

# 节水灌溉条件下冬小麦优化施肥研究

张岁岐 山 仑

(中国科学院水利部水土保持研究所 陕西杨陵 712100)

**摘 要** 在东新大田生产条件下,就冬小麦只进行冬灌时的优化施肥问题进行了研究。结果发现由于东新土壤普遍缺N而富P,施用P肥无明显增产效果,低N下施P反而减产;而施N则具有明显节水增产效果。因此,在东新只灌一水(冬灌60mm)情况下,从发挥肥效和提高WUE的角度出发,施纯N 150 kg/hm<sup>2</sup>,N P=2:1即可达到较优效果,过量NP肥施用无助于产量和WUE的提高。

**关键词** 节水灌溉 冬小麦 优化施肥

## Study on Optimum Application of Winter Wheat under Water Saving Irrigation Condition

Zhang Suiqi Shan Lun

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences  
and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)

**Abstract** The optimum application of winter wheat were studied under water saving irrigation in Dongxin village. The result showed that the effect of P application was not obvious, yield and WUE of winter wheat were reduced by P application under low N condition. But yield and WUE of winter wheat were increased significantly by N application because of deficient N and plentiful P in soil. Therefore the effect of application of N 150 kg/hm<sup>2</sup> and N P=2:1 was optimum under water saving irrigation in Dongxin village.

**Key words** water saving irrigation winter wheat optimum application

水资源供需矛盾的日益尖锐已使在我国尤其是北方地区大规模推行节水农业成为农业持续稳定发展的必然选择。推行节水农业必须实行充分利用环境水和最大限度节约作物本身用水相结合的技术策略,除采取工程措施以减少水分从水源到田间的损失和实现灌水的定时定量精确控制外,农业措施如施肥、选用节水高产品种、化控等亦有非常重要的作用。<sup>[1]</sup>其中施肥对提高作物水分利用效率的作用尤其明显<sup>[2]</sup>,如何实现水肥的最优组合以达到节水增产的目的,既是节水农业的一个重要内容,也是现代高效农业本身的要求。关于水肥耦合以前已进行了不少研究,也

有不少水肥关系方程<sup>[3,4,5]</sup>,但由于地域条件、气候条件的差异,使得在一地得到的结果在另一地很难得到应用。我们在东新村的调查结果发现:东新村土壤普遍存在磷素的富积,而氮营养则较低,N P 比严重失调。对此进行了研究,旨在指导当前节水灌溉条件下的合理施肥。

## 1 材料与方法

试验于 1996 年~ 1998 年在富平县华朱乡东新二队水浇地上进行了两年,1996 年试验材料为冬小麦品种陕 160,1997 年为小偃 22,播量为 105 kg/hm<sup>2</sup>,播期为 10 月 8 日,收获期为 5 月 30 日,播前甲拌磷拌种以防地下害虫。试验地土壤为黄壤土,土壤凋萎湿度 8.0%,田间持水量 19.49%,饱和含水量 37.38%,平均土壤容重 1.32 g/cm<sup>3</sup>,两年播前土壤有效含水量分别为 214.38 和 182.6 mm。两年试验期间降雨量分别为 201.3 和 223.9 mm,同期累积蒸发量分别为 783.0 和 752.6 mm,试验期间只进行了一次冬灌,灌水量为 60.0 mm。1996 年播前土壤养分含量分别为:全 N 0.095%、速 N 69.6×10<sup>-6</sup>、全 P 0.097%、速 P 46.50×10<sup>-6</sup>、速 K 220.5×10<sup>-6</sup>、有机质 1.525%,1997 年播前土壤养分含量分别为:全 N 0.095%、速 N 71.8×10<sup>-6</sup>、全 P 0.095%、速 P 33.14×10<sup>-6</sup>、速 K 170.3×10<sup>-6</sup>、有机质 1.33%。

1996 年试验设 NP 两因子各三水平,纯 N 使用量分别为 0、150、300 kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 使用量分别为 0、150、300 kg/hm<sup>2</sup>,另设三个 NP 配比处理,分别为 N:P=112.5:112.5、225.0:112.5、337.5:112.5 kg/hm<sup>2</sup>,试验共 12 个处理,三重复共 36 个小区,小区面积 2 m×4 m,试验处理及编号见表 1。1997 年试验采用 N、P、K 三因子三元二次回归正交组合设计,N 肥的上下水平分别为:纯 N 0、300 kg/hm<sup>2</sup>,P 肥的上下水平分别为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0、300 kg/hm<sup>2</sup>,K 肥的上下水平分别为 K<sub>2</sub>O 0、225 kg/hm<sup>2</sup>,γ=1.215,试验共 15 个处理,三重复共 45 个小区,小区面积 3 m×4 m,试验处理及编号见表 2。两年中磷肥用重过磷酸钙,在播前底肥一次施入,氮肥用尿素、钾肥用硫酸钾,2/3 用作底肥,其余作追肥在冬灌时施入。土壤水分测定用烘干法,计产考种同一般田间试验。

表 1 1996 年试验处理及编号

处理号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
纯 N/kg·hm <sup>-2</sup>	0	0	0	150	150	150	300	300	300	112.5	225.0	337.5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg·hm <sup>-2</sup>	0	150	300	0	150	300	0	150	300	112.5	112.5	112.5

表 2 1997 年试验处理及编号

处理号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
纯 N/kg·hm <sup>-2</sup>	273.45	273.45	273.45	273.45	26.6	26.6	26.6	26.6	300.0	0.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg·hm <sup>-2</sup>	273.5	273.5	26.6	26.6	273.45	273.45	26.6	26.6	150.0	150.0	300.0	0.0	150.0	150.0	150.0
K <sub>2</sub> O/kg·hm <sup>-2</sup>	205.1	20.0	205.1	20.0	205.1	20.0	205.1	20.0	112.5	112.5	112.5	112.5	225.0	0.0	112.5

## 2 结果分析

### 2.1 不同肥料及配比对冬小麦生长的影响

生长是受营养和水分影响最敏感的过程,这集中反映在作物的叶面积和株高上。对收获时株高的测定结果表明(表 3):在低 N 条件下,施用 P 肥对株高无促进作用,反而对生长有抑制作用;而在中高 N 条件下,施用 P 肥对生长才起明显促进作用,在施 N 量 300 kg/hm<sup>2</sup> 情况下,随施 P 量的增加,冬小麦株高较不施肥对照的增加量分别达到 9.0、6.6 和 13.0%。在各种 P 肥水平下,施用 N 肥对冬小麦生长有明显促进作用,不施 P 时,两施 N 处理冬小麦株高的增幅分别为 13.0

和 9.7%; 但随着施 P 量的增加, N 肥对株高的促进作用减弱。各种 N P 配比中, 以 N P=2:1 对生长的促进作用最为明显。

表 3 1996 年试验不同处理株高 cm

处理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
株高	58.43 ±3.99	58.92 ±1.31	53.33 ±2.89	66.0 ±3.33	59.3 ±1.82	68.05 ±1.87	63.71 ±5.57	62.3 ±1.05	66.02 ±1.76	59.28 ±1.53	65.32 ±4.74	60.2 ±2.94

2.2 不同肥料及对比对冬小麦耗水的影响

由于营养元素对作物生长的影响改变了蒸腾、蒸发的比例<sup>[8]</sup>, 因而对耗水也有影响(表 4), 试验发现: 各种 N 素水平下, 增施 P 肥对冬小麦土壤耗水, 总耗水及土壤耗水占总耗水百分数皆有显著促进作用, 但其作用并不显著; 而各种 P 素水平上, 增施 N 肥则对此三个指标有明显促进作用, 低 P 情况下两施 N 处理的总耗水量分别较对照增加了 6.9% 和 15.0%; N:P 比越大, 对冬小麦耗水的促进作用越大。1997 年结果有类似趋势(见表 6)。

表 4 1996 年试验各处理耗水结果 mm

处理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
土壤耗水	67.9 ±3.3	70.7 ±3.2	76.8 ±6.1	90.73 ±2.1	93.6 ±0.9	99.1 ±4.5	117.2 ±3.2	107.6 ±0.4	118.4 ±5.6	75.4 ±5.1	100.4 ±4.3	107.8 ±3.2
总耗水	329.2 ±3.3	332.0 ±3.2	338.1 ±6.1	352.0 ±2.1	354.9 ±0.9	360.4 ±4.5	378.5 ±3.2	368.9 ±0.4	379.7 ±5.6	336.7 ±5.1	361.7 ±4.3	369.2 ±3.2
土壤耗水/总耗水/%	20.6	21.3	22.7	25.8	26.4	27.5	31.0	29.2	31.2	22.4	27.8	29.2

2.3 产量构成

从表 5 可知: 低中 N 条件下, 施 P 对穗粒数无明显促进作用, 随施 P 量的增加穗粒数反而降低; 而高 N 下, 施 P 对穗粒数有明显促进作用, 但过量施用 P 肥亦对穗粒数有副效应。各种 P 水平上, 施 N 皆提高了冬小麦穗粒数, 但高 P 情况下, N 肥的这种作用减弱。

各 N 水平下, 施 P 皆降低了收获指数  $H_I$ ; 而各 P 水平下, 施 N 皆提高了冬小麦的收获指数  $H_I$ , 可见 N 对  $H_I$  的促进作用大于 P。

各种 N:P 配比中, 以 N:P=2:1 对穗粒数和千粒重的作用效果最好。

表 5 1996 年试验各处理产量构成、产量及 WUE

处理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
穗粒数/个	33.8 ±3.4	30.4 ±2.8	26.1 ±3.3	38.1 ±4.0	35.8 ±1.7	29.3 ±2.8	36.9 ±1.7	41.1 ±3.9	33.9 ±3.4	33.8 ±4.2	36.0 ±2.4	33.8 ±4.5
千粒重/g	38.5 ±1.0	38.8 ±1.2	38.5 ±0.5	38.0 ±1.7	39.5 ±1.0	40.3 ±0.3	38.2 ±0.8	36.7 ±1.5	36.7 ±0.8	38.7 ±0.3	39.0 ±1.0	37.7 ±1.1
收获指数	0.34 ±0.01	0.36 ±0.05	0.31 ±0.00	0.48 ±0.04	0.39 ±0.01	0.40 ±0.02	0.44 ±0.08	0.42 ±0.04	0.36 ±0.02	0.35 ±0.03	0.36 ±0.04	0.53 ±0.16
产量/kg·hm <sup>-2</sup>	3378.0 ±115.5	2895.0 ±282.0	2857.5 ±259.5	4989.0 ±225.0	4986.0 ±103.5	5004.0 ±145.5	5401.5 ±186.0	5496.0 ±219.5	5917.5 ±249.5	4533.0 ±231.5	5209.5 ±373.0	5710.5 ±281.4
WUE/ kg·mm <sup>-1</sup> ·hm <sup>-2</sup>	10.27 ±0.3	8.73 ±0.69	8.44 ±0.39	14.17 ±0.53	14.05 ±0.24	13.89 ±0.24	14.27 ±0.35	14.66 ±1.44	15.60 ±0.38	13.48 ±0.96	14.42 ±1.47	15.47 ±1.19

2.4 产量及 WUE

低 N 下施用 P 肥以后, 产量及 WUE 下降, 且下降幅度随施 P 量的增加而增加; 中 N 下施用 P 肥对产量和 WUE 无明显作用; 高 N 下施用 P 肥对产量和 WUE 有明显促进作用, 且增加幅度

随施 P 量增加而增加。各种 P 肥水平下,施用 N 肥皆增加了冬小麦的产量和 WUE,且增加幅度随施 P 量的增大而增加(表 5)。

表 6 是 1997 年试验的耗水、产量和 WUE 结果,对产量( $Y_1$ )和 WUE( $Y_2$ )与施 N 量( $x_1$ ),施 P 量( $x_2$ )和施 K 量( $x_3$ )进行了回归分析,结果如下:

$$Y_1 = 5\,779.5 + 460.1x_1 + 393.8x_1^2 - 189.3x_2^2 + 3885x_3^2 \quad (\alpha = 0.01)$$

$$Y_2 = 18.67 + 1.45x_1 + 0.40x_2 - 1.25x_1^2 + 1.08x_2^2 + 1.01x_3^2 \quad (\alpha = 0.05)$$

表明本试验条件下 N 肥对冬小麦产量和 WUE 有正效应,而 P 肥有负效应,与 1996 年试验结论一致。

表 6 1997 年冬小麦试验结果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
耗水/mm	316.9 ±25.85	336.4 ±30.0	289.6 ±8.14	295.7 ±10.12	311.7 ±15.46	322.0 ±5.65	331.2 ±30.59	304.2 ±12.94	320.4 ±10.23	287.2 ±3.30	320.1 ±23.98	311.6 ±6.05	301.1 ±6.05	318.3 ±17.33	293.4 ±6.85
产量/kg·hm <sup>-2</sup>	6684.3 ±61.2	6423.2 ±463.5	6188.4 ±433.3	6649.5 ±243.0	5483.9 ±214.2	5408.4 ±298.5	5555.4 ±350.1	5264.7 ±90.8	6207.3 ±143.4	5544.0 ±335.4	4659.8 ±179.9	5369.3 ±244.0	6081.5 ±311.9	5654.6 ±78.60	5518.8 ±110.0
WUE/ kg·mm <sup>-1</sup> ·hm <sup>-2</sup>	21.35 ±1.91	19.10 ±1.27	21.36 ±1.75	22.49 ±2.05	17.60 ±1.37	16.80 ±0.97	16.77 ±0.83	17.31 ±0.40	19.38 ±0.07	19.31 ±0.05	14.57 ±1.64	17.24 ±0.38	20.21 ±1.24	17.76 ±1.24	18.81 ±0.19

### 3 结论与讨论

播前肥力调查结果表明:实验地土壤速效 P 含量较高,因而在施 N 条件下,施用 P 肥虽然由于对根系生长的促进而增加了冬小麦的土壤耗水和总耗水量<sup>[6]</sup>,但对地上部生长、产量和 WUE 并无明显作用,反而在施 P 量大时,由于 N—P 比失调,对冬小麦生长、产量和 WUE 产生副效应,导致产量和 WUE 降低。本实验中由于播前土壤含 N 量比较低,因而无论在那一种 P 水平上,施用 N 肥由于对冬小麦地上部生长的明显促进作用,显著增加了冬小麦的产量及 WUE。虽然 P 肥具有明显的抗旱增产效果<sup>[6]</sup>,但本实验条件下,丰富的土壤 P 营养掩盖了 P 肥的这种作用,而使 N 的作用表现出来。我们在东新村的土壤普查结果表明:东新土壤普遍存在 P 素的富集现象,这与农民大量施用磷酸二铵有关。李立科(1982)认为渭北地区应大量推广施用磷肥<sup>[7]</sup>,但随着化肥施用量的增加和生产水平的提高,是否还应该如此?另外,东新村土壤富 P 现象在整个渭北地区是否具有普遍性?这都是需要进一步调查研究的问题。

在东新冬小麦生育期降水 200~230 mm、播前土壤有效含水量 180~220 mm、只进行一次冬灌(60 mm)情况下,从发挥肥效和提高 WUE 的角度出发,施纯 N 150 kg/hm<sup>2</sup>、N—P=2:1 即可达到较好效果,过量 NP 施用无助于产量和 WUE 的提高。

#### 参考文献

- 1 山仑,徐萌 节水农业及其生理生态基础,应用生态学报,1991,2(1):70~76
- 2 张岁岐,山仑 氮素营养对春小麦抗旱适应性及水分利用的影响,水土保持研究,1995,2(1):31~35
- 3 吕殿青等 旱地水肥交互作用与耦合模型研究 旱地农田肥水关系原理与调控技术,北京:中国农业科技出版社,1995,204~211
- 4 董大学,李玉山 干旱型下渭北塬地冬小麦生产潜力及水肥效应研究,中国科学院 水利部西北水土保持研究所集刊,1988,10 集,124~129
- 5 李玉山等 黄土高原南部作用水肥产量效应的田间研究 土壤学报,1990,27(1):15~20
- 6 张岁岐,山仑 磷素营养对春小麦抗旱性的影响 应用与环境生物学报,1998,4(2):115~119
- 7 李立科等 磷肥对渭北旱塬小麦抗旱增产的作用 陕西农业科学,1982,5:7~9
- 8 Richie, T., Efficient water use in crop production Discussion on the generality of relations between biomass production and evapotranspiration, In: Limitation to efficient water use in crop production. 1983, 29~44