

# 旱地长期定位施肥对冬麦水分利用的影响研究<sup>①</sup>

樊 军 郝明德 党廷辉

(中国科学院、水利部水土保持研究所 陕西杨凌 712100)

**摘 要** 本文在长期定位施肥试验基础上研究了黄土高原旱地不同施肥条件下冬小麦对水分的利用。结果表明:旱地不同施肥连续 15 年种植冬小麦后对土壤剖面含水量影响显著,施 N 或 NP 配合处理与 CK 和单施 P 处理剖面含水量差异均达显著或极显著水平,冬小麦对土壤储水的利用深度超过 200cm,最大施肥处理 N 180 kg/hm<sup>2</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180kg/hm<sup>2</sup> 小麦收获后 0~400cm 剖面储水量比 CK 少 173.89mm,高 N 肥投入产量与生育年降水量显著相关,旱地土壤深层储水利用有很大的抗旱增产潜力。

**关键词:** 长期定位施肥试验;生育年降水;土壤深层储水

我国北方旱区耕地面积大,充分利用自然降水发展旱地农业已成为大势所趋<sup>[1]</sup>,由于有灌溉条件的地区少,水肥成为限制粮食产量的主要因素,人们只有通过保墒措施提高小麦水分利用率,增施肥料是今后相当长一段时期内提高小麦产量的主要措施。但是肥料投入量的增加,又易受降水量的限制,水和肥对作物的影响不是孤立的,适宜的水分条件是作物养分吸收利用的前提,而适宜的养分环境又促进作物水分的吸收利用<sup>[2]</sup>,因而能被作物利用的水分多少及其中养分的浓度决定作物的生长发育,如何在有限的降水条件下取得较高产量获得最大的经济收益则取决于合理的肥料投入。国内对肥水耦合效应的研究报导很多<sup>[3~7]</sup>,我们从长期定位施肥试验的角度上对旱地有限水分利用进行研究,以期黄土高原旱地农田生态系统中水肥关系问题的进一步研究提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验区概况

试验布置在地处黄土高原中南部的陕西省长武县十里铺村无灌溉条件的塬面旱地土壤上,多年平均降水量为 584mm,年均气温 9.1℃,无霜期 171d。供试土壤为黄盖黑垆土,耕层土壤主要化学性质为:有机质含量 10.5g/kg,全氮 0.80g/kg,速效磷 4.58mg/kg,速效钾 129.3mg/kg。(1984 年秋季布置试验时土样分析值)

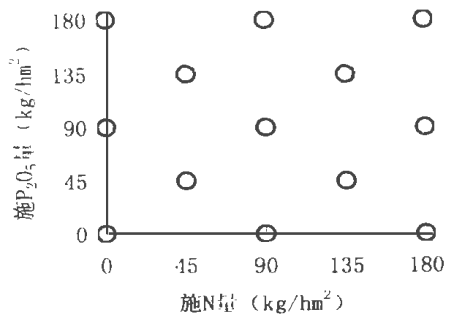


图 1 试验各处理及施肥量

① 基金项目:本研究得到国家自然科学基金重大项目(49890330)及“九五”国家重点科技攻关项目(96-004-0505)共同资助。

## 1.2 试验设计

试验共 13 个处理(图 1)。试验小区面积 22.2m<sup>2</sup>, 3 次重复, 随机排列。从 1984 年开始连续种植冬小麦(品种 1984 ~ 1985 年用秦麦 4 号, 1986 ~ 1995 年用长武 131, 1996 ~ 1999 年用长武 134), 氮肥用尿素, 磷肥用过磷酸钙, 肥料在播种前撒施并翻入土中, 田间管理同大田。土壤含水量用土钻取土, 105 ~ 110 °C 烘干, 观测深度 400cm; 降水量、土壤初始含水量、产量等引用长期试验监测数据。用烘干法测知含水量根据公式①换算为储水量,  $W = hd \theta / 100$ ①, 式中  $W$  为土壤储水量(mm),  $h$  为土层厚度(cm),  $d$  为土壤容重(g/cm<sup>3</sup>),  $\theta$  为土壤含水量(重量%)。

## 2 试验结果分析

### 2.1 施肥对水分利用效率的影响

对于旱地农业来说可供作物利用的水分来自降水, 因此, 提高降水的储蓄、利用效率对旱地农业非常重要。除了保墒措施以外, 主要是科学合理的施用肥料来提高水分利用效率, 达到以肥调水, 增产增收的目的。

表 1 冬小麦总产、总耗水量和水分利用效率(15 年)

编号	处 理		15 年累计产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	1999 年 9 月		水分利用效率	
	N (kg/hm <sup>2</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/hm <sup>2</sup> )		0 ~ 400cm 储水量 (mm)	总耗水量 (mm)	数值 (kg/mm <sup>2</sup> ·hm <sup>2</sup> )	增幅
1	0	0	19091.25	951.65	8689.05	2.20	0.00
2	0	90	19143.00	950.2	8690.5	2.20	0.00
3	0	180	19511.25	948.77	8691.93	2.24	0.04
4	45	45	33495.75	897.2	8743.5	3.83	1.63
5	45	135	37646.25	869.62	8771.08	4.29	2.09
6	90	0	35276.25	873.26	8767.44	4.02	1.82
7	90	90	45676.50	780.98	8859.72	5.16	2.96
8	90	180	47601.75	792.68	8848.02	5.38	3.18
9	135	45	47759.25	789.42	8851.28	5.40	3.20
10	135	135	48961.50	755.97	8884.73	5.51	3.31
11	180	0	37700.25	806.67	8834.03	4.27	2.07
12	180	90	52430.25	760.94	8879.76	5.90	3.70
13	180	180	55931.25	777.76	8862.94	6.31	4.11

注: 1984 年播种时 0 ~ 400cm 含水量 1040mm, 15 年总降水 8600.7mm

试验各年产量与生育年(7 月 ~ 翌年 6 月)降水关系为: 对照、单施 P 肥及低 N 肥(45kg/hm<sup>2</sup>、90kg/hm<sup>2</sup>)及其配施 P 肥处理的产量与生育年降水关系不密切(没有达显著或极显著相关), 表明不施肥或低肥投入情况下, 降水对小麦产量影响较小, 高 N (180kg/hm<sup>2</sup>)投入时产量与生育年降水量正相关  $R = 0.661^*$  ( $n = 15$ ), 高 N 肥与 P 肥配合施用时产量与生育年降水量呈正相关  $R = 0.712^{**}$  ( $n = 15$ )。高 N 肥投入时的增产幅度随生育年降水量增大而增大。在降雨量多的年份, 高 N 肥投入能获得高产, 但在降雨少的年份, 部分 N 肥不能被作物利用而损失, 其中相当一部分被淋洗到土壤深层累积<sup>[8]</sup>, N 肥利用率降低。

长期合理施肥可以提高土壤有机质的含量, 改善土壤结构状况, 使供水能力提高<sup>[9]</sup>。本试验水分利用效率从 2.20kg/mm<sup>2</sup>·hm<sup>2</sup> 到 6.31kg/mm<sup>2</sup>·hm<sup>2</sup> (表 1), 随着施肥量的增加而增加。N、P 肥对水分利用效率的影响可表达为  $WUE = 2.20 + 0.018N + 0.006P$  ( $R = 0.904^{**}$   $n = 13$ ) N 肥对 WUE 的影响远大于 P 肥。

小麦收获后土壤 0~400cm 土壤剩余储水量 15 年平均产量呈极其显著的负相关关系可以用方程  $Y_{(1985-1999)} = 11748.76 - 10.9 W$  ( $R=0.96^{**}$   $n=13$ ) 表达, 如果只考虑一季作物的影响则方程为  $Y_{1999} = 10780.15 - 10.53 W$  ( $R=0.93^{**}$   $n=13$ ) 说明产量与土壤剩余储水量的线性关系, 产量越低对应土壤剩余储水量越多, 在同样降水条件下要获高产就要吸收利用更多的土壤水分。

## 2.2 施肥对剖面含水量的影响

作物根系直接吸水与土壤水分通过张力梯度和毛管作用等向根区运动<sup>[10]</sup>。植物吸收土体深层水分在向上运动过程中将其中一部分通过干旱表层或亚表层中的根系释放到干土中去维持表层根系的活动, 增强抗旱能力<sup>[11]</sup>。因试验区土壤养分主要分布于表层, 地下水埋深, 降水量少、蒸发强等, 土壤表层受大气干旱的影响, 经常处于水分不足状态, 影响养分的吸收利用; 但本区深厚的土层, 质地疏松具有很强的储水能力, 作物可以利用土壤深层储水缓解旱情, 国内的研究者们对土壤 0~200cm 以内的水分研究较多<sup>[7, 12, 13]</sup>, 这一区域是作物根系的主要分布区, 其储水的多少对作物产量有较明显的影响, 对于更深层的水分利用是否有效则较少研究, 从长期试验来看, 这部分水可以以毛管作用、张力梯度等的作用向下向根际运动而对作物有效。

试验 13 个处理 0~80cm 土层含水量没有明显差异, 可能由于当季作物的利用和强烈的土面蒸发作用。而 80~400cm 剖面含水量之间有极显著差异, 进一步多重比较结果表明: 对照及单施 P 肥 3 个处理与其余各处理间均有显著或极显著差异。单施 N、NP 配合的 10 个处理之间也有显著或极显著差异(表 2)。说明施肥对土壤深层含水量有显著影响。根据各个处理与 CK 储水量的差值比较说明: 经过 15 年的冬小麦试验, 土壤剖面含水量发生了显著变化, 编号 7~13 的 7 个处理小麦平均比 CK 多利用土壤水 171mm, 高肥处理小麦收获后土壤 80cm 以下出现相对干层,  $N_4P_2$  处理 230cm 处含水量 12.45% 是 CK 的 69.2%。

表 2 土壤深层储水利用及剖面含水量多重比较

处理 编号	0~400cm 储水量 (mm)	差值	差值来源(%)		80~400cm 储水量及剖面含水量差异显著性检验 <sup>1)</sup>			
			200~400cm	290~400cm	(mm)	差值	5%	1%
1	951.65	0.00	—	—	793.41	0	a	A
2	950.20	-1.45	—	—	785.64	-7.77	ab	A
3	948.77	-2.88	—	—	783.66	-9.75	ab	A
4	897.20	-54.45	45.23	17.04	734.32	-59.09	bc	B
5	869.62	-82.03	57.27	24.52	702.17	-91.24	cd	B
6	873.26	-78.39	59.79	30.62	709.28	-84.13	cd	B
7	780.98	-170.67	48.81	19.28	625.05	-168.36	ef	CD
8	792.68	-158.97	51.68	21.49	629.81	-163.6	ef	CD
9	789.42	-162.23	54.20	23.16	629.19	-164.22	ef	CD
10	755.97	-195.68	53.68	22.97	598.61	-194.8	f	D
11	806.67	-144.98	62.49	31.69	649.04	-144.37	de	C
12	760.94	-190.71	50.46	19.99	608.63	-184.78	ef	D
13	777.76	-173.89	53.26	22.94	619.31	-174.1	ef	CD

<sup>1)</sup>  $F = 26.069^{**}$   $F_{0.01}(12, 143) < 3.41$

表 2 中从 0~400cm 储水量差值来源来看, 200~400cm 约占到 1/2 左右, 也就是以上所述 171mm 水有 50% 左右来自 200~400cm, 有 20% 左右来自 290~400cm, 图 2 反映的是不同施肥处理不同层次的剩余储水量, 各层次中, 不同施肥处理储水量差异明显。

选择有代表性的处理—1%水平有差异的 1(CK)、5 (N<sub>1</sub>P<sub>3</sub>)、11(N<sub>4</sub>)、12(N<sub>4</sub>P<sub>2</sub>)4 个处理做出其 0~400cm 剖面含水量分布图(图 3),从图中可以清楚地反映冬小麦对土壤深层含水量的影响程度为 N<sub>4</sub>P<sub>2</sub>> N<sub>4</sub>> N<sub>1</sub>P<sub>3</sub>> CK, 旱地冬小麦对土壤水分的利用深度超过 200cm。

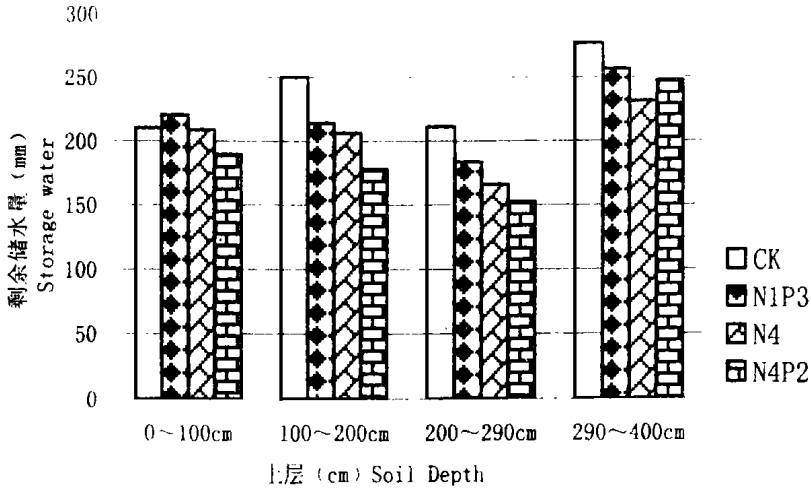


图 2 不同施肥处理冬小麦对土壤不同层次储水的吸收利用

### 3 结论与讨论

1. 施 N 肥对土壤剖面含水量影响明显, 每增加 1 个水平 N, 45kg/hm<sup>2</sup>, 0~400cm 剖面剩余含水量减少 44mm, 高 N 肥投入小麦收获后土壤 80cm 以下出现相结干层; P 肥对土壤含水量影响比 N 肥小的多, 这与 P 肥对产量的影响一致。

2. 根据试验结果冬小麦产量与水分利用率之间直线相关, 水分利用率每提高 1 个单位, 冬小麦产量增加 599 kg/hm<sup>2</sup>, 水分利用率的提高与产量增加同步, 因此有利于提高水分利用率的措施都可以增加产量。这与张仁陟等得出的结论一致<sup>[14]</sup>。而以目前生产实际看旱地土壤表层水分利用率的提高潜力已十分有限, 而中下层水分利用技术的研究应用应当作为旱地农业提高水分利用率、增加产量的重点。

3. 从长期试验结果来看旱地土壤 200cm 以下水分对冬小麦有效, 如果能合理投入 N、P 肥水分的利用率得到提高, 从而更有效的利用有限降水, 提高粮食单产。

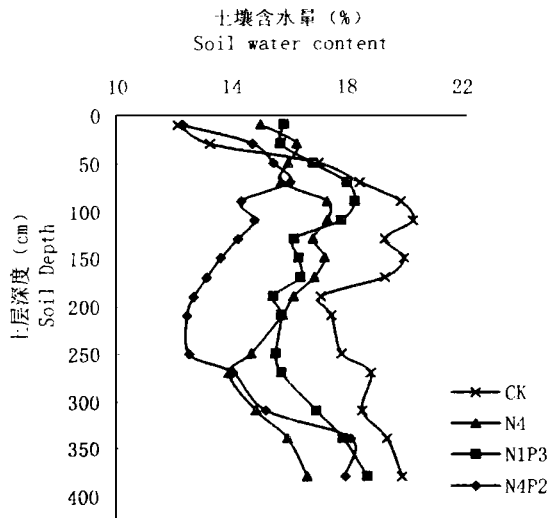


图 3 不同施肥处理土壤剖面含水量分布

参 考 文 献

- 1 Fengmao Guo Russell S Yost. *Soil Sc.*, 1998, 163 (10): 822 ~ 833
- 2 Hedley M J, Stewart J W B, Chauhan B S. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1982, 46: 970 ~ 976
- 3 Bowman R A, Reeder J D, Lober R W. *Soil Sci.*, 1990, 150(6): 851 ~ 857
- 4 陈耀竣, 李贻铨, 陈道东等. 杉木人工林土壤磷素形态极其有效磷研究. *林业科学研究*, 1996, 9(2): 121 ~ 126
- 5 陈耀竣, 巫流民, 纪律书等. 施用磷肥对杉木幼林土壤养分和磷组分的影响. *林业科学研究*, 1998, 11(4): 451 ~ 454
- 6 Han Xingguo *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(20): 97 ~ 112
- 7 鲁如坤, 时正元, 钱承梁. 土壤积累态磷研究. III: 几种典型土壤中积累态磷的形态特征及其有效性. *土壤*, 1997 (2): 57 ~ 62
- 8 中国科学院南京土壤研究所编. *土壤理化分析*. 上海科学技术出版社. 1978
- 9 Zhang T Q, Mackenzie A F. *Plant and Soil*, 1997, 192: 133 ~ 139
- 10 Beck M A, Sanchez P A. *Plant and Soil*, 1996, 184: 21 ~ 31
- 11 Tatek R. *Plant and soil*, 1984, 76: 245 ~ 256
- 12 Mattingly G E G, Charter M. *J. Sc. Food agric.*, 1982, 33: 732 ~ 733
- 13 Tiessen H, Stewart J W B, Bettany J R. *Agron. J.*, 1982, 74: 831 ~ 835
- 14 Sharpley A N. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1985, 49: 905 ~ 911
- 15 王庆仁, 李季云, 李振声. 高效利用土壤磷素的植物营养学研究. *生态学报*, 1999, 19(3): 417 ~ 421
- 16 Dorn Seeling, Robert Zasoski. *Plant and Soil*, 1993, 148: 277 ~ 284
- 17 张教林, 陈爱国. 热带胶园土壤磷素形态和生物有效性. *土壤与环境*, 1999, 8(4): 284 ~ 286



(上接第 318 页)

参 考 文 献

- 1 信乃谄, 王立祥主编. *中国北方干旱区农业*. 江苏: 江苏科学技术出版社, 1998, 83 ~ 93
- 2 王小彬, 高绪科, 蔡典雄. 旱地农田水肥相互作用的研究. *干旱地区农业研究*, 1993, 11(3): 6 ~ 12
- 3 金钊, 汪德水, 蔡典雄等. 水肥耦合效应研究 ~ 不同降雨年型对 N、P 水配合效应的影响. *植物营养与肥料学报*, 1999, 5(3) 1 ~ 7
- 4 金钊, 汪德水, 蔡典雄等. 水肥耦合效应研究 ~ 不同 N、P 水配合对旱地冬小麦产量的影响. *植物营养与肥料学报*, 1999, 5(3) 8 ~ 13
- 5 王殿武, 刘树庆, 文宏达等. 高寒干旱区春小麦田施肥及水肥耦合效应研究. *中国农业科学*, 1999, 32(5): 62 ~ 68
- 6 李瑛, 吕殿青, 李旭辉. 冬小麦水肥效应研究. *西北农业学报*, 1999, 8(6): 48 ~ 50
- 7 汪德水主编. *旱地农田水肥协同效应与耦合模式*. 北京: 气象出版社, 1999, 44 ~ 49
- 8 樊军, 郝明德, 党廷辉. 旱地长期定位施肥对土壤剖面硝态氮分布与累积的影响. *土壤与环境*, 2000, 9(1): 23 ~ 26
- 9 张玉革, 姜勇, 依艳丽. 长期施肥对土壤水分特性影响的研究. *土壤*, 1999, (3): 120 ~ 131
- 10 鲁如坤等著. *土壤 ~ 植物营养学原理与施肥*. 北京: 化学工业出版社, 1999, 18 ~ 31.
- 11 许旭旦, 诸涵素. 植物根部的水分倒流现象. *植物生理学通讯*, 1995, 31(4): 241 ~ 245
- 12 李玉山, 喻宝屏. 土壤深层储水对棉花产量效应的研究. *土壤学报*, 1981, 18(4): 383 ~ 388
- 13 王仕新, 崔剑波, 庄季屏. 辽西半干旱地区农田水分循环特征的研究 ~ 农田供水状况研究. *应用生态学报*, 1998, 9(6): 603 ~ 607
- 14 张仁陟, 李小刚, 胡恒觉. 施肥对提高旱地农田水分利用效率的机理. *植物营养与肥料学报*, 1999, 5(3): 221 ~ 226