

冬小麦推迟春季首次灌水后 不同品种的产量及水分利用效率*

马瑞昆 蹇家利 刘淑贞 贾秀领 王学臣

(河北省农林科学院粮油作物研究所, 石家庄 050031) (北京农业大学生物学院)

摘 要 1991~1993 年研究表明, 即使两年度均为小麦生育期降水较少年份, 且冬、春降水很少, 在相同灌水量条件下, 首次灌水推迟至拔节期或稍后 10 日左右, 小麦仍可获得高产, 并提高了水分利用效率; 在减少供水 75mm 情况下, 仍可维持高产而水分利用效率进一步提高。总的来看, 随着首次灌水推迟, 水分利用总量降低, 而水分利用效率却因产量和水分利用而协调变化。品种对首次灌水推迟的反应不同: 高产中早熟和前期对水分胁迫适应性强的品种更适于高产节水栽培, 可将春季首次灌水推迟至拔节后挑旗前; 晚熟大穗大粒型品种不宜推迟春季首次灌水, 以免减产。

关键词 冬小麦 供水时间 品种 产量 水分利用效率

研究业已表明, 高产冬小麦在播前底墒较好情况下, 省去越冬水和返青水, 将春季首次灌水推迟到拔节期可以达到节水高产, 并已对此建立起直线-抛物线复合数学模型^[1]。然而, 关于春季首水推迟的程度, 品种的反应差异缺乏详尽资料。本研究着重分析春季首水时间和品种对小麦产量和水分利用效率的影响, 旨在充实高产小麦节水栽培的理论基础和技术。

1 材料和方法

试验于 1991~1993 年两个小麦生长季节在石家庄河北省农林科学院粮油作物研究所试验农场进行。试验地土壤肥力较高, 前茬为青贮玉米, 播前均浇足底墒水, 亩施磷酸二铵 10kg。

1991~1992 年度为二因素裂区试验。春季首次灌水时间处理为主区, 分 5 水平: ①3 月 15 日; ②3 月 25 日; ③4 月 5 日; ④4 月 15 日; ⑤4 月 25 日。春季首次灌水时间 5 个水平总灌水量基本一致, 为 300.8 ± 1.0 mm, 共灌水 4 次, 播后至春季首次灌水前均未灌水。全生育期降水 108.2mm, 为少雨年份。品种为副区, 4 个不同类型品种为: a. 冀麦 30, 系本所育成的高产品种; b. 小偃 107, 中国科学院西北植物所育成; c. 215953, 山东农大的大粒型品种, 晚熟; d. 莱州 953, 晚熟大穗大粒型品种。处理组合为①a, ①b, ……⑤d, 3 次重复。基本苗 15 万/亩, 10 月 7 日播种, 行距 20cm, 田间管理一致。

1992~1993 年度为二因素裂区试验。灌水为主区,三水平为:A.越冬水(12月1日)为首水,四水共 279mm;B.起身水(3月16日)为首水,四水共 264mm;C.拔节水(4月5日)为首水,三次灌水共 204mm。全生育期降水 76.9mm,为少雨年份。品种为副区,副区内处理随机设计。品种为 a.冀麦 30;b.莱州 953 和 c.冀杂 901,为杂交种。种植密度为基本苗 20 万/亩。因此,二因素处理组合为 Aa,Ab,...Cc,4 次重复,10 月 4 日播种,行距 20 cm,田间管理一致。

播前、灌水前及成熟收获期用土钻取土测定土壤水分含量至土层深度 100cm 或 200cm,用以计算水分利用效率。1991~1992 年度春季首水前测定午后叶水势。成熟期收获测定产量。

2 结果与分析

2.1 1991~1992 年度结果

2.1.1 产量 1991~1992 年度籽粒产量结果列于表 1。方差分析水处理间($F=11.38^{**}$)和品种间($F=18.80^{**}$)产量差异均达极显著水平。总的来看,产量随春季首次灌水推迟呈下降趋势,但 3 月 15 日(1),3 月 25 日(2),4 月 5 日(3)和 4 月 15 日(4)首水的四个处理间差异不显著,而 4 月 25 日(5)首水处理与其它四个处理比较减产显著。品种间比较,冀麦 30(a)产量最高;小偃 107(b)产量略低,但与 a 差异不显著;莱州 953(d)产量显著低于 a,而与 b 差异不明显;215953(c)产量显著低于上述三个品种(图 1)。

进一步分析各品种产量对春季首水早晚的反应(图 1A),冀麦 30 春季首次灌水推迟至 4 月 15 日对产量几乎没有影响,小偃 107 略有减产,而 215953 和莱州 953 减产较多。看来为了达到既稳定高产又尽可能多地降低水分消耗的目的,冀麦 30 和小偃 107 等品种春季首水可推迟至 4 月中旬,215953 和莱州 953 则应在 4 月上旬前供给。不管哪类品种,春季首水推迟至 4 月下旬都显著影响产量。由此说明,对春季首水早晚反应不敏感的品种对前期水分逆境条件有更强的适应性。

2.1.2 水分利用和水分利用效率

小麦全生育期的水分利用(WU),水处理间差异极显著($F=13.15^{**}$),而品种间没有明显差别。处理 1 显著高于其它四个处理,最大相差 81.0mm;处理 2 显著低于处理 1,而显著高于处理 3、4 和

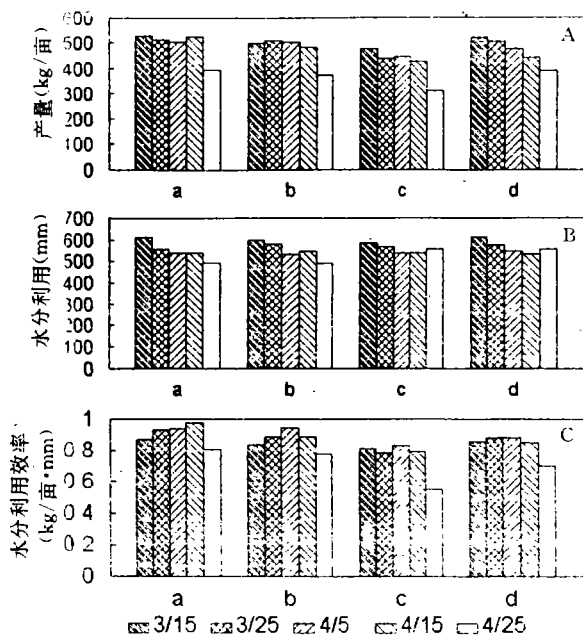


图 1 不同品种产量(A)、水分利用(B)和水分利用效率(C)对首水推迟的反应 (1992)

a. 冀麦 30; b. 小偃 107; c. 215953; d. 莱州 953

5;处理 3、4 和 5 间没有显著差别,相差不过 14.6mm,尤其处理 3 和 4 几乎无差异(表 1)。在 3 月 15 日至 4 月 5 日这段时间内,平均每推迟一日灌水,水分消耗可减少约 3.2mm;而 4 月 5 日至 4 月 25 日这段时间内相应只有 0.7 mm。由此看来,自 4 月 5 日起,进一步推迟春季首水时间对降低水分利用的作用价值已明显变小。冀麦 30 和小偃 107 的水分利用随首水推迟而降低,但 215953 和莱州 953 在首水推迟至 4 月 25 日水分利用反而有所增加(图 1B)。

全生育期各处理总供水量(包括降水和灌水)相近,因而土壤耗水随首水的推迟而降低,与总耗水量变化趋势一致,主要原因是成熟时首水较晚处理土壤中剩余的土壤水分较多的缘故。

进一步分析水分利用总量与首水前水分利用量的关系。每处理春季首水前土壤水分测至 100cm 土层,首水前耗水量(WUB)随首水推迟而增加,尤以 4 月 15~25 日之间增加较多,这与时间的增长和温度的升高有关。首水后至成熟的耗水量(WUA,0~100 cm 土层)随首水推迟而降低。从而首水前耗水量与总耗水量呈显著负相关($r=-0.880^*$),而首水后耗水量则呈显著正相关($r=0.923^*$),而且首水前后耗水比值(1:WUA/WUB)后项则随首水推迟而减少(表 1)。

表 1 首水时间和品种与产量、WU 和 WUE (1992)

处 理	产量 (kg/亩)	WU (mm)	WUB (mm)	WUA (mm)	WUA/WUB	WUEy (kg/mm·亩)	WUEb (kg/mm·亩)
水处理	1 506.0a	602.4a	93.5	443.2	4.74	0.841a	2.053a
	2 491.0a	569.1b	113.9	414.7	3.64	0.866a	2.075a
	3 481.3a	538.0c	121.4	393.2	3.24	0.898a	2.201a
	4 467.0a	537.1c	123.7	379.6	3.07	0.874a	2.155a
	5 364.4b	523.4c	158.7	334.5	2.11	0.707b	1.796a
品 种	a 491.5a	546.3a				0.903a	2.208a
	b 473.1ab	549.6a				0.865ab	2.077ab
	c 417.9b	556.9a				0.752c	1.937b
	d 465.3c	563.3a				0.829b	2.003b

注:各处理因素内每列中有相同字母则在 P=0.05 水平上差异不显著。

分别以地上部总生物量(b)和产量(y)计算水分利用效率(WUEb 和 WUEy)。就 WUEb 而言,水处理间差异不明显,而品种间差异极显著($F=4.11^{**}$),这主要是由于生物量积累差异所致。就 WUEy 而言,水处理间差异显著($F=3.81^*$),品种间差异极显著($F=16.01^{**}$)。从首水时间来看,以 4 月 5 日首水 WUEy 最高,其次为 4 月 15 日首水处理,处理 1、2、3 和 4 之间差异不明显,而处理 5 显著低于其它处理(表 1);从品种来看,冀麦 30 最高,小偃 107 与冀麦 30 差异不明显,莱州 953 显著低于冀麦 30,而 215953 显著低于其它三个品种。从品种在不同首水处理条件下分析(图 1C),冀麦 30 于 4 月 15 日首水 WUE 最高(0.975kg/亩·mm),而以品种 215953 于 4 月 25 日首水最低(0.552kg/亩·mm)。因此,选择适宜品种并尽量推迟春季首水是稳定高产和提高水分利用效率的有效途径。

2.1.3 首水前土壤水分和叶水势 不同土层首水前土壤水分含量随灌水推迟而变化,但不同层次表现不同。4 月 15 日前 0~60 cm 土层水分含量下降明显,而 60~100 cm 土层水分变化较小;4 月 15 日至 25 日,各层水分含量均表现平行急剧下降(图 2A)。叶水势在 3 月 15 日至 4

月 5 日阶段直线下降,4 月 5 日至 15 日之间下降很少,4 月 15 日至 25 日又进一步下降(图 2B)。由本试验来看,在 0~100 cm 土壤水分不低于 11.0%,耕层水分不低于 8.5%,叶水势不低于-1.8MPa 的情况下,推迟春季首水既可保证较高产量,又可提高水分的有效利用。

2.2 1992~1993 年度结果

2.2.1 产量 三种水处理间产量差异不显著,表明将首水由冬前推迟至拔节(4 月 5 日)并少浇一水(75mm),并未明显降低产量(表 2)。然而三品种间产量差异显著($F=30.03^{**}$),以杂交小麦冀杂 9.01。(c)最高,其次为

冀麦 30(a),以莱州 953(b)产量最低。进一步分析品种对首水推迟的反应,冀麦 30 在减少一次灌水情况下,首水推迟至 4 月 5 日对产量没有影响,冀杂 901 略有减产(1.7%),而莱州 953 减产较多(6.5%),与上年度结果一致,看来品种的选用值得注意。

2.2.2 水分利用和水分利用效率

根据 0~100cm 内土层土壤水分变化、生育期降水及灌水量计算出不同处理水分利用(表 2)。首水推迟至 3 月 16 日并未减少耗水,推迟至 4 月 5 日比冬前首水减少耗水 60.3mm,比 3 月 16 日首水减少 80mm。进一步以产量计算水分利用效率(WUEy),以 4 月 5 日首水最高,其中冀麦 30 和冀杂 901 均超过 1.0kg/亩·mm,冬前首水和起身期首水较低;各品种相比较,冀杂 901 最高,冀麦 30 略低,莱州 953 最低。

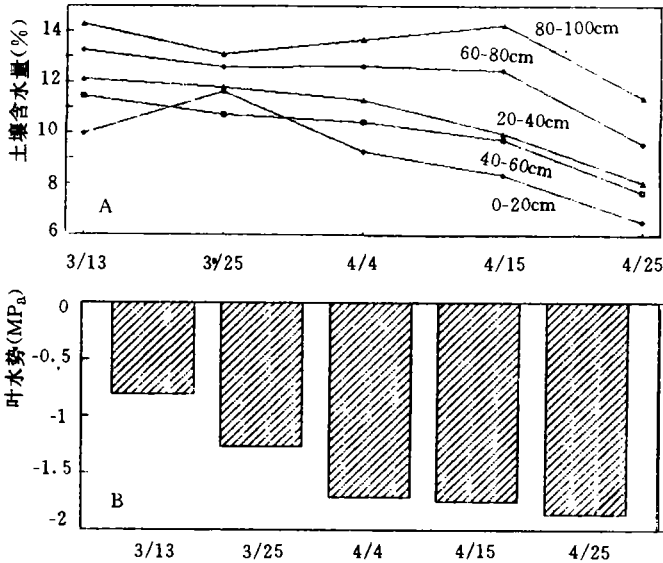


图 2 春季首水前不同土层土壤水分(A)和植株叶水势(B)的变化

表 2 供水和品种与产量、WU 和 WUE (1993)

处 理	产量 (kg/亩)	WU (mm)	WUEy (kg/mm·亩)
水处理 A	471.1a	533.5	0.855
B	464.6a	553.2	0.841
C	457.8a	473.2	0.968
品种 a	473.5b	517.3	0.920
b	429.4c	531.9	0.810
c	490.7a	510.6	0.963

注:各处理因素内每列中有相同字母则在 $p=0.05$ 水平上差异不显著。

3 讨论

作物的水分利用效率(WUE)是由单位土地面积上的总生物量(Mb)或经济产量(My)和作物生长期利用的水分(WU)所决定的^[8],其关系可用下式表示:

$$WUE(\text{kg}/\text{亩} \cdot \text{mm}) = Mb \text{ 或 } My(\text{kg}/\text{亩})/WU(\text{mm})$$

由上式可看出, WUE 的高低是由两个因素决定的, 一是提高生物产量或籽粒产量以提高水分利用效率, 二是降低生长期间的总的水分利用量来提高水分利用效率。将二者有机结合, 在提高产量的同时, 又降低水分利用可提高水分利用效率。

一般认为 C_4 植物的 WUE 高于 C_3 植物^[4]。同一物种(如小麦)的 WUE 的改善, 可通过育种手段培育优良品种提高作物在水分逆境条件下的产量^[4,7]和改进田间管理及环境条件^[4~8]而达到。Innes 等^[7]发现品种和水分胁迫处理都会影响水分利用效率。产量较高的品种 WUE 亦较高。提高产量的因素(施 N^[5], 低温处理^[5], 早期水分胁迫^[4,5,7])往往提高水分利用效率。从本研究来看, 品种和供水处理间的产量均存在明显差别, 推迟生育期内首次供水可明显降低全生育期的水分利用, 从而可通过品种的选用和供水时间推迟的合理组合达到稳定高产和获得最高水分利用效率的目的。就 1991~1992 年度试验而言, 冀麦 30 首水推迟至 4 月 15 日可达到产量不降低(图 1A)而水分利用效率最高(图 1C)的结果。4 月 15 日首水时基部第一节间已经定长, 穗分化已进入药隔形成期, 看来品种对前期水分逆境适应性强弱对推迟春水并保持高产有非常关键的作用。1992~1993 年度, 杂交小麦冀杂 901 和冀麦 30 在推迟春季首水并减少一次灌水情况下, 以较高产量获得水分利用效率超过 $1.0\text{kg}/\text{亩} \cdot \text{mm}$ 的结果, 杂交小麦并略高于普通高产小麦品种。另外, 从品种的成熟期来看, 较早熟品种对提高 WUE 更为有利。

我们以往的研究结果^[1~3]肯定前控式灌水方式可以达到节水高产。前期控水明显降低了小麦拔节前的水分消耗^[2,3], 多年平均拔节前、后耗水比值在 1:3.8 左右, 使耗水重心后移, 与小麦生长发育及产量对水分的需求相吻合。1991~1992 年度首水前后耗水比值后项随首水推迟而降低, 这种比值关系的出现是由于计算的时间不同所造成的。以 4 月 5 日首水的比值与以往结果仍较吻合。首水推迟至 4 月 15 日, 拔节前后耗水比值(1:3.15)没有明显变化。就拔节前后耗水比值而言, 首水越早, 比值后项越小, 进入拔节期供应首水处理达最大, 而后因用水总量的降低又呈下降趋势, 看来比值后项最大值出现期是与高产节水的适宜看水首次供水期相吻合的。

参 考 文 献

- 1 马瑞昆, 贾秀领, 蹇家利等. 冬小麦供水和种植密度与产量关系的数学模型. 华北农学报, 1991, 6(增刊): 96~102
- 2 贾秀领, 马瑞昆, 蹇家利等. 高产小麦前控式节水栽培的土壤水分关系. 见: 农业科学集刊. 北京: 中国农业出版社, 1993: 285~288
- 3 贾秀领, 马瑞昆, 刘淑贞等. 高产麦田供水状况与拔节前作物和土壤水分消耗的关系. 河北农业大学学报, 1993(增刊), 16(4): 168~174
- 4 Begg JE and Turner NC. Crop water deficits. In: Advances in Agronomy. New York: Academic Press, 1976(28): 161~218
- 5 Campbell CA and Davidson HR. Effect of temperature, nitrogen fertilization and moisture stress on yield, yield components, protein content and moisture use efficiency of Manitou spring wheat. Canadian Journal of Plant Science, 1979(59): 963~974
- 6 Gajri PR, Prigar SS and Arora VK. Interdependence of nitrogen and irrigation effects on growth and input

use efficiencies in wheat. *Field Crop Research*, 1993(31):71—86

- 7 Innes P and Blackwell RD. The effect of drought on the water use and yield of two spring wheat genotypes. *Journal of Agricultural Science*. 1981(86):603—610
- 8 Turner NC and Burch GJ. The role of water in plants. In: Teare ID and Peet MM ed. *Crop — Water Relations*. New York: John Wiley & Sons, 1983, 73—126

Effects on Yield and Water Use Efficiency in Winter Wheat Varieties When Postponing the First Irrigation in Spring

Ma Ruikun Jian Jiali Liu Shuzhen Jia Xiuling

(Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of Agricultural
and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050031)

Wang Xuechen

(College of Biology, Beijing Agricultural University, Beijing)

Abstract The effect of first irrigation delay in spring for winter wheat on yield and water use efficiency was analysed during 1991—1993. The rainfall in both years was less than normal during wheat growing season, in particular in winter and spring. The results showed that, when the first irrigation was delayed to stem elongation or about 10 days later, the high water use efficiency and high yield of wheat could be reached, if the same amount of water was given for the whole growing season. The water use efficiency could be improved further and high yield could be maintained, when water input reduced by about 75mm. In general, total water consumption reduced with the postponement of first irrigation; however, the response of different varieties differed. Varieties with high yield, early-middle maturity and adaptation to early water stress are more suitable for cultivation for high yield and water saving by delaying the first irrigation to the period of post-stem-elongation and pre-booting. In order to avoid yield reduction, varieties with late maturity, large spike, and large grain size are not suitable for delaying the first irrigation in spring.

Key words: Winter wheat; Irrigation timing; Variety; Yield; Water use efficiency