

# 论四川盆地东南部水稻立体气候生态适应性\*

冯达权 彭国照 徐崇浩\*\*

(四川省气象科学研究所)

(重庆市气象局)

## 提 要

本文根据1982—1983年四川盆地东南部7个水稻立体气候生态的分期播种试验的资料和三十多个县的水稻气候考察资料,根据农业气候学和水稻生态学原理,进行了区域总体性和综合性分析。在此工作中,着重揭示了盆地东南部立体气候生态特点,探讨了水稻低产的气象原因,提出了利用农业气候资源改变水稻低产面貌的途径。

四川盆地东南部(以下简称盆东南)地处长江上游,幅员辽阔,地貌复杂,不仅各区域间存在气候差异,而且立体上的气候差异更为明显。过去由于农田基本建设较差,抗灾能力弱,故水稻产量长期较低,这引起了省委领导和各学科专家的重视。因此,探讨该地区水稻立体气候生态的适应性,是改变盆东南水稻低产面貌的重要环节。

## 一、立体气候生态特点和规律

盆东南包括宜宾、泸州、重庆、涪陵、达县、万县等六地市,主要由长江河谷、平行岭谷及盆周山地构成,在全国气候区划中属亚热带季风气候类型。由于地理位置不同,故盆东南光热水资源与盆地中、西部及长江中、下游地区有较大的差异。境内春雨由东向西推迟,因而春旱主要发生于西北部,东南部则较轻。夏旱主要出现在西南、西北部,而东南部较少。伏旱以长江河谷地区的中部最重,而西部较轻。辐射量和日照时数,一般是东北部偏多,西南部偏少。但是,盆东南高差大,导致局部气候差异十分明显。

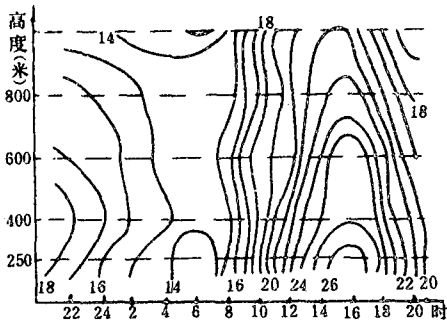
1. 气温随海拔增高而降低,但各层次温度直减率变化的差异很大。据多数考察点资料得知,在海拔200—1400米各层次,平均温度直减率为 $0.5-0.6^{\circ}\text{C}/100\text{米}$ 。但由于盆东南地势起伏很大,从地处长江河谷(海拔250米以下)到丘陵(海拔300—400米)、低山(海拔500米以上)、中山(海拔1500米以上)呈台阶式的过渡变化,各台阶又兼有谷、盆、丘、岭等多种地形,因而形成了不同程度的局地环流,导致气温直减率的变化不均。如达县通江和涪陵武陵山两剖面观测结果(表1)所示,底层的温度直减率为 $0.8-1.05^{\circ}\text{C}/100\text{米}$ ;从山脚向上温度直减

\* 本文于1985年11月5日收到,1986年2月7日收到修改稿。

\*\* 参加本文工作的还有四川省气象科学研究所廖新运同志。

表 1 剖面观测平均气温垂直递减率(单位:  $^{\circ}\text{C}/100\text{米}$ )

綦江 横山剖面	250—400米		400—600米	600—800米	800—1000米	
		0.4	0.4	0.6	0.7	
达县 通江剖面	400—630米	630—832米	832—1172米	1172—1500米		
	0.8	0.35	0.46	0.70		
涪陵 武陵山剖面	200—400米	400—600米	600—800米	800—1000米	1000—1200米	1200—1400米
	1.05	0.20	0.40	0.78	0.58	0.58

图 1 綦江县横山剖面晴天气温( $^{\circ}\text{C}$ )日变化

率为 $0.2-0.4^{\circ}\text{C}/100\text{米}$ , 到800米以上为 $0.5-0.7^{\circ}\text{C}/100\text{米}$ 。

由于长江河谷地形较开阔, 呈东西通道形式, 致使冷空气不易堆积, 加上夜间水域的热效应作用, 故温度降低缓慢。相反, 在远离长江河谷的谷地、山间盆地, 就易有冷空气的堆积, 而形成200—300米厚度的逆温层(图1)。因此, 呈现出从长江河谷到山脚这一层次的气温直减率偏大, 而山脚到半山的直减率偏小, 再向上直减率又逐渐增大, 直到接近大气正常直减率的这种情况。

2. 随着高度上升而降雨量增加, 且降水量与高度的关系基本上呈抛物线型。从达县地区剖面观测资料得出, 401米处年降水量为1089毫米。海拔上升100米, 则年降水量约增

加60毫米。最大降水量出现在1900米左右高度上。以后, 随着高度上升, 雨量反而减小, 在海拔2263米处, 常年降水量为1560毫米, 比海拔1893米处少286毫米。涪陵地区武陵山剖面上, 最大降水量高度出现在1200米左右, 沿江河谷雨量为1075毫米, 而1200米处雨量为1700多毫米。总之, 山上雨量多于山下是确实无疑的。

3. 在一定高度范围内随海拔升高, 云雾增多, 日照时数减少。据在涪陵武陵山的考察, 山下部海拔400米处年日照时数为1245小时, 往上到1200米处为1027小时, 山顶1800米处为784小时。但在逆温层以上地势开阔的低山台地或向阳缓坡, 由于处在低层辐射雾以上, 且又在山区对流凝结高度以下, 日照时数大于低处。从达县、万县地区的日照资料看出(图2), 在海拔400(或500)米到600(或700)米内, 日照时数随高度的增加有增多的趋势。

气候随海拔高度的升高而发生的变化, 引起水稻生育期延长、植株变矮、叶面积减少等生态变化。从表2看出, 海拔每增高100米, 水稻迟熟品种的抽穗期延长3天, 早、中熟品种延长2天; 植株高度下降2—8厘米。功能叶面积在海拔600米以下变化不大, 在600米以上每增高100米则减少4平方厘米。在海拔700—800米以下, 中、迟熟品种的产量较为稳定; 在此高度以上, 早、中熟品种较为稳定。水稻的品质, 则以在海拔500—700米高度的最佳, 其出米率和蛋白质含量也均较平坝、丘陵(以下简称坝丘)地区高(表3)。由于立体气候的差

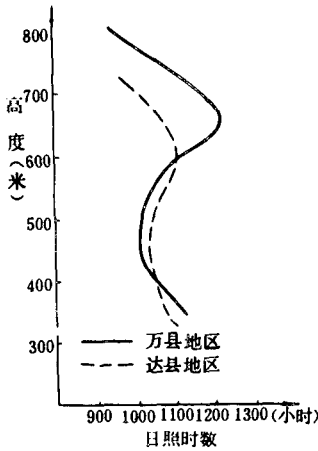


图2 盆东南4—10月日照时数的立体变化

异，稻田的耕作制度也随海拔的增高而从多熟到一熟，由复杂到单一，农耕水平也有下降的趋势。

综上所述，根据盆东南立体气候的变化和水稻生态特点，此地区大体可分为以下三种气候生态类型区。

(1) 浅丘河谷准亚热带气候类型三熟区：从海拔250米以下的河谷过渡到350(或400)米的浅丘，具有亚热带某些气候特征，适宜于稻田三熟制。

(2) 深丘、低山中、北亚热带气候类型二熟区：在海拔350(或400)米至750(或850)米的丘陵、平丘、低山区，具有中、北亚热带的气候特征，光热充足，适宜于稻田二熟制。

(3) 低、中山温带气候类型一熟区：在

表2 宣汉县杂交稻生态特征的立体变化

项目 海拔(米)	株高 (厘米)	功能叶面积 (厘米 <sup>2</sup> /株)	着粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒重 (克)	产量 (千克/亩)	播种至齐穗日 (天)
360	99.9	159.5	192.6	87.3	22.4	532.5	$N = 107.1 + 1.47H$ $\left( \begin{matrix} n = 7 \\ r = 0.9650 \end{matrix} \right)$
400	95.7	155.8	134.2	85.5	25.5	587.0	
500	98.2	147.3	147.9	85.9	25.9	643.0	
600	94.8	145.3	142.8	85.3	26.9	482.0	
700	86.8	133.1	156.1	80.4	26.5	482.5	
800	83.5	146.7	131.1	84.9	25.5	516.5	
900	85.0	129.4	148.3	74.9	24.3	568.0	
1100	79.1	105.9		80.0	25.5	423.5	
1200	75.0	105.4					

表3 低山与坝丘稻米品质比较

项目 地点	谷米	千粒重 (克)	容重 (克/厘米 <sup>3</sup> )	米	出米率 (%)	碎米率 (%)	蛋白质 (%)	淀粉 (%)	脂肪 (%)
横山 H=700米 (低山)	谷粒	24.58	0.592	糙米	76.21	6.76	8.72	78.88	3.02
	米粒	19.91	0.820	上米	71.15	9.02	7.70	81.07	1.52
思郎坝 H=300米 (坝丘)	谷粒	24.13	0.564	糙米	73.70	28.99	8.21	76.66	3.15
	米粒	19.72	0.784	上米	65.62	42.16	6.95	81.09	2.09

750(或850)米到1500米左右的低、中山区, 具有南、中温带的气候特征, 春迟秋早, 适宜于稻田一熟制。

## 二、水稻低产的气象原因

盆东南稻田面积约2300万亩, 常年水稻平均单产比全省平均单产偏低约100千克。倘若盆东南水稻产量能够达到全省的平均水平, 就可以使全省稻谷总产每年增加20多亿千克。诚然, 导致盆东南水稻低产的原因是多方面的, 但是沿江河谷地区的干旱、高温和低、中山区的冷害等, 则是引起低产的重要因素。

### 1. 干旱危害

盆东南在7、8月常受副热带高压的控制, 给抗旱能力弱的农田以较大威胁。在盆东南沿江地区, 历年干旱引起的减产可达水稻平均单产的5—20%, 约1.5—6亿千克。据沿江6县114年次资料统计, 水稻减产共有35年次, 其中因高温伏旱引起的减产为25年次, 约占减产年的三分之二。在高温伏旱中, 有高温无伏旱年占4%, 有伏旱无高温年占32%, 高温伏旱同现年占64%, 可见伏旱是导致水稻大面积减产的主要因素。通过对历年气象与水稻丰歉年的优化时段选择, 发现正值水稻孕穗至抽穗的7月份降水量与增减产的关系十分密切。从表4看出, 水稻产量与7月降水量呈线性关系, 当降水量在110—120毫米时, 降水量每增(减)10毫米, 则水稻产量增(减)1.0—1.6%。另外还发现, 在现有农田条件和栽培情况下, 不同伏旱开始期与受灾减产的程度有很大关系。据114年次资料分析, 伏旱始于7月上旬者, 受灾减产的机率为50%, 而更早或更晚开始的伏旱, 其危害都较轻。这是因为7月上旬开始的伏旱, 使现有条件下的农田中的作物难以避免在关键期受害, 而早期或晚期开始的伏旱对水稻关键期威胁不大, 故减产不明显。因此, 避开7月上旬开始的伏旱, 是盆东南发展杂交中稻夺取高产稳产的关键。对盆东南伏旱立体分布状况的研究结果说明, 中部地区在海拔300米左右处伏旱频率为60%左右, 到500米处仅为20%; 西部和东部地区, 海拔300米以下为10—40%, 到400—500米处就不明显了。

表4 中稻产量增歉百分率和7月降水量的关系

站名	方 程	相 关 系 数	临 界 值	指 标
丰 都	$y = 0.113R - 12.1$	0.7104	$y = 0$	$R_0 = 107$
渠 县	$y = 0.092R - 11.2$	0.8170	$y = 0$	$R_0 = 122$
巴 县	$y = 0.167R - 18.1$	0.7236	$y = 0$	$R_0 = 108$

### 2. 高温危害

四川农业科学院采用人工控温的办法对水稻进行研究得出: 开花期如有35℃ 2小时的高温, 对结实率已开始产生影响; 4小时就能产生明显影响。但对于如何估价自然高温对大田水稻产生的危害, 尚未得出明确的结论。我们通过不同颖花阶段的自然高温强度和持续时间的试验, 得出水稻开花前后15天中, 只要有10天左右日平均气温大于或等于30℃, 就会出现异常空壳(空壳率 $\geq 25\%$ )现象。同时, 利用盆东南历年水稻增、减产与各时段温度的资料

分析得出, 河谷地区在7月中旬至8月中旬平均气温大于 $29.5^{\circ}\text{C}$ , 就会导致水稻大面积减产, 且致害高温分布于海拔300米以下的地区, 受害机率达20—45%, 而海拔较高的地区受害较轻(图3)。

### 3. 低温危害

1980年初秋, 低温来得早, 持续时间长, 盆东南山区稻田普遍减产。如涪陵县坪上(海拔700米左右)于8月中旬初出现了对水稻抽穗开花期的致害低温, 一般水稻减产30—40%。据我们研究得出, 在盆东南低、中山区, 水稻在开花前到开花末期(共约25天), 对低温反应较为敏感, 特别是开花前后6日更敏感。统计发现, 历年水稻产量增、减百分率 $\hat{y}$ 和8月10天滑动平均气温的最低值 $\bar{T}_{min}$ 存在较好的线性关系, 如城口县(海拔750米)的拟合式为:

$$\hat{y} = -129.5 + 5.86\bar{T}_{min} \quad (n = 12, r = 0.75)$$

可见,  $\bar{T}_{min}$ 降低 $1^{\circ}\text{C}$ 约减产6%, 当 $\hat{y} = 0$ 时,  $\bar{T}_{min} = 22^{\circ}\text{C}$ , 这表明大田生产上以10天平均气温 $\leq 22^{\circ}\text{C}$ 作为低温致害指标是适宜的。盆东南低温影响水稻的起始高度(指低温频率 $\geq 10\%$ ), 在东北部和西北部为500米, 东部为600—700米。低温常现高度(指低温频率在50%以上)为900米。

4. 因栽秧季节推迟使气候生态失调而引起的减产。

通过中稻中苗分期播种试验, 如果分蘖期气温在 $23^{\circ}\text{C}$ 以下, 有效穗随温度的升高而增多; 如在 $23^{\circ}\text{C}$ 以上, 则有效穗随温度的升高而减少。由于沿江河谷地区春季气温回升快, 故适栽期短; 山区气温回升虽慢, 但后期易遭低温危害。这种气候生态变化规律, 要求盆东南地区创造条件适时早播、早栽。这样才能趋利避害, 发挥水稻优势。但目前盆东南水稻迟栽面积达30%左右, 导致气候与水稻高产生态条件的不协调。倘若创造早栽条件, 变迟栽为早栽, 那么仅这一项措施就可使水稻产量增加10—20%。

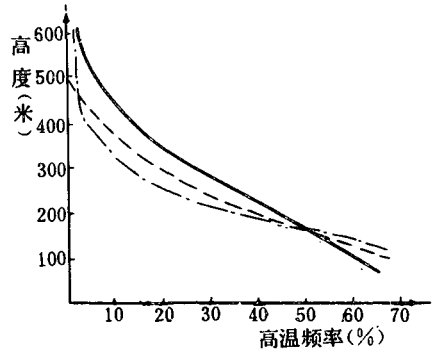


图3 盆东南高温频率垂直分布  
(图中实线代表平行岭谷区, 虚线代表沿江河谷区, 点划线代表华莹山以西区)

## 三、利用立体农业气候资源改变低产面貌的途径

根据盆东南立体气候生态规律和低产原因, 要改变低产面貌, 应采取以下措施:

1. 在浅丘河谷区, 应根据热量充足、季节长的特点, 创造条件发展双季稻。

要发展双季稻, 必须以提高经济效益为目的, 以气候适应性为前提, 以措施的可行性为条件。这些, 必须统一考虑。只有顺应客观规律, 制定可行的技术措施, 才有可能在双季稻生产中取得较好的经济效益; 反之, 只能导致失败。过去, 我省在发展双季稻中出现过几次起伏, 就说明了这一点。

盆东南热量资源丰富, 是发展双季稻的基本条件。考虑到一定经济效益的品种组合和气

候的稳定性,双季稻三熟制需 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在6200—6400 $^{\circ}\text{C}$ ,12—22 $^{\circ}\text{C}$ 积温在4000 $^{\circ}\text{C}$ 以上;而在沿江大部地区 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在6500 $^{\circ}\text{C}$ 以上,12—22 $^{\circ}\text{C}$ 积温为4000—4500 $^{\circ}\text{C}$ ;可见热量足够双季稻正常生长的需要。沿江地区晚稻致害低温的出现频率,在9月5日前为10%,10日前为20%,而用杂交稻品种组合的早稻从播种到晚稻齐穗需160天左右;所以只要把早稻安排在春分前适温下播种,就可以避开低温危害,也可为晚稻灌浆期提供较好的光温条件。还要强调一点,盆东南沿江伏前阴雨寡照天气多,伏期干旱、高温重,这些都不利于中稻高产。倘若改种早稻,生育期提前,使需水的生殖生长期处于多雨的时段,则到伏旱来临时,早稻处于收获期,晚稻处于苗期,不致引起严重的减产。据四川盆地中稻单产与5—6月份日照时数分析,有高产区出现在日照多的盆地西北部和低产区出现在日照少的盆地东南部的趋势。因此,从充分利用农业气候资源和趋利避害的角度出发,在盆东南沿江地区,为了提高稻谷总产量,应走发展双季稻的路子。

近年来,盆东南沿江部分地区,种植双季稻已取得较好的经济效益。一般每亩可以比一季杂交中稻多收150—200千克,个别田块双季杂交稻达700—900千克/亩。这表明,只要积极创造条件,该区发展双季稻的经济效益是显著的。

## 2. 利用“春早优势”,避开高温伏旱,发展杂交中稻,改变低产面貌。

目前,盆东南沿江地区,中稻面积占稻田面积90%以上,每年中稻产量的高低关系着稻谷总产的全局。过去,在中稻生产中常用早、中熟品种当家,以避开高温、伏旱的危害;但因水稻生育期短,致使产量不高、资源浪费大。近年来随着杂交稻的推广,虽产量有明显上升,但曾遭遇高温伏旱之害,使人们难以对该区大面积发展杂交稻作出最后的抉择。对此,在研究盆东南立体气候生态和水稻低产气象原因的基础上,认为以高温伏旱为前提,充分利用早春优势,是可以在该区发展杂交中稻的。其一,目前在大面积生产上,仍以伏旱为主要矛盾,且危害严重。其二,在高温与伏旱同现的减产年间,几乎都是先有伏旱后现高温,只要水稻齐穗期不遇伏旱,则高温仅出现于生长后期,一般不会导致大面积减产。其三,在现有水利条件下,一般稻田在伏旱后约10天左右脱水、龟裂,导致受害。若取7月10日前齐穗,则伏旱的机率为8%,15日前为20%,20日前为30%,25日前为40%。因此,只要把齐穗期安排在7月15—20日前,则有70—80%的机率不遇伏旱,其减产的机率在15%以下。其四,盆东南沿江地区春早的优势明显,稳定通过12 $^{\circ}\text{C}$ 的日期在春分前。若按此早播种,可在7月15—20日前齐穗,能够避开高温伏旱的危害。

## 3. 逐步减少稻田小麦面积,以利发挥大小春作物的优势。

盆东南大春季节热量资源占全年的74—76%,降水量资源占全年的85—89%,光能资源占全年的73—79%。这种气候资源的分配,反映了农业生产以大春为主的客观规律。以大春为主不是忽视小春生产,而是要在大小春季节发生矛盾时,从全局生产出发处理好这种矛盾。盆东南稻田的小麦面积约占70%,由于小麦面积大,其生育期长,使水稻迟栽面积增多,也就增大了后期遭遇伏旱的可能性,限制了中、迟熟稻种优势的发挥。另外,小麦迟收,稻田不能留蓄降水,对春雨早、春雨多的优势不能充分利用,到收麦时不仅降水利用率低,而且增多了水稻等雨迟栽的机率。秋雨多、冬温高、春早春雨多、初夏升温快的特点,使小麦在生长前期易遭湿害、赤霉病,后期易遭高温逼熟,引起产量不高,品质变劣。因此,应当适当减少小麦面积,扩大油菜、大麦、榨菜、绿肥等偏早熟、适应性强的作物面积。这样可兼

广大。小春作物，使之各自发挥优势，获取全面高产。

#### 4. 充分发挥坪丘低山的气候生态优势，逐步形成高产优质的中、小型稻米基地。

盆东南海拔400—800米的丘陵、台地和低山，降水量比低坝、河谷多，又有明显的高温伏旱，是一季中稻生产的适生区；加之水稻生育期较低坝长，截获的光能增多，因而生产潜力很大。特别是在海拔500—700米的向阳台阶稻田，具有温度适宜、光照充足、昼夜温差大的特点；尤其在8月水稻进入灌浆期时，该地处于副热带高压控制下，白天晴朗，夜间凉爽，极利于干物质的积累和蛋白质含量的提高。据稻米性状营养成分比较，低山比坝丘同一品种的出米率高3.4—8.4%，蛋白质含量高6.2—10.7%。过去，盆东南的綦江横山、永川黄瓜山、宣汉桃花山等地，曾被封建王朝列为贡米产地，说明这里的气候生态有利于优质稻米的生产。因此，充分发挥坪丘低山稻田的气候生态优势，改善生产条件，逐步形成优质高产的中小型稻米生产基地，是山区致富的一条途径。

5. 低、中山区应以适应冷凉气候和避开关键期的低温为前提，选择抗寒、早熟、丰产的稻种，改进栽培技术。

低、中山区稻田气候冷凉，适宜于水稻安全生长的季节短，品种组合与栽培技术的适应性差，这是水稻低产的主要原因。据我们研究，在海拔800—1200米处的稻田，选择和引进云贵高原或北方的品种，具有较好的适应性，也使有限的热量资源得到充分的利用，能够把早熟、抗寒、丰产的优良特性集中起来。这是因为高原和北方品种均以粳型稻为主，具有较强的抗寒性，而盆东南山区稻田与北方、云贵高原的某些稻区的气候相似，所以引种也易获得成功。另一方面，北稻南移或山区引进高原品种，因光长和热量条件的变更，生育期有缩短的趋势，这对避开低温冷害有利。

低、中山区水稻在减数分裂到抽穗开花期往往易遭夏季低温的危害。采取保温育秧，把这一时期安排在温度比较高的7月下旬到8月上旬，也是确保稳产高产的重要环节。此外，改进栽培技术，采取加大本田栽插密度等生产措施，也是这一地区形成高产群体结构的重要手段。

### 参 考 文 献

- [1] 毛政旦，气候考察，气象出版社，1982年。
- [2] 卢蓟义次著，吴尧翻译，作物光合作用与生态，上海科技出版社，1982年。
- [3] 上海师范大学生物系等编，水稻栽培生理，上海人民出版社，1978年。
- [4] 冯达权，盆东南农业气候规律分析及初步区划，资源开发与保护，第1卷第2期，1985年。
- [5] 冯达权，从农业气象角度探讨发挥盆东南水稻优势的途径，大自然探索，No. 1, 1983年。
- [6] 龙斯玉，气候生产力模式，农业气象，No. 3, 1980年。
- [7] 张养才，长江中、下游地区双季稻高产的农业气象问题研究，气象科学技术集刊，No. 3, 1983年。

# ON THE ADAPTABILITY OF STEREOSCOPIC CLIMATIC ECOLOGY OF RICE IN THE SOUTHEAST OF SICHUAN BASIN

Feng Daquan Peng Guozhao

*(Institute of Meteorological Science of Sichuan Province)*

Xu Chonghao

*(Chongqing Meteorological Bureau)*

## Abstract

During 1982 to 1984, we investigated climatic ecology and products of rice for more than thirty counties in Sichuan Province, and carried out seven experiments of sowing in different periods about rice stereoscopic climatic ecology at different altitude in the southeast of Sichuan Basin. This paper shows the characteristics of the stereoscopic climatic ecology in this region, studies the meteorological reason for lower yield of rice, and proposes the best way for fully utilizing the agroclimatic resource to get high yield of rice in the southeast of Sichuan Basin.