

灌水处理对春小麦穗部性状和产量的影响

成雪峰¹, 张风云¹, 柴守玺^{2*}

(1. 菏泽学院资源与环境系, 山东 菏泽 274000; 2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 选用 15 个春小麦品种(系), 在冬灌 1 800 m³/hm² 的基础上, 生育期设 3 次灌水处理(T₁: 拔节期、开花期、乳熟期)、2 次灌水处理(T₂: 拔节期、开花期)和 1 次灌水处理(T₃: 拔节期), 每次灌水 1 050 m³/hm², 研究了水分对春小麦穗部性状及产量和水分利用效率(WUE)的影响。结果表明: T₂ 条件下 3 粒小穗比率、穗粒数、穗粒重、产量和 WUE 都是最高; T₃ 条件下无效小穗比率最高, 而 1 粒小穗比率、2 粒小穗比率、穗粒数、产量和 WUE 则最低。相关分析表明产量与 WUE 在三种水分处理条件下都呈极显著正相关, 在 T₃ 条件下穗粒数与产量和 WUE 显著负相关, 穗粒重与产量和 WUE 极显著正相关, 穗粒数与穗粒重在 T₁、T₂ 条件下极显著正相关, 而在 T₃ 条件下不相关。表明适宜灌水提高了 3 粒小穗比率, 进而增加了穗粒数和穗粒重, 提高了产量和 WUE, 而缺水降低 1 粒和 2 粒小穗比率, 增加了无效小穗比率, 减小了籽粒饱满度, 进而减小穗粒重, 降低产量和 WUE。

关键词: 灌水; 春小麦; 穗部性状; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S512.1⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)03-0013-06

水资源紧缺已成为未来农业发展的首要限制因子之一。世界各国已兴起了节水农业的研究热潮, 在作物生长发育期间如何进行土壤水分的调控以提高作物产量和水分利用效率(WUE), 是目前节水农业领域研究的热点之一^[1]。同时, 通过作物自身性状的遗传特点提高水分利用效率也被认为是取得节水新突破的有效方法之一^[2]。以往有关作物水分利用效率的研究较多。张娟等^[3]对小麦生理性状与水分利用效率的关系做了研究, 成雪峰等^[4]研究了不同水分处理对小麦水分利用效率的影响。张正斌等^[5]对小麦旗叶水分利用效率进行了研究, 张岁岐等^[6]研究了不同小麦种间水分利用效率的差异。但有关农艺性状与水分利用效率关系的研究相对较少, 特别是对不同灌溉模式下春小麦穗部性状与产量和水分利用效率关系的研究还鲜有报道。因而通过研究不同水分条件下春小麦产量、WUE 与穗部性状之间的关系, 明确不同水分处理对穗部性状影响的主次是节水农业研究的重要内容。

小麦产量是由单位面积穗数、每穗粒数和粒重构成的。在目前高产水平条件下, 单位面积穗数由于受品种遗传特性和环境条件的制约, 增加的幅度相对有限; 而穗粒数的变异相对较大, 所以通过提高穗粒数来提高小麦单产的潜力较大, 因而提高小麦穗粒数、穗粒重是当前提高小麦产量的主要途径之一。本文选用了 15 个春小麦品种, 设 3 个水分处理, 在大

田条件下研究了不同水分处理对春小麦穗部性状和产量、水分利用效率的影响, 以期为高水分利用效率春小麦选育、改良和节水栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

根据以往试验和大田种植结果, 选用在产量、农艺特性上有代表性的灌区春小麦品种 15 个: N20-65、NK-1、N2-114、张 258、张 114、酒 96-97、选 920-1、A96-1-23、N96-14、高原 602、A97 列、N4-16、选宁 18、张 96-4、N9-83C。

1.2 试验方法

试验于 2004 年 3~7 月在甘肃省张掖市甘州区二十里铺乡七号村进行。试验地为灌漠土, 地势平坦, 肥力中等, 播前测定耕层 0~20 cm 土层养分含量: 有机质 12.49 g/kg, 全氮 0.87 g/kg, 速效磷 13.72 mg/kg, 速效钾 223.7 mg/kg, 阳离子代换量为 8.02 me/100g, pH 值为 8.83。

试验采用随机区组设计, 3 次重复。小区面积 12.6 m² (7 m × 1.8 m), 每小区 9 行, 按每公顷 600 万基本苗下种, 人工手锄开沟溜种, 周围设 1 m 宽的保护行。生育期间中耕锄草, 记载和测定有关农艺和生理指标, 成熟后各小区随机取 15 株考种, 单打单收计实产。

试验设 3 个水分处理, 处理 1 为对照(CK)。灌水量由水表控制(见表 1)。

收稿日期: 2009-06-16

基金项目: 菏泽学院基金项目(XY08ZW01); 山东省教育厅项目(J07WJ54); 农业部农业科技跨越计划项目(2008 跨 35); 国家科技支撑计划项目(2007BAD52B08)

作者简介: 成雪峰(1977-), 男, 甘肃天水人, 硕士, 主要从事作物生理生态研究。E-mail: cxf854100@126.com。

* 通讯作者: 柴守玺(1962-), 男, 教授, 主要从事作物生理生态研究工作。

表 1 灌水处理(m^3/hm^2)
Table 1 The irrigation schedule

| 处理 Treatment | 灌水时期 Irrigation time | | | | 总灌水量 Total irrigation quantity |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------------|
| | 冬水 Winter irrigation | 拔节期 Jointing stage | 开花期 Florescence | 灌浆期 Milking stage | |
| 处理 1 Treatment 1(T_1 , CK) | 1800 | 1050 | 1050 | 1050 | 4950 |
| 处理 2 Treatment 2(T_2) | 1800 | 1050 | 1050 | | 3900 |
| 处理 3 Treatment 3(T_3) | 1800 | 1050 | | | 2850 |

水分利用效率的计算选用

$$WUE = Y/ET$$

式中, WUE 为作物水分利用效率 [$\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$]; Y 为小麦籽粒产量 (kg/hm^2); ET 为作物耗水量 (mm)。

作物耗水量

$$ET = P + I - \Delta W$$

其中, P 为降水量 (mm); I 为灌水量 (mm); ΔW 为土壤含水量的变化 (mm)。忽略地表径流及土壤水分下渗和地下水的补给(该地区平均地下水埋深在 20 m 以下)。

2 结果与分析

2.1 不同水分处理对春小麦穗部性状的影响

由表 2、表 3、表 4 可以看出, WUE 和产量的变异系数 T_1 最高, T_3 最小, 表明随着缺水程度的增加, WUE 和产量的变异系数逐渐减小, 基因型之间的差异逐渐减小。而穗粒重刚好相反, T_3 条件下达

26.87%, 是 T_1 的 1.79 倍, 表明随着缺水程度的增加, 基因型之间穗粒重变异系数的差异逐渐变大。 T_3 条件下无效小穗比率、1 粒小穗比率、3 粒小穗比率和 4 粒小穗比率变异系数最高, 表明缺水使基因型之间除 2 粒小穗之外各小穗比率差异变大。

在 T_2 条件下, 产量、 WUE 、穗粒重和穗粒数最大, T_3 条件下产量、 WUE 和穗粒数最小, 表明适宜的灌水, 能促进穗粒数和穗粒重的增加, 进而提高产量和水分利用效率, 而缺水会导致穗粒数的降低, 从而降低产量和水分利用效率。在 3 种水分处理条件下, 3 粒小穗比率都相对于其它小穗比率高, 但在 T_2 条件下 3 粒小穗比率最高, 达到了 45%, 无效小穗比率最小, 为 11%; T_3 条件下 1 粒小穗比率, 2 粒小穗比率最小, 而无效小穗比率最高。这表明适宜的灌水, 能促进 3 粒小穗比率的增加, 相反, 缺水会导致 1 粒小穗比率和 2 粒小穗比率的下降, 但增加了无效小穗比率的增加。

表 2 T_1 15 个品种穗部性状平均值的差异

Table 2 Difference of spikelet traits under T_1

| 穗部性状 Spikelet trait | 平均 Mean | 差异范围 Difference range | 极差 Range | 标准差 Standard deviation | 变异系数 Coefficient of variation (%) |
|--|------------|--------------------------|-------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 1 粒小穗比率 Ratio of one-grained ear | 0.09 | 0.05 ~ 0.11 | 0.06 | 0.02 | 19.24 |
| 2 粒小穗比率 Ratio of double-grained ear | 0.22 | 0.17 ~ 0.27 | 0.10 | 0.03 | 13.10 |
| 3 粒小穗比率 Ratio of tri-grained ear | 0.34 | 0.26 ~ 0.40 | 0.14 | 0.04 | 13.15 |
| 4 粒小穗比率 Ratio of four-grained ear | 0.24 | 0.16 ~ 0.30 | 0.14 | 0.04 | 18.25 |
| 无效小穗比率 Ratio of invalid ear | 0.12 | 0.09 ~ 0.16 | 0.07 | 0.02 | 17.77 |
| 穗粒重 Grain plumpness(g) | 1.60 | 1.19 ~ 2.07 | 0.88 | 0.24 | 15.00 |
| 穗粒数 Grain number per spike(grain) | 29.46 | 24.98 ~ 36.98 | 12.00 | 4.00 | 13.59 |
| $WUE[\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})]$ | 11.80 | 8.92 ~ 13.95 | 5.03 | 1.30 | 10.98 |
| 产量 Yield(kg/hm^2) | 4995.45 | 3709.05 ~ 5944.5 | 2235.45 | 537.05 | 10.75 |

2.2 穗部性状与产量和水分利用效率的相关分析

相关分析表明(表 5 ~ 表 7): 产量和 WUE 在三种水分处理下都呈极显著正相关($r_1 = 0.96^{**}$, $r_2 = 0.87^{**}$ 和 $r_3 = 0.97^{**}$); 穗粒数在 T_1 和 T_2 条件下与产量和 WUE 相关不显著, 在 T_3 条件下呈显著负

相关($r_1 = -0.58^*$, $r_2 = -0.53^*$)。穗粒重 T_1 和 T_2 条件下与穗粒数呈极显著相关水平($r_1 = 0.82^{**}$, $r_2 = 0.78^{**}$), 与 WUE 分别达相关显著水平($r_1 = 0.53^*$, $r_2 = 0.50^*$), 而在 T_3 条件下与 WUE 和产量呈极显著正相关($r_1 = 0.73^{**}$, $r_2 = 0.71^{**}$), 与穗

粒数相关不显著。表明产量和 WUE 无论在何种水分处理条件下关系密切,产量的变化都会极显著地引起 WUE 的变化;而在水分较充足的 T₁、T₂ 条件下,穗粒数对产量和 WUE 的影响不大,穗粒重的变

化显著地影响到 WUE 的变化,对产量的影响不大,但在 T₃ 条件下,穗粒数的增加会极显著地降低产量和 WUE,而穗粒重的增加则会极显著地提高产量和 WUE。

表3 T₂ 条件下 15 个品种穗部性状平均值的差异

Table 3 Difference of spikelet traits under T₂

| 穗部性状 Spikelet trait | 平均 Mean | 差异范围 Difference range | 极差 Range | 标准差 Standard deviation | 变异系数 Coefficient of variation (%) |
|-------------------------------------|------------|--------------------------|-------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 1 粒小穗比率 Ratio of one-grained ear | 0.09 | 0.06 ~ 0.17 | 0.11 | 0.03 | 33.47 |
| 2 粒小穗比率 Ratio of double-grained ear | 0.21 | 0.16 ~ 0.27 | 0.11 | 0.04 | 17.27 |
| 3 粒小穗比率 Ratio of tri-grained ear | 0.45 | 0.33 ~ 0.53 | 0.20 | 0.06 | 14.21 |
| 4 粒小穗比率 Ratio of four-grained ear | 0.25 | 0.19 ~ 0.30 | 0.11 | 0.03 | 11.44 |
| 无效小穗比率 Ratio of invalid ear | 0.11 | 0.08 ~ 0.14 | 0.06 | 0.02 | 14.03 |
| 穗粒重 Grain weight per spike(g) | 1.79 | 1.30 ~ 2.45 | 1.15 | 0.31 | 17.19 |
| 穗粒数 Grain number per spike(grain) | 31.75 | 25.24 ~ 37.96 | 12.72 | 3.26 | 10.28 |
| WUE[kg/(hm ² ·mm)] | 13.66 | 11.65 ~ 17.18 | 5.53 | 1.34 | 9.84 |
| 产量 Yield(kg/hm ²) | 5218.90 | 4735.5 ~ 5722.275 | 986.78 | 331.94 | 6.36 |

表4 T₃ 条件下 15 个品种穗部性状平均值的差异

Table 4 Difference of spikelet traits under T₃

| 穗部性状 Spikelet trait | 平均 Mean | 差异范围 Difference range | 极差 Range | 标准差 Standard deviation | 变异系数 Coefficient of variation (%) |
|-------------------------------------|------------|--------------------------|-------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 1 粒小穗比率 Ratio of one-grained ear | 0.05 | 0.02 ~ 0.07 | 0.05 | 0.02 | 34.99 |
| 2 粒小穗比率 Ratio of double-grained ear | 0.20 | 0.16 ~ 0.25 | 0.09 | 0.03 | 14.56 |
| 3 粒小穗比率 Ratio of tri-grained ear | 0.36 | 0.18 ~ 0.47 | 0.29 | 0.07 | 18.82 |
| 4 粒小穗比率 Ratio of four-grained ear | 0.26 | 0.17 ~ 0.33 | 0.16 | 0.05 | 18.34 |
| 无效小穗比率 Ratio of invalid ear | 0.13 | 0.08 ~ 0.42 | 0.34 | 0.08 | 63.01 |
| 穗粒重 Grain weight per spike(g) | 1.61 | 1.23 ~ 2.62 | 1.39 | 0.43 | 26.87 |
| 穗粒数 Grain number per spike(grain) | 28.73 | 23.99 ~ 34.34 | 2.74 | 3.06 | 10.65 |
| WUE[kg/(hm ² ·mm)] | 10.90 | 10.11 ~ 12.64 | 2.53 | 0.69 | 6.30 |
| 产量 Yield(kg/hm ²) | 4734.06 | 4354.5 ~ 5362.42 | 1007.93 | 289.91 | 6.12 |

表5 T₁ 条件下穗部性状与产量的相关分析

Table 5 The correlation analysis between yield and spikelet traits under T₁

| 各性状 Trait | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 |
|-----------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|------|--------|
| x2 | 0.02 | | | | | | | |
| x3 | -0.31 | -0.58* | | | | | | |
| x4 | -0.09 | -0.12 | -0.58* | | | | | |
| x5 | 0.07 | 0.07 | 0.17 | -0.69** | | | | |
| x6 | 0.29 | -0.27 | -0.25 | 0.60* | -0.53* | | | |
| x7 | -0.05 | -0.08 | -0.28 | 0.60* | -0.50* | 0.82** | | |
| x8 | 0.15 | 0.03 | -0.18 | 0.27 | -0.30 | 0.53* | 0.24 | |
| x9 | 0.14 | 0.02 | -0.17 | 0.20 | -0.11 | 0.46 | 0.11 | 0.96** |

注:(1) x1、x2、x3、x4、x5、x6、x7、x8、x9 分别表示 1 粒小穗比率、2 粒小穗比率、3 粒小穗比率、4 粒小穗比率、无效小穗比率、穗粒重、穗粒数、WUE 和产量。(2) * 表示 0.05 水平显著, ** 表示 0.01 水平显著。

Note: (1) x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8 and x9 refer to the ratio of one-grained ear, of double-grained ear, of tri-grained ear, of four-grained ear, and of invalid ear, grain plumpness, grain number per spike, WUE and yield, respectively. (2) * and ** stand for significance at 0.01 and 0.05 level, respectively.

表 6 T_2 条件下穗部性状与产量的相关分析Table 6 The correlation analysis between yield and spikelet traits under T_2

| 各性状 Trait | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 |
|-----------|---------|---------|-------|-------|---------|--------|------|--------|
| x2 | 0.31 | | | | | | | |
| x3 | -0.73** | -0.78** | | | | | | |
| x4 | -0.34 | -0.56* | 0.40 | | | | | |
| x5 | 0.05 | 0.04 | -0.34 | -0.13 | | | | |
| x6 | -0.06 | 0.18 | -0.02 | 0.19 | -0.55* | | | |
| x7 | -0.08 | -0.19 | 0.24 | 0.37 | -0.63** | 0.78** | | |
| x8 | 0.07 | 0.16 | -0.11 | -0.21 | -0.11 | 0.50* | 0.39 | |
| x9 | 0.13 | 0.38 | -0.31 | -0.43 | 0.11 | 0.29 | 0.03 | 0.87** |

注: (1) x1、x2、x3、x4、x5、x6、x7、x8、x9 分别表示 1 粒小穗比率、2 粒小穗比率、3 粒小穗比率、4 粒小穗比率、无效小穗比率、穗粒重、穗粒数、WUE 和产量。(2) * 表示 0.05 水平显著, ** 表示 0.01 水平显著。

Note: (1) x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8 and x9 refer to the ratio of one-grained ear, of double-grained ear, of tri-grained ear, of four-grained ear, and of invalid ear, grain plumpness, grain number per spike, WUE and yield, respectively. (2) * and ** stand for significance at 0.01 and 0.05 level, respectively.

表 7 T_3 条件下穗部性状与产量的相关分析Table 7 The correlation analysis between yield and spikelet traits under T_3

| 各性状 Trait | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 |
|-----------|---------|-------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| x2 | 0.68** | | | | | | | |
| x3 | -0.72** | -0.28 | | | | | | |
| x4 | -0.57* | -0.24 | 0.28 | | | | | |
| x5 | 0.51* | -0.12 | -0.78** | -0.64** | | | | |
| x6 | 0.65** | 0.29 | -0.77** | -0.47 | 0.70** | | | |
| x7 | -0.27 | 0.06 | 0.28 | 0.40 | -0.43 | -0.41 | | |
| x8 | 0.49 | 0.25 | -0.47 | -0.40 | 0.44 | 0.73** | -0.58* | |
| x9 | 0.52* | 0.26 | -0.52* | -0.42 | 0.48 | 0.71** | -0.53* | 0.97** |

注: (1) x1、x2、x3、x4、x5、x6、x7、x8、x9 分别表示 1 粒小穗比率、2 粒小穗比率、3 粒小穗比率、4 粒小穗比率、无效小穗比率、穗粒重、穗粒数、WUE 和产量。(2) * 表示 0.05 水平显著, ** 表示 0.01 水平显著。

Note: (1) x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8 and x9 refer to the ratio of one-grained ear, of double-grained ear, of tri-grained ear, of four-grained ear, and of invalid ear, grain plumpness, grain number per spike, WUE and yield, respectively. (2) * and ** stand for significance at 0.01 and 0.05 level, respectively.

除 1 粒小穗比率、3 粒小穗比率在 T_3 条件与产量分别呈显著负相关 ($r = 0.52^*$) 和显著正相关 ($r = -0.52^*$) 外, 小穗比率与产量和 WUE 相关均不显著。表明只有在严重缺水的 T_3 条件下, 1 粒小穗比率增加会显著提高产量, 而 3 粒小穗比率的增加会显著降低产量, 而其它小穗比率对产量和 WUE 的影响不大。在 T_1 条件下, 4 粒小穗比率与穗粒数和穗粒重呈显著正相关 ($r_1 = 0.60^*$, $r_2 = 0.60^*$), 无效小穗比率与穗粒数和穗粒重呈显著负相关 ($r_1 = -0.53^*$, $r_2 = -0.53^*$); 在 T_2 条件下, 无效小穗比率与穗粒重和穗粒数分别达显著和极显著负相关 ($r_1 = -0.55^*$, $r_2 = -0.63^{**}$); 而在 T_3 条件下无效小穗比率与穗粒重呈极显著正相关 ($r = 0.70^{**}$)。表明随着缺水程度的增加, 4 粒小穗比率对穗粒重和

穗粒数的影响逐渐减小, 在充分灌水的 T_1 条件下显著正相关, 而在 T_2 、 T_3 条件不相关, 而穗粒数在 T_1 、 T_2 条件下呈显著或极显著负相关, 但在 T_3 条件下与穗粒重极显著正相关 ($r = 0.70^{**}$)。表明在 T_1 、 T_2 条件下, 无效小穗的增加会显著降低穗粒重和穗粒数。

2.3 不同水分处理对春小麦产量及其产量构成要素的影响

籽粒产量的高低主要取决于群体干物质总积累量和干物质向籽粒中的运转效率(收获指数)两个方面, 较高的干物质积累以及较高的收获指数有利于籽粒产量的提高。结果表明(表 8): 采用不同的灌水模式对小麦产量的影响较大, 即使在相同处理下, 不同品种间的产量也存在差异。不同水分处理间产量差异极显著 ($F = 7.801^{**}$), 品种间产量差异显著

($F = 2.268^*$)。平均产量 $T_2 > T_1 > T_3$ 。与充分灌溉的 T_1 相比,适度水分亏缺的 T_2 产量提高 4.48%,严重水分胁迫的 T_3 产量降低 5.23%。在产量构成要素中,亩穗数和穗粒数处理和品种间差异都不显著,千粒重处理和品种间差异均达极显著水平($F = 227.025^{**}$, $F = 24.342^{**}$), T_3 分别比 T_1 和 T_2 降低 44.7% 和 16.3%。品种间产量差异也较大,张 96-49 在 T_2 中产量最高(5 722.28 kg/hm²),比该处理中

产量最低的 N4-16 增加 16.51%。 T_1 中 N4-16 产量最低(3 709.05 kg/hm²),这可能是由于严重的水分胁迫导致春小麦的光合速率降低,且生育期缩短致使光合作用高值持续期缩短,干物质累积量降低,进而干物质向籽粒转运的效率降低所致;而在充分灌溉的条件下,春小麦的生物产量增加,但并不利于产量的增加。因此,适度水分亏缺不仅不会降低春小麦产量,反而有利于春小麦产量的大幅度提高。

表 8 水分处理对产量及产量构成要素的影响

Table 8 The effects of water treatments on yield and agronomy characters

| 品种 Variety | 处理 1 Treatment 1 | | | | 处理 2 Treatment 2 | | | | 处理 3 Treatment 3 | | | |
|---------------|--------------------------------------|--|--|------------------------------------|--------------------------------------|--|--|------------------------------------|--------------------------------------|--|--|------------------------------------|
| | 产量 Yield (kg/hm ²) | 穗粒数 (粒/穗) Grain number per spike | 单位面积 积穗数 (株/hm ²) Spike number per ha | 千粒重 1000-grain weight (g) | 产量 Yield (kg/hm ²) | 穗粒数 (粒/穗) Grain number per spike | 单位面积 积穗数 (株/hm ²) Spike number per ha | 千粒重 1000-grain weight (g) | 产量 Yield (kg/hm ²) | 穗粒数 (粒/穗) Grain number per spike | 单位面积 积穗数 (株/hm ²) Spike number per ha | 千粒重 1000-grain weight (g) |
| N20-65 | 5325.45 | 28.98 | 441.60 | 55.01 | 5497.35 | 32.40 | 492.60 | 52.89 | 4743.38 | 27.18 | 470.70 | 45.29 |
| NK-1 | 5449.80 | 24.98 | 449.25 | 57.34 | 5650.80 | 26.80 | 449.10 | 50.60 | 5362.43 | 24.22 | 499.35 | 47.05 |
| N2-114 | 5082.00 | 36.27 | 452.40 | 50.31 | 4735.50 | 31.17 | 487.80 | 44.59 | 4354.50 | 32.08 | 485.25 | 40.32 |
| 张 258 | 5063.55 | 27.38 | 460.50 | 52.27 | 4814.85 | 31.18 | 455.55 | 46.86 | 4706.40 | 30.42 | 487.35 | 43.33 |
| 张 114 | 4626.96 | 27.18 | 443.40 | 49.15 | 5113.80 | 31.00 | 456.60 | 45.22 | 4809.53 | 34.34 | 427.20 | 42.36 |
| 酒 96-97 | 5259.30 | 26.96 | 466.65 | 52.86 | 5103.23 | 33.16 | 431.40 | 49.53 | 4653.45 | 30.79 | 481.65 | 43.92 |
| 选 920-1 | 4613.76 | 34.36 | 416.25 | 57.17 | 4992.08 | 33.76 | 487.35 | 52.67 | 4875.68 | 27.22 | 470.70 | 45.23 |
| A96-1-23 | 4849.20 | 30.00 | 483.75 | 53.25 | 5116.43 | 32.42 | 479.55 | 49.52 | 4584.68 | 24.40 | 467.10 | 43.58 |
| N96-14 | 5500.05 | 25.89 | 480.00 | 57.49 | 5613.75 | 37.96 | 443.10 | 54.49 | 4582.05 | 26.73 | 500.55 | 46.28 |
| 高原 602 | 5235.45 | 33.38 | 449.70 | 48.05 | 5240.78 | 36.44 | 400.50 | 43.53 | 5179.95 | 23.99 | 443.85 | 38.85 |
| A97 列 | 5145.525 | 36.98 | 412.80 | 48.03 | 5619.08 | 31.80 | 471.60 | 44.74 | 4380.98 | 30.27 | 421.50 | 41.01 |
| N4-16 | 3709.05 | 27.73 | 415.95 | 44.68 | 4777.80 | 30.62 | 432.15 | 41.22 | 4447.13 | 30.98 | 457.65 | 38.08 |
| 选宁 18 | 4370.40 | 25.38 | 492.45 | 51.00 | 5240.78 | 25.24 | 494.10 | 49.03 | 4462.95 | 29.80 | 475.20 | 41.64 |
| 张 96-49 | 4756.65 | 25.96 | 487.35 | 50.93 | 5722.28 | 30.52 | 458.55 | 48.66 | 4928.63 | 28.27 | 481.20 | 43.79 |
| N9-83C | 5944.50 | 30.40 | 468.60 | 52.02 | 5045.03 | 30.76 | 432.45 | 48.59 | 4939.20 | 30.21 | 471.60 | 43.72 |
| 均值 Mean | 4995.45 | 29.45 | 454.65 | 51.97 | 5218.88 | 31.68 | 458.10 | 48.14 | 4734.08 | 28.73 | 469.35 | 42.96 |

3 结论与讨论

1) 试验结果表明:适宜灌水能促进 3 粒小穗比率的增加,进而增加穗粒数和穗粒重的增加,使产量和水分利用效率达到最大。相反,灌水量最少的处理 3,1 粒小穗比率和 2 粒小穗比率最小,无效小穗比率最高,导致穗粒数最小,进而使产量和 WUE 最低。这可能是土壤水分适宜时,春小麦拔节、开花期生长良好,后期生殖生长阶段光合产物充足,库源比例协调,穗部性状发育良好,使中部 3 粒小穗比率增大,两端无效小穗比率下降,籽粒饱满,穗粒数增大,进而提高了产量和水分利用效率。而在 T_1 灌溉条件下尽管营养生长旺盛,但后期植株生长旺盛光合产物转移到籽粒中的较少,致使产量和水分利用效

率不高;在 T_3 条件下,前开花期生长不良,后期光合产物较少,最先发育的中部籽粒受到的影响较小,而两端发育较晚的 2 粒小穗、1 粒小穗受到影响较大,使无效小穗比率升高,穗粒数降低,进而致使产量和 WUE 减小。

2) 相关分析表明,产量和水分利用效率呈极显著正相关,这与成雪峰等^[4]研究的结果相同。穗粒数仅在 T_3 条件下与产量和 WUE 呈显著负相关,穗粒重在 T_1 、 T_2 条件下与 WUE 呈显著正相关,在 T_3 条件下与产量和 WUE 呈极显著正相关,表明在不缺水条件下,穗粒数对产量和 WUE 的影响不大,但在缺水较为严重的 T_3 条件下,穗粒数的增加会导致籽粒不饱满,千粒重下降,最终会导致产量和 WUE 的下降,同时在 T_3 条件下穗粒数和穗粒重相关不显著,

表明穗粒数的增加不会增加穗粒重。因此,在缺水较为严重时,影响产量和 WUE 的主要因素是千粒重而不是穗粒数,只有籽粒饱满才会提高产量和 WUE。

参考文献:

- [1] 刘祖贵,陈金平,段爱旺,等.不同土壤水分处理对夏玉米叶片光合等生理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):90—95.
- [2] 张正斌,徐 稔,张建华,等.作物抗旱节水相关基因的标记和克隆及转基因研究进展[J].西北植物学报,2002,22(6):1537—1544.
- [3] 张 娟,张正斌,谢惠民.小麦叶片水分利用效率及相关生理性状的关系研究[J].作物学报,2005,31(12):1593—1599.
- [4] 成雪峰,柴守玺.水分供应对春小麦农艺性状和生理指标的影响[J].甘肃农业大学学报,2005,12(6):750—756.
- [5] 张正斌,山 仑.小麦旗叶水分利用效率的比较研究[J].科学通报,1997,42:1876—1881.
- [6] 张岁岐,山 仑.二倍体小麦种间水分利用效率的差异及与根系生长的关系[J].作物学报,2003,29:569—573.

The effects of different water supplies on spring wheat spikelet traits and yield

CHENG Xue-feng¹, ZHANG Feng-yun¹, CHAI Shou-xi^{2*}

(1. Department of Resources and Environment, Heze University, Heze, Shandong 274015, China;

2. Agronomy College, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Fifteen spring wheat cultivars were selected as the test materials in the experiment. Based on winter flooding ($1\ 800\ \text{m}^3/\text{hm}^2$), three treatments of water supply according to growing stages were designed as follows: T_1 (three times of irrigation at jointing, anthesis and milky stages), T_2 (two times of irrigation at jointing and anthesis stages) and T_3 (one time of irrigation at jointing stage). The water supply of broad irrigation was $1\ 050\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ for each time, the total water supply of the three irrigation treatments were $3\ 150\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ (T_1), $2\ 100\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ (T_2) and $1\ 050\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ (T_3), respectively. The results showed that the ratio of tri-grained ear, grain number per spike, grain weight per spike, grain yield and WUE under T_2 were the highest among all the treatments. The ratio of invalid ear was the highest, while the ratio of one-grained and double-grained ear, grain number per spike, grain yield and WUE were all the lowest under T_3 . The correlation analysis showed that the yields under the three treatments were all significantly positively correlated with WUE. Grain yield and WUE were negatively correlated with grain number per spike while significantly positively correlated with grain weight per spike under T_3 . Grain number spike was significantly positively correlated with grain weight per spike under T_1 and T_2 while there was no correlation under T_3 . The results above showed that moderate irrigation increased the ratio of tri-grained ear which increased grain number and grain weight per spike, and the grain yield and WUE, while water deficit decreased the grain yield and WUE as the result of the decreased ratio of one-grained and double-grained ear, the increased ratio of invalid ear, the decreased grain plumpness and grain weight per spike.

Keywords: water supplies; spring wheat; spikelet traits; grain yield; water use efficiency