

# 赣东北地区典型年份田间水量平衡分析

## 1. 余江县典型干旱年稻田水量平衡

谭清美 张佳宝 王明珠 赵春生

(中国科学院南京土壤研究所)

### 摘 要

本文通过对余江县多年干旱天数和降水系列的统计分析,选择1974年和1978年等为典型干旱年份。通过对典型干旱年份降水过程与稻田需水过程的比较分析,得出:为保证在连续干旱50—70天时作物能正常生长,每公顷稻田需灌水11210米<sup>3</sup>,全县稻田需灌水 $2.26 \times 10^8$ 米<sup>3</sup>;为满足  $P=95\%$  的抗旱设计保证率,每公顷稻田需灌水10678米<sup>3</sup>,全县稻田需灌水 $2.15 \times 10^8$ 米<sup>3</sup>。提出了稻田节水研究的几个方面。

余江县地处亚热带湿润季风气候区,降水量充沛,多年平均降水量1735毫米,最大达2543毫米,最小980.7毫米。但是,降水量的时间分布很不均匀,4—6月降水量多年平均819.13毫米,占全年降水量多年平均的47.2%;7—9月降水量多年平均333.63毫米,仅占全年降水量多年平均的19.2%。因此,季节性干旱现象频繁发生。

余江县有农田25151.8公顷,其中稻田20169公顷,以种植双季稻为主。早稻生育期一般为4月上旬至7月中旬;晚稻生育期一般为7月中旬至10月下旬。季节性干旱多发生在7月中下旬至10月上旬之间,正值早稻黄熟期或晚稻泡田至抽穗期,若灌溉水源不足,将对水稻产量产生较大影响。

### 一、典型干旱年份选择

选择典型干旱年的目的,是确定设计抗旱保证水平所对应的年降水过程,并使之与稻田需水过程相比较。因此,典型干旱年应符合两项条件:①在干旱程度上与设计抗旱保证水平相对应;②在干旱时间分布上应具有代表性。对不同的抗旱措施(生物措施、工程措施和水土保持措施等),应以不同的统计参数(抗旱天数或抗旱保证率等)作为选择典型干旱年的标准。

#### (一)按抗旱天数选择典型年

##### 1. 干旱标准

根据当地农业和气象部门的划分方法,干旱标准界定为:每年雨季结束后的第1天到10月10日止(若干旱过程超过10月10日,则10月11日及以后的日期不算),这段时期内连续20天日降水量 $<10.0$ 毫米,过程降水量 $<20.0$ 毫米,就算有干旱。整个干旱时期又分为伏旱、秋旱和秋伏旱。伏旱:①雨季结束后的第1天至8月10日止;②8月10日前开始出现干旱的天数 $>10$ 天并连续到8月10日后,但8月10日后出现的干旱天数 $\leq 10$ 天。秋旱:①8月11日起至10月10日止;②8月11日前开始出现干旱的天数 $\leq 10$ 天并连续到8月11日后出现的干旱天数 $<10$ 天。秋伏旱:在8月10日前后连续各 $\leq 10$ 天。干旱的量级划分标准:①累计天数20—30天定为轻度干

早；②累计天数31—60天定为中等干旱；③累计天数>60天定为严重干旱。

2. 干旱天数频率计算

按照上述标准，在37年(1955—1991)的实测系列中，共有31年发生干旱。按全年总干旱天数的多少进行排序(为符合典型干旱年份的两项条件，总干旱天数相同者，以连续干旱天数多者在前；连续干旱天数相同者，以年降水量低者在前)，根据下式进行经验频率计算。计算结果见表1。

$$P_{\text{破}} = [m / (n + 1)] \times 100\%$$

式中：m—允许植物正常生长被破坏的年数(序数)；n—总年数，n = 37，P<sub>破</sub>—允许植物正常生长被破坏的频率。

表1 余江县年干旱天数频率计算(n = 37)

| 序号 | 年份   | 全年干旱天数 | 频率<br>(P破%) | 备 注          | 序号 | 年份   | 全年总干旱天数 | 频率<br>(P破, %) | 备 注          |
|----|------|--------|-------------|--------------|----|------|---------|---------------|--------------|
| 1  | 1978 | 94     | 2.6         |              | 17 | 1973 | 29      | 44.7          |              |
| 2  | 1986 | 87     | 5.3         |              | 18 | 1959 | 26      | 47.4          |              |
| 3  | 1974 | 77     |             | 连续干旱57天      | 19 | 1987 | 26      |               | 年降水量1542.3mm |
| 4  | 1981 | 77     | 10.5        | 连续干旱35天      | 20 | 1966 | 26      | 52.6          | 年降水量1608.1mm |
| 5  | 1971 | 76     | 13.2        |              | 21 | 1962 | 25      | 55.3          |              |
| 6  | 1967 | 73     | 15.8        |              | 22 | 1982 | 24      |               | 年降水量1911.9mm |
| 7  | 1957 | 68     | 18.4        |              | 23 | 1977 | 24      | 60.5          | 年降水量1930.5mm |
| 8  | 1964 | 57     | 21.1        |              | 24 | 1990 | 23      | 63.2          |              |
| 9  | 1976 | 55     | 23.7        |              | 25 | 1991 | 22      |               | 年降水量1501.2mm |
| 10 | 1960 | 49     | 26.3        |              | 26 | 1956 | 22      |               | 年降水量1598.2mm |
| 11 | 1968 | 48     | 29.0        |              | 27 | 1969 | 22      | 71.1          | 年降水量1976.4mm |
| 12 | 1963 | 47     |             | 年降水量980.7mm  | 28 | 1970 | 21      | 73.7          |              |
| 13 | 1988 | 47     | 34.2        | 年降水量1764.5mm | 29 | 1965 | 20      |               | 年降水量1690.5mm |
| 14 | 1958 | 46     | 36.8        |              | 30 | 1983 | 20      |               | 年降水量1923.8mm |
| 15 | 1955 | 41     | 39.5        |              | 31 | 1989 | 20      | 81.6          | 年降水量2170.4mm |
| 16 | 1961 | 40     | 42.1        |              |    |      |         |               |              |

注：其余6年未出现干旱。

3. 典型干旱年份选择

参照《水利水电工程水利动能设计规范(SDJ11-77)》，并考虑到余江地区水量丰富等因素，以两项指标来衡量抗旱措施的效果，即：①保证植物正常生长的保证率P<sub>破</sub> = 90%(允许植物正常生长被破坏的频率为P<sub>破</sub> = 10%)；②设计抗旱天数取为50—70天。根据这一要求确定1974年为典型干旱年。在采取生物措施、保墒措施和水土保持措施时，主要考虑如何提高作物和农田自身抵御干旱的能力，即如何使作物在干旱的情况下延长自身的寿命，因此应采取以抗旱天数为标准选择的1974年为典型干旱年，以这一典型干旱年的降水过程和需水过程作为制定抗旱措施的依据。

(二)按年降水量选择典型年

1. 年降水量频率计算及频率曲线选配

(1) 将历年(1955—1991)实测降水量(x)按大小次序排列，按下式计算经验频率(p)，并将x与P对应点绘在概率格纸上(图1)。

$$P = [m / (n + 1)] \times 100\%$$

式中：P—年降水量等于或大于x<sub>m</sub>的经验频率；m—x<sub>m</sub>的序号，即等于或大于x<sub>m</sub>的项数，m = 1, 2, …, n；n—样本容量，即观测资料的总项数，n = 37。

表2 余江县年降水量频率曲线选配结果

| 频率<br>P(%) | 参数: $\bar{x} = 1734.68\text{mm}$<br>$C_v = 0.2 \quad C_s = C_v$ |                  |
|------------|-----------------------------------------------------------------|------------------|
|            | $K_p$                                                           | $X_p(\text{mm})$ |
| 0.1        | 1.68                                                            | 2914.26          |
| 0.5        | 1.55                                                            | 2688.75          |
| 1          | 1.49                                                            | 2584.67          |
| 2          | 1.43                                                            | 2480.59          |
| 5          | 1.34                                                            | 2324.47          |
| 10         | 1.26                                                            | 2185.70          |
| 20         | 1.17                                                            | 2029.58          |
| 30         | 0.99                                                            | 1717.33          |
| 75         | 0.86                                                            | 1491.82          |
| 90         | 0.75                                                            | 1301.01          |
| 95         | 0.68                                                            | 1179.58          |
| 99         | 0.56                                                            | 971.42           |

注:  $x_p = K_p \cdot \bar{x}$

$K_p$ —根据 $P$ 、 $C_v$ 和 $C_s$ , 自“PⅢ型频率曲线模比系数 $K_p$ 值表”中查取(见成都科技大学、华东水利学院、武汉水电学院合编, 工程水文及水利计算, 水利出版社, 1981年7月第1版, 附表2)。

(2) 计算系列的年平均降水量  $\bar{x} = \sum x_i / n (= 64183 / 37 = 1734.68\text{毫米})$  和各年降水量的模比系数 ( $K_i = x_i / \bar{x}$ ), 进而求得系列的变差系数:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n - 1}} = 0.19$$

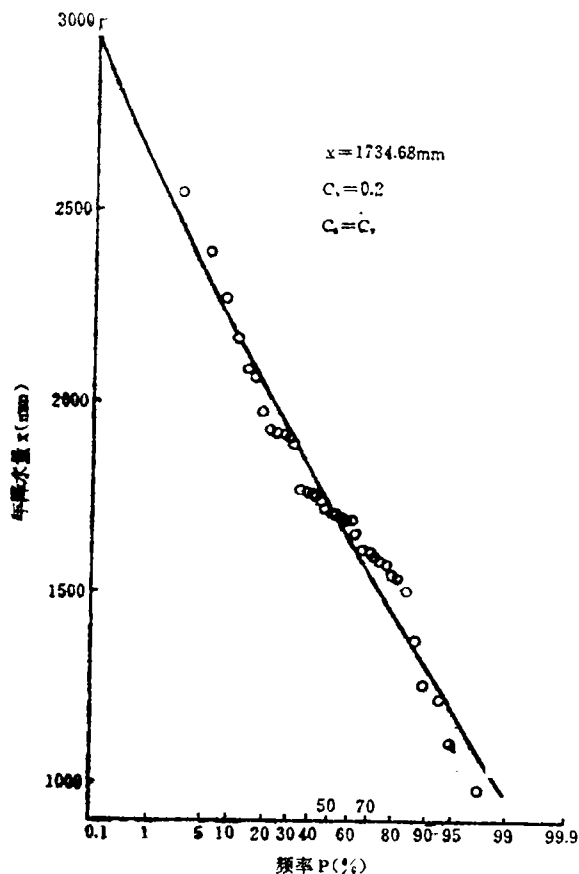


图1 余江县年降水量频率曲线(PⅢ型)

(3) 经几次调整配线参数  $C_v$ 、 $C_s/C_v$  ( $C_s$ 为降水系列偏态系数), 进行点绘配线, 最后选定  $C_v = 0.2$ 、 $C_s = C_v$ 、 $\bar{x} = 1734.68$  毫米, 作为该县年降水量总体参数的估值。它们对应的曲线代表该县年降水量总体的分布情况, 如表2和图1中的PⅢ型曲线。

## 2. 典型干旱年选择

根据典型干旱年的两项条件, 按照“植物正常生长保证率 $P_{\text{设}} = 90\%$ ”的要求, 在图1中频率曲线上查取 $P = 90\%$ 所对应的年降水量为 $x = 1300$ 毫米。故在实测资料系列中, 选取年降水量与 $x = 1300$ 毫米最接近的1986年(年降水量1257毫米)作为典型干旱年。若要进一步提高抗旱保证率, 取 $P = 95\%$ , 可在曲线上查取与 $P = 95\%$ 相对应的年降水量为 $x = 1180$ 毫米。在实测资料系列中, 选取年降水量与 $x = 1180$ 毫米最接近的1978年(年降水量1219.9毫米)作为典型干旱年。在采取灌溉工程措施时, 主要考虑如何以客水来补充作物与农田之用水需要, 因此应以按降雨量为统计参数确定的, 符合设计抗旱保证率的干旱年份为典型干旱年。以这种典型干旱年的降水与径流系列作为工程计算与设计的依据。

## 二、典型干旱年稻田水量平衡计算

为了充分利用天然降水量, 减少田间排水量和灌水量, 宜采用“浅灌深蓄”的灌水方法, 即在基本满足作物生长的最适宜条件的前提下, 实行浅水灌溉, 降雨则深蓄, 而深蓄以不影

表3

余江县水稻各生育期设计田间水层深度

单位: mm

| 生育期            | 早 稻       |          | 晚 稻            |          |
|----------------|-----------|----------|----------------|----------|
|                | 时间(月、日)   | 水 深      | 时间(月、日)        | 水 深*     |
| 返青期            | 4.25—5.7  | 10—30—50 | 7.26—8.4       | 30—50—70 |
| 分蘖前期           | 5.8—5.21  | 10—30—50 | 8.5—8.24       | 10—30—60 |
| 分蘖后期           | 5.22—5.29 | 10—30—60 | 8.25—9.3       | 10—30—60 |
| 圆秆期            | 5.30—6.4  | 10—30—60 | 9.4—9.12       | 10—30—60 |
| 孕穗期            | 6.5—6.11  | 30—60—80 | 9.13—9.22      | 30—60—80 |
| 抽穗期            | 6.12—6.19 | 30—60—80 | 9.23—9.30      | 30—60—80 |
| 乳黄期            | 6.20—6.29 | 10—30—50 | 10.1—10.11     | 10—30—50 |
| 黄熟期            | 6.30—7.17 | 湿 润      | 10.12—10.29    | 落 干      |
| 泡田期: 4月10日—24日 |           |          | 泡田期: 7月18日—25日 |          |

\*3个数字分别为: 适宜水层下限( $h_{\min}$ )—适宜水层上限( $h_{\max}$ )—(降雨)允许最大蓄水深度( $H_p$ )。

响作物正常生长为限。根据这一原则, 结合当地实践经验和气象条件, 设计水稻生长期及田间水层深度如表3所示。

在水稻生育期中任一时段  $t$  内, 田间水量的变化决定于该时段内的来水和耗水之间的消长, 变化关系可用田间水量平衡方程表示:

$$h_1 + p + m - E - c = h_2$$

式中:  $h_1$ —时段初田面水层深度;  $h_2$ —时段末田面水层深度;  $p$ —时段内降雨量;  $c$ —时段内排水量;  $m$ —时段内灌水量;  $E$ —时段内田间耗水量。

$$E = E_1 + S \quad \text{式中: } E_1 \text{—时段内田间腾发量。}$$

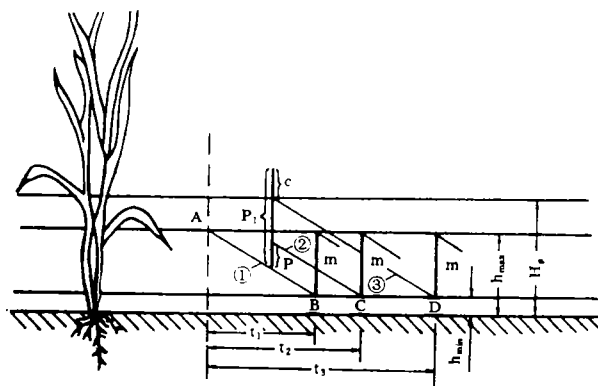
$E_1 = \alpha E_d$  式中:  $\alpha$ —需水系数, 根据江西省水电厅的规定, 早稻  $\alpha = 1.25$ , 晚稻  $\alpha = 1.20$ ;  $E_d$ —时段内水面蒸发量(取  $E_{0.1}$  型蒸发皿数值)。

$E_d = \beta E_0$  式中:  $E_0$ — $\phi_{2.0}$  蒸发皿蒸发量观测值;  $\beta$ — $\phi_{2.0}$  蒸发量折算成  $E_{0.1}$  蒸发量的折算系数,  $\beta = 0.72$ 。故,  $E_1 = \alpha \beta E_0$ 。

$S$ —时段内田间渗漏量。  $S = s \cdot t$  式中:  $s$ —田间渗漏强度, 余江地区的  $s = 3$  毫米/日;  $t$ —天数。

上述几式中各值(除  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $s$ 、 $t$  外)单位均为毫米。

田间水量变化过程可以图2表示。设时段初( $t=0$ )田间水量处于适宜水层上限( $h_{\max}$ )之A点, 在  $t_1$  时段内水田按①线耗水, 至B点田面水层降至适宜水层下限( $h_{\min}$ ), 即需灌水, 灌水定额为  $m = h_{\max} - h_{\min}$ ; 如果时段内有降雨  $P$ , 则在降雨后, 田面水层回升降雨深  $P$ , 再



$H_p$ —降雨最大蓄水深度

图2 水稻生育期中任一时段农田水分变化示意图

表4 余江县稻田水量平衡分析计算  
(典型干旱年: 1974年)

单位: mm

| 生育期 | 起止日期<br>(月、日) | 天数<br>t     | $h_{min}-h_{max}-H_0$ | 渗漏量<br>S | 蒸发皿<br>蒸发量 $E_0$ | 田间腾<br>发量 $E_1$ | 田间耗<br>水量 $E_2$ | 时段降<br>水量P | 时段灌<br>水量m | 时段排<br>水量C | 时段初<br>水深 | 时段<br>末水深 |
|-----|---------------|-------------|-----------------------|----------|------------------|-----------------|-----------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| 泡田期 | 4.10—4.24     | 15          |                       |          |                  |                 |                 |            |            |            |           |           |
| 早   | 返青期           | 4.25—4.28   | 4                     |          | 12               | 20.9            | 18.8            | 30.8       | 43.5       |            | 10*       | 22.7      |
|     |               | 4.29—5.2    | 4                     | 10—30—50 | 12               | 26.3            | 23.7            | 35.7       | 41.1       |            | 22.7      | 28.1      |
|     |               | 5.3—5.7     | 5                     |          | 15               | 16.8            | 15.1            | 30.1       | 38.4       |            | 28.1      | 36.4      |
|     | 分蘖前期          | 5.8—5.12    | 5                     |          | 15               | 17.1            | 15.4            | 30.4       | 24.3       |            | 36.4      | 30.3      |
|     |               | 5.13—5.17   | 5                     | 10—30—50 | 15               | 27.5            | 24.8            | 39.8       | 7.5        | 32         | 30.3      | 30        |
|     |               | 5.18—5.21   | 4                     |          | 12               | 32.2            | 29.0            | 41.0       | 0          | 41         | 30        | 30        |
|     | 分蘖后期          | 5.22—5.25   | 4                     |          | 12               | 14.1            | 12.7            | 24.7       | 17.3       |            | 30        | 22.6      |
|     |               | 5.26—5.29   | 4                     | 10—30—60 | 12               | 15.3            | 13.8            | 25.8       | 41.7       |            | 22.6      | 38.5      |
|     | 圆秆期           | 5.30—6.4    | 6                     | 10—30—60 | 18               | 34.4            | 31.0            | 49.0       | 0.6        | 39.9       | 38.5      | 30        |
|     | 孕穗期           | 6.5—6.11    | 7                     | 30—60—80 | 21               | 45.9            | 41.3            | 62.3       | 3.3        | 89         | 30        | 60        |
|     | 抽穗期           | 6.12—6.15   | 4                     |          | 12               | 16.3            | 14.7            | 26.7       | 49.6       |            | 2.9       | 60        |
|     |               | 6.16—6.19   | 4                     | 30—60—80 | 12               | 19.9            | 17.9            | 29.9       | 73.5       |            | 43.6      | 80        |
| 晚   | 乳黄期           | 6.20—6.24   | 5                     |          | 15               | 23.8            | 21.4            | 36.4       | 29.4       |            | 23        | 80        |
|     |               | 6.25—6.29   | 5                     | 10—30—50 | 15               | 22.1            | 19.9            | 34.9       | 106        |            | 71.1      | 50        |
|     | 黄熟期           | 6.30—7.5    | 6                     |          | 18               | 17.6            | 15.8            | 33.8       | 74.2       |            | 90.4      | 50        |
|     |               | 7.6—7.11    | 6                     | 湿润       | 18               | 27.8            | 25.0            | 43.0       | 6.6        | 36.4       | 0         | 0         |
|     |               | 7.12—7.17   | 6                     |          | 18               | 26.3            | 23.7            | 41.7       | 214.2      |            | 172.5     | 0         |
|     | 全生育期          | 4.10—7.17   | 84                    |          | 252              | 404             | 364             | 616        | 771        | 238        | 403       |           |
|     | 泡田期           | 7.18—7.25   | 8                     |          |                  |                 |                 |            |            |            |           |           |
|     | 返青期           | 7.26—7.30   | 5                     | 30—50—70 | 15               | 51.5            | 44.5            | 59.5       |            | 79.5       | 30*       | 50        |
|     |               | 7.31—8.4    | 5                     |          | 15               | 52.9            | 45.7            | 60.7       |            | 60.7       | 50        | 50        |
|     | 分蘖前期          | 8.5—8.9     | 5                     |          | 15               | 41.7            | 36.0            | 51.0       |            | 31.0       | 50        | 30        |
|     |               | 8.10—8.14   | 5                     |          | 15               | 23.7            | 20.5            | 35.5       | 56.1       |            | 30        | 50.6      |
| 早   |               | 8.15—8.19   | 5                     | 10—30—60 | 15               | 31.7            | 27.4            | 42.4       | 0.2        | 21.6       | 50.6      | 30        |
|     |               | 8.20—8.24   | 5                     |          | 15               | 26.8            | 23.2            | 38.2       | 1.1        | 37.1       | 30        | 30        |
|     | 分蘖后期          | 8.25—8.29   | 5                     | 10—30—60 | 15               | 33              | 28.5            | 43.5       |            | 43.5       | 30        | 30        |
|     |               | 8.30—9.3    | 5                     |          | 15               | 31.9            | 27.6            | 42.6       |            | 42.6       | 30        | 30        |
|     | 圆秆期           | 9.4—9.8     | 5                     | 10—30—60 | 15               | 33.4            | 28.9            | 43.9       |            | 43.9       | 30        | 30        |
|     |               | 9.9—9.12    | 4                     |          | 12               | 27.5            | 23.8            | 35.8       | 0.1        | 35.7       | 30        | 30        |
|     | 孕穗期           | 9.13—9.17   | 5                     | 30—60—80 | 15               | 31.4            | 27.1            | 42.1       |            | 72.1       | 30        | 60        |
|     |               | 9.18—9.22   | 5                     |          | 15               | 8.8             | 7.6             | 22.6       | 11.5       |            | 60        | 48.9      |
|     | 抽穗期           | 9.23—9.26   | 4                     | 30—60—80 | 12               | 14.6            | 12.6            | 24.6       | 3.0        | 32.7       | 48.9      | 60        |
|     |               | 9.27—9.30   | 4                     |          | 12               | 25.9            | 22.4            | 34.4       |            | 34.4       | 60        | 60        |
|     | 乳熟期           | 10.1—10.5   | 5                     | 10—30—50 | 15               | 23.8            | 20.6            | 35.6       |            |            | 60        | 24.4      |
|     |               | 10.6—10.11  | 6                     |          | 18               | 30.7            | 26.5            | 44.5       |            | 50.1       | 24.4      | 30        |
| 晚   | 黄熟期           | 10.12—10.17 | 6                     |          | 18               | 35.3            | 30.5            | 48.5       |            | 18.5       | 30        | 0         |
|     |               | 10.18—10.23 | 6                     | 落干       | 18               | 16.5            | 14.3            | 32.3       | 50.4       |            | 18.1      | 0         |
|     |               | 10.24—10.29 | 6                     |          | 18               | 24.6            | 21.3            | 39.3       |            | 39.3       | 0         | 0         |
|     | 全生育期          | 7.18—10.29  | 96                    |          | 288              | 565.7           | 489.0           | 777.0      | 122.4      | 642.7      | 18.1      |           |

注: (1) 早稻  $\alpha=1.25$ ; 晚稻  $\alpha=1.20$ ;  $\beta=0.72$ ;  $s=3\text{mm/d}$ ; (2) 全生育期中, 早稻泡田15天, 晚稻泡田8天。  
\* 为防止漂秧, 插秧时水深取适宜水深下限。

按②线耗水至C点时进行灌溉；如降雨  $P_1$  很大，超过允许最大蓄水深度 ( $H_a$ )，多余的部分需要排除，排水量  $c$ ，然后按③线耗水至D点进行灌溉。

根据上述原理和水稻生长发育规律，将生育期的不同阶段分为若干时段，对已选定的1974和1978两个典型干旱年，进行稻田水量平衡计算。现列出1974年的计算过程，如表4所示。

### 三、结论与分析

计算结果表明，典型干旱年1974年，连续干旱57天，累计干旱77天(全年降水1526.5毫米)，早稻生育期内累计利用降水771.2毫米(不计排水量，下同)，占全年降水量的50.5%；晚稻生育期内累计利用降水122.1毫米，占全年降水的8.0%。稻田总耗水量1393.0毫米，折合13930米<sup>3</sup>/公顷，其中早稻耗水6160米<sup>3</sup>/公顷，晚稻耗水7770米<sup>3</sup>/公顷。欲保证水稻正常生长，生育期内需总灌溉水深881.0毫米，折合8810米<sup>3</sup>/公顷，其中早稻灌水2383米<sup>3</sup>/公顷；晚稻灌水6427米<sup>3</sup>/公顷。早、晚稻泡田定额各1200米<sup>3</sup>/公顷。因此，稻田总灌水量11210米<sup>3</sup>/公顷(包括泡田定额)，全县稻田总计需灌溉水量 $2.26 \times 10^8$ 米<sup>3</sup>。

符合抗旱保证率  $P = 95\%$  的典型干旱年1978年(全年降水1219.9毫米)，早稻生育期内累计利用降水511.5毫米，占全年降水量的41.4%；晚稻生育期内累计利用降水102.2毫米，占全年降水量的8.4%。稻田总耗水量1366.6毫米，折合13666米<sup>3</sup>/公顷，其中早稻耗水6146米<sup>3</sup>/公顷，晚稻耗水7520米<sup>3</sup>/公顷。欲保证水稻正常生长，生育期内需总灌溉水深827.8毫米，折合8278米<sup>3</sup>/公顷，其中早稻灌水2080米<sup>3</sup>/公顷；晚稻灌水6198米<sup>3</sup>/公顷。早、晚稻泡田定额各1200米<sup>3</sup>/公顷。因此，稻田总灌水量为10678米<sup>3</sup>/公顷(包括泡田定额)，全县稻田总计需灌溉水量 $2.15 \times 10^8$ 米<sup>3</sup>。

可以看出，按不同统计参数选择的典型干旱年份，稻田灌水量大不相同。当地通常认为最干旱的1978年，稻田的灌水量反而比1974年为少。稻田缺水的主要原因在于降水量时间分布不均。为保证稻田需水，除采取工程措施外，需在如下几方面进行研究：

1. 通过试验，采取间歇灌溉法，并建立相应的灌溉制度。根据中科院上海植物生理研究所的研究，当表层土壤含水率为最大持水量的80%时，水稻的光合作用强度并不低于水层灌溉处理。这可以作为两次灌水间歇期间土壤水分控制指标的下限。

2. 合理调整种植结构。上述分析可见，灌溉用水主要发生在晚稻，若改晚稻为旱作物，可在很大程度上缓解季节性缺水状况。本文的续篇将在分析该地区几种主要旱作物田间水分平衡的基础上，以经济效益最佳为原则，提出该地区作物最优种植结构和水资源(包括天然降水和区域内渠塘蓄水等)优化调配方案。

3. 加强田间管理，减小渗漏强度。

#### 感谢

本文的气象资料由余江县气象站提供；作物生理基础数据由余江县农业局科教站提供。此外，我们还参考了余江县农业委员会、江西省水利电力厅及上饶地区水文站的有关资料，在此一并致谢。