



水稻译文集之二

气候与水稻

上海市农业科学院情报研究室编译
上海科学技术出版社

气候与水稻

——水稻译文集之二

气候与水稻

——水稻译文集之二

上海市农业科学院情报研究室 编译

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 7.125 字数 155,000

1980年11月第1版 1980年11月第1次印刷

印数 1—6,000

书号: 16119·701 定价: (科三)0.58元

编译者的话

水稻是世界上主要的粮食作物之一,我国栽培面积最大,产量占世界水稻总产量的三分之一以上。研究水稻是我国粮食生产的迫切任务。

近年来,各国科学家曾对水稻作过多方面的研究。《气候与水稻》(“Climate and Rice”)汇集论文二十五篇,从生态学角度专题论述了该方面的研究进展。我们选译其中论文十篇,着重阐述水稻与日长、温度、风、雨量、冷害诸气候因素的关系,以供水稻生产、科研工作者参考。

本书由上海市农科院情报研究室陈海燕负责编译。参加译校工作的有本院有关所、室的刘家森、刘琦、叶承道、方光华、赵永新、袁全昌、徐志刚、范洪良、褚启人、王新根等同志。限于水平,不当之处在所难免,希望读者指正。

目 录

编译者的话

- 一、水稻品种对气候的生态适应性…………… (1)
- 二、不同环境条件下水稻生长的比较…………… (20)
- 三、温度对水稻营养生长的影响…………… (40)
- 四、温度和光照对水稻生殖生长和成熟的影响…………… (63)
- 五、气候对水稻光合作用和呼吸作用的影响…………… (89)
- 六、气候对水稻根生长和营养物吸收的影响, 并论及
生长单位的理论…………… (113)
- 七、气候对热带水稻产量和产量结构的影响…………… (127)
- 八、水稻障碍型冷害…………… (152)
- 九、水稻小气候…………… (170)
- 十、气候与水稻害虫…………… (197)

一、水稻品种对气候的生态适应性

Benito S. Vergara

摘 要

水稻是一种生长在不同环境条件下的主要作物。将下列特性组合到现有水稻品种中，使之对各种气候因子具有广泛的适应性是可以实现的：

对日长的不敏感性，使水稻能在热带和亚热带的不同纬度周年种植。

耐低温，能使水稻品种在海拔和纬度较高的地区种植。

矮秆，叶片直立，能充分利用太阳光辐射和对氮肥反应良好。

抗旱性或者说在缺水情况下恢复的能力——靠雨水栽培水稻的一个重要特性。

特殊适应性，如在深水中伸长的能力；对某些不良土壤的抗性。

为了使勉强能种植水稻的特殊地区（旱地、酸性硫酸盐土壤、浸水低洼地、深水地区、低温地区等以及更多的诸如此类栽培水稻的地区）获得高产，需要进一步提高品种的适应性和选育具有广泛适应性的水稻品种。已提出并正在使用一些方法。目前主要的障碍是缺乏鉴定特殊适应性和广泛适应性的方法。

为了增强水稻品种对其他地区的适应性，将试行新的农艺技术措施。然而，从长远的观点看来，改变基因型可能是一个增强适应性的更好办法，它比改变环境条件容易。

引 言

水稻是一种生长在不同环境条件下（从海平面到尼泊尔高海拔地区，从澳大利亚南纬 35° 到捷克斯洛伐克北纬 49°）的主要作物（Kratochvil, 1956）。因此，产稻区的温度和日长差异很大。水稻也生长在不同的水层条件下（从中等干旱到深达 5 米的深水）。雨水是大多数产稻区水分的主要来源，所以，在水稻栽培中，雨水是一个很重要的气候因子。

关于水稻对不同气候条件适应性的研究很少。但有关温度、日长、太阳光辐射和雨水对水稻生长及产量的影响的研究甚多。这里，我想讨论一下水稻对这些气候因子的适应性以及使水稻能适应不同气候条件的生态特性。

从农艺学上说，一个水稻品种的广泛适应性是指它在不同气候条件下都表现高产（Finlay and Wilkinson, 1963; Chang and Vergara, 1972）。特殊适应性则指水稻品种适应特定的不利环境的能力，即与那些生长在最适条件下的品种相比，其生长所受的影响极小。特殊适应性包括对深水、含盐浓度、低温和高温等环境条件的适应能力。例如，一个在苗期具有耐低温这一特殊适应性的品种，并不一定高产。但这一特性是温带地区水稻品种获得高产的先决条件。

水稻品种对环境的适应性决定于它的形态学和代谢活性。这些特性随使用的品种及生育阶段不同而异。代谢类型的不同保证了适应性的可塑性，并最终反映在植株的形态差异上（Chu and Tang, 1959）。作为生理和形态适应，可以举嫌气条件下输导系统特别发达为例。有了这样的适应性，水稻就能栽培在旱田或水田土壤条件下。

植株性状

水稻对气候因子广泛适应的植株性状应是:

1. 对日长的不敏感性

这个最主要的条件使农民可在热带和亚热带周年种植水稻,而不会引起水稻生育期的巨大变化。这样,就能把水稻品种从一个纬度引种到另一个纬度 (Chang and Vergara, 1972)。

2. 对温度变化的耐性

水稻品种对温度的敏感性必须是迟钝的。这样,它就能在苗期、分蘖期、生殖生长期或者几个生长阶段会出现低温的地区种植 (Chang and Vergara, 1972)。在某些产稻区,也需要有耐高温的特性。

3. 矮秆

水稻植株必须是矮秆、硬秆,叶短而直立。这样的株型既能抗倒伏,又能充分利用太阳光辐射 (Chandler, 1969)。

这里所说的具有广泛适应性的水稻植株性状,主要是针对灌溉水稻而言。因为在这些地区,水分并不是一个限制因素。至于生长在其他水分环境条件下的水稻,如浮稻地区(水深 150 厘米以上),深水稻地区(水深 30~150 厘米),以及“旱”稻地区,并不包括在内。在这些地区,需要有特殊适应性。

4. 抗旱性

抗旱性或从缺水情况下恢复的能力,是靠雨水灌溉地区、旱稻地区水稻特殊适应性的一个重要植株性状。

水稻要在特殊的生长环境,例如在椰子树下或 5 米深水中生存,就需要有不同类型的特殊适应性。

浮稻品种必须具备的一个适应机制是其伸长能力。在水

田和旱田条件下, 水稻品种的广泛适应性须具有对光周期的不敏感性, 而在浮稻地区, 水稻品种的特殊适应性却必须具有对光周期的敏感性。在浮稻地区, 生育期长达 180~200 天, 这就需要对光周期的敏感性, 因为迄今尚未发现生育期长于 150 天的光周期不敏感品种。

在季节环境变化无常的条件下始终保持高产的品种, 在生长类型和生理上有很多差别。虽然植株适应特殊环境的某些性状是能够确定的, 但对于其适应千变万化的季节所必需具备的一般综合性状是难以确定的 (Finlay and Wilkinson, 1963)。因此, 我们把气候因子分为日长、风、太阳光辐射、降雨量和温度。本文不拟讨论一般适应性的综合性状。

以下讨论大部分涉及特殊适应性。

日 长

同野生稻一样, 早期的栽培水稻生长在水分充足的低洼地区。在许多情况下, 由于水分太多, 水稻是唯一能生长的作物。为了避免在收割时, 水仍然很深或天气太湿, 不利于晒干谷粒, 人们就选择了那些当水已退掉或土壤开始干燥时成熟的品种。

就光周期敏感品种而言, 在低洼地区, 由于雨水来得晚而推迟移栽, 并不影响水稻的产量。从这个意义上讲, 光周期敏感品种或生育期较长的品种秧龄的弹性较大。

高产水稻品种引种到热带以前, 在热带使用的大多数品种都是生育期长或对光周期敏感的品种(与野生稻相似)。在那时的栽培方法下, 光周期敏感性在某些情况下是水稻生存所必需的特性; 而在大多数情况下是水稻稳产所必需的特性。

在粮食生产方面,一个品种的稳产性比具有高产潜力更重要。众所周知,种植在低洼地的传统品种,能不受倒伏、台风或不利的栽培条件(如不施化肥或不除草)的影响而获得一定的产量。在管理不好或氮肥水平低的情况下,生育期较长的品种产量较高(Vergara et al., 1966, 1967)。

一个生育期较长的品种,不是因为有一个很长的基本营养生长期,就是因为对光周期高度敏感。由于至今还没有一个品种的基本营养生长期能适应这样的生育期,所以,要获得一个生育期长的品种,唯一的方法是获得一个光周期敏感的品种。

随着水浆管理的改进和灌溉状况的改善,可以采用生育期较短的品种。这些品种在热带不仅一年可栽培两次,甚至可周年种植(图 1-1)。在这种情况下,其适应性正好与传统

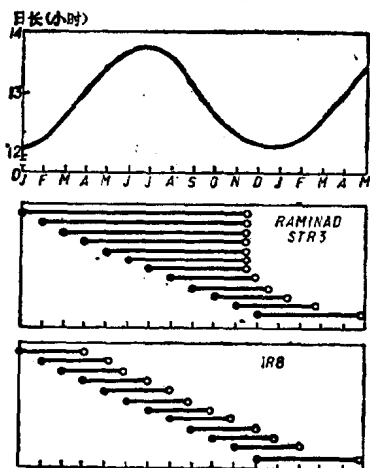


图 1-1 光周期敏感传统品种 Raminad Str. 3 和改良水稻品种 IR8 的播种期(·)和开花期(•)在菲律宾洛希巴诺斯(14°N)种植情况。

品种相反,即去掉对日长的敏感性。

大多数改良品种对光周期是不敏感的。然而,对数百万公顷的深水稻(水深 30~500 厘米)来说,特殊适应性仍是需要的。在这些地区,需要生育期长的水稻品种。

在泰国、孟加拉国、越南、缅甸等国的浮稻栽培区,播种季节开始于 4~5 月份,收获季节为 11~12 月份。只有当水位高达顶峰(生存的必要条件)时,水稻才开花。在这些地区,9~10 月份穗分化。由于纬度不同,穗分化时的日长也有差异。因此在这一纬度发育的品种在另一纬度上并不一定适时开花。如果在规定的播种季节播种,生长在泰国曼谷的水稻品种(临界光周期为 12 小时 15 分钟),在缅甸仰光开花可能早一些,在孟加拉国哈比冈季就更早了(图 1-2)。要获得一个浮稻品种的一般适应性是非常困难的。对日长的不敏感性,在某种

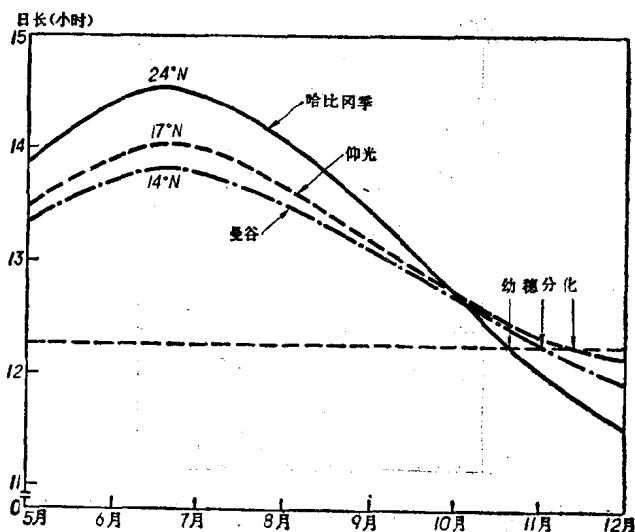


图 1-2 泰国曼谷、缅甸仰光、孟加拉国哈比冈季的日长变化。

情况下是适应性的必要条件，而在另一种情况下却是不利因素。

风

水稻生长期间的微风可以加速覆盖层中的湍流，故有利于提高产量。植株群体的光合作用随风速而增加，这主要是因为植株群体内靠近叶面的边界层抗性减少了 (Yabuki et al., 1972)。湍流的加速促进了二氧化碳向叶片的输送。每秒风速大于 0.3~0.9 米时，对进一步增强不同植株的光合作用已不起作用。所以微风已足够有余 (Wadsworth, 1959)。

稍有空气流动就能摆动的叶片，必定有一个较好的减少边界层抗性的机制。直立而薄的叶片是否更适宜这样的运动？

台风季节中的强风导致水稻的倒伏。现代水稻品种，由于株高变矮，已克服了倒伏。矮秆不仅是增加产量的一个重要因素，而且能使水稻品种更好地适应低洼地。

众所周知，干风会使稻叶失水。在干旱条件下，风对叶片的机械损伤要比低洼地严重得多，这可能是在旱地条件下，叶片内部发生变化的结果。据报道，有些旱稻品种抗风害的能力比其他品种强 (Alluri et al., 1973)。没有对旱稻和水稻叶片的角质层厚度及硅质含量作过详细的解剖学研究，但旱稻的叶片较厚或叶片比重较大。

生长在低氮水平下的水稻对风害有较大的抗性。这一抗性可用成熟籽粒的比率、粒重和籽粒的厚度来表示 (Matsuzaki et al., 1972)。其原因是氮素水平低时，植株中碳水化合物的积累较多。

温 度

温度不仅影响水稻的生长，而且也影响它的发育。日本育种工作者培育了许多在苗期和生殖生长期耐低温的梗稻品种。孟加拉国、朝鲜、印度和许多温带国家也进行了品种选育。

关于水稻低温冷害的研究一般是指对冻害温度的研究。对水稻来说，冰点以上 $10\sim 21^{\circ}\text{C}$ 的低温就是一个问题。在这个温度范围以及在 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 之间出现的生物化学变化，都未研究过。

在苗期遭受冷害的水稻植株，因其化学反应和物理过程缓慢，会产生一个可逆的应变。但当天气回暖时，就能恢复。至于叶片的伸长，只有低温时伸长的叶片才会受影响；以后在正常温度下形成的叶片，其大小是正常的。低温也可能诱导一个不可逆的应变，植株不是遭受永久性损伤，就是死亡。植株的永久性损伤会形成不育小穗，而叶片的严重枯黄或根系不能吸收营养，间接地导致植株的死亡。

有些水稻品种对低温抗性较强，这反映在它们于低温和低光强时光合率较高 (Yamada et al., 1955)。籼稻品种如 IR8、台中本地 1 号，光合率的降低非常显著，而温带品种卡罗斯 (Calrose) 受低温的影响最小 (Tsunoda, 1972)。然而，在高光强时， $18\sim 33.5^{\circ}\text{C}$ 的温度对各品种整个生长期的光合作用几乎没有影响 (Yamada et al., 1955; Ormrod, 1961)。

Osada (1964) 用一组不同的品种进行试验后报道说，籼稻光合作用的最适温度范围是 $25\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，比梗稻 ($18\sim 33^{\circ}\text{C}$) 高。温带产稻区的最高温度可能与热带产稻区的相同，但是，

温带地区水稻整个生长季节的平均温度和平均积温一般较低,因此需要光合作用最适温度较低的品种。

为了研究水稻品种对各种气候和地区的适应性,Shen 和 Wey (1970) 运用多变量直线回归分析法,将农艺性状(如生育期、每穴穗数、水稻产量)作为回归因变数;而气候因子(如温度、光照时数)作为回归自变数。他们发现,一般籼稻对气候变化,特别是对温度和光照更为敏感。

Tsunoda 和 Khan (1968)发现,籼稻与粳稻的光合组织不同。籼稻叶肉中的绿色组织细胞排列是稀疏的;叶肉近轴的表面较为平滑。粳稻的绿色组织细胞排列是紧密的,叶肉近轴的表面是波状的。但这些差异仅见于苗期,在以后的各生长期都未发现。为了解释粳稻品种较高的光合率,进行了一项试验(Tsunoda, 1972)。但对于数据的解释却是不同的。由于苗期的光照是不受限制的,因此这些差异并不能作为与光合作用直接有关的一种适应性,而可作为低温引起的一种适应性。波状而紧密的叶肉,在苗期能更好地吸收和贮藏热量,这是粳稻应具备的一个重要适应性状。从结构上来说,在热力学上粳稻在苗期对低温有适应性。

水稻生殖生长和成熟阶段的低温,往往导致一些现代高产籼稻品种很高的落粒百分比(表 1-1)。但粳稻和生长在低温地区的当地品种并不落粒。这个特殊适应性能比较容易地组入到新的水稻品种中去。虽然水稻品种的产量潜力和一般适应性并不受低温影响,但如果品种容易落粒,那么最后收获的产量必然要受到影响。

就水稻最适发芽温度来说,粳稻农林 17 的成熟温度为 20°C (日温);籼稻 IR8 日温为 $30\sim 35^{\circ}\text{C}$ (Sato, 1973)。IR8 能适应较高的日温。农林 17 的种子重量与发芽能力有显著

表 1-1 种植在高纬地区(菲律宾)水稻品种的落粒概况

品种	类 型	落粒 (%)	成熟阶段的平均温度(°C)
塔杜康	本地 籼 稻	6.5	21.1
台南 3 号	粳 稻	10.5	21.3
IR 8	改良的籼稻	14.6	21.3
IR 5	改良的籼稻	22.9	21.1
C4-63	改良的籼稻	28.3	21.1

相关性,而 IR8 却没有这种相关性(Sato, 1973)。这表明,胚乳的容量并不是苗期生长的唯一限制因素。在不同温度下成熟的 IR8 种子,发芽率的差异极小。

在一些产稻区,水稻对开花期高温(30~42°C)的特殊适应性同样是需要。这样的高温出现在巴基斯坦、泰国和一些非洲国家。当日夜温度较高时(日温为 35°C,夜温为 30°C),由于花粉粒减小、花药不开裂而导致不育性增高(Sato et al., 1973)。水稻品种耐高温的差异,在泰国已引起重视 (Osada et al., 1973)。在 12 个供试品种中,开花时台中本地 1 号最耐高温,而 C4-63 对高温最敏感。

筛选耐高温的水稻品种是可能的。这意味着光合作用的最适温度较高以及其光合器官有一个非常高的热稳定性。作物对热害应有一个较高的阈限。曾经发现,一种沙漠作物光合作用的最适温度为 47°C。当温度低于 44°C 时光合率降低(Bjorkman et al., 1972)。这个能力归因于 C4 途径,而水稻却没有这一途径。据报道,对热害来说,水稻品种间有差异(IRRI, 1974)。

抗高温的品种对低温可能敏感(Alexandrov, 1967)。要

增强对低温的抗性必须增强蛋白质大分子结构的弹性，而蛋白质大分子结构弹性的增强又会使它在高温中更不稳定。然而，Salahuddin (1972) 报道说，旱稻品种在苗期对低水温的耐性，一般比籼稻品种强。这些旱稻品种的抗热害能力也较强 (IRRI, 1974)。

Prosser 考察了水稻对温度适应性的分子机制后报道说，水稻对环境耐性的许多已知变异与遗传决定的氨基酸排列密切相关。至于为什么氨基酸的一种特殊排列会给某一特定酶带来耐温性，这一点仍不清楚。了解耐温性的基础将有助于今后的研究进展。通过育种和诱变改变一个主要酶的氨基酸排列，以增强其耐温性，这对栽培作物来说，有着美好的前景。

对种子进行预处理，能提高作物耐热和耐高温性。这一点已在菜豆、豇豆、玉米、黄粟、无花果、黄豆、向日葵、烟草以及一些微生物中得到证实 (Jarwood, 1967)。预处理是否根本改变了一个主要酶的氨基酸排列？作物的形态性状并没有变化，但细胞的分子结构显然已经重组。

太 阳 光 辐 射

用先进的栽培技术，种植适应性强的高产水稻品种时，日本各地区水稻产量的差异主要是由以下特定生育期的四个气候因子造成的：(1) 生育期前半期平均日温的积温；(2) 分蘖期的日太阳光辐射；(3) 穗分化期的平均日温；(4) 收获前 7 周的日太阳光辐射 (Murata and Togari, 1972)。

在热带地区，温度一般不是一个限制因素，太阳光辐射成为影响作物产量的一个重要气候因子。在热带地区，季候风

季节中的低光强往往造成水稻低产。水稻产量与水稻生长后阶段的太阳光辐射呈正相关(Moomaw et al., 1967; Tanaka and Vergara, 1967; De Datta and Zarate, 1970)。从某一方面来说, 适应性表现为, 即使太阳光辐射低, 也仍能获得相对高的产量。与彼泰 (Peta) 相比, IR8 就具有这一适应性。IR8 表现出对低光强的逆反应极小, 即使在雨季, 产量仍相对较高; 同时其株高变化极小, 基本上还是一个矮秆品种。因此, 仍具有抗倒伏性。

即使太阳光辐射较低, 彼泰仍有较高的叶面积指数。彼泰由于有一个最适叶面积指数 (Yoshida, 1969), 因此在达到这个指数后, 生长率就下降了。而 IR8 却没有一个最适叶面积指数, 因此, 即使在雨季, 它也不受叶面积指数增大的影响。IR8 无疑是一个适应性较好的改良品种。

从开花期至收获期, 太阳光辐射影响谷粒的灌浆、实粒数和每穗粒重。遮光或太阳光辐射低会增加空秕粒 (Wada et al., 1973)。由太阳光辐射低引起的不育率, 在品种间有差异。

在雨季或多云天气, 太阳能低, 但紫外光和蓝光充足 (Gates, 1965)。在雨季, 太阳能低和高温会导致高秆, 但在很大程度上被蓝光所平衡; 蓝光抑制了植株的伸长 (Bokura, 1967; Inada, 1973), 所以植株不表现高而细长。但对有些水稻品种来说, 蓝光并不抑制其伸长 (Bokura, 1967)。

彼泰本是高秆水稻品种, 太阳光辐射低使它更高。这样植株更易倒伏。尽管紫外光和蓝光能抑制伸长, 但彼泰在雨季比在旱季有更多更长的叶片, 节间更长, 伸长的节间也更多 (Tanaka et al., 1964)。另一方面, 由于播种期不同, 台南 3 号的叶片数、节间长度以及伸长节间数的变化很小。在产量