

# 日本等国水稻低温冷害研究概况

元来福

目前，水稻低温冷害不仅在温带的日本、南朝鲜、美国等国发生，而且在热带地区如斯里兰卡、印度、印度尼西亚等国亦有发生。因此，各国特别是日本的农业气象人员对这个问题进行了多方面的研究，取得了一些成果，现简介如下。

## 一、低温冷害的类型及其特征

日本根据低温对作物产生的影响及其出现的时间，将冷害主要分为延迟型和障碍型两类。

作物营养生长期遭遇低温，使生育延迟，成熟不良造成减产，称为延迟型冷害。主要特征是：发芽率低、幼苗生长缓慢，以致抽穗开花延迟，虽能正常受精，但因生长季短，不能充分灌浆成熟，秕粒多，千粒重低。

在生殖生长期，主要是在花粉母细胞减数分裂期特别是小孢子期或减数分裂细线期出现低温，使生殖器官的生理机制受到破坏，造成颖花不育，空壳率增大而减产者称为障碍型冷害。主要特征是：(1) 花粉和胚囊母细胞分化受害；减数分裂期间染色体分离；减数分裂后细胞壁形成的破坏；受害花粉毡绒层组织肿大。(2) 花药发育停止；花粉未成熟；花药室只有部分开裂或完全不开裂；花粉粒仍留在花药室中；花粉粒很少或完全没有落到柱头上；落在柱头上的花粉失去发芽力。(3) 空壳率特别大。

在生育初期遇低温延迟生育和抽穗，同时减数分裂期特别是小孢子期又遇低温冷害，即造成部分颖花不育，又延迟成熟，发生大量空秕粒，则称为混合型冷害或并发型冷害。此外，在冷夏多雨的年份常常发生稻瘟病，加重了低温对水稻产量的影响，称为稻瘟病型冷害。

## 二、造成冷害的主要原因

### 1. 气象方面

国外多从低温冷害与大气环流、太阳黑子、海水温度等因子的关系进行分析，还从气候变化规律方面开展了研究。

坪井八十二在《气候寒冷化与稻作技术》一文中指出，世界规模的气候异常与高纬度地区气候变冷的关系极为密切。北极寒流弱而稳定时，西风带位于中纬度地区的北部，称高纬东西流型；当北极寒流增强

时，西风带位于中纬度地区的南部，寒冷区扩大并且稳定，这就是低纬东西流型。在寒冷化扩大的过程中，寒流南下和暖流北上，西风带会发生南北方向较大的波动，为南北流型。南北流型是从温暖期向寒冷期过渡期间出现的不稳定状态。在南北流型占优势时，日本易发生冷害。他认为，目前正处在南北流型易于占优势的时期，这个时期将延续多久？何时成为稳定的寒冷型？寒冷期中将要冷到何种程度？目前存在着不同的见解。日本气象厅1973年的观点是：当南北流型强盛时，在日本全国或局部地区易于发生寒冬和以北部与东部日本为中心的冷夏。该厅1974年又认为，目前的寒冷趋势将发展到如何程度，难于预报。如果延续10年以上，就有可能出现类似十九世纪以前低温期的气候，因此，日本政府1975年决定在1976—1980年间进行《关于应付异常气象的综合技术措施的研究》。如果年平均气温下降1℃，无霜期将减少10—14天，由于温度低，农作物的生育期将延长7—11天，而有效生长季节将缩短17—25天。

据佐竹等人研究，在1883年至1971年的88年间，日本共出现过22个低温冷害年，平均4年一遇。

日本冷害年从时段上可分6—7月、8—9月和整个夏季低温三种情况。气温负距平为1—2℃。从气压形势来看，日本冷害的发生与鄂霍次克高压的位置有关。鄂海高压位于日本北部时，多为冷害年。如果鄂海高压势力强，而北太平洋高压弱，且北上迟缓或者极锋过早南下的年份，也易成为冷害年。

### 2. 农业方面

近年来，水稻冷害面积的扩大与不适当的引种和复种有关。由于扩大水稻生产，稻作面积迅速向高山和冷凉地区扩展，此外，在日本西南部的温暖地区发展了新的耕作方法——早稻种植法（即双季稻）。采用这些措施之后，虽然增加了产量，冷害的问题更加突出，在最近10年里，日本全国各地区都发生了冷害。

据金田1972年调查，澳大利亚、孟加拉、斯里兰卡、哥伦比亚、印度、克什米尔、尼泊尔、巴基斯坦、秘鲁、美国、印度尼西亚和南朝鲜都有冷害。欧文认为，在热带地区，稻作是利用季风降雨只在雨季种植一季感光性强的品种，生长期虽长，但对温度要求并不突出。近10年来，由于建设水库和普及推广非感光性高产品种，因而旱季也能种稻，一年可种两季，生

长季大为增加；有了大型水库后，盛夏从水库深处放出的冷水灌溉田地，于是水稻冷害问题比较突出。

此外，冷害程度还与低温出现的时间、强度、持续日数、日照、品种、土壤、肥料、栽培管理等诸因子有关。

### 三、障碍型冷害的研究

#### 1. 低温敏感期

佐竹于1970年提出水稻的低温敏感期在小孢子期即四分体至第一收缩期，并且发现还有一个次敏感期，这个敏感期出现在减数分裂细线期之前和细线期初期。

#### 2. 临界低温

四十年代初期有人把稻株在17°C下处理6天，引起的不实率明显偏高，而在20°C时处理10天，不实率则偏低。酒井于1949年证明，当气温低于15°C时，减数分裂异常和毡绒层细胞肿大是产生不育性的主要原因。西山等人1969年认为耐寒性强的品种产生不育性的临界温度是15—17°C，而对低温敏感的品种则是17—19°C。据此判断，出现高不实率的温度似为15—20°C。内岛立郎认为，产生空壳的多少除与低温程度有关外，还受低温持续时间、气温日较差以及孕穗前后的生长状况等因素的影响。1958年松岛等人于减数分裂期利用控制昼夜温度的方法，研究了各种不同昼夜温度组合对不育性的影响。结果表明，昼夜连续低温情况下的不实率很高，而在白天高温夜间低温的情况下，不实率则很低。1974年博伊雷玛指出，在减数分裂期间，气温低于15°C可导致不孕小穗率增高，从而降低产量，施高量氮肥会加重这种影响。

#### 3. 受害的器官

酒井发现，水稻的不育性随灌水深度而异，并且灌水15cm深的比一般灌5cm深的不实率显著减少，他认为，敏感期圆锥花序的位置处于水中，起到了保护圆锥花序免受低温冷害的作用。在敏感期，如仅用冷水冷却圆锥花序，那么就会造成不育性。相反，若用温水保护圆锥花序，即使其他器官处于较低的气温下，也会形成可育的圆锥花序。这表明，对低温敏感的器官是圆锥花序。

许多人认为，内颖的生长并不因低温处理而受害，所以引起不育性的器官必然是雌蕊或雄蕊或两者兼是。酒井认为不育性可能主要是由于雄蕊异常造成的，但他又提出一个颖花有6个能产生5000—7000个花粉粒的花药，若有10个或更多的花粉粒在柱头上发芽，那么预料是会受精的。早濑等人于1969年对受冷却的稻株用健康的花粉粒传粉时，其受精率几乎都很高，证明不育性主要是因花粉异常造成的。伊藤等人1970年认为，在低温条件下花药开裂不良是水稻不育性的直接原因。佐竹等人1970年的研究证明，在减数分裂期做低温处理会延迟内颖的生长，但并不影响

其最终的长度。低温处理不但会降低每个花药的干重和蛋白质、氮、磷酸盐、钾的含量，而且还降低其呼吸功能。这些成分的降低率与受精的降低率是一致的。在正常的花药中，脯氨酸在整个氨基酸中所占的比重最大，根据伊藤1972年的计算，在减数分裂期做过低温处理的花药中，几乎各种类型的氨基酸都有所减少，特别是在正常水稻花药中占总氨基酸40%以上的脯氨酸降低得更多。相反，天门冬酰胺却增加了，这就是花药受害的原因。

#### 4. 不育性的机制

在低温处理开始后的第一天，可以观察到花药室中的微观异常现象。酒井认为，毡绒层的肿大率随温度降低而增大，其肿大程度与品种对障碍型冷害的抗性密切相关。减数分裂期的异常和毡绒层组织肿大是不育性的主要原因。1970年早濑和佐竹对减数分裂期经过冷却的稻株，在花粉发育时期做了细胞学观测，发现四分体时期异常小孢子出现的比率比酒井的观测结果少得多。西山等人在1970年也发现毡绒层肿大的比率没有不实率那样高。他们认为，毡绒层肿大并非是不育性的主要原因。这个问题还需要做进一步的研究。佐竹最近指出，在小孢子期做低温处理的花药中，小孢子异常是在处理后第4天发现的，而气泡型毡绒层肿大是在处理后第2天发现的。因此，小孢子发育异常意味着通过毡绒层向小孢子运动的养分受阻。根据细胞质判断，毡绒层细胞不仅是养分的通道，而且它们还有代谢活性，如果这个代谢系统受到某种伤害，那么细胞的养分供应可能会受到妨碍。目前还没有充分证据说明对低温最敏感的组织就是小孢子或毡绒层细胞（或两者都是）。即使养分输送受阻是不育性的原因，这主要可能是由于小孢子未获得养分的结果。

关于毡绒层肿大的机制，西山1970年曾进行过多次电子显微镜观察。他指出，横切面上毡绒层肿大的丘型是由于毡绒层细胞间壁损坏而使几个毡绒层细胞合并所产生的结果。当间壁刚损坏时，在这些合并起来的细胞中几乎所有的细胞组织器官仍然是正常的。在这些增大和膨胀过的毡绒层细胞中，细胞核发生了变形，内质网状组织突起，破裂的细胞壁和细胞膜的痕迹仍然存在。线粒体、原生质和其它细胞成分形态上似乎没有变化，但其数量却大大增加了。据认为，毡绒层细胞间壁的破坏是由于花药毡绒层细胞中还原性物质（主要是还原酶）的异常积累造成的。西山1970年把从低温到不育之间的因果关系归结为：在低温影响下，毡绒层肿大，即在小孢子或毡绒层细胞中发生初期和中期异常，导致小孢子及花粉生育不良，造成花药不开裂，最后导致不育性。

### 四、延迟型冷害的研究

#### 1. 抽穗延迟与温度的关系

据国际水稻研究所 1972 年报道，在播种后头三周比在第四周，温度对水稻幼苗的平均相对生长率有更多影响。在 22°C 时每 5.4 天出现一片叶子，而在 31°C 时则每 3.5 天出现一片叶子。国际稻 8 号幼苗在生长的第一、第二、第三周由光合作用产生的干物质比例分别为 30%、84% 和 100%。播种后 3—5 周在 22°、25°、28 和 31°C 时，其平均相对生长率每株每周分别为 1.40、1.56、1.6 和 1.62 克。认为 22°C 适于早期生长。高温虽然促进分蘖，但会促使每穗的小穗数相应减少。在 25°C、28°C 和 31°C 时所产生的小穗相对数分别为 22°C 时的 83%、76% 和 58%。佐藤庚 1974 年把处在 8.2 叶期的水稻农林 17 号植株移至昼、夜温度分别为 35°C、30°C、30°C、25°C、20°C、15°C 和 15°C、10°C，光照期 14 小时和 9 小时的人工控制环境下，于 13.2 叶期进行取样检查。结果是叶子的发育率随温度的降低而下降，昼、夜温度分别在 25°C、20°C 时植株最高。在长日照下株高和分蘖数都大于短日照。叶子相对生长率和净同化率值，在长日照下比在短日照下高，在长日照下昼、夜温度分别为 25°C、20°C 和 30°C、25°C 时为最高，而在短日照下这些数值一般随温度的增高而增加。根据吉田 1973 年的研究，在新西兰的北帕默斯顿将国际稻 8 号、台中本地 1 号、金黄和卡尔洛塞植株置于昼、夜温度分别为 26°C、18°C、29°C、21°C、32°C、24°C、35°C、27°C，光照期 12 小时的控制环境下，较高的温度促进了出叶和分蘖，温度影响干物质的增加甚于品种差异。在播种后一周内，温度对生长率的影响最显著，随着时间的推移，这种影响逐渐减少。据伊藤 1975 年介绍，水稻返青期的温度为 16—30°C，以 25—30°C 最适宜，低于 16°C 就有影响。早秧返青的临界温度为 13.5°C；保温湿润秧为 14.5°C；水秧为 15.5°C；带土小苗为 12°C。进入分蘖期后，适宜温度在 30°C 左右，低于 17°C，秧苗的伸长就会受抑制，秧苗伸长的最低临界温度为 15—16°C。发生分蘖的临界温度为 12—13°C。幼穗分化前的高温能促进第一苞分化或提前穗分化。从试管内无菌培养法探讨温度对水稻穗分化的影响来看，培养液温度在 20—30°C 范围内，穗分化速度没有差异，但培养温度在 15°C 以下，就会阻碍穗分化，特别是低于 10°C 对穗分化的阻碍作用最大，在这种情况下，幼穗发育基本停止。一般认为穗分化的临界温度为 15—18°C。对于水稻幼穗分化，除温度条件外，光照条件也有很大影响。

颖花分化时要求的温度较高，适宜温度为 30—32°C，防止颖花退化的适宜温度白天是 36°C，夜间是 21°C。灌浆的适宜温度白天为 31—32°C，夜间为 20—21°C。昼夜温度都为 31°C 时最能促进抽穗。影响空壳率的临界温度，耐寒性强的品种为 15—17°C，耐寒性弱的品种为 17—19°C。

临近抽穗、开花期，低温对延迟抽穗及发生空壳的影响逐渐减弱。但开花期的低温会抑制开花和延迟开花、受精，造成延迟抽穗、晚熟，并由于灌浆过程中气温降低而灌浆不良。开花时的适宜温度为 30°C 左右，下限为 15°C，低于 15°C 就不能正常开花。受精的临界温度是 16—17°C，在 20°C 以上才能完全正常受精。

关于低温延迟抽穗最敏感的时期问题，从各生育期对温度反应的试验结果看，返青期低温对延迟抽穗的影响最大，其次是抽穗转换期到穗分化始期，三是从穗分化始期到抽穗期。返青期的温度愈低愈延迟抽穗，小苗比成苗的延迟程度大，中苗的延迟程度居中。

## 2. 灌浆与温度的关系

灌浆—成熟过程中遇到 11—20°C 的低温，虽然延迟成熟，但若后期条件好仍可恢复，最后仍能正常成熟。在低温年份，尚未充分成熟就遭到霜冻会中断籽粒发育，造成延迟型冷害。

据田中等人 1976 年的研究，灌浆期的最适宜温度在 22°C 以上，温度越低千粒重越小，灌浆期气温在 20°C 以下时，稻谷比重大于 1.13 的逐渐减少，18°C 时，籽粒虽增加不多，但稻谷比重在 1.13 以上的减少到 50% 左右，灌浆期气温为 16—17°C 时，虽然还有 60% 的结实率，但稻谷比重几乎没有在 1.07 以上，到 15°C 以下时，只能收获比重在 1.00—1.07 的碎米。

一般情况下，水稻在受精后 10 天完成胚，7—10 天左右米粒的长度最大，9—12 天达到最大宽度，其后几天厚度也就固定。此外，受精后第 3 天左右，开始在胚乳组织中积累淀粉粒，到第 30 天左右积累结束。因此，在开花后 15 天左右米粒的发育最快，这是低温影响最大的时期，特别是前 5—6 天影响更大。

除温度外，日照也有重要影响。松岛认为，减数分裂期日照不足就降低籽粒数，灌浆盛期日照不足，会导致结实率、千粒重下降。

## 五、防御措施

形成低温冷害的原因较多，防御的措施也是多种多样的，现归纳如下几点：

1. 从气象角度出发，首先要认识地区的气候特点和变化规律，然后摸清作物及其品种对气候条件的要求，做出作物气候区划。因地制宜地合理布局作物及其品种，避免低温冷害。内岛从利用农业气候资源出发，根据水、热状况评价了水稻的栽培条件，从而做出了日本水稻农业气候区划。他考虑的热量指标是水田水温 10°C 以上的积温，分寒冷 (<3000°C)、冷凉 (3000—4000°C)、温暖 (4000—5000°C) 和两熟等四个水稻区。分区的指标因地区气候特点和作物及其品种而异，有的按保证率 75%，有的按 80% 确定，而美国韩丁则认为要 100% 的保证不受低温冷害。

(下转第 17 页)

(上接第15页)

2.从农业角度来看，首先要培育耐寒早熟高产品种，以减轻冷害损失。日本为了提高寒冷地区耐寒性育种的效果，一般以耐寒性强的品种为母本与目前推广的优良品种杂交，在加速世代繁殖的同时；结合采用田间冷水串灌法和人工气候室进行新品种的耐寒性鉴定。现已育出成批耐寒性较强的品种。

3.采用塑料薄膜拱架式保温旱育秧：这是高寒地区水稻栽培上的一项重要措施。旱秧比较短而硬，水分少，含氮、碳多，抗旱抗冷，适于早插，插秧后几

乎不缓秧，初期分蘖力很强。薄膜保温旱育秧，还可以早播，可使中熟品种成熟期早于一般栽培条件下的极早熟品种成熟期。

4.加强农田基本建设，改造环境条件，设置防风林和风障等。在有冷害威胁的地区，以比较稳产、高产的早、中、晚熟品种合理搭配，但要以早、中熟品种为当家品种，这是减轻冷害的有效方法。

在个别年份，或因预报不准，或因气候异常，也难免发生冷害。在这种情况下就要采取应急措施，如燃烧加热法、烟雾法、送风法、泡沫法、灌水法等。