

# 旱作农田冬小麦水肥耦合增产效应

上官周平 刘文兆 徐宣斌  
(中国科学院 水土保持研究所 陕西杨陵 712100)  
水利部

昌 西  
(西藏农牧学院农学系 西藏林芝)

**摘 要** 增施肥料可明显改善旱作农田冬小麦叶片水分状况、增加光合速率、延缓叶片衰老,有利于小麦后期维持一定的光合面积和作用时间,有利于籽粒灌浆和增加每穗粒数,也减小了土壤水分不足对产量的影响。在旱作农业中,水肥具有明显的耦合关系,肥料的增产作用不仅在于肥料本身,更重要的还在于与土壤水分的互作。

**关键词** 水肥 耦合效应 旱作农田 冬小麦

## Interactive Effects of Water and Fertilizer on Yield of Winter Wheat in Dryland

Shangguan Zhouping Liu Wenzhao Xu Xuanbin  
(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences  
and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)

Chang Xi  
(The College of Agriculture and Animal Husbandry of Tibet, Linzhi Tibet)

**Abstract** Suppling fertilizer have many effects to winter wheat growth in dryland, such as improving photosynthetic rate and water status of leaves, delaying leaf capacity, maintaining certain photosynthetic areas and effect time, improving grain filling, increasing the grain amount of per spike, and decreasing the effects of water stress to yield, et al.. There are obvious interactive effects of water and fertilizer on winter wheat yield, the effect of fertilizer to yield not only depend on fertilizer, but also depend on soil water condition.

**Key words** fertilization interactive effects dryland winter wheat

在干旱半干旱地区,土壤水分和养分是限制冬小麦产量的两个主要因素,水肥对冬小麦生长发育的影响是相互制约,又相互促进<sup>[1,2]</sup>。一般年降水在 500 mm 以上的地区,施肥增产效果较

好,但当降水量低于 300 mm 且分布不均时,肥料的作用受到限制,水分对作物产量起决定作用<sup>[3]</sup>。所以,肥料的增产效果随作物生长时段和环境条件(如土壤水分条件)而变,为此,我们以冬小麦为材料,就旱作农田水肥耦合的增产机理进行了研究,旨在进一步明确现有生产条件下冬小麦的水肥协调与互补效应,为提高作物产量提供依据。

1 材料与方法

试验在水土保持研究所试验场实施,供试冬小麦品种为小偃 6 号,对土壤水分和肥料(氮肥)进行控制,试验处理方案见表 1,采用田间随机区组设计,重复三次,小区面积为 2 m × 3 m,每个小区与周围土层间用 2 m 深防水板隔离,以防止小区之间及与周围土壤间互相渗水。播前通过灌溉使每个小区的土壤水分达到处理水平,每小区施 135 g 重过磷酸钙、67.5 g 硫酸钾,按处理要求施入氮肥。

供试土壤全氮为 0.104%,水解氮为  $171.36 \times 10^{-6}$ ,有机质为 1.313%,速效磷为  $42.36 \times 10^{-6}$ ,田间持水量为 24%,土壤容重为  $1.31 \text{ g/cm}^3$ 。试验播期为 1992 年 10 月 17 日,采用点播方式,行距 20 cm,播前进行土壤消毒,生长期利用遮雨棚防止降雨,栽培管理同大田生产。

表 1 小麦试验中的水分和肥力处理方案

处理代号	施 肥 量(尿素)/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	3 m 土层平均含水量/%
LNLW	0	17.46
LNHW	0	20.50
HNLW	300	17.46
HNHW	300	20.50

在冬小麦抽穗和开花期对长势一致的单茎先后进行两次标记,并同时采样,开花期后,各处理每隔 5 d 取 10~20 个标记单茎,用叶面积仪对不同部位绿叶面积进行测定,随后在 105℃ 下烘 10 min,杀青后于 80℃ 下烘干至恒重,然后剥粒并计数。以千粒重为依变量,开花后的天数为自变量,用 Logistic 方程拟合籽粒充实过程,推导出最大灌浆速率、平均灌浆速率、灌浆持续期等参数<sup>[2]</sup>。同时用 3005 型压力室(美国)测定旗叶水势,用 ADC-3 光合作用测定系统测定旗叶光合速率。所有处理数据均进行差异显著性统计分析,文表中所列数据均为三次重复的平均值。

2 实验结果

2.1 水肥条件对小麦叶片光合速率与叶水势的影响

不同水肥组合对小麦叶片光合速率与叶水势具有明显的调节作用(表 2)。在本实验条件下,水和肥对光合速率具有相同的重要性,其互作效应显著,而叶片水分状况主要取决于土壤供水状况,肥料的调节作用有限。

表 2 水分和肥料对小麦叶片光合速率与叶水势的影响

项 目	LNLW	LNHW	HNLW	HNHW	$\frac{\text{LNHW}}{\text{LNLW}}$	$\frac{\text{HNLW}}{\text{LNLW}}$	$\frac{\text{HNHW}}{\text{LNLW}}$
叶片水势/MPa	-19.35a	-16.73b	-19.72a	-16.61b	-0.865	-1.019	-0.858
光合速率/ $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	5.183a	6.092b	6.130b	7.235c	1.175	1.183	1.396

\* (1) 测定时间为中午 13:00~13:30;  
(2) 表中每行数据后的相同字母表示在  $p=0.05$  水平上没有显著差异(下表同)。

2. 2 水肥条件对小麦绿叶面积参数的影响

小麦后期冠层叶片光合特性的强弱决定了籽粒灌浆物质的生产和籽重的高低, 其中光合面积和作用时间是作物冠层光合特性的重要方面。光合面积可用单茎最大绿叶面积、旗叶面积、单株绿叶面积和叶面积指数等指标来描述, 这些指标对肥料的反应大于土壤水分, 且肥料的效应随土壤水分状况而改善(表 3)。光合作用时间可用绿叶持续期、绿叶衰减速率等指标来描述, 从表 3 可以看出, 水分的调节作用小于肥料的作用效果, 但水肥互作效应极显著, 有利于冬小麦后期维持较高的绿叶面积, 对籽粒充实过程具有重要意义。

表 3 水分和肥料对小麦绿叶面积参数的影响\*

项 目	LNLW	LNHW	HNLW	HNHW	$\frac{LNHW}{LNLW}$	$\frac{HNLW}{LNLW}$	$\frac{HNHW}{LNLW}$
单茎最大绿叶面积/ cm <sup>2</sup>	82. 08a	91. 51b	102. 09c	104. 62c	1. 115	1. 244	1. 274
单株绿叶面积/ cm <sup>2</sup>	142a	148a	245b	441c	1. 042	1. 725	3. 106
旗叶面积/ cm <sup>2</sup>	21. 7a	20. 2a	27. 6b	33. 2c	0. 931	1. 272	1. 530
叶面积指数	2. 702a	3. 879b	6. 018c	6. 498c	1. 436	2. 227	2. 405
绿叶持续期/ d	8. 96a	15. 81b	18. 23c	18. 60c	1. 765	2. 031	2. 076
绿叶衰减率/ cm <sup>2</sup> · d <sup>-1</sup>	3. 422a	3. 634b	3. 294a	2. 959c	1. 062	0. 863	0. 865

\* 绿叶持续期为冬小麦绿叶面积大于最大绿叶面积 80% 以上的时间。

2. 3 水肥条件对小麦籽粒灌浆特性的影响

籽粒重的提高依赖于良好的灌浆特性, 其高低受灌浆强度和灌浆时间的制约<sup>[2]</sup>, 从表 4 可看出, 灌浆强度(平均灌浆速率、最大灌浆速率)在水肥较差(LNLW)或水肥较好(HNHW)时均较低, 而水肥中一个因素较差时, 灌浆强度明显增强, 但灌浆时间主要取决于土壤水分状况, 肥料的调节作用不明显, 不同水分条件造成的差异随肥料用量的增加而减小。

表 4 水分和肥料对小麦籽粒充实速率与时间的影响

项 目	LNLW	LNHW	HNLW	HNHW	$\frac{LNHW}{LNLW}$	$\frac{HNLW}{LNLW}$	$\frac{HNHW}{LNLW}$
平均灌浆速率/ g · 千粒 <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup>	1. 028a	1. 183b	1. 075ab	0. 051c	1. 148	1. 046	0. 050
最大灌浆速率/ g · 千粒 <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup>	2. 076a	2. 235b	2. 213b	2. 061a	1. 074	1. 066	0. 993
灌浆持续期/ d	42. 72a	36. 03b	43. 40a	41. 05a	0. 843	1. 016	0. 961

2. 4 水肥条件对小麦产量及其构成因素的影响

水肥条件的改善对冬小麦产量均有显著作用(表 5), 肥的效果大于水分, 且水肥具有明显的互作效应。产量构成因素如成穗率、粒数、千粒重等均随肥力条件的改善而增加, 水分条件的调节效果不明显, 其肥水互作的效果因各构成因素而异, 如对成穗率和粒数有显著促进作用, 而千粒重却明显降低。

表 5 水分和肥料对小麦产量及其构成因素影响

项 目	LNLW	LNHW	HNLW	HNHW	$\frac{LNHW}{LNLW}$	$\frac{HNLW}{LNLW}$	$\frac{HNHW}{LNLW}$
成穗率/ 穗 · 株 <sup>-1</sup>	1. 84a	1. 89a	2. 12b	2. 37c	1. 027	1. 152	1. 288
每穗粒数/ 粒	29. 07a	31. 34a	35. 59b	39. 71c	1. 078	1. 224	1. 366
千粒重/ g	42. 15a	41. 62a	44. 75b	37. 81c	0. 987	1. 062	0. 897
收获指数	0. 3195a	0. 3341b	0. 3746c	0. 3496b	1. 046	1. 175	1. 094
产量/ kg · hm <sup>-2</sup>	3665. 4a	5254. 2b	6094. 4c	6214. 2d	1. 444	1. 679	1. 790

### 3 小 结

在旱作条件下,水分是影响作物光合作用和籽粒产量的主要因素,黄土高原地区土壤蓄水性强,旱塬小麦水分供需的时空矛盾多发生在生育后期和土壤浅层,解决矛盾的关键则在于生育前期和土壤浅层,因墒施肥、以肥壮苗、以苗促根、以根调水,强化土壤水库效应是旱作小麦最有效的抗旱增产措施之一。

在本试验条件下,不同肥水措施对旱地小麦抽穗后绿叶面积参数具有明显的调节作用,从而显著地影响到群体光能利用和蒸腾耗水特性,冠层叶面积参数的优劣主要取决于氮肥的多少,抽穗后维持较高绿叶面积和功能期对提高产量具有重要意义。同时表明肥料不足是限制产量的主要因素,培肥土壤和增施肥料可明显改善叶片光合速率和水分状况,延缓叶片衰老,有利于冬小麦后期维持较大的光合面积和作用时间,有利于改善籽粒灌浆特性和增加每穗粒数,同时,肥料减缓了土壤水分对产量的影响,提高了冬小麦产量和水分利用率。

旱作农业中,水肥具有明显的耦合关系,肥料的增产作用不仅在于肥料本身,更重要的还在于与土壤水分的互作。所以,在旱作农业生产实践中,任何涉及肥料的农业技术措施都要注意肥水的耦合效应。

#### 参考文献

- 1 李玉山,张孝中,郭明航.旱作潜势与水肥效应的田间研究.土壤学报,1990,27(2):107~114
- 2 上官周平,陈培元,李英.氮肥和底墒对小麦籽粒灌浆过程的调节效应分析.西北植物学报,1994,14(2):107~116
- 3 山仑.提高半干旱地区农田生产力的现实途径和未来策略.中国科学院西北水土保持研究所集刊,1988,第8集,1~9

(上接第19页)

1%~2%,管理运用方便,人称“田头自来水”,省时省劳,是实现节水型灌溉的一项具有广泛适用性的技术。东新村已建成管灌面积 $13.3\text{ hm}^2$ ,比渠灌并可多浇地 $3.3\text{ hm}^2$ ,效果甚佳。

(3)在蔬菜保护地生产上可推广渗灌,渗灌可适时适量在作物根际区域补充水分和养分,是一种最先进的灌水技术,蔬菜保护地生产采用畦灌和微喷,均会导致棚内气温降低,或因湿度过大而滋生病害,而渗灌较为合适。本村蔬菜面积大,是农民主要经济收入来源,可考虑推广这一灌水技术。

(4)在果树、大田蔬菜种植区,可推广喷灌或微灌(微喷和滴灌)。喷灌灌水定额为 $255\sim 300\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。每 $\text{hm}^2$ 投资7500元左右。可节约用水30%~50%,管理运行方便,省时省劳,农民也可承受。