

1982年全国气象

学术会议论文

江西省吉安地区

早稻单产年际变化原因的分析与模拟

苏永清

中国科学院自然资源综合考察委员会

一九八二年八月一日 北京

吉安地区

早稻单产年际变化原因的分析与模拟*

苏永清

(中国科学院自然资源综合考察委员会)

一、前言

吉安地区位于江西省中部(114°01'~115°56'E; 26°09'~27°58'N), 属于中亚热带湿润气候区。多年来, 双季稻早稻是本区的主要栽培作物。解放初期的1952年, 这里的早稻面积只占耕地面积的33%, 占水田面积的36%, 总产量只占粮食总产量的34%。近三十年来, 面积不断扩大, 产量不断提高, 1981年, 早稻播种面积已达800多万亩, 占耕地面积72%, 占水田面积80%, 总产量占粮食总产量的58%。但就单产而言, 年际变化较大, 高的年份亩产达500斤左右, 低的年份只有200多斤, 高低相差一半以上。

为了建设高产稳产田, 给国家提供更多的商品粮, 研究分析早稻单产年际变化的原因, 从农业气象角度, 找出影响早稻产量的主要不利气候因素, 确定影响早稻高产的农业气候受害指标, 为农业生产部

* 本文承中国科学院综考会侯光良、蒋世逵、白延铎同志审阅, 谨此致谢!

门提供一定的科学依据，是一项重要的任务。

当然，影响作物产量的因素很多，产量的高低，除了受自然条件、土壤性质、肥力水平、农业技术措施等因素影响外，气候条件也是不可忽略的重要因素，它的优劣对作物产量影响很大。因此，摸清气候因子对产量的影响，并用产量与影响产量的气候因子模拟表达式，一般来说是比较适宜的，并能得到较好的模拟效果。

二、研究方法及资料

作物产量与气候因素的关系十分密切，古代一些史料上曾有一些记载气象灾害（如旱、涝、低温、风、霜冻等）对产量影响的事实。多年来，国内外也曾有很多人将气候因素与产量的关系进行过探讨。起初，人们只是从现象上进行定性描述，后来逐步发展为用单因子对产量进行模拟。随着科研手段的提高，目前已发展到几个气候因子以及作物整个环境因子（土壤、气候等），甚至包括农业技术措施在内的所有生态系统的定量研究。例如，苏联农业气象学者曾经用苏联 N 个州（ $j = 1, 2, \dots, N$ ） t 年（ $t = 1, 2, \dots, n$ ）的产量资料（ Y_t ）和天气与农业技术因子的资料（ $X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj}$ ），则逐年建立 N 个州的回归方程：

$$Y_t = f_t (X_{1t}, X_{2t}, \dots, X_{mt})$$

这样，便可得出 N 个州的产量与天气及农业技术因子的回归方程^[1]。

在我国，王馥棠、高士秀等同志，也曾用不同的方法对产量与气候因

素的关系进行过数学模拟^{[4][5]}。

一般情况下，可把气候因素对产量的影响分为：

实际产量 (Y) = 趋势产量 (Y_E) + 气候产量 (Y_W) + 随机误差 (Y_D)

当研究作物产量与气候因子的关系时，~~机~~机误差项 (Y_D) 一般忽略不计。

本文在早稻单产年际变化分析中，将早稻实际单产分为两部份之和。即

$$Y = Y_E + Y_W \dots\dots\dots (1)$$

其中： $Y_W = \hat{Y}_W + \Delta Y_W \dots\dots\dots (2)$

(1) 式中的第一部份 (Y_E)，指早稻实际单产趋势值 (下面简称趋势产量)，当气候因素处于常年平均状态时，由土壤性质、肥力水平、农业技术措施等因素而决定。但是，随着农业生产水平的不断提高，趋势产量 (Y_E) 一般随时间的推移呈增长趋势。这里需要指出，开头一年的数值，由于生产水平不明显，只表征土壤肥力与类型的基本参量值。

(1) 式中的第二部份 (Y_W)，指早稻实际单产 (Y) 与趋势产量 (Y_E) 的偏差 (下面简称气候产量)，它是由气候因素 (X_i) 偏离常年平均值的状况下而产生的。

$\hat{Y}_W$ —— 指气候产量 (Y_W) 的偏差估计值。

ΔY_W —— 指气候产量 (Y_W) 与气候产量偏差估计值 ($\hat{Y}_W$) 的差值。

$$\text{即: } \Delta Y_w = Y_w - \hat{Y}_w$$

经过调查, 并根据(1)式, 我们分析了吉安地区几种主要灾害性气候因素对早稻产量的影响, 并建立了四元一次回归方程式。在统计分析中, 早稻产量资料选用地区计委统计局的年报数字(1960~1980年), 其中70年产量不确未予考虑, 共计20个样品, 气候资料采用地区气象局1960~1980年历年气象资料。

三、影响早稻产量气候因素的分析

为了获得早稻产量随时间增长的趋势值, 我们将20年的历年早稻亩产数据点绘在图纸上(如图1), 并根据早稻历年单产的分布趋势, 采用一元一次直线回归方程, 做出它们的趋势产量(Y_E), 其趋势产量的方程为:

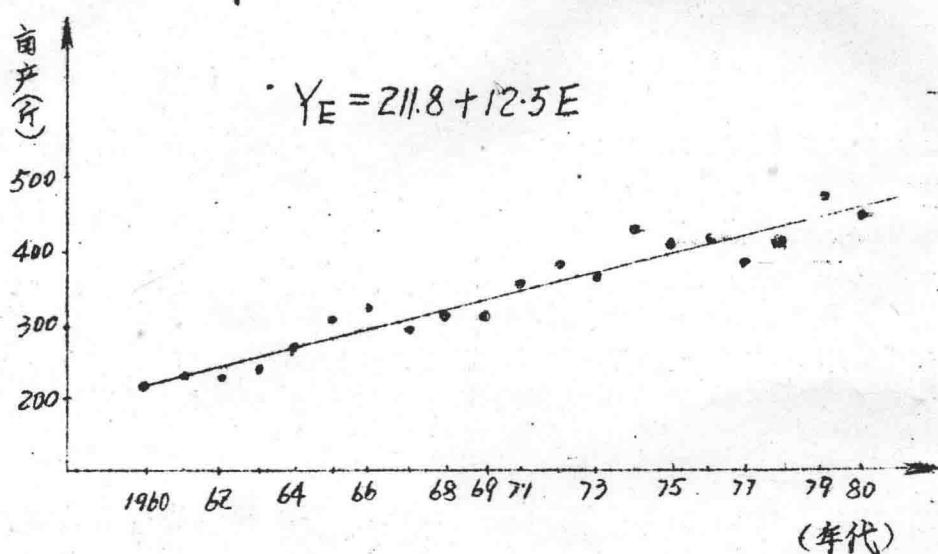


图1 吉安地区早稻趋势产量直线模拟

$$Y_E = 211.8 + 12.5 E \quad \dots \dots (2)$$

方程(2)中, 当60年时, E 取1; 当61年时, E 取2; 以此类推 $\dots \dots$; 80年时, E 取20。

这样的处理结果, 主要把早稻单产的年际变化分解为两个组成部分:

一是由于土壤性质、肥力水平、农业技术措施的不断改进, 使早稻的单产如图1中 Y_E 那样, 呈线性增长的趋势, 从而得到随时间序列增长的趋势产量(Y_E), 其每年增长率为12.5斤/亩。

二是由于气候因素偏离常年平均值所引起的早稻气候产量(Y_w)。

这里需要指出: 由于一个地区的气候总不会常年不变, 各种气候要素总是时刻不停地变化着, 这些要素的变化, 当适宜作物生长发育时, 作物会得到良好地生长, 并能获得较高的产量。反之, 对作物生长不利, 或者发生不同程度的灾害, 导致减产。因此, 早稻单产不可能按趋势产量呈直线上升的增长趋势, 必然会出现偏离趋势产量值的偏差。这些偏差值的产生, 就是由一些不利的气候因素造成的。

影响早稻单产年际变化的气候因素很多, 据调查了解, 引起吉安地区早稻实际单产(Y)与趋势产量(Y_E)偏差的气候产量(Y_w)的气候因子主要有:

X_1 : 早稻播种期与分蘖期的低温。当地农民将播种期低温一般称春分寒, 分蘖期低温一般叫做小满寒。吉安地区早稻大部份在3月

中旬末或3月下旬进行播种，此期若连续低温阴雨，会使早稻播种后发生烂种烂秧。据本区气象资料记载^[1]，1976年早稻春播期间，全区低温阴雨时间较长，同时有的地方还下了冰粒或雨雪，致使全区早稻严重烂种烂秧五千二百多万斤，随后很多地方进行重播，推迟了早稻的正常播种期，导致早稻生长发育受到很大影响。

另外，温度对早稻分蘖影响也很大，据有关单位试验^[6]（图2），早稻在移植至分蘖期间，日平均气温在 24°C 以上，分蘖需11~12天，低于 21°C 则需25天以上，温度愈低所需时间愈长。同时温度的高低还直接影响分蘖的数量。有些资料分析认为，日平均气温在 20°C 以下，不利于早稻分蘖；在 $21^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 时，早稻可以正常分蘖；在 $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 时，分蘖迅速增加，茎、叶生长快，容易

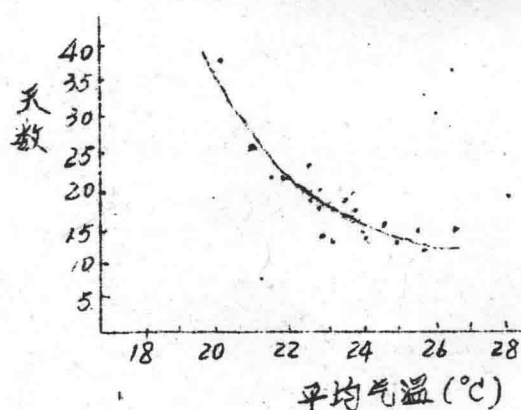


图2 日平均气温与早稻分蘖所需天数的关系

造成早期荫蔽，成穗率减少的现象。

通过调查分析，我们采用吉安地区早稻播种期连续5天日平均气温 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ 的春分寒指标来衡量温度对播种期的影响，同时采用连续3天日平均气温 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ 的小满寒指标来衡量热量对早稻分蘖的影响。进一步分析，我们认为，若分蘖期虽然 ≥ 3 天出现日平均气温 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ ，但其中有一天日平均气温 $\leq 18^{\circ}\text{C}$ ， $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 时对早稻分蘖有轻度影响；若分蘖期出现3天以上日平均气温 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ ，但其中有一天日平均气温 $< 15^{\circ}\text{C}$ 时，对早稻分蘖有严重影响。

X₂：洪涝。水分是水稻生长发育不可缺少的条件。但是过多的降水，不仅不利于早稻生长发育，而且会淹没植株，冲垮稻田。对吉安地区来说，早稻整个生育期大部份处在4月下旬到7月中旬期间，该期降水量的多少对早稻生长影响很大，据表1统计，该期有95%的年份降水量占多年平均降水量的30%以上，其中有些年份降水量占多年平均降水量的60%左右（多年平均降水量为1437毫米）。而该期蒸发量只有400毫米左右，降水量大于蒸发量。因此，过多的降水常常会引起水灾，如吉安地区永丰县，1962年该期连续3天大暴雨，山洪暴发，洪水泛滥，产生内涝，使永丰县17万亩早、中稻被淹。新干、吉水等县该期也同样受灾，大片稻田被冲垮，损失很大。

江西省气象科研所付克俊同志曾经分析认为^[7]，吉安地区太和县，

表1 早稻生育期降水量占多年平均降水量的百分率

年 份	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
1/4~1/2 降水量	520.7	559.5	941.4	449.7	548.1	450.3	628.9	563.0	904.6	618.5
占多年降水量%	36	39	65	31	38	31	44	39	63	43
年 份	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
1/4~1/2 降水量	596.8	448.2	631.7	496.1	648.2	686.4	810.9	345.7	468.5	694.5
占多年降水量%	42	31	44	35	43	48	56	24	33	48

早稻返青与分蘖期的耗水量分别为66.0与105.0毫米，拔节孕穗期与抽穗扬花期的耗水量分别为108.0与49.6毫米，乳熟期耗水量为177.0毫米，成熟期耗水量为30.0毫米。从早稻整个生育期需水量看，每亩早稻需水量约300立方，相当于450毫米的降水量。从每年降水量看，绝大多数年份均能满足早稻生长发育的需要，但是，也有极少数年份，该期降水量偏少，对早稻生长发育不利。

根据早稻整个生育期对水分的需要，我们认为该期450~500毫米的降水量适合早稻生长发育，500~700毫米的降水量对早稻生长发育不利，700毫米以上的降水量对早稻生长发育会产生严重影响；反之，该期降水量少于450毫米时，常常满足不了早稻生长发育的需要。

X₃：干旱。4~6月雨季结束以后，接着进入高温少雨季节，

其原因是入伏以后受灼热的付热带高压控制，除山区局部有些地方性降雨外，各地降雨量普遍减少，气温升高，湿度下降，蒸发量突增，因而常常发生旱灾。如1963年永丰县大旱，造成水库干枯，河水断流，水稻受旱面积达29万余亩。1972年、1978年干旱也十分严重，尤其1978年，据本区吉水县气象资料记载^[1]，自6月24日至7月15日基本无雨，全县早稻受旱面积达30多万亩。统计全区水稻及其它旱作物受旱总面积为356万亩左右，基本无收的有109万亩，分别占全区总耕地面积的60.6%和18.6%。

综上所述，我们不仅分析了早稻整个生育期的降水量，而且还分析了生育关键期的降水量，如表2看出，早稻进入灌浆成熟期时，1963、1972及1978年降雨量都很少，除了1972年6月中旬降水量略多于多年平均值外，其余各年该期旬降水量都比常年偏少几十毫米，这时正是早稻灌浆成熟期，干旱少雨，对水稻危害十

表2 早稻灌浆成熟期的旬降水量

年 份	旬 降 水 量			与 多 年 平 均 值 偏 差		
	6月中旬	6月下旬	7月上旬	6月中旬	6月下旬	7月上旬
1963	25.1	47.4	1.2	-61.8	-24.6	-58.4
1972	106.7	17.5	0.0	19.8	-54.5	-59.6
1978	47.4	22.2	0.0	-39.8	-49.5	-59.6

分严重，籽粒灌浆不足，茎叶因旱而枯死，空秕率增多，千粒重降低，严重影响产量。

通过调查，并结合资料对早稻生育期及需水关键期降水量的分析，若灌浆期干旱少雨，并且整个生育期降水量在400~450毫米之间，对早稻单产有轻度影响；灌浆期少雨，生育期降水量在400毫米以下，对产量影响就更大。

X₄：高温逼熟。水稻虽是喜温作物，但是过高的温度也会影响正常生长，每年6月中旬至7月中旬，当日平均气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ ，日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ ，14时相对湿度在50%以下时，早稻灌浆成熟受到影响。这时由于高温，日照强，蒸发量大，水稻植株间蒸腾加剧，水分失调，茎叶枯萎，致使稻谷秕，空壳多，导致减产。

根据吉安地区20年来出现高温逼熟日数统计（表3），高温逼

表3 吉安地区各旬高温逼熟日数

时 段	6月中旬	6月下旬	7月上旬	7月中旬	合计
出现日数	3	3	28	63	97
占总天数的%	3	3	29	65	100

熟日数大部份出现在7月中旬，约占总天数的65%，也有少部份出现在7月上旬。分析历年出现的天数（表略），多的年份高达15天，

这种高温低湿的天气对早稻也有一定的影响。

在分析计算中，我们选取出现最多天数的7月中旬来衡量对早稻的影响，并以高温日数 ≤ 4 天或 > 4 天作为区分对早稻后期有无影响的指标。

四、气候因子与产量的数学模拟和讨论

综合上述分析结果，影响早稻实际单产(Y)对趋势产量(Y_E)的偏差(Y_W)的气候因子有：播种及分蘖期的低温(X_1)、洪涝(X_2)、干旱(X_3)以及后期高温(X_4)。并根据危害程度，将对早稻有影响的气候因子(X_i)进行轻重不同的数量等级指标划分(如表4)。

接着，我们采用对早稻整个生育期有影响的气候因子 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 的数量等级与气候产量(Y_W)进行回归计算，建立四元一次回归方程式为： $\hat{Y}_W = 30.2 - 6.4X_1 - 24.7X_2 - 28.8X_3 - 5.4X_4 \dots\dots (4)$

由方程式(4)看出：

X_1 ：若播种期出现 ≥ 5 天低于 10°C 的低温，或分蘖期出现 ≥ 3 天日平均气温 $\leq 20^\circ\text{C}$ ，其中一天日平均气温值在 $15^\circ\text{C} \sim 18^\circ\text{C}$ 之间，可使早稻亩产减少6.4斤；若出现的低温符合表4中的2级指标，可使早稻每亩减产12.8斤。

X_2 ：早稻生育期(下/4~中/7旬)的洪涝。发生1级涝灾，每亩早稻可减产24.7斤；发生2级涝灾，每亩早稻可减产49.4斤。

X_3 ：发生表4中的1级干旱，每亩早稻可减产28.8斤；若发

表4 影响早稻产量的气候因子 (X_i) 及其数量等级

气候因子 符 号	灾害性质	气候因子的数量等级指标及其说明
X_1	播种期 或分蘖期 低 温	0级：指早稻播种期或分蘖期无低温影响。 1级：指播种期出现≥ 5天以上$\leq 10^\circ\text{C}$的低温，或分蘖期≥ 3天日平均气温$\leq 20^\circ\text{C}$，其中一天日平均气温$\leq 18^\circ\text{C}$，$\geq 15^\circ\text{C}$。 2级：分蘖期出现≥ 3天日平均气温$\leq 20^\circ\text{C}$，其中一天日平均气温值在15°C以下。
X_2	洪 涝	0级：生育期降水量在450~500毫米之间。 1级：生育期降水量在500~700毫米之间。 2级：生育期降水量在700毫米以上。
X_3	干 旱	0级：生育期降水量在450~500毫米之间。 1级：生育期降水量在400~450毫米之间，灌浆期干旱。 2级：生育期降水量< 400毫米，灌浆期干旱。
X_4	高温逼熟	0级：7月中旬高温逼熟日数≤ 4天。 1级：7月中旬高温逼熟日数> 4天。

生2级干旱，每亩早稻可减产57.6斤。

X_4 ：高温逼熟。7月中旬高温逼熟日数 ≤ 4 天，对产量无有影响；反之，若高温逼熟日数 > 4 天，早稻每亩可减产5.4斤。

另外，采用方程式(4)，并根据历年出现的灾害性气候因子(X_i)的数量等级指标，就可以求出早稻单产估计值($\hat{Y}$)，

$$\text{即 } \hat{Y} = Y_E + \hat{Y}_W$$

计算结果表明(见附表1)，早稻实际单产与计算单产相差很小，共20个样品中，有17个样品的相对误差在6%以下，占总样品数的85%；其中相对误差在4%以下的占总样品数的70%。这就说明，播种期或分蘖期低温、洪涝、干旱、以及灌浆成熟期的高温逼熟与早稻单产关系是很密切的(图3)。

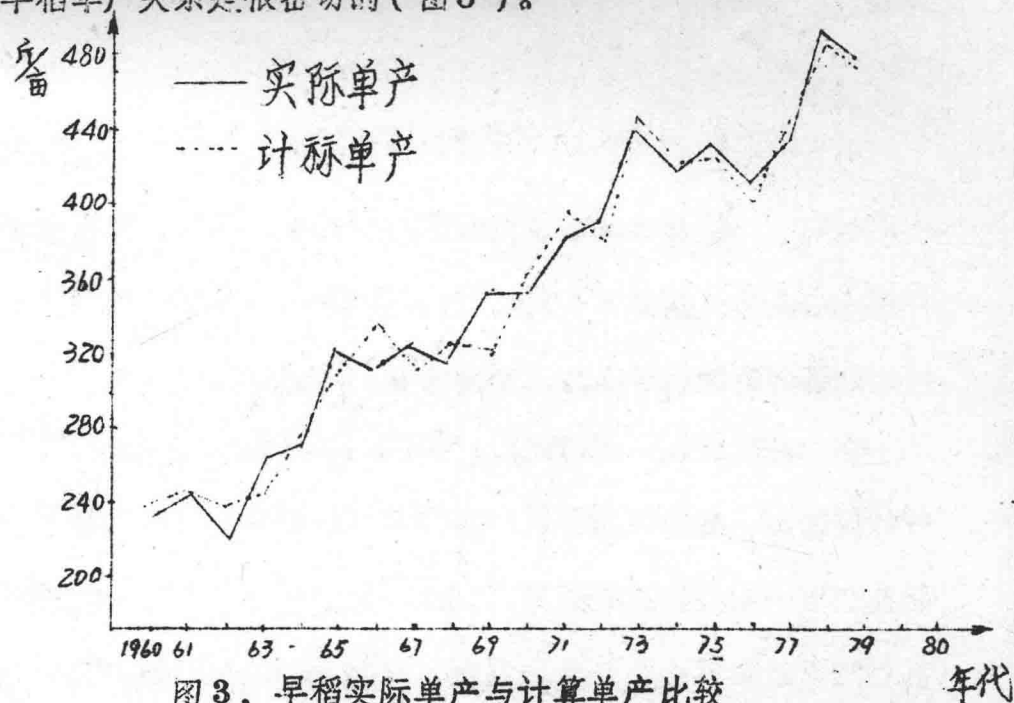


图3. 早稻实际单产与计算单产比较

五、几点建设

1. 抓“冷尾暖头”，及时播种。早稻播种期的天气特点是：时冷时暖，冷暖交替。掌握天气变化的特点，抓住“冷尾暖头”，抢晴天及时播种，就可以充分利用两次冷空气之间的晴暖天气播种，防止烂种烂秧。

2. 充分利用水温比气温高的特点，采用日排夜灌的方法，防止低温的危害。例如上海、南京郊区的农民，在早稻播种育秧期低温来临时，每天于傍晚、半夜和次日凌晨，三次灌水，白天再排水，克服了低温对秧苗的危害，防止了烂秧。江苏建湖县气象站在冷空气入侵期间，进行河水、渠水、秧田水的温度观测，三次观测平均，河水温度比当时气温高 7.0°C 。因此，灌水提温，是避免秧苗受冻的一种好方法。

3. 近年来，不少地方采用塑料薄膜作覆盖物，或以其它有机肥料作为覆盖物，也是提高温度的好方法。例如，早稻在育秧期间，可以在苗床上洒上一些草木灰或腐烂的有机肥料，这样可以增加土壤表面对太阳幅射热的吸收能力，提高土温，防止烂秧。

4. 疏浚河道，及时排涝。实现水利河网化，是抗旱排涝行之有效的好措施。每年汛期期间，降雨较多，雨量集中，而早稻大部份时间处在这一时期内生长发育，因此，既要保证早稻生长足够的水分，并要防止过多降水而产生的洪涝，以免大水冲垮田块，淹没秧田。

5. 掌握早稻需水关键期干旱。从早稻整个生长发育过程看，水分对移栽期和灌浆期特别重要，尤其注意的是后期灌浆乳熟阶段，如果干旱，应抓住时机及时灌溉，充分满足早稻灌浆期对水分的需要，这样可使稻谷籽粒饱满，千粒重增加，达到增产增收的目的。

6. 防止高温危害的措施是搞好水浆管理，防止过早脱水，遇上高温天气时要灌水调温。此外，合理调整播种期，尽量避免早稻在灌浆成熟时与高温天气相遇。

总之，认清几种不利气候因素对早稻的影响，采取积极措施，避免和克服不利气候因素，战胜灾害性天气，做到因地制宜和因时制宜，就能夺取早稻的稳产高产。

主要参考文献

- [1] 刘树泽, 苏联农业气象产量预报方法的研究, 农业科技, 1981, 附刊(一)。
- [2] PITTER, R. L. ,
AGRICULTURAL METEOROLOGY, 18 (1977):
115—131;
- [3] Thompson, L. M. , 1975. Weather
variability, Climatic Change, and grain
Production. Science, 188: 535~541.
- [4] 王馥棠, 产量预报方法研究(二)——气象产量, 农业气象科学
1981年第1期。
- [5] 高士秀, 作物产量农业气象预报方法的研究, 农业气象, 1980
年第4期。
- [6] 邓善来、吴全衍等编著, 农业气象知识, 科学出版社 1981年。
- [7] 付克俊, 太和县双季稻气候条件分析1981.10 (油印本)。
- [8] 侯光良、苏永清, 伊春市作物单产年际变化与气候因子关系
自然资源1981年第2期。
- [9] 侯光良、苏永清、桃源县小麦和气候因子关系的分析,《气象》
1979年第12期。
- [10] 江西气象科技 1982年第2期。
- [11] 江西吉安地区各县农业气象手册。