

# 胡麻产量对干旱的响应研究及其 在潜力计算中的应用

徐学选 陈国良

中国科学院  
水土保持研究所·陕西杨陵·712100)  
水利部

马国忠

(固原县农业现代化基地办·宁夏固原·756000)

**摘要** 该文利用盆栽试验结果,通过分析胡麻在不同生育阶段对不同强度干旱的产量反应,得出:胡麻各生育期的受旱缺水指数  $r_i$ ,减产指数  $R_i$ ,及产量反应系数  $k_{yi}$ ;认为:胡麻不同生育期对干旱的敏感次序为:开花期>现蕾期>纵形期>苗期>成熟期,且籽粒产量较生物产量敏感;胡麻生育期耗水强度由弱→强→弱,以现蕾期日耗水量最大,苗期日耗水很小;在受旱情况下,水分生产率以现蕾期最小,苗期最大,并以现蕾期受旱的减产率最大,达26.7%,其次为开花期、纵形期、成熟期。应用  $r_i$ 、 $R_i$ 、 $k_{yi}$  估算了胡麻气候生产潜力,并进行检验,结果良好,同时还对生物产量反应进行了分析。

**关键词** 干旱强度 产量响应 胡麻

## Study on the Response of Flax Yield to Drought and Its Application in Yield Estimation

*Xu Xuexuan Chen Guoliang*

*(Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences  
and Ministry of Water Resources, • Yangling • Shaanxi, • 712100)*

*Ma Guozhong*

*(Guyuan County's Office of Agriculture Modernization • Guyuan • Ningxia • 756000)*

**Abstract** Based on pot experiment, flax yield response to different degree droughts during its growing periods were analysed. The water deficits index ( $r_i$ ) and the drop productivity index ( $R_i$ ) and the productivity response index ( $k_{yi}$ ) were obtained. The results showed that: The response of flax yield was classed by sensitivity to drought in the order: anthesis stage>grain filling stage>tilling stage>seedling stage>ripe stage, and grain yield is more sensitive than that of biomass. 2. The degree of evapotranspiration(ET) was from weak to strong then ended

with weak, and in filling stage that reached the highest, in seedling stage that was the lowest. 3. In the drought condition, the WUE in filling stage was a litter low, and that in seedling reached its highest. The daily drop productivity was the highest in filling stage, reached at 26.7%, the next was in the order: anthesis stage, filling stage, ripe stage, and then seedling stage. The  $r_i$ ,  $R_i$ ,  $k_{yi}$  were used to foretell the flax yield. The estimated results were very close to the real yield, also the biomass response to drought was analysed in the paper.

**Key words** drought degree productivity response index flax

宁夏西海固地区素有宁夏“油盆”之称,其胡麻播种面积在 5.33 万  $\text{hm}_2$  以上,约占其农作物总播种面积的 15%~20%。但这些地区干旱频繁,宁南西海固地区旱灾为三年一遇,固原县平均每年有旱日数为 67 天,最长连旱达 140 天(1973 年)。胡麻现实生产力仅 450~750 $\text{kg}/\text{hm}_2$ ,如何减免干旱对产量的制约提高胡麻产量、是进一步发展胡麻生产的出路所在。本文旨在研究干旱发生的不同时期,不同强度对胡麻产量的影响,从实验生态学的角度得出干旱的减产指数、产量反应系数,从而为适时灌溉,产量估测,旱作潜力测算提供依据。为此我们于 1995 年在宁南黄土丘陵区的固原县进行了盆栽试验。

## 1 试验方法与试验设计

### 1.1 试验方法

试验采用盆栽试验法,用塑料桶上口直径 27cm,底直径 22cm,桶深 27cm,上表面积 594 $\text{cm}^2$ 。

取黄绵土表层 0~25cm 土壤,过筛、加肥,搅匀后装桶压实而成。装干土量 12.0kg。每盆用肥为二铵 1.39g,尿素 2.85g(折纯  $\text{N}257.7\text{kg}/\text{hm}^2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5107.4\text{kg}/\text{hm}^2$ )。

### 1.2 试验设计

作物:胡麻,品种为宁亚 12 号。每盆定植 19 株。

水分控制:按占田间持水量比例分 5 级:90%为充足供水,75%为正常供水,60%~65%为轻旱,50%~55%为中旱,35%~40%为重旱。按占干土重比例,分别为 18%,15%,12%~13%,10%~11%,7%~8%。

处理时期:分 5 个生长发育阶段,即苗期、纵形期、开花期、现蕾期、成熟期。

每个时期分 3 个处理,每个处理 4 个重复。5 个时段试验的桶数共为  $3 \times 4 \times 5 = 60$ 。另设充足供水、正常供水各 4 盆,共计 68 桶。

处理中,每盆除某时期按设定的干旱等级控制水分外(即轻旱、中旱、重旱),其余发育期均保持正常供水。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 试验结果

试验结果见表 1、表 2。

表 1 胡麻生育期记录

| 生育期 | 播种—出苗     | 苗期        | 纵形期   | 开花期   | 现蕾期   | 成熟期  | 总数             |
|-----|-----------|-----------|-------|-------|-------|------|----------------|
| 时段  | 10/4~26/4 | 27/4~22/5 | ~11/6 | ~28/6 | ~10/7 | 11/8 | $\Sigma = 123$ |
| 天数  | 17        | 26        | 20    | 17    | 12    | 31   |                |

2.2 结果分析

2.2.1 胡麻产量对干旱的响应(胡麻产量反应指数)产量的减少可用减产指数  $R$  表示,  $R = 1 - Y_a/Y_m$ , 干旱强度用缺水指数  $r$  表示,  $r = 1 - ET_a/ET_m$ , 两者相结合, 产量对干旱的响应用产量反应指数  $k_y$  定量,  $k_y = R/r$ , 表示产量对旱情的敏感系数, 当干旱强度  $r$  一定,  $k_y$  越大, 反应减产越多, 此时补给灌水越重要,  $Y_a$  —— 实际产量;  $Y_m$  —— 正常供水产量;  $ET_a$  —— 实际耗水;  $ET_m$  —— 正常供水时可能耗水, 由试验结果可以算出胡麻在不同干旱强度下的减产指数, 及产量反应系数。(表 3、图 1)。

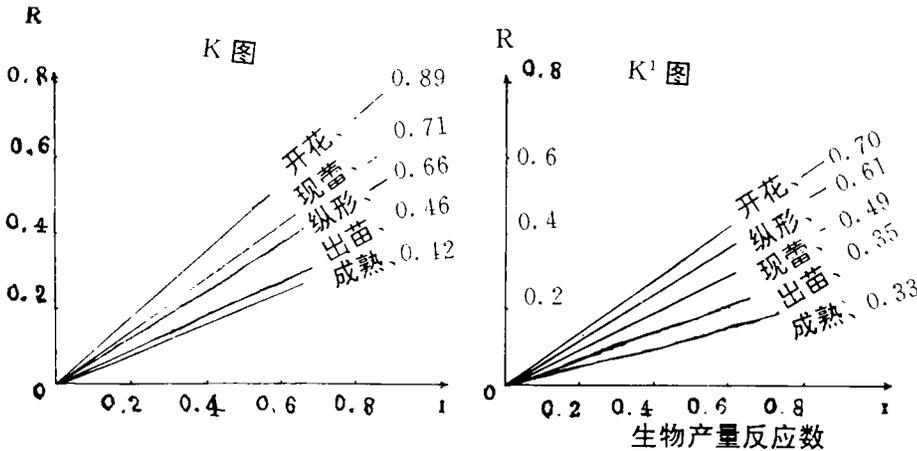


图 1 胡麻各生育期籽粒产量反应系数

表 2 不同时期不同干旱强度下胡麻产量试验结果

| 生育期 | 处理天数(天) | 籽粒产量(g) |      |      | 生物产量(g) |      |      | 控水期耗水(kg) |      |      | 全生育期耗水(kg) |       |       | 正常供水(kg) |
|-----|---------|---------|------|------|---------|------|------|-----------|------|------|------------|-------|-------|----------|
|     |         | 轻旱      | 中旱   | 重旱   | 轻旱      | 中旱   | 重旱   | 轻旱        | 中旱   | 重旱   | 轻旱         | 中旱    | 重旱    |          |
| 苗期  | 26      | 6.48    | 5.73 | 5.67 | 25.5    | 23.2 | 22.2 | 1.17      | 1.07 | 1.03 | 25.12      | 22.15 | 22.60 | 1.77     |
| 纵形  | 20      | 6.52    | 5.55 | 3.41 | 24.3    | 21.8 | 15.7 | 5.11      | 4.29 | 2.07 | 24.72      | 23.10 | 19.97 | 6.50     |
| 开花  | 17      | 5.33    | 4.57 | 4.66 | 21.5    | 19.8 | 19.8 | 5.47      | 4.03 | 3.82 | 22.99      | 20.61 | 20.40 | 7.04     |
| 现蕾  | 12      | 5.54    | 5.10 | 4.22 | 23.2    | 21.2 | 20.1 | 4.81      | 3.44 | 2.41 | 23.64      | 22.84 | 21.81 | 6.55     |
| 成熟  | 31      | 6.00    | 5.66 | 4.71 | 24.8    | 21.0 | 19.9 | 2.81      | 2.30 | 1.58 | 24.67      | 24.18 | 23.44 | 5.54     |
| 充足  | 106     |         | 8.42 |      |         | 31.0 |      |           |      |      |            |       |       | 35.2     |
| 正常  | 106     |         | 7.30 |      |         | 27.5 |      |           |      |      |            |       |       | 27.4     |

从  $k_y$  值看, 胡麻产量对干旱响应以开花期最大, 现蕾、纵形次之, 出苗和成熟最小。表明: 开花期遇旱, 造成减产的损失最大, 而出苗和成熟两生育期, 胡麻有较强抗旱能力, 尤其是成熟期, 其抗旱能力最强, 在遇旱情况下, 造成的减产幅度较小。例如: 若缺水指数  $r = 0.3$  时, 开花期可造成 26.7% 的减产幅度, 而成熟期仅造成 12.6% 的减产, 故在能补充灌溉情况下, 应优先考虑  $k_y$  值大的生育期。

从生物产量反应指数  $k'_y$  值看, 其对干旱响应的次序与籽粒产量一致, 但由  $k_y - k'_y > 0$ , 表明生物产量有较籽粒产量更迟钝的干旱响应, 干旱对作物生长发育造成影响的同时, 对籽粒产量的形成会造成进一步影响, 在全生育期, 其  $k_y - k'_y > 0$ , 其差值在 0.05—0.22 之间, 以纵形期最

小,现蕾期最大,反映出,在受旱情况下,造成生物产量与籽粒产量的减产幅度以纵形期最为一致,而在现蕾期,干旱使籽粒减产幅度加大,生物产量与籽粒产量的减产幅度不相协调。在作物估产中要引起注意。

表3 胡麻干旱指数、减产指数与产量反应系数表

| 生育期             | 旱情 | ETa/ETm | r    | Ya/Ym | R     | Y'a/y'm | R'    | Ky    | ky'  | ky-ky' |
|-----------------|----|---------|------|-------|-------|---------|-------|-------|------|--------|
| 苗期<br>27/4~22/5 | ①  | 0.66    | 0.34 | 0.89  | 0.11  | 0.93    | 0.07  |       |      |        |
|                 | ②  | 0.60    | 0.40 | 0.78  | 0.22  | 0.84    | 0.16  |       |      |        |
|                 | ③  | 0.58    | 0.42 | 0.78  | 0.22  | 0.81    | 0.19  |       |      |        |
|                 | 平均 | 0.61    | 0.39 | 0.82  | 0.18  | 0.86    | 0.14  | 0.46  | 0.35 | 0.11   |
| 纵形<br>23/5~11/6 | ①  | 0.79    | 0.21 | 0.89  | 0.11  | 0.98    | 0.12  |       |      |        |
|                 | ②  | 0.66    | 0.34 | 0.76  | 0.24  | 0.79    | 0.21  |       |      |        |
|                 | ③  | 0.32    | 0.68 | 0.54  | 0.46  | 0.57    | 0.43  |       |      |        |
|                 | 平均 | 0.59    | 0.41 | 0.73  | 0.27  | 0.75    | 0.25  | 0.66  | 0.61 | 0.05   |
| 开花<br>12/6~28/6 | ①  | 0.78    | 0.22 | 0.73  | 0.27  | 0.78    | 0.22  |       |      |        |
|                 | ②  | 0.57    | 0.43 | 0.63  | 0.37  | 0.72    | 0.28  |       |      |        |
|                 | ③  | 0.54    | 0.46 | 0.64  | 0.36  | 0.72    | 0.28  |       |      |        |
|                 | 平均 | 0.63    | 0.37 | 0.67  | 0.33  | 0.74    | 0.26  | 0.89  | 0.70 | 0.19   |
| 现蕾<br>29/6~10/7 | ①  |         | 0.73 |       | 0.76  | 0.24    | 0.84  | 0.16  |      |        |
|                 | ②  | 0.53    |      | 0.70  | 0.30  | 0.77    | 0.23  |       |      |        |
|                 | ③  | 0.38    |      | 0.58  | 0.42  | 0.73    | 0.27  |       |      |        |
|                 | 平均 | 0.55    | 0.45 | 0.68  | 0.32  | 0.78    | 0.22  | 0.71  | 0.49 | 0.22   |
| 成熟<br>11/7~11/8 | ①  | 0.49    |      | 0.82  | 0.18  | 0.90    | 0.10  |       |      |        |
|                 | ②  | 0.42    |      | 0.78  | 0.22  | 0.76    | 0.24  |       |      |        |
|                 | ③  | 0.29    |      | 0.65  | 0.35  | 0.73    | 0.27  |       |      |        |
|                 | 平均 | 0.40    | 0.60 | 0.75  | 0.25  | 0.80    | 0.20  | 0.42  | 0.33 | 0.09   |
| 全生育期            | 正常 | 0.75    | 0.25 | 0.867 | 0.133 | 0.887   | 0.113 | 0.531 | 0.45 | 0.08   |

注:①轻旱、②中旱、③重旱,带(′)为生物学部分。

2.2.2 不同时期,不同干旱强度下胡麻的耗水 由表2表明,胡麻在不同时段遭受不同程度干旱影响下,全生育期耗水在19.97~25.12kg/桶,相差20.5%,平均值为22.82kg/桶,其中以开花期受旱,全生育期耗水明显减少,比平均受旱情况下少耗水7%,比正常供水少19.2%。生育期控水处理后,当水分恢复到正常后,其耗水比一直为正常处理的还要小,并且前期影响大于后期,说明前期受旱,不仅使控水期耗水减少而且使水分恢复后的生育期耗水也有所减少。如苗期受旱,控水期减少耗水仅0.69kg/桶,全生育期达2.43kg/桶,每桶少耗1.74kg,到现蕾期,控水期少耗水3.0kg/桶,全生育期为3.64kg/桶,仅多减少耗水0.64kg/桶。

2.2.3 正常供水、充足供水下胡麻阶段耗水 由表4表明,胡麻各生育阶段日耗水大小依次为现蕾、开花、纵形、成熟、苗期,全生育期桶日耗水平均分别为0.26kg和0.33kg,充足供水下,日耗水量大,且最大耗水阶段由正常的开花期,推迟到现蕾期,并且成熟期耗水总量上升到仅次于现蕾期,说明,充足供水有使胡麻贪青晚熟趋势,加重了水分需求负荷。而成熟期的ky仅0.42,充足的供水并不会对增产有很大贡献,而使水分生产率降低(见表4),由于现蕾期日耗水量很大,此阶段容易产生缺水干旱,故此时降水的满足程度对胡麻产量大小有很关键的决定作用。补充灌溉尤为关键。

表4 正常供水、充足供水耗水量与不同时期耗水强度

| 生育期      | 苗期   | 纵形   | 开花   | 现蕾   | 成熟   | 总量    | 水分生产率(g/kg) |
|----------|------|------|------|------|------|-------|-------------|
| 天数       | 26   | 20   | 17   | 12   | 31   | 106   |             |
| 正常供水(kg) | 1.77 | 6.50 | 7.04 | 6.55 | 5.54 | 2.74  | 0.27        |
| 占(%)     | 6.5  | 23.7 | 25.7 | 23.9 | 20.2 | 100.0 | (1.00)      |
| 日耗水(%)   | 0.07 | 0.33 | 0.41 | 0.55 | 0.18 | 0.26  |             |
| 次序       | 5    | 3    | 2    | 1    | 4    |       |             |
| 充足供水(kg) | 3.07 | 7.50 | 7.82 | 8.62 | 8.20 | 35.2  |             |
| 占(%)     | 8.7  | 21.3 | 22.2 | 24.5 | 23.3 | 100.0 | 0.24        |
| 日耗水(%)   | 0.11 | 0.38 | 0.46 | 0.72 | 0.26 | 0.33  | (0.88)      |
| 次序       | 5    | 3    | 2    | 1    | 4    |       |             |

注:( )内为生物产量的水分生产率

2.2.4 不同干旱强度下胡麻用水效率 由表5表明,胡麻的水分生产力(g/kg),在试验的气候条件下为0.193~0.258,最大为苗期轻旱,最小为现蕾期受重旱。其服从以下规律:①随干旱强度加大,水分生产力减小。②不同时期发生干旱,引起用水效率不同,以现蕾期受旱,用水效率最低。苗期受旱对用水效率影响不大。

表5 胡麻在不同干旱影响下的水分生产力 (g/kg)

| 生育期 | 轻旱    | 中旱    | 重旱    | 平均    |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| 苗期  | 0.258 | 0.259 | 0.251 | 0.256 |
| 纵形  | 0.264 | 0.240 | 0.196 | 0.233 |
| 开花  | 0.232 | 0.222 | 0.228 | 0.227 |
| 现蕾  | 0.234 | 0.223 | 0.193 | 0.217 |
| 成熟  | 0.243 | 0.234 | 0.201 | 0.226 |
| 平均  | 0.246 | 0.236 | 0.214 | 0.232 |

2.2.5 日均减产率分析 由于各生育期所经历的天数不同,试验中干旱处理的天数也不同。仅从平均减产率分析,难免有出入,所以有必要进行日均减产率分析,列表6如下:

表6 不同时期不同干旱强度对胡麻产量的日减少率 %

| 生育期 | 处理天数<br>(天) | 籽粒产量 |      |      |      | 生物产量 |      |      |      |
|-----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|     |             | 轻旱   | 中旱   | 重旱   | 平均   | 轻旱   | 中旱   | 重旱   | 平均   |
| 苗期  | 27          | 0.41 | 0.81 | 0.81 | 0.67 | 0.26 | 0.59 | 0.70 | 0.52 |
| 纵形  | 20          | 0.55 | 1.20 | 2.30 | 1.35 | 0.60 | 1.05 | 2.15 | 1.25 |
| 开花  | 17          | 1.59 | 2.18 | 2.12 | 1.94 | 1.29 | 1.65 | 1.65 | 1.53 |
| 现蕾  | 12          | 2.00 | 2.50 | 3.50 | 2.67 | 1.33 | 1.92 | 2.25 | 1.83 |
| 成熟  | 31          | 0.58 | 0.71 | 1.13 | 0.81 | 0.32 | 0.77 | 0.87 | 0.65 |

由表6,籽粒产量和生物产量日减产率最大均发生在现蕾期,与此段日耗水最高协同。平均日减产率为2.67和1.83。其次均依开花、纵形、成熟、苗期为序、日减产率为籽粒产量>生物产量,证明了籽粒产量有较生物产量更敏感的干旱响应。

综上所述,胡麻生育期中遇旱,其干旱产量响应以开花期最大,日耗水、日减产率以现蕾期最大。胡麻成熟期和苗期抗旱能力强,干旱造成的减产幅度不大。因此保证开花、现蕾期两个生育阶段灌溉,是生产上的重要措施。在利用降水方面应采取现蕾期与雨季相衔接,避免干旱造成大幅减产。

### 3 试验结果的应用

#### 3.1 对胡麻耗水量进行时段分配

该地区大田胡麻正常年份平均耗水为350mm左右,按照正常供水下,胡麻耗水各生育期比重进行分配,可得表7,代表该地区胡麻未遭受干旱影响下的耗水情况。

表7 胡麻各生育期在正常年份下的耗水量,耗水强度

| 生育期        | 苗期   | 纵形   | 开花   | 现蕾   | 成熟   | 总量    |
|------------|------|------|------|------|------|-------|
| 耗水量(mm)    | 22.8 | 83.0 | 90.0 | 83.7 | 70.5 | 350.0 |
| 用水比重%      | 6.5  | 23.7 | 25.7 | 23.9 | 20.2 | 100   |
| 耗水强度(mm/d) | 0.84 | 4.15 | 5.29 | 6.98 | 2.27 | 3.30  |

#### 3.2 对作物生产潜力、最大蒸散的估计

对 $Y_m$ 的计算,可用联合国粮农组织(FAO)提出的作物产量与农田耗水关系(FAO,1979)得出:

$$\text{公式为: } (1 - Y_a/Y_m) = k_y (1 - E_a/E_m) \quad (1)$$

$Y_a$ 、 $E_a$ 代表旱作条件下养分充足时作物农田产量与供水量。

$K_y, Y_m, E_m$ , 代表产量反应系数, 光温生产潜力、农田最大蒸散量。

据表3正常供水下胡麻籽粒产量较充足供水条件下减产0.113、缺水指数为0.25, 产量反应系数为0.531, 代入①式。

并选择当地旱作生产潜势产量 $Y_n$ 代替 $Y_a$ (即肥料充足下, 正常水分年型下产量), 其蒸散量 $E_n$ 代替 $E_a$ (据资料1), 得旱作胡麻生产潜力为2040kg/hm<sup>2</sup>, 蒸散为350mm。

那么有  $Y_m = 2355\text{kg/hm}^2$        $E_m = 467\text{mm}$

### 3.3 对气候生产潜力的验证

韩仕峰等曾在固原于1993年、1994年作胡麻试验, 选取其高肥水平下的1993年试验情况作以验证, 产量为994.5kg/hm<sup>2</sup>, 其需水, 用水情况见表8。

其现实生产力可按公式 $Y = Y_n \cdot (1 - R_i)^n$ 计算<sup>[2][4]</sup> $y_n$ 为旱作能潜势产量(即 $y_n$ ),  $R_i$ 为 $i$ 时段受旱减产率由 $R_i = K_{y_i} \cdot r_i$ 求得,  $n$ 为受旱时段数, 本计算应用实际耗水与正常水之比表示 $1 - R_i$ , 其结果为  $Y = 1011\text{kg/hm}^2$ 。

与实际994.5kg/hm<sup>2</sup>, 差仅16.5kg, 误差1.7%。表明该地区光温生产潜力2355kg/hm<sup>2</sup>是可信的。

表8 1993年胡麻生育期水分供需与产量反应表

| 生育期      | 苗期   | 纵形   | 开花   | 现蕾   | 成熟   | 总量    |
|----------|------|------|------|------|------|-------|
| 需水量(mm)  | 22.8 | 83.0 | 90.0 | 83.7 | 70.5 | 350.0 |
| 可供水量(mm) | 44.1 | 86.6 | 76.9 | 33.9 | 70.3 | 275.9 |
| 缺水指数(r)  | —    | —    | 0.15 | 0.60 | —    | —     |
| 反应指数(ky) | 0.46 | 0.66 | 0.89 | 0.71 | 0.42 | —     |
| 减产指数(R)  | —    | —    | 0.13 | 0.43 | —    | —     |

综上所述, 运用减产指数、产量反应系数在估产中误差很小, 有较高利用价值。只要知道各生育期土壤水分, 就可根据墒情预报旱情进而预报产量。如果知道各生育期作物耗水, 就可计算 $r_i$ , 查图 $k_y$ , 获得 $R_i$ , 进而得到估产值。此研究对大田追肥, 作物布局, 补充灌水有重要指导意义。

#### 参考文献

- 1 党增春等. 宁南黄土丘陵区旱地胡麻丰产优化栽培模式研究. 水土保持通报, 1995, No. 2
- 2 陈国良等. 不同干旱强度对春麦产量的影响及其在生产力估测中的应用. 能量水分平衡与农业生产潜力网络试验研究. 北京: 气象出版社, 1992
- 3 杨文治, 余存祖主编. 土高原区域治理与评价. 北京: 科学出版社. 1992, P226
- 4 徐学选等. 不同干旱强度对糜子产量的影响及其在估产中的应用. 水土保持通报, 1994, No. 6
- 5 山仑, 陈国良主编. 黄土高原旱地农业的理论与实践. 北京: 科学出版社, 1993, P110、P121