃，流动速率明显降低。

上述结果表明：水稻不同器官的呼吸作用率的 Q_{10} 约为2或稍高。

矿质营养的吸收 许多试验证明：根吸收矿质元素所需的能量来自呼吸作用，有些元素的吸收比其它一些元素的吸收与呼吸作用的关系更为密切。因低温使根的呼吸作用率减

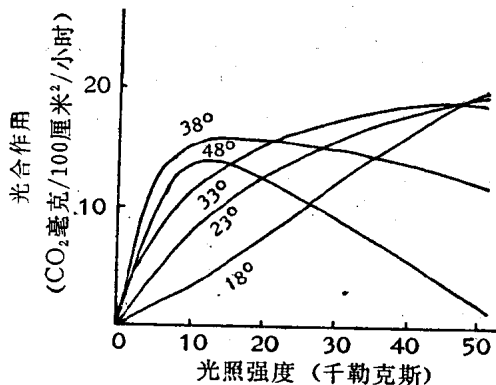


图10 稻叶光合活动与光照及温度的关系

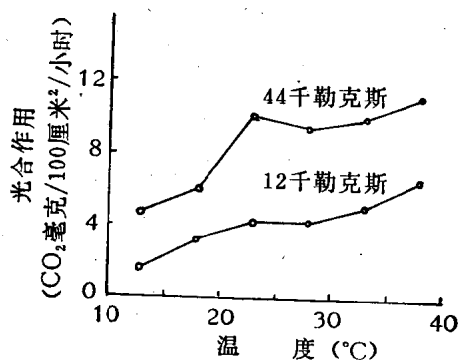


图11 温度对稻叶光合作用的影响
(品种农林29，抽穗期测定)

*译注： Q_{10} ，即温度系数，指比某温度高10℃时的反应速度，与某温度下反应速度之比。