

# 不同水肥条件下旱地小麦水肥利用率研究

武继承, 朱洪勋, 杨占平

(河南省农业科学院土壤肥料研究所, 河南 郑州 450002)

**摘要:**探讨了不同水肥条件对旱地小麦产量和水肥利用率的影响。结果表明, 不同水肥条件对小麦株高、穗长、穗粒数和千粒重有明显影响; 补充灌溉和不灌溉施肥处理分别比相应对照增产 39.2%~142.6% 和 34.2%~152.3%, 同时补充灌溉比不灌溉各处理增产 21.0%~40.2%。不同肥料配比以  $N_1P_1$  处理的肥料利用效率最高, 并以适当补灌效果最佳, 补充灌溉和不灌溉每千克 N 分别增产小麦 18.0 kg 和 13.0 kg。不同肥料配比处理灌溉水利用效率分别比对照提高 0.17~0.72 kg/m<sup>3</sup>, 并以  $N_1P_1$  最高, 为 1.16 kg/m<sup>3</sup>。

**关键词:** 旱地; 小麦; 补充灌溉; 水肥利用效率

中图分类号: S14 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2003)04-0095-04

## Study on Water and Fertilizer Use Efficiency of Wheat under Different Water and Fertilizer Conditions

WU Ji-cheng, ZHU Hong-xun, YANG Zhan-ping

(Institute of Soil and Fertilizer, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** The effect of different water and fertilizer conditions on dryland wheat yield and water and fertilizer use efficiency was discussed in this article. The experiment results showed the water and fertilizer conditions had an obvious influence on wheat height, fringe length, amount of fringe grain and weight of 1000 grains. The fertilizer treatments of supplement irrigation and no irrigation increased production 39.2%~142.6% and 34.2%~152.3% individually than that of ck. At the same time, the supplement irrigation treatments increased production 21.0%~40.2% than that of no irrigation. In all of the fertilizer treatments, the fertilizer use efficiency of the treatment of  $N_1P_1$  was the highest, and the supplement irrigation was better than that of no irrigation. The fertilizer use efficiency of supplement irrigation and no irrigation of the treatment of  $N_1P_1$  was 18.0 kg and 13.0 kg wheat grain per kilogram fertilizer. And the analysis of irrigation water use efficiency of different fertilizer treatment approve this viewpoint, the water use efficiency of different fertilizer treatment augmented 0.17~0.72 kg/m<sup>3</sup> than that of ck, and the treatment of  $N_1P_1$  was the highest, which water use efficiency got to 1.16 kg/m<sup>3</sup>. Therefore, the reasonable irrigation play a positive role on dryland crops production, and the good coupling of water and fertilizer has an important affect on improving irrigation water use efficiency.

**Key words:** Dryland; Wheat; Supplement irrigation; Water and fertilizer use efficiency

干旱缺水已成为我国农业发展的重要限制因素。尤其在在我国北方 0.78 亿公顷旱耕区, 降水是主要水源, 如何提高有限水分资源的利用效率、协调旱地农田水分与养分的相互关系, 是提高旱地农作物生产效率的关键问题。因此, 开展不同水分条件下

的水肥耦合效应研究, 探讨不同水分条件下水肥耦合对小麦产量和水肥利用效率的影响, 对于河南省 440 万公顷旱作区小麦水肥的科学管理具有重要意义。1999~2002 年我们进行了不同水分条件下的水肥耦合试验研究。

收稿日期: 2003-05-17

基金项目: “十五”国家重大科技专项课题(2002AA2Z4291)

作者简介: 武继承(1965-), 男, 河南通许人, 副研究员, 博士, 主要从事节水农业、植物营养等研究工作。

## 1 材料和方法

试验设置在半湿润易旱区的禹州市郭连乡岗孙村的岗旱地,年降水量 646 mm,其中 60% 以上集中在夏季,存在较严重的春旱、伏旱和秋旱;土壤为褐土,土壤母质为黄土性物质,耕层土壤养分状况为有机质 12.3 g/kg、全氮 0.80 g/kg、水解氮 47.82 mg/kg、速效磷 6.66 mg/kg、速效钾 114.8 mg/kg。

试验设补充灌水和不灌水两种水分条件,肥料处理设 ck, N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>, N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>, N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K 10 个处理(N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> 分别表示施用纯氮 150 和 300 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> 分别表示施用 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 和 300 kg/hm<sup>2</sup>, K 表示施用 K<sub>2</sub>O 120 kg/hm<sup>2</sup>,下同),3 次重复,拉丁方排列;补充灌水时间为拔节期和灌浆期,补充水源为水池(窖)收集的降水,灌水量分别为 600 和 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。小麦品种采用豫麦 34 号,播种量为 135 kg/hm<sup>2</sup>,播期为 10 月 20~25 日,统一播种、统一管理。处理周围设 1.5 m 宽保护行。11 月 5 日选定小麦定苗样段,分析小麦株高、分蘖、成穗、穗长、穗粒数等生长发育特征。试验用肥料采用过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)、尿素(含 N 46%)、硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O 60%)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对小麦生育性状的影响

从表 1 可以看出,不同水肥条件下小麦的生长发育性状具有明显的差异。在不灌水条件下,施肥处理较对照植株增高 0.7~10.8 cm,穗长增长 0.5~3.0 cm,小穗数增多 1.1~5.4 个,不孕穗减少 0.6~1.8 个,千粒重提高 2.7~9.4 g。补充灌水条件下,施肥处理较对照植株增高 0.2~8.5 cm,穗长增长 0.2~2.2 cm,小穗数增多 0.2~2.5 个,不孕穗减少 0.2~1.6 个,千粒重提高 2.0~7.3 g。

补充灌水与不灌水相比,总体上植株增高 2.86 cm,穗长增长 0.45 cm,小穗数增多 0.67 个,不孕穗减少 0.28 个。但千粒重却没有提高,反而降低了 0.74 g,可能是每公顷总穗数增加的缘故。株高、穗

长、千粒重均有显著提高的处理只有 N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>P<sub>2</sub> 和 ck。

不同肥料之间相比,在同等氮素水平下,不灌水处理随施磷量的增加千粒重增加;而补充灌水处理只有 N<sub>2</sub> 水平随施磷量的增加千粒重增加,穗长增加;N<sub>1</sub> 水平下表现较为复杂。在同等磷素水平下,基本上均表现为随施氮量的提高穗长增加,小穗数增加,不孕穗降低,千粒重降低,可能是每公顷总穗数增加的缘故。

表 1 不同水肥处理对小麦生育性状的影响

水分条件	处理	株高 (cm)	穗长 (cm)	小穗数 (个)	不孕穗 (个)	千粒重 (g)
不灌水	ck	41.7	4.2	11.2	3.9	29.3
	P <sub>1</sub>	48.2	4.9	12.3	3.3	36.0
	P <sub>2</sub>	45.2	6.3	14.0	2.5	36.0
	N <sub>1</sub>	44.5	5.5	14.5	2.7	32.0
	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	49.2	7.1	15.4	2.1	37.3
	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub>	46.3	6.5	14.6	3.6	38.7
	N <sub>2</sub>	42.4	4.7	13.1	3.0	34.7
	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	49.6	7.2	16.6	2.6	36.3
	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	42.7	6.4	15.8	3.0	38.0
	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K	52.5	6.5	15.2	2.3	37.7
灌水	ck	46.0	5.3	14.2	3.3	30.7
	P <sub>1</sub>	46.2	6.4	14.4	3.0	33.0
	P <sub>2</sub>	50.5	5.9	14.4	3.0	34.3
	N <sub>1</sub>	54.5	6.1	14.3	2.9	32.7
	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	50.5	7.2	15.8	2.4	37.0
	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub>	44.8	5.5	14.2	2.7	35.3
	N <sub>2</sub>	45.5	5.5	13.9	3.1	35.0
	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	50.4	7.4	16.7	1.7	35.3
	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	52.1	7.5	16.3	2.1	37.3
	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K	50.4	7.0	15.2	2.8	38.0

### 2.2 不同水分处理对小麦产量的影响

从表 2 可以看出,补充灌水和不灌水条件下的各施肥处理均比对照增产明显,其中不灌水施肥处理较对照增产 34.2%~152.3%,补充灌水施肥处理增产 39.2%~142.6%。差异均达到极显著水平。

补充灌水与不灌水各处理相比,均有明显增产效应,增幅达 21.0%~40.2%,说明在旱地农业生产条件下,发展合理集雨补灌对农作物增产具有的积极效应<sup>[1]</sup>。

表 2 不同水肥条件对小麦产量影响

水分条件	项目	ck	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K
不灌水	平均产量(kg/hm <sup>2</sup> )	1 569.0	2 106.0	2 182.5	2 613.0	3 514.5	3 960.0	2 532.0	3 630.0	3 571.5	3 823.5
	较对照增产(%)		34.2	39.1	66.6	123.9	152.3	61.4	131.4	127.6	143.7
灌水	平均产量(kg/hm <sup>2</sup> )	2 029.5	2 824.5	2 880.0	3 631.5	4 732.5	4 602.0	3 550.5	4 392.0	4 392.0	4 921.5
	较对照增产(%)		39.2	41.9	79.0	133.3	126.9	75.0	116.5	116.5	142.6

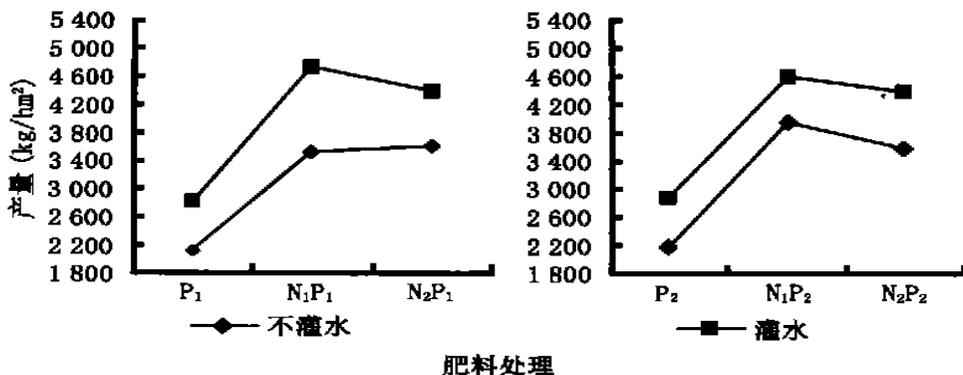


图 1 同等磷素水平下氮素的增产效应

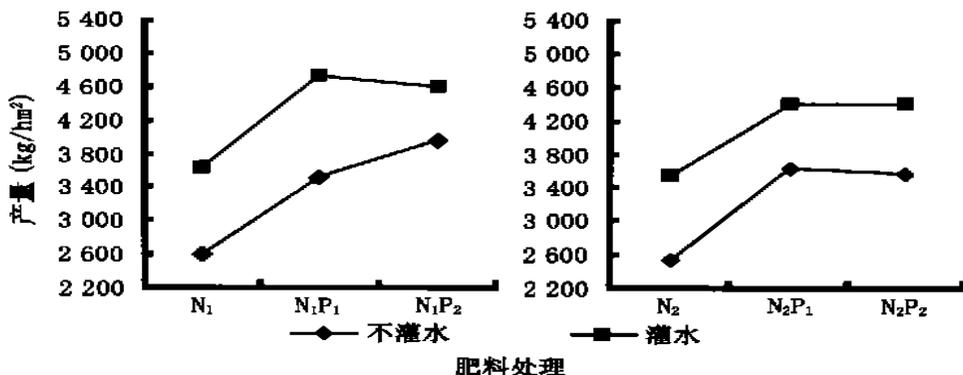


图 2 同等氮素水平下磷素的增产效应

### 2.3 不同肥料处理对小麦产量的影响

不同肥料配比试验结果表明,在同等磷素水平下,补充灌水和不灌水两种水分条件在过多的氮素肥料用量时,增产幅度不明显(图 1)。在不灌水条件下,不配施磷时施 N 150 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 N 增产小麦 7 kg,施 N 300 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 N 仅增产小麦 3.2 kg;配施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup> 时,施 N 150 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 N 增产小麦 13 kg,施 N 300 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 N 仅增产小麦 6.9 kg;而配施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 300 kg/hm<sup>2</sup>,施 N 150 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 N 增产小麦 15.9 kg,施 N 300 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 N 也只增产小麦 6.7 kg。同样,补充灌水条件下,不配施磷时施 N 150 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 N 增产小麦 10.7 kg,施 N 300 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 N 仅增产小麦 5.1 kg;配施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup> 时,施 N 150 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 N 增产小麦 18.0 kg,施 N 300 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 N 仅增产小麦 7.9 kg;而配施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 300 kg/hm<sup>2</sup>,施 N 150 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 N 增产小麦 17.2 kg,施 N 300 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 N 也只增产小麦 7.9 kg。由此可见,以 N<sub>1</sub>P<sub>1</sub> 和 N<sub>1</sub>P<sub>2</sub> 两处理较好,并以 N<sub>1</sub>P<sub>1</sub> 的氮肥利用效果最好。因此,合理地利用氮肥是提高肥料利用效益的关键。

同等氮素条件下,补充灌水和不灌水两种水分

条件磷素肥料的不同配比表现不同的特征(图 2)。在不灌水条件下,不配施氮肥时施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增产小麦 3.6 kg;施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 300 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 仅增产小麦 2.0 kg。配施 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 时随施磷量的增加小麦产量增加,但每千克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的增产效应不同,施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增产小麦 13.0 kg;施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 300 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 仅增产小麦 8.0 kg。配施 N 300 kg/hm<sup>2</sup> 时磷肥增产效应则表现为施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增产小麦 13.7 kg;施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 300 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 仅增产小麦 6.7 kg。而补充灌水不配施氮肥时施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增产小麦 5.3 kg;配施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 300 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 仅增产小麦 2.8 kg。配施氮肥时,增产效应存在同样趋势,其中配施 N 150 kg/hm<sup>2</sup>,施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增产小麦 18.0 kg;施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 300 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增产小麦 8.6 kg。而配施 N 300 kg/hm<sup>2</sup> 时,施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增产小麦 15.8 kg;施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 300 kg/hm<sup>2</sup>,每千克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增产小麦 7.9 kg。由此可见,以 N<sub>1</sub>P<sub>1</sub> 和 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub> 两处理较好,并以 N<sub>1</sub>P<sub>1</sub> 的磷肥利用效果最好。

钾营养的增产效应,在 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup> 的基础上,补充灌溉和不灌溉条件下,每千克 K<sub>2</sub>O 的小麦增产效率分别为 2.1 和 1.6 kg。说明研究区域旱耕地的钾营养相对较富裕,在合理氮磷配比情况下,可以不施钾或少施钾提高肥料的利用效益。

综上所述,补充灌溉和不灌溉两种水分条件下, N<sub>1</sub>P<sub>1</sub> 处理的肥料利用率较高。而且以适当进行补充灌溉效果最佳。这与合理施肥提高作物的抗旱性能有

关<sup>[2]</sup>。

#### 2.4 不同肥料配比对灌溉水利用效率的影响

不同肥料配比对灌溉水利用效率具有显著影响(表 3),不同肥料配比的灌溉水利用效率分别比对照提高 0.17~0.72 kg/m<sup>3</sup>,并以 N<sub>1</sub>P<sub>1</sub> 最高,为 1.16 kg/m<sup>3</sup>;其次为 N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K。这与产量分析结果基本一致。因此,水肥耦合对提高灌溉水的利用效率具有重要作用<sup>[3]</sup>。

表 3 不同肥料配比对灌溉水利用率的影响

项目	ck	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K
不灌水产量(kg/hm <sup>2</sup> )	1 569.0	2 106.0	2 182.5	2 613.0	3 514.5	3 960.0	2 532.0	3 630.0	3 571.5	3 823.5
灌水产量(kg/hm <sup>2</sup> )	2 029.5	2 824.5	2 880.0	3 631.5	4 732.5	4 602.0	3 550.5	4 392.0	4 392.0	4 921.5
水分利用率(kg/m <sup>3</sup> )	0.44	0.68	0.66	0.97	1.16	0.61	0.97	0.73	0.78	1.05
比 ck 增减(kg/m <sup>3</sup> )		0.24	0.22	0.53	0.72	0.17	0.53	0.29	0.34	0.61

### 3 结果与讨论

不同肥料配比对小麦生长发育性状有明显影响。不同肥料配比均可以提高小麦的株高、穗数、穗长和千粒重,降低不孕穗数。补充灌溉较不灌溉可以提高小麦的株高、穗数、穗长和降低不孕穗数,但千粒重有所降低,可能与穗数增加有关。

不同肥料配比对小麦产量具有明显的增产效果。与对照相比,不灌水施肥处理较对照增产 34.2%~152.3%,灌水施肥处理增产 39.2%~142.6%,均达极显著水平。灌水与不灌水各处理相比,增产效应明显,增产幅度达 21.0%~40.2%。因此,应发展合理的旱作区集雨补灌节水农业,提高单位产出效益。

不同肥料配比试验结果表明,合理施肥可以明显提高旱地小麦肥料利用率,两种水分条件下均以 N<sub>1</sub>P<sub>1</sub> 最好。其中不灌水条件下,每千克 N 的小麦生产率为 13 kg,补充灌溉每千克氮小麦生产率为 18 kg。而高氮情况下,氮肥生产率明显降低,补充灌溉

和不灌水 N<sub>2</sub> 水平下每千克 N 小麦生产率分别为 7.9 kg 和 6.9 kg。磷肥表现趋势相同。因此,合理肥料配比是提高肥料利用效益和作物抗旱性的关键所在。

不同肥料配比补充灌溉的水分利用效率分析结果表明,施肥处理比对照提高 0.17~0.72 kg/m<sup>3</sup>,并以 N<sub>1</sub>P<sub>1</sub> 最高,为 1.16 kg/m<sup>3</sup>。

合理的配料配比具有明显的增强作物抗旱性、提高水肥利用效率的功能。

#### 参考文献:

- [1] 王德水. 旱地农田肥水协同效应与耦合模式[M]. 北京:气象出版社,1999. 98-114.
- [2] 娄成后,王学臣. 作物产量形成的生理学基础[M]. 北京:中国农业出版社,2001. 189-200.
- [3] 邓国凯,张源沛,王平武,等. 集雨补灌对地膜小麦的产量和水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(1):91-93.