

# 喷洒灌溉盆栽小麦水分与产量的数量关系研究

王彦文 王延宇 李秀林

(白城市农科所,白城 137000)

**提 要** 我国水资源贫乏,为有效的利用水资源,提高小麦的经济效益,本试验采用五因素二次回归旋转正交组合设计。利用产量目标函数数学模型对在各生育期喷洒灌溉灌水量对产量的影响进行分析,测定小麦灌水量与产量的关系,找出小麦各生育阶段的需水规律及小麦在生长发育各阶段的适宜水分。从而确定小麦优化节水丰产的灌溉技术。

**关键词** 盆栽小麦;喷洒灌溉;旋转设计;交互效应

本试验主要研究小麦在各生育期利用喷洒灌溉条件,测定小麦耗水量与产量关系。分析小麦各生育阶段的需水规律,找出小麦在生长发育各阶段的适宜水分。从而确定小麦优化节水的灌溉技术。

## 1 材料与方 法

1.1 供试品种 小麦白春 2 号。

1.2 试验处理设计 本试验采用盆栽试验法,栽培措施模拟大田生产水平,试验全部在防雨棚内进行,资料完全在喷洒条件下获得,获得灌水量数据 631 个,产量及产量因素考种数据 864 个。试验采用五因素二次回归旋转正交组合设计,其数学模型选为:

$$y = b_0 + \sum b_j x_j + \sum b_{ji}$$

式中: $b_0$  为常数项, $x$  为生育阶段内灌溉水量, $y$  为产量, $j, i = 1, 2, \dots, 5$  代表生育阶段。分别为三叶期、拔节期、孕穗期、开花期和灌浆期。在每个生育期内分别设计了 5 个灌水量,分别为 0、15、30、45、60 mm。按其因素和水平设计编码见表 1(盆栽水量处理表略,每个处理 3 次重复)。

表 1 灌水量的因素和水平设计编码

| 因 素 | 变化间距 | 生育期灌水指标编码( $r=2$ ) |    |    |    |    |
|-----|------|--------------------|----|----|----|----|
|     |      | 2                  | 1  | 0  | -1 | -2 |
| 三叶期 | 15   | 60                 | 45 | 30 | 15 | 0  |
| 拔节期 | 15   | 60                 | 45 | 30 | 15 | 0  |
| 孕穗期 | 15   | 60                 | 45 | 30 | 15 | 0  |
| 开花期 | 15   | 60                 | 45 | 30 | 15 | 0  |
| 灌浆期 | 15   | 60                 | 45 | 30 | 15 | 0  |

## 2 结果与分析

### 2.1 喷洒灌水量与产量关系的建立

2.1.1 数学模型系数求解 数学模型计算目的是求解系数  $b$ , 根据产量数据和灌水量数据, 系数  $b$  的解为:

|          |        |       |       |       |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |      |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| 系数 $b_0$ | $b_1$  | $b_2$ | $b_3$ | $b_4$ | $b_5$ | $b_{12}$ | $b_{13}$ | $b_{14}$ | $b_{15}$ | $b_{23}$ | $b_{24}$ | $b_{25}$ | $b_{34}$ | $b_{35}$ | $b_{45}$ | $b_{11}$ | $b_{22}$ | $b_{33}$ | $b_{44}$ | $b_{55}$ |      |
| 数值       | 1590.9 | 127   | 113   | 82    | 72    | 283      | 27       | 28.5     | 19.5     | 21       | 33       | 30       | 13.5     | 64.5     | 12       | 42       | 31.2     | 15.3     | 44.7     | 45.3     | 83.7 |

数学模型表达式为:

$$y = 1590.9 + 127x_1 + 113x_2 + 82x_3 + 72x_4 + 283x_5 + 27x_1x_2 + 28.5x_1x_3 - 19.5x_1x_4 \\ + 21x_1x_5 + 33x_2x_3 + 30x_2x_4 - 13.5x_2x_5 + 64.5x_3x_4 + 12x_3x_5 + 42x_4x_5 + 31.2x_1^2 \\ - 15.3x_2^2 + 44.7x_3^2 - 45.3x_4^2 + 83.7x_5^2$$

2.1.2 数学模型显著性测定及模型优化 为了确定回归方程的实际意义,对数学模型进行了  $F$  检验。其结果:

$$F_1 = 2.49 \quad \text{查表 } F_{0.05} = (6, 9) = 3.37$$

$$F_2 = 3.59 \quad \text{查表 } F_{0.01} = 3.37$$

$F_1 < F_{0.05}$  说明方程拟合的很好。

$F_2 > F_{0.01}$  说明方程产量目标函数回归方程与实际情况拟合很好,较好的反映了试验中灌溉水量与产量之间数学关系。

为了提高数量模型的拟合性和可靠性,对回归系数  $b$  进行了显著性  $t$  检验,剔除方程系数  $b$  显著性小于  $t_{0.40} = 0.886$  项,优化后的产量目标函数数学模型为:

$$y = 1590.9 + 127x_1 + 113x_2 + 82x_3 + 72x_4 + 283x_5 + 64.5x_3x_4 + 44.7x_3^2 - 45.3x_4^2 + 83.7x_5^2$$

## 2.2 试验分析

2.2.1 各生育期内灌水量对产量的影响 分析各生育期内灌水量对产量影响的方法是采用产量目标函数数学模型(1)分别代入 5 个因素中,5 个因素编码为零水平后,分别获得 5 个方程组,代表不同生育期内灌水量对产量的影响。

2.2.1.1 苗期喷洒灌溉水量与产量的关系。方程式:  $y_1 = 1590.9 + 127x_1 + 31.2x_1^2$  苗期灌水量与产量之间成二次抛物线曲线关系。随着灌水量的增加,产量也相应增加。为求苗期灌溉水量的界限值,对方程式进行一阶偏导得:

$$y_1' = 127 + 62.4x_1$$

令其  $y_1' = 0$  求解  $x_1 = -1.9$ ,其值接近试验不灌水处理(不灌水处理编码为 -2),说明小麦三叶期不灌水将减产。为了获得丰产,必须在三叶期加大灌溉水量。

2.2.1.2 拔节期喷洒灌溉水量与产量的关系。方程式:  $y_2 = 1590.9 + 113x_2 - 15.3x_2^2$  为求方程式最大极值,对方程进行一阶偏导得:

$$y_2' = 113 - 30.6x_2$$

令其  $y_2' = 0$  求解  $x_2 = 3.7$ ,相当灌水量为 85.5 mm。通过计算分析得出拔节期小麦喷洒灌溉水量达 85.5 mm 时产量最高,过多或过少都会造成小麦产量降低。

2.2.1.3 孕穗期喷洒灌溉水量与产量的关系。方程式:  $y_3 = 1590.9 + 82x_3 + 44.7x_3^2$  方程式有最小极值,对方程式进行一阶偏导得:

$$y_3' = 82 + 89.4x_3$$

令其  $y_3' = 0$  求解  $x_3 = -0.9$ ,相当喷洒灌溉水量为 13.5 mm,孕穗期喷洒灌溉水量最小不能低于 13.5 mm。

2.2.1.4 开花期喷洒灌溉水量与产量的关系。方程式:  $y_4 = 1590.9 + 72x_4 - 45.3x_4^2$  方程式有最大极值,对方程式进行一阶偏导得:

$$y_4' = 72 - 90.6x_4$$

令其  $y_4' = 0$  求解  $x_4 = 0.8$ ,相当喷洒灌溉水量为 43 mm,说明小麦在开花期喷洒水量为 43 mm 时产量最高。

2.2.1.5 灌浆期喷洒灌溉水量与产量的关系。方程式:  $y_5 = 1590.9 + 283x_5 + 83.7x_5^2$  方程

式有最小值,对方程式进行一阶偏导得:

$$y_5' = 283 + 167.4x_5$$

令其  $y_5' = 0$  求解  $x_5 = -1.7$ , 相当于喷洒灌溉水量为 13 mm, 说明小麦灌浆期灌水量最小不能低于 13 mm。

2.2.2 不同生育期内喷洒灌溉水量对产量交互效应作用 各生育期内灌水量大小, 不仅与生育期产量效应大小相关联, 而且前一个生育期内灌水量大小同后一个生育期内灌水量大小互相影响, 产生交互作用。为了明确这个问题, 在产量目标函数方程中, 对交互作用显著项  $x_3x_4$  进行了分析, 其方法是在产量目标函数方程中取  $x_1x_2$  和  $x_5$  为零水平, 则得  $x_3x_4$  交互作用对产量效应关系方程:

$$y' = 1590.9 + 82x_3 + 72x_4 + 64.5x_3x_4 + 44.7x_3^2 - 45.3x_4^2$$

将  $x_3x_4$  不同水平值代入上式方程得

表 2. 通过对表 2 的分析, 可明确在小麦孕穗

期和开花期分别喷洒 60 mm 水, 交互作用最为明显, 其次是孕穗期喷洒 45 mm 水, 开花期喷洒 60 mm 水交互作用也较明显。

2.2.3 小麦节水灌溉各生育期喷洒水量最优组合 根据试验方案要求, 小麦节水灌溉公顷产量要达到 3 750 kg 以上, 试验分析采用计算机步长分析法(步长 0.5), 共获得灌水方案 59 049 个组合。大于公顷产量 3 750 kg 的组合方案 32 个, 其方案组合中  $x_i$  取值频率分布见表 3。

表 3 公顷产量大于 3 750 kg 的  $x_i$  取值频率分布

| $x$ | $x_1$       |       | $x_2$       |       | $x_3$       |       | $x_4$       |       | $x_5$       |       |      |
|-----|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|------|
|     | 次数          | 频率    | 次数          | 频率    | 次数          | 频率    | 次数          | 频率    | 次数          | 频率    |      |
| 自变量 | 1           | 3     | 0.1         | 6     | 0.19        |       | 7           |       |             |       |      |
| 水 平 | 1.5         | 10    | 0.31        | 11    | 0.34        | 9     | 0.28        | 11    | 0.34        | 3     | 0.1  |
|     | 2           | 19    | 0.59        | 15    | 0.47        | 23    | 0.72        | 14    | 0.44        | 29    | 0.91 |
|     | Mf          | 32    | 1           | 32    | 1           | 32    | 1           | 32    | 1           | 32    | 1    |
| xf  |             | 1.75  |             | 1.45  |             | 1.86  |             | 1.61  |             | 1.95  |      |
| sxf |             | 0.648 |             | 0.745 |             | 0.441 |             | 0.764 |             | 0.286 |      |
| 可信度 | 1.102—2.398 |       | 0.705—2.195 |       | 1.419—2.301 |       | 0.846—2.374 |       | 1.664—2.236 |       |      |

通过计算  $y > 3 750 \text{ kg/hm}^2$  各生育期灌水量分别为: 三叶期 49.6~107.9 mm, 拔节期 31.7~98.8 mm, 孕穗期 63.9~103.6 mm, 开花期 38.1~106.8 mm, 灌浆期 74.9~100.6 mm。

### 3 试验小结

3.1 获得了产量目标函数方程, 明确了产量与水量的关系。

3.2 明确了各生育期内灌水量大小对产量的影响及其最大、最小灌水量极值。

3.3 产量实现 3 750 kg/hm<sup>2</sup> 以上各生育期灌水量组合方案。

### 4 试验说明

该项试验是在防雨棚内盆栽试验, 没有天然降水和地下水的补给。另外, 土壤水分蒸发量也大于大田土壤水分蒸发量。因此, 测得的灌水量值要大于大田的实际值。