

# 限量灌溉和施磷对冬小麦生长及水分利用的影响

郑彩霞, 张富仓\*, 张志亮, 李志军

(西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 在大田条件下研究了不同灌水和施磷组合对冬小麦生长及水分利用的影响。结果表明: 灌水和施磷均可提高冬小麦的株高、生物量、产量及其产量构成。在不同水分条件下, 冬小麦的株高随灌水量的增加而增加, 水分对冬小麦的产量和千粒重的影响达到显著水平, 而不同水分条件对穗长、穗重和穗粒数没有显著影响。在不同施磷处理下, 随着施磷量的增加, 分蘖数、穗数、千粒重、产量及其灌溉水利用效率有显著增加, 但施磷对株高没有显著影响。本试验条件下, 施磷量  $120 \text{ kg/hm}^2$  时, 株高、干物质及其产量达到最大, 当施磷量超过  $120 \text{ kg/hm}^2$  时, 相关物质生产指标呈下降的趋势; 灌水量为  $180 \text{ mm}$  与施磷肥量为  $120 \text{ kg/hm}^2$  是冬小麦干物质积累和产量的最优组合。

**关键词:** 限量灌溉; 磷肥; 冬小麦; 生长; 水分利用

**中图分类号:** S274; S143.2   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1000-7601(2008)02-0116-05

我国北方半湿润易旱地区是我国的粮食主产区之一, 小麦是该地区主要的农作物, 水资源缺乏和土壤肥力低下是制约该地区农业持续发展的主要因素<sup>[1]</sup>。近些年来, 许多学者对冬小麦的水肥效应进行了较多的研究。特别是对冬小麦进行合理施肥、提高降水利用效率等方面有较多的研究<sup>[2~4]</sup>。水分既影响土壤养分的有效性, 也影响作物生长及产量, 水肥之间有明显的交互作用<sup>[5, 6]</sup>。磷肥作为作物重要的营养元素之一, 旱作条件下施磷肥可使作物增产, 提高水分利用效率, 其主要原因是增施磷肥可缓解干旱对作物产量的不利影响, 促进根系发育, 进而增产<sup>[7~9]</sup>。许多研究表明<sup>[10~12]</sup>, 在缺水条件下适量增施磷肥有利于增强小麦的抗旱作用。王同朝<sup>[8]</sup>等研究表明, 灌水与施磷都能促进光合作用, 增加冬小麦的株高、穗长、穗粒数、成穗数和产量, 起到以肥促水的显著作用。魏成熙<sup>[13]</sup>的研究结果表明, 在一定的施磷范围内, 磷素对冬小麦生长发育影响极显著, 可提高小麦的产量。以上大多的研究结果是在旱作农业或盆栽条件下进行的, 对有限灌溉条件下大田小麦对水与磷肥反应的研究报道还较少。实际上在有灌溉条件的小麦种植区, 实行节水灌溉和合理施肥对提高灌水和施肥的综合利用效率以及小麦产量和品质的提高有重要作用。本文以小麦为试验材料, 研究了不同灌水量和施磷量对冬小麦在不同生育期生长及水分利用效率的影响, 并通

过对产量及产量结构进行综合评价, 筛选出适合本地区的冬小麦的合理补充灌溉和施肥技术, 以期作为作物高效水肥利用和农业可持续发展提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料和处理

田间试验于 2006 年 10 月~2007 年 6 月在西北农林科技大学教育部旱区农业水土工程重点实验室大田中进行。供试土壤为棕壤土,  $1 \text{ m}$  内土壤平均容重为  $1.39 \text{ g/cm}^3$ , 田间持水量为  $24\%$ , 种植前测得土壤理化性质: pH 为 8.14, 土壤有机质含量为  $10.4 \text{ g/kg}$ , 全磷含量为  $0.72 \text{ g/kg}$ , 速效磷含量为  $28.4 \text{ mg/kg}$ , 全氮含量为  $0.89 \text{ g/kg}$ , 全钾含量为  $20.19 \text{ g/kg}$ , 速效钾  $102.30 \text{ mg/kg}$ 。供试小麦品种为‘西农 979’。

试验设灌水和施磷两个因素, 灌水设有 3 个水平即  $W_1$ ,  $W_2$  及  $W_3$ , 其每次灌水量分别为  $40$ 、 $60$ 、 $80 \text{ mm}$ ; 施磷设 4 个水平即  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  及  $F_4$ , 施磷肥量分别是每公顷施纯  $P_2O_5$   $0$ 、 $60$ 、 $120$  及  $180 \text{ kg}$ , 12 个处理, 3 次重复, 共 36 个小区。试验采用裂区随机区组合, 施磷肥同时施纯氮 ( $80 \text{ kg/hm}^2$ ), 氮、磷肥全部作为底肥一次性施入。灌水方式采用畦灌, 畦田的周围用小土埂挡水, 挡水地埂大约是  $0.4 \text{ m}$ , 小区

收稿日期: 2007-07-17; 修改日期: 2007-10-08

基金项目: 国家自然科学基金(50579066)

作者简介: 郑彩霞(1982—)女, 甘肃武威人, 硕士研究生, 研究方向为节水灌溉技术。E-mail: caixia818@163.com。

\* 通讯作者: 张富仓(1962—), 男, 陕西武功人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业节水灌溉理论与技术方面的研究。E-mail: zhangfucang@tom.com。

面积  $4.5 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 18 \text{ m}^2$ , 试验田周围设有  $2 \text{ m}$  宽的保护带。当地冬小麦灌溉定额为  $2\ 060 \sim 2\ 450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  [14], 本试验灌水定额为  $1\ 200$ 、 $1\ 800 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  和  $2\ 400 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。整个生育期内灌3次水分别是冬灌(1月11日), 拔节期(4月3日), 灌浆水(5月13日), 灌水量用水表控制。

### 1.2 测定方法

冬小麦生长期间分别于返青期3月10日、拔节期4月2日、抽穗期4月22号、灌浆期5月12日和成熟期6月2日取样5次, 每次在小区内取  $20 \text{ cm}$  样, 测定株数后选取代表性植株10株, 株高用直尺测定, 返青期和拔节期测定顶部完全展开叶, 抽穗期和成熟期测定穗顶端、地上部生物量; 将所取植株样小麦从茎基部与地下部分分离, 放入烘箱在  $105^\circ\text{C}$  下杀青  $30 \text{ min}$ ,  $70^\circ\text{C}$  恒温烘干至恒重, 之后放入干燥器中冷却, 用电子天平称重。根重: 本试验中根系取  $0 \sim 20 \text{ cm}$  层的根系, 获取根系时, 剪下地下部分植株的土柱从田间取出, 然后放入水池中浸泡, 直至土柱变得松散, 然后用冲洗根系, 最后烘干称重, 同时收获小麦产量。

### 1.3 数据分析及处理方法

采用 SAS 8.1 统计分析软件处理数据。多重比较用 Duncan 法 ( $\alpha \leq 0.05$  显著水平、 $\alpha \leq 0.01$  极显著水平)。

## 2 结果与分析

### 2.1 限量灌溉和施磷对冬小麦分蘖的影响

不同灌水和施磷量对冬小麦返青时分蘖数的影响, 结果见表1。从中可以看出, 冬小麦春季分蘖数均随着灌水量和施肥量的增加而增加, 在不同施磷处理下, 施磷量  $F_1$  与施磷  $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$  之间有极显著差异, 施磷量  $F_2$ 、 $F_3$  和  $F_4$  之间差异达到显著水平, 施磷量  $F_2$  和  $F_3$  之间差异不显著, 但施磷量  $F_3$  的分蘖数比  $F_2$  施磷水平增加  $10.1\%$ , 这说明施磷量要结合作物的需肥规律, 适量施肥, 做到少施高效。

随着灌水量的增大, 分蘖数也随着增加, 灌水量  $W_2$  跟其它灌水量的差异达到显著水平。说明灌水量  $W_2$  的土壤水分适合冬小麦生长发育。灌水量和施磷量都能不同程度上增加冬小麦分蘖数。最大分蘖数是在施肥量  $F_3$  的时候, 施磷肥对冬小麦春季分蘖数的影响明显高于水分的影响, 同时也说明适当地增施磷肥可增强冬小麦的抗旱分蘖能力, 进而增

加了穗密度, 而增加了产量。

表1 不同灌水和施磷量对冬小麦分蘖数的影响(个/株)

Table 1 Effects of limited irrigation and phosphorus on tillering number of winter wheat

处理 Treatment	分蘖数 Tillering number
水分 Water	$W_1$ 2.06 <sub>b</sub> A
	$W_2$ 2.37 <sub>a</sub> A
	$W_3$ 2.27 <sub>ab</sub> A
磷肥 Phosphorus	$F_1$ 1.59 <sub>c</sub> C
	$F_2$ 2.49 <sub>a</sub> AB
	$F_3$ 2.75 <sub>a</sub> A
	$F_4$ 2.12 <sub>b</sub> B
显著性检验(F值) Significance examination (F)	
水分 Water	3.56*
磷肥 Phosphorus	26.65**
水分×磷肥 Water×Phosphorus	4.49*

注: \*表示差异显著, \*\*差异极显著; a, b, c 分别表示  $P=5\%$  水平下显著性差异, A, B, C 分别表示  $P=1\%$  水平下显著性差异, 以下同。

Note: a, b, c show significant difference in Duncan ( $P=0.05$ ); A, B, C show significant difference in Duncan ( $P=0.01$ ). The same as follows.

### 2.2 限量灌溉和施磷对冬小麦株高的影响

从表2可以看出, 不同灌水和施磷对植株高度的影响不同, 随生育进程的推进差异显著。拔节至孕穗期间, 随生育进程的推进, 生长量的增加, 水分和养分需求加大, 不同的土壤水分和养分条件对植株生长的影响更加明显, 引起株高的差异越来越大, 到灌浆期不同处理植株高度差异最大。从结果可以看出, 冬小麦生长前期, 株高保持较快的增长态势。而在灌浆期到成熟期株高的变化缓慢。随着灌水量和施肥量增加冬小麦株高也随着增加。在不同施磷条件下, 株高整个生育期无显著差异, 但施磷的株高比不施磷的株高要突出。在不同水分条件下, 返青期土壤水分能够满足作物的需水量。所以株高没有显著的差异。在拔节期和灌浆期由于冬小麦需水量大, 株高在这两个生育期有明显的差异。可以看出, 水分是影响株高的主要因素。但灌水量和施磷量达到最大时, 株高并不是达到最大, 而处理  $W_2F_3$  的植株高度比其他处理的要高。这说明要结合作物的需肥和需水规律, 适时、适量地施肥和灌水。

表 2 不同灌水和施磷对冬小麦株高的影响(cm)

Table 2 Effects of limited irrigation and phosphorus on plant height of winter wheat

处理 Treatment	生育阶段 Growth stage				
	返青期 Reviving	拔节期 Shooting	抽穗期 Booting	灌浆期 Filling	成熟期 Ripening
W <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	23.4±0.96 <sub>a</sub>	56.9±0.35 <sub>b</sub>	77.4±1.06 <sub>b</sub>	75.8±1.62 <sub>b</sub>	80.0±0.80 <sub>bc</sub>
W <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	23.8±1.45 <sub>a</sub>	57.3±3.70 <sub>b</sub>	78.9±1.39 <sub>ab</sub>	78.6±4.6 <sub>ab</sub>	80.2±0.44 <sub>abc</sub>
W <sub>1</sub> F <sub>3</sub>	24.3±2.596 <sub>a</sub>	59.5±2.27 <sub>ab</sub>	77.3±1.50 <sub>b</sub>	76.1±1.35 <sub>b</sub>	79.9±0.47 <sub>bc</sub>
W <sub>1</sub> F <sub>4</sub>	26.7±1.50 <sub>a</sub>	58.5±2.28 <sub>ab</sub>	77.7±1.25 <sub>b</sub>	78.9±2.10 <sub>ab</sub>	79.8±0.37 <sub>bc</sub>
W <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	25.4±2.74 <sub>a</sub>	59.2±4.28 <sub>ab</sub>	78.1±1.53 <sub>ab</sub>	79.8±1.40 <sub>ab</sub>	80.2±0.57 <sub>abc</sub>
W <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	25.6±2.61 <sub>a</sub>	59.4±1.26 <sub>ab</sub>	79.0±0.35 <sub>ab</sub>	78.9±2.50 <sub>ab</sub>	79.9±0.61 <sub>bc</sub>
W <sub>2</sub> F <sub>3</sub>	28.2±3.72 <sub>a</sub>	62.4±2.43 <sub>a</sub>	80.0±0.32 <sub>a</sub>	81.8±1.73 <sub>a</sub>	81.3±0.93 <sub>a</sub>
W <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	26.1±0.51 <sub>a</sub>	61.1±3.34 <sub>ab</sub>	78.2±1.20 <sub>ab</sub>	79.5±2.32 <sub>ab</sub>	80.4±0.93 <sub>abc</sub>
W <sub>3</sub> F <sub>1</sub>	25.3±1.78 <sub>a</sub>	57.2±0.36 <sub>b</sub>	78.4±1.02 <sub>ab</sub>	79.4±2.17 <sub>ab</sub>	79.7±0.73 <sub>c</sub>
W <sub>3</sub> F <sub>2</sub>	25.1±0.10 <sub>a</sub>	58.3±0.44 <sub>ab</sub>	78.2±1.38 <sub>ab</sub>	80.4±1.02 <sub>ab</sub>	81.0±0.58 <sub>ab</sub>
W <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	24.9±0.56 <sub>a</sub>	59.2±1.15 <sub>ab</sub>	78.3±1.29 <sub>ab</sub>	80.5±3.00 <sub>ab</sub>	80.7±0.93 <sub>abc</sub>
W <sub>3</sub> F <sub>4</sub>	24.9±0.72 <sub>a</sub>	58.2±1.08 <sub>ab</sub>	78.6±1.12 <sub>ab</sub>	79.4±2.79 <sub>ab</sub>	80.1±0.54 <sub>abc</sub>
显著性检验(F值) Test of significance (F)					
水分 Water	2.62	4.41*	2.25	4.24*	2.13
磷肥 Phosphorus	1.09	1.91	1.13	0.59	2.83
水分×磷肥 Water×Phosphorus	1.04	0.23	0.94	1.05	1.40

## 2.3 限量灌溉和施磷对冬小麦干物质积累的影响

不同灌水和施磷对冬小麦干物质积累的影响, 度逐渐加快, 拔节~孕穗期迅速增大, 灌浆~成熟期缓慢增加, 整个过程表现为慢~快~慢的规律。茎秆是物质储存的主要部分, 小麦根、冠干物质的积累均随施

如表 3 所示, 冬小麦干物质积累均呈现出冬前~返青阶段干物质积累速度很慢, 返青~拔节阶段积累速度和灌水量的增加而增加。返青前植株茎、绿叶干物质积累量较少, 不同施磷量的差异不明显。随着小麦的生长, 其差异逐渐增大, 拔节后更明显。

表 3 不同灌水和施磷对冬小麦干物质积累的影响(g/10 株)

Table 3 Effects of limited irrigation and phosphorus on biomass yield of winter wheat

	生育阶段 Growth stage	处理 Treatment						
		水分 Water			磷肥 Phosphorus			
		W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>
返青期 Reviving	根干重 Weight of dry root	1.25 <sub>a</sub>	1.42 <sub>a</sub>	1.16 <sub>a</sub>	1.18 <sub>a</sub>	1.22 <sub>a</sub>	1.42 <sub>a</sub>	1.28 <sub>a</sub>
	冠干重 Weight of dry canopy	3.66 <sub>b</sub>	4.17 <sub>a</sub>	3.91 <sub>ab</sub>	3.69 <sub>a</sub>	3.82 <sub>a</sub>	4.19 <sub>a</sub>	3.95 <sub>a</sub>
	根/冠 Root/canopy	0.63 <sub>a</sub>	0.68 <sub>a</sub>	0.58 <sub>a</sub>	0.56 <sub>b</sub>	0.67 <sub>ab</sub>	0.71 <sub>a</sub>	0.57 <sub>b</sub>
拔节期 Shooting	根干重 Weight of dry root	2.27 <sub>a</sub>	2.80 <sub>a</sub>	2.31 <sub>a</sub>	2.07 <sub>b</sub>	2.55 <sub>ab</sub>	2.98 <sub>a</sub>	2.24 <sub>b</sub>
	冠干重 Weight of dry canopy	24.12 <sub>a</sub>	25.38 <sub>a</sub>	25.27 <sub>a</sub>	22.80 <sub>b</sub>	23.77 <sub>b</sub>	28.62 <sub>a</sub>	24.47 <sub>b</sub>
	根/冠 Root/canopy	0.21 <sub>a</sub>	0.21 <sub>a</sub>	0.19 <sub>a</sub>	0.17 <sub>b</sub>	0.28 <sub>a</sub>	0.14 <sub>c</sub>	0.22 <sub>ab</sub>
抽穗期 Booting	根干重 Weight of dry root	2.54 <sub>a</sub>	2.74 <sub>a</sub>	2.63 <sub>a</sub>	2.17 <sub>c</sub>	2.49 <sub>bc</sub>	3.18 <sub>a</sub>	2.70 <sub>b</sub>
	冠干重 Weight of dry canopy	23.89 <sub>b</sub>	26.46 <sub>a</sub>	25.9 <sub>ab</sub>	2.64 <sub>c</sub>	26.56 <sub>b</sub>	29.45 <sub>a</sub>	23.04 <sub>c</sub>
	根/冠 Root/canopy	0.11 <sub>a</sub>	0.11 <sub>a</sub>	0.10 <sub>a</sub>	0.09 <sub>b</sub>	0.09 <sub>b</sub>	0.11 <sub>ab</sub>	0.12 <sub>Aa</sub>
灌浆期 Filling	根干重 Weight of dry root	2.38 <sub>a</sub>	2.87 <sub>a</sub>	2.46 <sub>ab</sub>	2.18 <sub>b</sub>	2.49 <sub>b</sub>	3.03 <sub>a</sub>	2.56 <sub>ab</sub>
	冠干重 Weight of dry canopy	28.04 <sub>b</sub>	33.88 <sub>a</sub>	32.42 <sub>a</sub>	30.85 <sub>a</sub>	31.69 <sub>a</sub>	32.02 <sub>a</sub>	31.22 <sub>Aa</sub>
	根/冠 Root/canopy	0.09 <sub>a</sub>	0.09 <sub>a</sub>	0.08 <sub>a</sub>	0.09 <sub>a</sub>	0.08 <sub>a</sub>	0.10 <sub>a</sub>	0.08 <sub>a</sub>

试验表明(表 3), 不同水分条件对植株干物质积累的影响有明显差异。冬小麦冠和根干重到返青期以后的增加先快后慢。各处理在早期的干物质积

累缓慢, 在孕穗期后有一段快速积累时期, 但随生育期推进, 又变得缓慢, 灌浆期以后开始下降。W<sub>1</sub>、W<sub>2</sub> 和 W<sub>3</sub> 的干物质积累量相差不大, 表明灌浆期以

后  $W_1$  的物质积累还在以较大的速率进行,这是受水分条件的影响生长延缓,贪青晚熟的表现。

不同施磷量对冬小麦地上部分前期的影响很小,随着冬小麦的生长,差异也随着显著。干物质积累量均随生育进程推进而增加。拔节期以前,各处理的干物质无明显差别,说明在此阶段之前各个土壤处理中磷都能满足小麦前期正常生长的需求。而在小麦生长的中后期不施磷处理的干物质均明显低于其它施磷处理,这是由于不施磷处理的肥力在该时期已经不能满足冬小麦正常生长的需肥要求,而施磷肥处理仍能源源不断地供给小麦磷素。这说明两种施磷肥处理的干物质积累方面效果明显。施磷处理的冬小麦干重和生长后期干重增加的速率均显著高于不施磷的。施磷量适合的处理冬小麦干物质积累总量分别比其他处理增加。随着施磷量的增加,冬小麦冠干重的增加显著。根干重整个生育期内,受施磷量的影响很大,由于根系生长量的增加。作物摄取更多的养分和水分,产量随之增加。根、冠生长发育及功能之间存在着相互依存、互为竞争的关系<sup>[15]</sup>。当土壤水分充足时,二者主要表现为相互依赖和促进关系。当土壤水分亏缺时,根、冠为生存、为维持二者间功能平衡,又互相竞争各自所需物质,此时主要体现的则是竞争关系。

#### 2.4 限量灌溉和施磷对冬小麦产量及灌溉水利用效率的影响

由表4可以看出,灌水量和施磷量增加冬小麦产量构成,其产量也随着增加。当达到某一水分供应量后,则又出现下降现象。进一步分析表4数据

表明,在不同土壤水分条件下,冬小麦的产量和千粒重的影响达到显著水平,而不同土壤水分条件对穗长、穗重和穗粒数没有显著差异。随着灌水量的增加,灌溉水的利用效率逐渐减小。灌水量为  $W_2$  时,产量达到最大。产量在灌水量  $W_2$  条件下分别比  $W_1$  和  $W_3$  条件下增加了 2.97% 和 3.38%。

在不同施磷处理下,产量及其产量构成随着磷肥施用量的增加而呈现增加趋势,施磷肥量  $F_3$  比其它处理有显著差异,  $F_3$  产量 8 044.8 kg/hm<sup>2</sup>、穗数 761.4 万/hm<sup>2</sup>、穗粒数 29.44 粒、穗长 9.60 cm、穗重 28.72 g/10 株、千粒重 41.29 g 等综合因素都好于其它处理。据研究小麦对磷素反应敏感,在不施磷小区,小麦产量比其他施磷处理要低。因为从表1还可以看出小麦幼穗分化。施磷具有增产作用,但其增产则因施磷量有显著差异,施磷量处理的产量则高于无磷处理。不同磷肥水平之间,表现出穗数随磷肥水平提高而差异显著,施磷量  $F_3$ 、 $F_4$ 、 $F_2$  和不施磷量  $F_1$  比较穗数分别增加了 7.14%、4.66% 和 2.61%,说明磷肥具有显著增加穗数作用。上述结果表明,施磷对土壤水分不足的补偿效应主要是增加单位面积穗数,施肥增加了穗粒数,而对穗长不显著,从而增加了产量。施磷肥对灌溉水利用效率有显著影响,施磷比不施磷的处理灌溉水利用效率要高,随着施磷量的增加灌溉水利用效率也随着增加,不同施磷量条件下施磷条件下施磷量  $F_3$  达到显著水平,冬小麦增施磷肥对水分亏缺具有一定的补偿作用。

表4 不同灌水和施磷对冬小麦产量构成及灌溉水利用效率的影响

Table 4 Effects of limited irrigation and phosphorus on yield and irrigation water use efficiency of winter wheat

处理 Treatment	穗数 Ear number (万/hm <sup>2</sup> )	穗粒数 Kernels / ear (粒)	穗长 Ear length (cm)	穗重 Ear weight (g/10 株)	千粒重 Grain weight (g)	产量 Yield (kg/hm <sup>2</sup> )	灌溉水利用效率 Utilization efficiency of irrigation water [kg/(hm <sup>2</sup> ·mm)]	
水分 Water	$W_1$	713.70 <sub>b</sub>	28.58 <sub>a</sub>	9.03 <sub>b</sub>	26.12 <sub>a</sub>	38.73 <sub>b</sub>	7672.1 <sub>b</sub>	63.94 <sub>a</sub>
	$W_2$	763.58 <sub>a</sub>	29.00 <sub>a</sub>	9.63 <sub>a</sub>	26.72 <sub>a</sub>	40.22 <sub>a</sub>	7931.8 <sub>a</sub>	44.07 <sub>b</sub>
	$W_3$	731.58 <sub>b</sub>	28.83 <sub>a</sub>	9.40 <sub>ab</sub>	26.46 <sub>a</sub>	39.83 <sub>ab</sub>	7702.8 <sub>ab</sub>	32.10 <sub>c</sub>
	$F_1$	710.67 <sub>c</sub>	28.11 <sub>b</sub>	9.06 <sub>a</sub>	24.35 <sub>b</sub>	37.61 <sub>c</sub>	7570.2 <sub>b</sub>	45.37 <sub>b</sub>
磷肥 Phosphorus	$F_2$	729.22 <sub>bc</sub>	29.22 <sub>ab</sub>	9.35 <sub>a</sub>	27.11 <sub>ab</sub>	40.24 <sub>ab</sub>	7697.7 <sub>b</sub>	46.28 <sub>b</sub>
	$F_3$	761.40 <sub>a</sub>	29.44 <sub>a</sub>	9.60 <sub>a</sub>	28.72 <sub>a</sub>	41.29 <sub>a</sub>	8044.8 <sub>a</sub>	48.19 <sub>a</sub>
	$F_4$	743.80 <sub>ab</sub>	28.44 <sub>ab</sub>	9.40 <sub>a</sub>	25.55 <sub>b</sub>	39.24 <sub>b</sub>	7762.9 <sub>b</sub>	46.94 <sub>ab</sub>
	显著性检验(F值) Test of significance (F)							
水分 Water	15.09**	1.25	2.57	0.14	4.00*	3.11*	991.36**	
磷肥 Phosphorus	13.17**	8.72**	1.04	4.00*	12.2**	4.66**	4.04*	
水分×磷肥 Water×Phosphorus	2.52	1.02	0.70	1.85	0.78	1.51	1.35	

总体来说,在不同灌水条件下,灌水量  $W_2$  与其它灌水量相比,产量差异达到了显著水平;在不同施磷量条件下,施磷量  $F_3$  比其它处理产量达到显著水平。无论是灌水和施肥产量有增产效果,当施肥量  $F_3$  时冬小麦的产量达到最大。说明肥料增产效果更突出。但总的来说,只有适量施肥,才能促使小麦生长和产量提高,灌溉水利用效率也随着提高。这一结果表明,在本试验范围内,灌水量  $W_2$  和施磷  $F_3$  条件已能满足冬小麦对水分和磷肥的要求。灌水量  $W_2$  与施磷量  $F_3$  是对于冬小麦生长、干物质、产量及其产量构成最优的组合。生育后期过多灌水或土壤严重缺水均显著影响冬小麦对土壤水分的利用效率。过多灌水显著地降低了灌溉的边际效益,造成了水资源的浪费。

### 3 结论与讨论

试验结果表明,冬小麦产量各构成因素均受土壤供水状况的影响,但其对土壤水分的敏感期及敏感程度并不相同。适当的土壤水分对冬小麦有促进作物生长,增加产量。在不同水分处理下,随着小麦生育进程的推移,灌水量  $W_2$  处理与其他处理的产量差异越来越明显,灌水量  $W_2$  处理的产量显著地高于其它灌水处理。产量在灌水量  $W_2$  条件下分别比  $W_1$  和  $W_3$  条件下增加了 3.38% 和 2.97%。说明灌水量  $W_2$  的处理显著改善了土壤水分状况。虽然  $W_3$  处理灌水量最大,但产量却无显著影响。在灌浆期以后  $W_1$  的物质积累还在以较大的速率进行,这是受水分条件的影响生长延缓、贪青晚熟的表现。灌水量过大显著地降低了水分利用效率,造成了水资源的浪费。

在不同施磷处理下,磷对冬小麦生长发育的作用贯穿于整个生育时期,其中以对前期的促进作用最为明显,以往的研究大都注重于这一时期,磷对冬小麦分蘖数发生十分重要的作用,施磷促进小麦初期的生育,增加分蘖数,增加穗数,从而增加产量,这与前人研究一致<sup>[9,13]</sup>。李裕元<sup>[16]</sup>试验表明,N、P 单施均可显著提高小麦的生物产量、籽粒产量、株高、穗长、单株干重、穗粒数和穗粒重,施磷还可显著提高单株成穗数、单株粒数和千粒重。施磷水平越高,对冬小麦促进作用也大。随施磷量的增加,穗长、穗粒数、成穗数提高,最终产量受施磷水平影响更为明显。但施磷量超过一定的范围,土壤速效磷含量较高时,土壤中的速效磷满足作物生长所需,因而施磷不会增产,当磷肥施用量过大时,造成 N、P 比例失

调,产量降低主要由氮素不足所致,且磷素过量也会对小麦生长产生抑制作用<sup>[17]</sup>。

研究表明,合理水肥促进了冬小麦地上、地下部的生长,增加了冬小麦穗数和干物质积累,穗粒数显著增加,千粒重显著提高,籽粒产量有所增加,提高了灌溉水利用效率。这与王生录<sup>[18]</sup>的研究结果一致。磷肥有利于对深层水分的利用,增强作物抗旱能力,是提高水分利用效率的重要措施之一。施肥有明显的调水作用,灌水也有明显调肥作用。灌水量少时,水肥的交互作用随肥料用量增加而表现得明显;灌水量高则有相反作用。灌水提高了当季作物产量和肥料利用率,却降低了后作产量及肥料效果。但从总体来看,灌水提高产量,增加肥效的作用依然突出。水分和养分又是人为易于控制的因素,但是土壤水分、养分与作物的关系密切又复杂,要深入的了解和掌握它们之间的作用关系,还需要进行深入的研究。

### 参考文献:

- [1] 张忠学,于贵瑞.不同灌水处理对冬小麦生长及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2003,22(2):1-4.
- [2] 刘明强,宇振荣,刘云慧,等.作物养分定量模型原理及方法比较分析[J].土壤通报,2006,37(3):1-2.
- [3] 梁银丽,康绍忠,张成娥.不同水分条件下小麦生长特性及氮磷营养的调节作用[J].干旱地区农业研究,1999,17(4):58-63.
- [4] 吕家珑,张一平,刘思春,等.施磷水平对 SPAC 水分能量特征的影响[J].生态学报,2000,20(2):255-263.
- [5] Li Sheng xiu. Management of soil nutrients on dry lands in China for sustainable agriculture[J]. Soil and Environ, 1999, 2(4): 293-316.
- [6] Ohashi Y, Saneoka H, K Fujita. Effect of water stress on growth, photosynthesis, and photo assimilate translocation in soybean and tropical pasture legume Siratro[J]. Soil Sci Plant Nutr, 2000, 46(2): 417-425.
- [7] Skinner R H, Radin J W. The effect of phosphorus nutrition on water flow through the apoplastic by pass in cotton roots[J]. J Exp Bot. 1994, 45: 423-428.
- [8] 王同朝,卫丽,吴克宁,等.地下水浅埋区水磷耦合对冬小麦的影响[J].节水灌溉,2004,(1):9-13.
- [9] 关军锋,李广敏.施磷对限水灌溉小麦根冠及产量的影响研究[J].中国生态农业学报,2004,12(4):102-105.
- [10] 周全来,赵牧秋,鲁彩艳,等.施磷对稻田土壤及田面水磷浓度影响的模拟[J].应用生态学报,2006,17(10):1845-1848.
- [11] 张岁岐,山仓.磷素营养和水分胁迫对春小麦产量及水分利用效率的影响[J].西北农业学报,1997,6(1):22-25.
- [12] Rodriguez D. Phosphorus nutrition and water stress tolerance in wheat plants[J]. Plant Nutr, 1996, 19(1):29-39.
- [13] 魏成熙.喀斯特山区冬小麦施肥量与产量的关系[J].干旱地区农业研究,2006,24(3):60-63.
- [14] 张崇智.西安市主要作物节水灌溉制度研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(3):150-153.

(下转第 125 页)

- [6] 王凤新,康跃虎,刘士平.滴灌条件下马铃薯田的土壤水分调控方法[J].干旱地区农业研究,2003,21(9):27-30.
- [7] 王树安.作物栽培学各论(北方本)[M].北京:中国农业出版社,1995,10:236-237.
- [8] 门福义,刘梦云.马铃薯栽培生理[M].北京:中国农业出版社,1995.212.

## Effect of different treatment of drip irrigation on growth of potato

JIANG Jun-yan<sup>1,3</sup>, WANG You-ke<sup>1,2,3\*</sup>

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. National Engineering Research Center for Water-saving Irrigation at Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In order to find out the proper water irrigation and proper irrigation time of potatoes, we carried out a big field experiment. The experiment is mainly to observe the development of potato in different water irrigation and irrigation time. It showed that, the more irrigation water and shorter irrigation cycle, the higher the potato plants were; The time for the stalk thick beginning to attenuate is earlier than the height to attenuate for more than 10 days, and the attenuate range was larger than the plant height. The stalk of potatoes with the shortest irrigation period was not the thickest. When it was irrigated with  $180 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , the stalk of potatoes was the thickest as the period was 5 days. The smaller the water amount was, the irrigation period took more effect on the yield. But in the same water amount, the shorter the period was, the higher the yields were. The maximum yield was  $28\ 260 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , which came from the pattern in which irrigation was made every 3 days with an amount water of  $90 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  for each time during the whole stage. It was  $10\ 350 \text{ kg}$  higher than that of irrigating every 7 days with the same amount of irrigation water.

**Key words:** irrigation water; irrigation cycle; potato; yield

(上接第120页)

- [15] 李志勇,陈建军,陈明灿.不同水肥条件下冬小麦的干物质积累、产量及水氮利用效率[J].麦类作物学报,2005,25(5):80-83.
- [16] 李裕元,郭永杰,邵明安.施肥对丘陵旱地冬小麦生长发育和水分利用的影响[J].干旱地区农业研究,2000,18(1):15-21.
- [17] 梁银丽,康绍忠.限量灌水和磷营养对冬小麦产量及水分利用的影响[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(1):61-67.
- [18] 王生录.黄土高原旱地磷肥残效及利用率研究[J].水土保持研究,2003,10(1):71-75.

## Effects of limited irrigation and phosphorus on growth and water use of winter wheat

ZHENG Cai-xia, ZHANG Fu-cang<sup>\*</sup>, ZHANG Zhi-liang, LI Zhi-jun

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas of Ministry of Education, Northwest A & F University, Shanxi Yangling 712100)

**Abstract:** The experiment was completed in the field to study the effects of limited irrigation and phosphorus on growth and water utility of winter wheat. The result showed that irrigation and phosphorus can enhance plant height, biomass and yield components. The plant height increase with the increase of irrigation quantity, the effects of water on yield and 1000-grain weight reached a significance level and there are no significant differences in spike length, spike weight and kernel numbers per spike. Tillering number, spikes number, 1000-grain weight, yield and irrigation water use efficiency increase with the increase of phosphorus. Phosphorus fertilizer has no significant effect on plant height. In this experiment, there are maximum value of plant height, dry matter and yield under the conditions of  $120 \text{ kg}$  phosphorus per  $\text{hm}^2$ . There was a decline trend all above indexes under the condition of over  $120 \text{ kg}$  phosphorus per  $\text{hm}^2$ . The best combination to dry matter accumulates and yield was irrigation water  $180 \text{ mm}$  and phosphorus  $120 \text{ kg}$  phosphorus per  $\text{hm}^2$ .

**Key words:** limited irrigation; phosphorus; winter wheat; growth; water use