

云南水稻冷害试验研究 资料选编

(四)

云南省水稻冷害科研协作组编

一九八二年六月

目 录

“云南水稻冷害规律及其防御的研究”综合报告(1979—1981年阶段成果)	云南省水稻冷害科研协作组 (1)
云南水稻冷害农业气候规律分析	省气象科学研究所 卞福久 (9)
水稻开花结实与温、光、湿的关系	省农业大学 戴国平 吴淑桢 (19)
水稻冷害生态研究	田世忠 唐先觉 黎明奇 (27)
1981年水稻滇协一号地理分期播种试验小结	地理分期播种试验小组 (36)
昭通坝区水稻稳产高产农业气象条件分析	昭通农业气象试验站 刘朝武 (42)
水稻冷害温度指标观察	省气象科学研究所 豆映晖 杨维扬 (51)
德宏水稻最佳播种期及冷害情况	芒市农业气象试验站 (57)
云南水稻品种耐冷性鉴定与选育	省农科院 李林烈整理 (60)
高海拔水稻品种黑选5号选育示范总结	丽江地区农科所 (63)
水稻品种不同生育期耐冷性研究初报	省粮食作物研究所水稻研究室 (68)
迟栽稻田增产技术的探讨	祥云县农业局、祥云县农推所 (73)
稻田水温对水稻影响初探	省气象科学研究所 黎明奇 杨维扬 (79)
麦后稻育秧方式、拔秧方法及密植程度试验	大理县农技站五里桥基点 (83)
不同育秧方法试验	昆明市农业科学研究所 (87)
水田地面复盖薄膜试验	昆明市农业科学研究所 (90)
1981年水稻品种黑选5号示范推广总结	丽江地区农科所 (93)
大理县银桥公社1981年水稻抗御低温冷害示范样板小结	大理县农技站 银桥公社农科站 (95)
1981年曲靖地区综合防御水稻冷害试验示范总结	曲靖地区农科所 (98)
1981年武定高桥公社水稻丰产样板总结	楚雄州农科所高桥基点 (99)
绿荫大队预防水稻冷害的研究和实践	昭通地区农科所 文家仁 (104)
1981年防御水稻冷害综合技术措施示范小结	昆明福德农业科技组、省气象科学研究所 (109)

“云南水稻冷害规律及其防御的研究”综合报告

(1979—1981年阶段成果)

云南省水稻冷害科研协作组*

一、云南水稻冷害概况

水稻冷害是一种由低温寡照引起的生理障害,导致结实率及千粒重降低而严重减产。

据《云南天气灾害史料》记载,1455年“四至七月雨水连绵,禾苗冻死,青空无收”;1644年“风雨伤稼,稻谷无收,民大饥”;1736年“禾稻正在扬花,忽遇冷雨,谷多不结实,只有五、六分收”;1815年“八月北风伤稻”;1893年“稻谷扬花之际伤于北风,以致秀而不实,谷粒悉成空秕,收成甚低”。说明我省古代即有水稻冷害发生。

判断某年是否发生冷害及冷害程度,一是根据低温发生情况。二是根据水稻减产程度。而以后者为主。按实际产量和公式计算,我省几个主要一季稻区,解放以来发生严重冷害的年份是:昆明、玉溪、曲靖1965、1971和1974年,昭通1965、1974、1977、1980年,丽江1971、1974、1977年,大理1974、1977年,楚雄1971、1974年,腾冲1965、1974年。可以看出,解放以来范围较大的水稻严重冷害年是1974年,其次是1971、1965和1977年。

我省水稻冷害主要发生在云岭——哀牢山以东海拔1600~2400米的滇中北部一季中稻区,但不同程度受冷害影响的水稻几乎遍布全省。初步估算约有七百万亩,占水稻总面积的二分之一。其中昆明市60万亩,曲靖地区140万亩,大理州104万亩,楚雄州95万亩,均占水稻总面积的80%以上;保山地区60万亩,占水稻总面积的57%;地处滇南的红河州,也有46万亩,占全州水稻面积的三分之一。

水稻冷害造成的当年减产,若与趋势产量相比较,其幅度可达50%以上;若与前一年实际产量相比较,则幅度更大些,如全县水稻平均单产较前一年减产幅度:1974年昭通63.7%,会泽55%,陆良53.5%;1977年祥云35.2%;1980年昭通47%。

二、云南水稻冷害的特点

1. 水稻各生育时期的气候条件

* 此报告由省气象研究所杨维扬同志综合整理。

以昆明为代表,与常受冷害威胁的吉林(怀德为代表)和日本北部(札幌为代表)比较看出:①育秧期:昆明的气温适宜,升温平稳,有害低温少,日照充足,通风舒畅,但空气湿度较小,不利湿润育秧;“倒春寒”造成水秧烂秧。②返青——分蘖期:平均气温昆明低于怀德而高于札幌,5~6月稻田平均水温在21°C以上,有利返青和分蘖,不出现造成延迟型冷害的温度,但迟栽水稻的日照条件较差。③幼穗分化——孕穗期:昆明气温较低,但一般不造成孕穗期冷害,且因生育期长,有利于形成大穗大粒,这是滇中一季稻高产的重要原因之一。④抽穗开花期:昆明较怀德和札幌,气温分别低4度和1度多,日照分别少2.4和0.4小时,8月雨量分别多60和75毫米。因此,低温、寡照、多雨是这一时期的要害。不仅在冷年造成较大减产,在常年也是使水稻空秕增加,孕实不良,产量降低的主要气象因素。⑤灌浆中后期:昆明气温虽较低,但降温平缓,早霜一般要到11月,因而不构成延迟型的成熟障害。

总的看来,除少数地区外,我省一季稻区的气候条件是较好的或很好的,栽培得当,易获高产。不利之处是抽穗开花期前后的低温寡照多雨。这是我省低纬高原的地理特点和山地季风气候所固有的。而这种不利的常年气候特征,可视为冷害发生的一个潜在因子,不会直接导致冷害的发生,而由北半球大范围大气环流异常所形成的持续时间长、强度大的夏季低温,则是造成严重冷害的直接原因。水稻各生育时期,温度的作用效果是不同的。根据昆明资料分析,5~9月各月中,以8月平均最高气温与水稻产量相关最显著($r=0.709$,达极显著值);各旬则以7月下旬至8月下旬的平均最高气温对产量的作用效果最大(15.5/度·亩)。因此,8月是我省一季中稻的关键气候期。平均最高气温的影响大于平均气温,则反映了白天气温及日照强度和时数的作用。

此外,我省气候变化有冷暖周期。据史料及资料统计分析,大致找出昆明地区近500年这个冷周期中的两个准周期,经过迭加划分出昆明近500年中冷期时段,看出冷害多发生在冷期之中,如1963~1977年冷期时段,相继出现了1965、1971和1974年三个严重冷害年,而1937~1953年暖期时段就基本上没有严重冷害年。冷害一定发生在冷年,但冷年不一定都造成冷害。

2. 冷害类型

水稻冷害类型一般是沿用日本的分法,即延迟型、障碍型、混合型和稻瘟病型。按有关文献的解释,延迟型冷害是“在生育期的前期冷温,水稻生育不良,抽穗期比平年甚至延迟10~20天,致使灌浆期进入秋季的低温期,因灌浆不良所造成的冷害”;障碍型冷害是“在水稻的低温敏感期、孕穗期及抽穗开花期,发生短时期的低温,引起育性障碍而减产的冷害”;混合型冷害是延迟型与障碍型叠加为害;稻瘟病型则是冷害加剧稻瘟病而减产。过去认为,我省四种类型都有,而且延迟型冷害较多。我们的近期研究认为,云南水稻冷害主要是抽穗开花期的障碍型,极少延迟型冷害。主要论据是:第一,我省水稻营养生长期间极少发生强度较大的持续低温。第二,我省大面积水稻的抽穗期,年度间虽有早迟,但还没有出现过象吉林和日本那样显著延迟十天以上的情形。第三,水稻灌浆中后期降温缓慢,霜期迟,除丽江,昭通等少数海拔较高地区外,一般不会造成成熟障害,而成熟障害正是延迟型冷害的主要标志。第四,日本的延迟型冷害所造成的水稻千粒重降低,其幅度约为10~30%,而我省水稻千粒重在冷年也很少超过

10%。

稻瘟病型冷害仅局部地区发生，且往往因施肥不当或感病品种造成。

3. 冷害的地域分布——冷害稻区

我省一季稻冷害区按气候条件的不同，可大致分为以下五区：

(1) 滇中一般冷害区：主要包括曲靖、昆明、大理等海拔1850~2000米左右的稻区，面积约300万亩。3~9月积温3800°C左右，5~8月各月平均气温为19~20°C，7~8月雨量350~400毫米，日照300~330小时。本区水稻重冷害约7年一遇（据近20年资料，下同）

(2) 滇中轻冷害区：主要包括玉溪、楚雄、红河等海拔1600~1850米左右的稻区，面积约170万亩。3~9月积温高于4000°C，5~8月各月平均气温为20~21°C，7~8月雨量及日照与(1)区相近。本区热量条件较好，水稻冷害较轻，重冷害约10年一遇。

(3) 滇东北重冷害区：主要包括昭通、会泽等海拔1900~2100米的稻区。3~9月积温为3400°C左右，7~8月雨量(280毫米)少于昆明，日照(370小时)多于昆明。本区特点为两头低温，即育秧期和灌浆中后期的气温较低，如昭通3~6月各月平均气温(9.1~17.4°C)低于丽江，9月气温(16.3°C)仅较丽江高0.3°C，10月(11.9°C)低于丽江1.3°C，稍好之处是7~8月气温与昆明相近。水稻重冷害约4年一遇，轻冷害也较频繁。

(4) 滇中北一般冷害区：主要包括丽江等海拔2200~2400米的稻区。本区特点为全期气温均较低，特别是抽穗开花期的气温是全省最低的，如丽江坝3~9月积温为3400°C左右，3月气温10.4°C，9月16°C，最高的7月为18.1°C，8月仅17.3°C，7~8月雨量(480毫米)多于昆明，日照与昆明相近。本区常年水稻单产较低，重冷害约7年一遇。

(5) 滇西多雨冷害区：主要包括腾冲、龙陵等海拔1600~1900米稻区。本区特点：一是雨多，5~10月总雨量，腾冲为1239毫米，龙陵为1907毫米，分别较昆明(889毫米)多40%及115%，特别是龙陵7~8月的雨量达900毫米。二是日照少，7~9月平均每天日照时数(小时)，腾冲为3.8，龙陵为3.2，分别比昆明(5.5)少1.7及2.3。三是日最高气温不高，日最低气温不太低。因此，阴雨之害大于低温之害。本区水稻常年单产较低，重冷害约10年一遇。

冷害的地域分布与冷空气的路径关系很大。侵入我省的冷空气主要有三条路径：一条是东北路径，自四川盆地进袭滇东北，影响昭通、曲靖、昆明、玉溪(北部)、旁及楚雄东部，如1965年8月下旬；二条是偏东路径，自贵州进袭滇东，影响曲靖、昆明、玉溪、楚雄(东部)。如1971年8月下旬；三条是西北路径，自四川成都地区进袭滇西北，影响丽江、大理，如1977年。

4. 冷害温度指标

按公式计算，结合当地实际情况，抽穗开花期的冷害温度指标(日平均气温)大致是：宜良、路南18~19°C，玉溪、楚雄18°C，昆明17.4°C，曲靖、昭通、大理17°C，鹤庆、剑川、宣威、会泽16.5°C，丽江16°C。

江城县气象站分析得出：晚稻抽穗开花期冷害温度指标，海拔每升100米，在海拔1400米以下地区，冷害指标降 0.2°C 左右；1400~2400米地区降 $0.3\sim 0.7^{\circ}\text{C}$ 。

省农业大学在大田及人工气候箱内，对不同海拔高度的水稻品种开花期低温影响进行的观察表明：（1）高原粳稻海排谷，开花可适应的温湿度范围是较广泛的。但最适宜的穗部温湿度是 $21\sim 22^{\circ}\text{C}$ 和 $50\sim 66\%$ （此时大田中水稻穗部温度比百叶箱内的平均温度高 1.9°C ，湿度低 16% 左右）。日照强弱对开花的影响不明显。（2）不同海拔高度的品种对低温的反应不同。用昼 19.6°C 、夜 13°C 处理8天，丽江粳稻黑选5号开花数比率（处理期间平均每穗每天开花百分率）约为 14% ；开花总率（平均每穗开花数占全穗总小花数的百分率）为 100% ；昆明粳稻滇农1号开花数比率约 7.3% ，开花总率 88.3% ，其中 58.3% 是处理期间开的， 30% 是处理后开的；而低海拔籼稻广二矮，开花数比率约 8.1% ，开花总率为 75% ，其中 65% 是处理期间开的处理后开了 10% 。（3）结实率的差别更大：温室（昼 24.2°C 、夜 14°C ）和人工气候箱（昼 19.6°C 、夜 13°C ，8天）的结实率比，黑选5号为 $100:104$ ，滇农1号为 $100:80$ ，广二矮为 $100:43$ 。

省气象研究所利用海拔2358米的太华山进行低温处理，初步看出：（1）开花期低温影响大于孕穗期。（2）花期冷害温度指标，滇协1号可定为日平均气温 $\leq 17.4^{\circ}\text{C}$ 连续三天，黑选5号应低于 16.4°C 。（3）灌浆初期的低温影响大于灌浆后期。灌浆后期（开花后15天至成熟）在日平均气温 16.4°C 条件下，滇协1号的千粒重仅减少 0.5克 ，黑选5号基本上不受影响。说明我省水稻品种在灌浆后期能适应较低气温，其冷害温度指标低于吉林及日本北部。

三、水稻低温冷害预报方法研究

在原有基础上，对水稻低温冷害关键时期的中期、长期和超长期预报进行了研究，使冷害预报方法程序化。主要的成果有：（1）通过年段周期的划分得出：我省有无水稻冷害年段的自变周期为27年，其中无低温冷害的年段为14年，有低温冷害的年段为13年，并拟定了两个外延的超长期预报经验公式，预报出云南1978~1991年为无低温冷害年，1992~2004年为有低温冷害年。（2）在前期一定时期内的环流和气象要素的特征量与后期7~8月有无强低温的相关关系很好，从而找出了前360~120天以上的长期预报指标。（3）对7~8月500mb和100mb南亚高压活动位相分型后，得出两个预报有无低温冷害年500mb和100mb环流型的中期预报模式。（4）根据西太平洋付热带高压的强弱，12月下旬到1月上旬的强低温以及11月孟加拉湾高压与阿拉伯高压的比较，里海一带西风强弱和北欧高压低等，预报我省8月低温和3~8月积温。（5）（楚雄）建立“多因子有效指数法”、“0.1回归”、以及利用气候背景寻找8月低温出现的自身规律。

此外，对云南水稻冷害的历史考证得出：有无强低温冷害的自变规律，平均为22~24年的年段周期：自1720~1950年的231年已出现10个周期，目前正处于第12周期的无强低温年段（1975~1988年）的第7年。1988年后将转为有强低温年段。

四、水稻冷害的防御措施

针对我省水稻冷害的要害是抽穗开花期的低温，防御措施总的要求应是使水稻早生快发，安全齐穗。所谓安全齐穗，是指水稻齐穗期处在当地发生有害低温的机率较小、因而比较安全的时段。我省各地的安全齐穗期不尽相同，但一般说来，在8月15日以前齐穗是比较安全的。根据近年的试验和示范推广，行之有效的综合措施有以下几项：

1. 薄膜壮秧：

由于育秧技术落后和“倒春寒”的影响，不少地区烂秧严重，成长较差，不能保证秧苗质量、数量和早栽的要求，延迟抽穗，加重冷害。近年用薄膜育秧，解决了早播烂秧问题，促进了早栽，对防御冷害起了较大作用。在此基础上，大理、楚雄州农科所等单位，又对薄膜稀播带蘖壮秧进行了研究。结果表明，在稀播（每亩80~100斤）条件下培育的带蘖壮秧，与常规水秧比较，一是秧苗素质好，氮磷钾含量较高，发根力强，返青快，成长好；二是秧龄弹性大，耐迟栽；三是提早抽穗，一般可提早5~7天；四是穗大、粒多、粒重、空秕少，一般增产一成以上。这样，薄膜带蘖壮秧就特别适用于常受冷害的迟栽麦后稻，使之在迟栽情况下，早生快发，提早抽穗，避过花期低温冷害，在常年带蘖壮秧也以秧田的空间争取了时间，相对弥补了迟栽的不足，早熟增产。因此，对于防御冷害来说，薄膜育秧不仅是增温早播，提供早栽秧苗，更重要的是，在温度已够和湿润育秧条件下，增加湿度，保证稀播，培育带蘖壮秧，提供迟栽秧苗。

薄膜采取平盖，短期（7~10天）复盖，多次利用，可以降低成本。据计算，一亩薄膜使用二年，育秧6批，仅节省的种子，就足以抵偿薄膜成本了。

上述单位还对带蘖壮秧的生理特点、经济性状、移栽期与产量和抽穗期的关系、适宜播种量等进行了研究，为生产应用提供了依据。

资料还表明，我省育秧期的气温不过高，日照充足，对培育带蘖壮秧十分有利。因此，应当充分利用这一特点，大力推广薄膜稀播带蘖壮秧。

对育秧方式的试验看出，在迟栽情况下，早秧有秧龄弹性大、早生快发、提早抽穗的特点，较水秧增产一成左右，但育秧较困难。作为防御迟栽水稻的冷害，值得进一步研究。

2. 适时早栽：

各单位对水稻移栽期的试验研究，进一步肯定了适时早栽对防御冷害、提高产量的重要作用。

大理县农技站水稻移栽期试验，1977~1979年三年平均亩产，立夏1002.7斤，小满927斤，芒种792.5斤，夏至554.7斤。又对该县1970~1980年水稻栽插进度与单产的关系分析看出，水稻迟栽（夏至）面积与单产之间有极显著的负相关（ $r = -0.8593$ ），夏至栽秧面积大于26.7%的三年，单产仅550~571斤，而1978~1979年单产超过700斤，1980~1981年单产超过800斤，夏至栽秧面积减少到10%以下是一个重要原因。

大理州农科所在鹤庆县基点的试验，5月11日较6月13日移栽的增产率为45%（1979年），5月28日较6月27日移栽的增产率为63%（1980年）。

昭通地区农业气象试验站1979年试验，5月9日较6月8日移栽的增产率：云昭4号为141%，反修3号为89.9%，京引134为100.7%。

丽江县农科所1979年试验，5月9日、5月22日及6月9日移栽的亩产（小区）依次为：黑选5号865斤、895斤及470斤，79~19为1025斤、995斤及720斤。

早栽高产，主要是因分蘖多，有效穗多，实粒数多，空秕率低，千粒重高。而早栽稳产，是因早抽穗，有助于避过花期冷害。在早栽情况下，水稻的分蘖、孕穗、抽穗、灌浆各个时期，皆可处于相对的高温时段，这是早栽高产稳产的主要气象原因。

从实际生产看，虽然不可能使全部水稻都在最好的节令移栽，但如在稻麦比例、育秧技术、水利、机械化以及生产责任制等方面加以改进，则早开秧门，早关秧门，把迟栽田减少到最小面积，仍是可以办到的。

3. 合理施肥：

施肥不当，特别是氮化肥施用过量过迟，是加剧水稻冷害的重要原因之一。近年各单位对氮化肥施用方法的研究，进一步明确了以下问题：

（1）我省习惯上普遍采用的追肥法，是在水稻分蘖盛期一次追施氮化肥或农家肥，结果分蘖期延长，无效分蘖增多，抽穗推迟，病害和冷害加重，空秕增加，粒重降低，是影响水稻高产稳产的一大要害。从防御水稻冷害的要求考虑，合理施用氮化肥，能克服上述弊病，使水稻早生快发，群体适宜，增加早期成穗，提高结实率和千粒重，既促高产，又保稳产。

（2）氮化肥全量的三分之二作分蘖肥，三分之一作穗肥及粒肥，效果很好。

（3）氮磷化肥在整田时混施在中层，较之表层追肥有减少流失、肥效稳长的作用。

（4）抽穗前20~25天，根据土质和苗情，每亩用纯氮1~3公斤作穗肥，在抽穗时每亩用纯氮1公斤左右作粒肥，能提高上林率和结实率，防止早衰，增加粒重。

4. 优良品种

通过试验鉴定和生产实践，目前在耐冷、早熟、抗病、丰产等方面表现较好的品种有：

（1）大理州的云梗9号、50~701、7564、7344以及滇榆1号等，其中滇榆1号1981年在大理县6个大队（8个点）验收26.2亩，平均亩产1486.87斤，银桥公社马九邑5队创造了2.32亩平均亩产1671斤的纪录。（2）昆明的云梗9号、217、136、滇协1号等，其中滇协1号能迟栽早熟高产，是较好的麦后稻品种。（3）曲靖地区的8126、6536等，会泽县的7609、7604、7615等。（4）昭通的京引134。（5）丽江的黑选5号、黑选7号、黑系30以及79~19、79~15、79~16等，其中黑选5号增产200斤/亩左右，最高亩产达890斤；79~19也增产约200斤/亩。

在生产上应注意品种的合理搭配，特别是选用适应迟栽、即在迟栽情况下也能在安全齐穗期齐穗的品种，避免品种安排不当造成的冷害。

较好的杂交组合，可供各地进一步选育的材料有：初绵×丽黑、麻线谷×丽黑、科三×永胜小白谷、黑系30×70111×851、黑梗2号×丽黑等。可供作耐冷亲本的有：猛谢早红谷、78~129、华坪矮子乌梢、望丛矮、攀天阁黑谷等。鉴定引进品种可作耐冷亲本的有：轰鸣早生、日中友好2号、吉林无名大粒、镇江农红5号、Leng Kwang等。

此外，水稻品种各生育时期耐冷性的鉴定筛选，也探讨了一些有效方法，如采用早播、迟播、冷灌池、地洞内放置冰块或利用高寒地点等。省农业大学用电解质渗漏法，在幼芽期鉴定水稻品种的耐寒性，据对丽江、大理、昆明、曲靖等地五十个品种测定结果看出，各品种电解质渗漏的相对百分率与其海拔分布和生育期长短有密切关系，各品种的渗漏值呈连续性；根据各品种渗漏值的大小，排列了耐冷性强弱的顺序。

5. 其他措施：

(1) 灌水

移栽后40天内保持浅灌（1寸），较深灌（3.5~5寸）能加大昼夜水温温差 2°C 左右，促进早期分蘖，增加穗数，提早抽穗4天，增产一成以上。（昆明）提高水温 $1.7\sim 2^{\circ}\text{C}$ ，移栽后1~15天及1~45天处理，能提早抽穗2天，增产6.5%及8.3%。可见，在水稻返青——分蘖期的气温或水温较低地区，提高水温对防御冷害、高产稳产是有积极作用的。

(2) 密植

试验结果表明：在早栽情况下，每亩3、4、5万丛的产量差别不大；在晚栽情况下，稀植（3~4万丛/亩）有较密植（5万丛/亩）的分蘖期延长，穗数减少，产量降低的趋势。而目前生产上往往是早栽偏密（影响栽插进度）、晚栽偏稀，有必要加以改进。

五、防御水稻冷害综合措施的示范推广效果

几年来，在各地党政部门领导下，各单位组织了防御水稻冷害的示范推广样板，都取得了较好的效果。现摘述如下：

1. 大理州在全州推广综合措施，水稻产量提高很快：1976年5.6亿斤，1977年4亿斤（严重冷害），1978年5.8亿斤，1979年6.8亿斤，1980年7.1亿斤，1981年7.8亿斤（估产）。

2. 1979年州党委组织北三县（鹤庆、剑川、洱源）13个公社协作，23万亩水稻较1978年增产2081.1万斤（23%），1980年再增7%。

3. 大理县（海拔2000米）1980年组织样板2万亩，平均亩产863.3斤，较对照增产102.1斤/亩、13.79%，1981年组织样板5千亩，其中麦后稻样板1032.5亩，单产954斤，全县水稻单产近年稳步上升：1977年550斤，1978年708斤，1979年773斤，1980年824斤，1981年880斤。

4. 凤仪公社是大理州农科所的基点，3.6万亩水稻，1973年前单产为558~631斤，1978年达到792斤，1979年874斤，1980年950斤，1981年1030斤。

5. 丽江地区农科所在丽江坝区（海拔2400米）组织以良种黑选5号为主的综合措施示范：1980年487.6亩，平均单产430.1斤，对照田单产218.9斤，增产96.5%。1981年4260亩，亩产均在400斤以上，较对照增产一倍左右，其中21亩平均单产750斤。

6. 曲靖地区农业部门1981年组织沾益、会泽、嵩明、陆良四县（海拔1900~2100米）2269亩示范样板，平均亩产960斤，比对照田增产107.3斤（12.5%）。

7.昭通（海拔1950米）地区农科所1981年在绿荫大队示范612亩，验收110亩，平均单产1099.5斤，较对照增产22.2%。

8.楚雄州、县农技部门1981年在武定县高桥公社（海拔1980米）组织2526亩示范样板，平均单产807.91斤，较历史最高年（1980年）增产12.42%。

9.昆明市农科所在矣六公社（海拔1900米）广卫大队建立样板，全大队1277亩水稻的平均单产，1980年817.5斤，1981年903斤。

10.省气象研究所和昆明福德大队科技组在该大队示范300亩，平均单产1001.7斤，较对照田增产18.96%。

云南水稻冷害农业气候规律分析

省气象科学研究所 卞福久

一、冷害的气候成因及关键气候期

1. 气候成因

云南水稻冷害据史料记载已有五、六百年的历史。近一、二十年来又有较严重的阶段性发生,其原因,大致可归结为这一地区独特的地理环境和气候特征,以及大气环流的异常变化。

冷害主要发生在云岭——哀牢山以东海拔1600—2400米的滇中北部一季中稻地区。这一地区属于低纬高原山地季风气候,特点是常年夏季高温不足,多雨寡照,暑后(7月下旬后)北方冷空气频频入侵。在这种气候背景下,代表滇中地区的昆明最热月7月份的平均气温是 19.7°C ,水稻抽穗开花的8月份平均气温是 19.1°C ,有的年份7至8月份时常有日平均气温连续低于 18°C 的情形(资料年限1950—1980年)。据蒸井(日本)在“主要农作物界限气候条件”中规定,水稻生育的北界或海拔上界要求最热月平均气温大于 20°C ;滇中北地区的许多试验也指出,水稻抽穗开花期遇到低于 18°C 的日平均气温,将开始遭受障碍型冷害。因此,这一地区水稻生育在温度敏感的7、8月份,温度是略有不足的。

本地区这种不利的常年气候特征,可视为冷害发生的一个潜在因子,而不会直接导致冷害的发生;由大范围(北半球)大气环流异常所形成的那些持续时间长、强度大的夏季低温,则是造成本区严重冷害的直接原因。如七十年代的几次夏季强冷空气入侵(1971, 72, 74年),都是因北半球径向环流异常加强所致。

2. 关键气候期

在水稻生育的全过程中,各时期温度的作用效果不是均匀一致的。就是说,温度对产量的影响,在某个时段可能很大,在另几个时段又不明显,见表1。温度与产量间相关显著,说明温度的变化对产量影响很大,否则,说明温度条件已满足水稻生育。

表1 昆明各月气温与水稻产量间相关系数(r)

月 份 气温	5	6	7	8	9	5—9
平 均	0.200	0.241	0.055	0.423	0.081	0.390
平 均 最 高	0.068	0.256	0.029	0.709**	0.285	0.404

注:资料年限1962—80年, **表示相关极显著

进而，又将昆明水稻生育期（5—9月）气温以旬为单位分成15个时段，用积分回归模式计算出各时段气温对水稻产量的影响效果。

由平均气温得式（1）：

$$a_t = 4.538 + 0.476\varphi_1 - 0.0247\varphi_2 - 0.0059\varphi_3 + 0.0037\varphi_4 + 0.0055\varphi_5 \cdots \cdots (1)$$

由平均最高气温得式（2）：

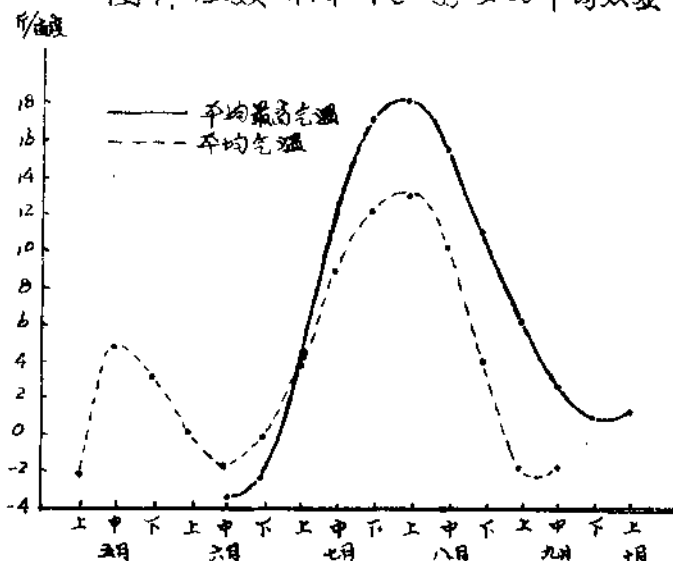
$$a_t = 7.292 - 0.032\varphi_1 - 0.366\varphi_2 - 0.217\varphi_3 + 0.068\varphi_4 - 0.077\varphi_5 \cdots \cdots (2)$$

式中 a_t 为某时段内温度每“升降” 1°C 对产量所产生的平均效果（斤/度·亩）； t 取值1、2、3、4、5……14、15，依次对应5月上、中、下……9月中、下旬。 $\varphi_1 - \varphi_5$ 为 $n=15$ 时的正交多项式表值。将这些数值代入式（1）和（2）便得出 a_t 值，见表2和图1：

表2 各旬温度对产量的作用效果（斤/度·亩）

月旬 气温 t	五			六			七			八			九			十
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
平 均	-2.2	5.1	3.6	0.1	-1.5	-0.2	3.8	8.7	12.5	13.2	10.2	4.1	-1.8	-1.7	/	/
最 高	/	/	/	/	-3.5	-2.4	4.6	12.2	17.0	18.1	15.7	11.2	6.3	2.6	1.1	1.6

图1. 温度“升降” 1°C 时产量的平均效果



通过各月温度与产量间相关系数和积分回归的计算，看出8月份平均最高气温与产量相关达极显著， $r=0.709^{**}$ ，七月下至8月下旬平均最高气温的 a_t 值最大，平均为

15.5斤/度·亩。因此，将8月份或七月下旬到8月下旬为水稻生育的关键气候期，亦即生育期中温度的变化对产量影响最大的时段。

还可以看出，在关键气候期中平均最高气温比平均气温对产量的影响更大：8月份 r 值高出0.286，从7月下旬至8月下旬 at 值平均高出5.5斤/度·亩，这是因为昼间和夜间温度对水稻代谢各自所起的作用是不一样的，而平均气温反映的是昼夜温度的平均状况，就模糊了这种不同的作用。同时，很多研究认为夜间的低温实际上不足使水稻致害，相反昼间温度低对冷害的形成起较大作用；反映昼间温度的最高气温不仅能表示出白昼的气温且在一定程度下蕴含了光因子的作用。图1中，从7月下旬后最高气温的曲线一直明显高于平均气温曲线，表明最高气温反映的光合作用效果，因为最高气温与光照强度和长短密切相关。于是，在高原水稻生育季节高温不足的特点下，就愈发显出最高气温的突出作用。

二、冷害的阶段性与气候冷暖周期的关系

气候上常有冷暖的周期性变化，在冷凉时期冷害往往接二连三地不断出现；在温暖时期就不出现或偶尔出现，这种现象叫作冷害的阶段性与气候冷暖周期的关系。云南水稻冷害明显地具备这个特点。

据史料记载：公元1455、1538、1660、1736、1817、1848、1893年为全省性严重水

表3 冷期出现的周期与时段（年）

冷 期 时 段	世 纪 周 期	双 世 纪 周 期
1445—1460	1455.....	1455
1495—1505	1538	
1533—1560	1648	1648
1640—1665	1660	
1730—1743	1736	
1754—1767	1817	
1796—1820	1848	1848
1832—1860	1893	
1892—1906	1974	
1924—1936	(2050)	(2050)
1954—1977		

稻冷害年。1974年也是继1893年以来最严重的冷害年。再结合昆明1901年——1980年的夏季（6、7、8月）降水资料和1921年——1980年的夏季平均气温资料的周期分析，大致找出昆明地区近500年这个冷期中气候冷暖变化的两个准周期——世纪周期（70、80—100年）和双世纪周期（200年左右）。将此二周期迭加起来，并参照史料中冷害实际发生的记载，试划分出昆明地区近500年中的冷期时段，见表3。

表中，周期栏的年份是史料中记载出现的严重冷害年，1648和1660年是同一冷期中（1640—1665年）的两个冷害年。从表中还可看到，1648至1893年大冷害年最多，说明这二百多年中的气候可能是近五百年冷期中更为冷凉的时期。

由关键气候期的分析，知道了8月份最高温度对水稻产量的作用效果最为明显。下面将昆明近20年（1961—1980年）8月平均最高气温作非平稳时间序列方差分析，提纯出3、8、10年的周期项，见表4和图2，拟合误差为 $\pm 0.19^{\circ}\text{C}$ （据贝塞尔或然误差公

式， $r = 0.6745 \sqrt{\frac{2di^2}{n-k}}$ ）。

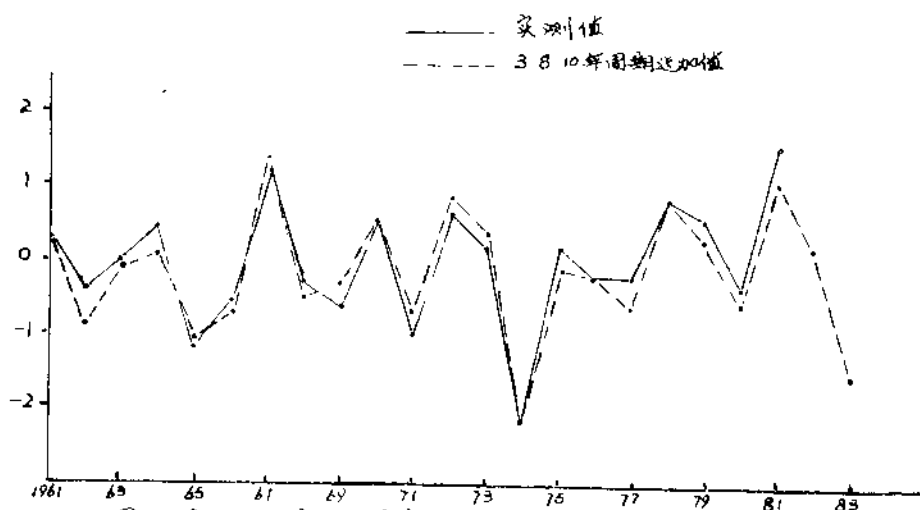


图2. 昆明8月份平均最高气温频率分析线

通过对史料结合实测资料得出世纪和双世纪周期的分析，以及近20年实测资料的分析结果，认为气候的变化确实存在着冷暖周期，而冷害也就多发生在冷期之中。如昆明1963—1977年这个冷期时段，相继出现了65、71、74年三个严重冷害年，而1937—1953年这个暖期时段（表中间断的年代为暖期时段）里就基本上没有出现严重的冷害年。但具体的冷年与冷害年并不是一一对应的，比如在最近冷期中的62、65、66、68、71、74、77、80年都属于冷年，但并不都是冷害年；又如，对于近20年来的气候变化可以说冷年大致有三年一遇的准周期，但不能说成“冷害每三年一次”，就是说，冷害一定发生在冷年，但冷年不一定都能酿成冷害。

表 4

年	拟 合 值	原 减 拟	原 序	(8)	(10)	(8)
1961	0.3	0.0	0.3	0.5	0.3	-0.5
62	-0.9	0.5	-0.4	-1.0	0.2	-0.1
63	-0.1	0.1	0.0	0.4	-0.5	0.0
64	0.1	0.4	0.5	0.5	-0.7	0.3
65	-1.1	-0.1	-1.2	-1.0	-0.5	0.4
66	-0.7	0.1	-0.6	0.4	-0.6	-0.5
67	1.4	-0.2	1.2	0.5	0.9	0.0
68	-0.5	0.2	-0.3	-1.0	0.6	-0.1
69	-0.3	-0.3	-0.6	0.4	-0.2	-0.5
70	0.5	0.1	0.6	0.5	0.1	-0.1
71	-0.7	-0.3	-1.0	-1.0	0.3	0.0
72	0.9	-0.2	0.7	0.4	0.2	0.3
73	0.4	-0.2	0.2	0.5	-0.5	0.4
74	-2.2	0.0	-2.2	-1.0	-0.7	-0.5
75	-0.1	0.3	0.2	0.4	-0.5	0.0
76	-0.2	0.0	-0.2	0.5	-0.6	-0.1
77	-0.6	0.4	-0.2	-1.0	0.9	-0.5
78	0.9	0.0	0.9	0.4	0.6	-0.1
79	0.3	0.3	0.6	0.5	-0.2	0.0
80	-0.6	0.2	-0.4	-1.0	0.1	0.3
81	1.1	0.5	1.6	0.4	0.3	0.4
82	(0.2)			0.5	0.2	-0.5
83	(-1.5)			-1.0	-0.5	0.0

三、冷害的类型与指标

1. 障碍型冷害

云南水稻冷害主要是抽穗开花期的障碍型冷害。这一点可由试验和大面积生产资料的分析得到证实。图3是省气科所农气室1981年对“滇协1号”盆栽定穗定花自然鉴定试验结果。空壳率(y)与日平均气温(x)间呈双曲函数关系,

$$y = \frac{1}{0.0122x - 0.1896} \dots\dots\dots (3)$$

复相关系数 $R = 0.9679$, $F = 74.24$, $F_{0.01} = 16.26$, $F > F_{0.01}$, 相关极显著。由图(3)可直接看出, 当日平均气温 17.6°C 时, 累积空壳率达40%; 若对式(3)求导, 则得到空壳率依温度的变化速度, 为:

$$y' = \frac{-0.0122}{(0.0122x - 0.1896)^2} \dots\dots\dots (4)$$

由式(4), 当日平均气温 x 取值 18°C , 空壳率的增加速度 (y') 为每度14%; x 取值 17.6°C , y' 为每度19%; x 取值 17°C , y' 为每度39%。可见温度降至 17.6°C 以下空壳大增。同时此时的累积空壳率已达40%, 而空壳率超过40%时, 靠增加千粒重已无法补偿产量的损失了。由此, 将 17.6°C 定为该品种花期障碍型冷害临界低温指标。

楚雄州气象局农气组1975年通过对“西南175”抽穗开花期定穗定花大田自然观测, 也得出临界低温指标为 18°C 的类似结果。

用试验说明花期障碍型冷害的实例很多, 不再赘述。下面通过冷害地区水稻历年减产率与低温关系的回归分析, 来确认障碍型冷害的实际发生情况。

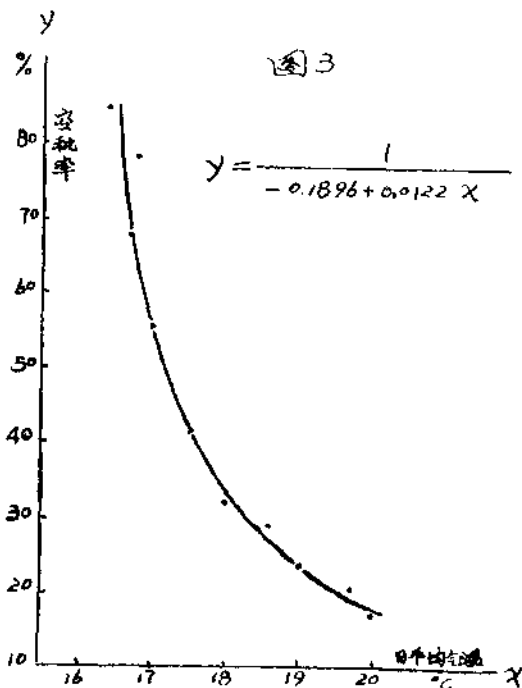
据本文冷害关键气候期中, 提到7月下旬至8月下旬的温度对产量影响最大, 从而将昆明和曲靖地区的十几个县, 20年(1961—1980年)中65、71、74年三个冷害年的减产率与此期间的降温率和降温量, 建立回归关系:

$$y = 2.5 + 2.137x_1 + 1.04x_2 \dots\dots\dots (5)$$

复相关系数 $R = 0.8776$, $F = 56.97$, $F_{0.01} = 5.39$, $F > F_{0.01}$, 相关极显著。式中 y 为减产率, x_1 为降温率, x_2 为降温量, 为计算方便三个因子都取正号(实际应为负号)并去掉%号, 则可分别表示成:

$$y = \frac{\text{气象产量} - \text{趋势产量}}{\text{趋势产量}} \times 100$$

气象产量 = 实际产量 - 趋势产量, 趋势产量由五年滑动平均求得。



$$x_1 = \frac{\text{当年8月平均最高气温} - \text{历年8月平均最高气温}}{\text{历年8月平均最高气温}} \times 100$$

x_2 是7月下旬至8月下旬期间,日平均气温 $\leq$ 临界指标温度连续4天或以上的各日气温减去指标温度值之和,去掉负号。各县的临界指标温度由下式求出:

$$T_i = 26.4 - 0.00484H_i \dots\dots\dots (6)$$

T_i 为某县的障碍型临界低温指标, H_i 为该县的海拔高度。

此式由昆明、沾益、楚雄等八个地点的现有临界温度指标,与该地海拔高度拟合而成。我省是立体气候、立体农业,不同海拔地方的临界温度指标是不一样的,这种变化在一定地域范围内大致与海拔高度成反比例关系。因为在一定地域内温度的变化主要取决于海拔高度,而实际生产中适应于不同临界温度的水稻品种的分布,也恰与海拔高度的变化相一致。所以,用海拔高度不仅反映出温度的变化,同时也能将品种的分布包含进去。由式(6)求得的指标,与实际试验得到的指标一般相差不超过 $\pm 0.3^\circ\text{C}$;此式适用于昆明、玉溪、曲靖、楚雄、大理地区的海拔1650—2000米的地方。

只要将某年8月份的降温率(x_1),降温量(x_2)代入式(5),就可得到减产率(y)。又规定 $y \geq 15\%$ 为严重障碍型冷害年。由式(5)求的减产率与实际情况是吻合的,说明了抽穗开花及其前后历期的低温是造成障碍型冷害的主要因子,其中的 x_1 是花期及其前后共一个月时间里温度的平均状况,表示了低温的持续时间; x_2 是指此期间有无低于临界低温的冷空气直接袭击,表示了低温的强度。严重冷害往往是 x_1 与 x_2 的共同作用下所形成的。如昆明65、71、74年三次严重冷害年中, x_1 分别为5、4、9, x_2 分别为6.5、5.6、14.7 $^\circ\text{C}$ 。而1972年7月下旬有强冷空气袭击,降温量 x_2 达10.2 $^\circ\text{C}$,但 x_1 是3(表明8月份平均温度状况良好);1969年降温率 $x_1 = 8$,但 $x_2 = 0$,结果这两年都没有酿成明显冷害。因此,只有那些持续时间长、强度大的低温才能造成严重冷害。

2. 延迟型冷害

云南一季中稻区的延迟型冷害不太明显,因为,此地水稻成熟期的温度较我国东北和日本为高,基本上不存在低温逼熟和延迟成熟的现象。但是,因营养生长期温度低而延迟抽穗的情况是有的。如据省农科院区试资料,十几个品种的平均抽穗日期,1974年比73年延迟11天,1976年比79年延迟11天。又根据这个资料(从1972—80年)建立发育期公式:

$$y = 700 + 10x' \dots\dots\dots (7)$$

式中: y 是营养生长期(播种至抽穗盛期前40天)的活动积温, x' 是营养生长期的日数。10是营养生长期的生物学下限温度值,700是大于该下限值的有效积温,此二值在式中是常数。

算出某年营养生长期的活动积温 y ,代入式(7),就可知道 x' ,而加上40天就得到从播种至抽穗的日数 x 。

$$x = 0.1y - 30 \dots\dots\dots (8)$$

由式(8)看出 y 值平均每增加10 $^\circ\text{C}$,抽穗日期将延迟1天。因为完成营养生长阶段,需要有一定的温度累积,这就是式(7)的700 $^\circ\text{C}$ 有效积温;当此段时间温度低,