

# 水硫及其互作对冬小麦光合特性及产量的影响

田文仲, 朱云集, 郭天财, 谢迎新, 祝小捷, 王 凡

(河南农业大学/国家小麦工程技术研究中心, 河南 郑州 450002)

**摘 要:** 在大田条件下, 选用大穗型品种兰考矮早八号和多穗型品种豫麦 49—198 为试验材料, 研究了不同施硫量和灌水次数对冬小麦光合性能及产量的影响。结果表明, 不同施硫处理, 以硫 60 kg/hm<sup>2</sup> 处理产量最高, 并达到显著水平。兰考矮早八和豫麦 49—198 的增产幅度达 19.32% 和 9.24%, 此处理下的光合速率和 SPAD 值高于硫 30 kg/hm<sup>2</sup> 和硫 0 kg/hm<sup>2</sup> 处理。在本试验条件下, 2 品种在灌水处理间产量有差别, 兰考矮早八以不灌水产量最高, 豫麦 49—198 以仅拔节期灌水产量最高。

**关键词:** 冬小麦; 灌水; 硫; 光合特性; 产量

**中图分类号:** S311      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-7601(2009)02-0114-06

在农业生产中, 水、肥是作物生长发育最重要的影响因子。硫被认为是继氮、磷、钾之后作物所必需的第四个重要营养元素<sup>[1]</sup>, 其生理、生化作用与氮相似, 在植物的新陈代谢过程中起重要作用<sup>[2~4]</sup>。有研究表明, 施硫不仅能满足作物对养分的需求, 也能提高作物的水分利用率, 利于作物对干旱逆境的适应<sup>[5]</sup>。而水分是植物体的主要构成成分, 其生理作用支持着植物的生命活动。水分不足将直接影响作物的生理生化过程和形态结构的形成, 进而影响作物的产量和品质<sup>[6]</sup>。因此, 水、肥管理一直是农作物生产中重要的调控措施。然而水分和养分之间也存在一定的耦合效应, 过多的水分容易导致肥料的淋溶损失, 过少的水分则会限制肥效的正常利用<sup>[7]</sup>。

灌水和硫肥单因素对小麦产量和品质影响的研究较多, 但水分和硫肥的互作效应对小麦产量的影响和光合特性研究报道较少。为此, 本试验在大田条件下, 研究了不同施硫量配合不同灌水次数对冬小麦光合性能及产量的影响, 旨在为指导生产提供参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

试验于 2006~2007 年在河南农业大学科教示范园区进行。土质为壤质, 田菁掩底。土壤基础养分状况为: 有机质 15.7 g/kg、碱解氮 50.85 mg/kg、速效磷 124 mg/kg、速效钾 74.8 mg/kg、有效硫 18.4 mg/kg。供试材料为兰考矮早八(LKAZ8)和豫麦 49—198(YM49—198)。

试验采用裂区设计, 2 个品种为主区, 灌水次数为副区, 设 3 个处理水平, 灌拔节水和灌浆水(W<sub>2</sub>)、仅灌拔节水(W<sub>1</sub>)和不灌水(W<sub>0</sub>), 每次灌水定额为 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。施硫为副副区, 3 个施硫水平。即施纯硫 60 kg/hm<sup>2</sup> (S<sub>60</sub>)、30 kg/hm<sup>2</sup> (S<sub>30</sub>) 和 0 kg/hm<sup>2</sup> (S<sub>0</sub>)。每公顷施纯 N 240 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg、K<sub>2</sub>O 112.5 kg。氮、磷、钾和硫肥分别为尿素、磷酸二铵、氯化钾和硫酸铵, 按小区面积计算称出肥料, 整地后人工翻入。磷、钾肥和 50% 的氮肥和硫肥为基施, 另 50% 的氮肥和硫肥于拔节期人工开沟追施, 硫肥的含氮量折算成纯氮从氮肥中扣除。试验随机排列, 2 次重复, 小区面积 20.3 m<sup>2</sup> (2.9 m × 7 m), 基本苗: 兰考矮早八为 450 万/hm<sup>2</sup>、豫麦 49—198 为 225 万/hm<sup>2</sup>, 其他栽培管理措施按一般高产田进行。

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 光合速率与叶绿素含量的测定 光合速率采用 LI-6400 光合仪测定; 旗叶叶绿素含量的测定, 采用日本产 SPAD-502 测定仪测定。

1.2.2 产量及产量构成因素调查 成熟期对固定样点进行调查, 计算两样点平均穗数, 随机选取 10 株, 进行室内考种; 同时对小区进行实收计产。

## 2 结果与分析

### 2.1 水、硫对小麦旗叶光合速率的影响

光合作用是小麦产量形成的基础, 成熟籽粒中的干物质 20%~30% 来自旗叶的光合作用<sup>[8]</sup>, 小麦旗叶光合能力强, 对籽粒的形成和产量具有重要影

收稿日期: 2008-08-14

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重大项目(2006BAD002A07-1); 河南省重大科技攻关项目(0522010100)

作者简介: 田文仲(1981—), 男, 河南虞城人, 主要从事小麦高产优质栽培研究。E-mail: xxboy114@126.com。

通讯作者: 朱云集, 教授, E-mail: hnpdzjy@126.com。

响。由图 1、图 2 可知,两小麦品种旗叶净光合速率自开花后呈逐渐降低的趋势。如图 1a 所示,兰考矮早八的旗叶净光合速率在开花期表现为  $S_{60} > S_0 > S_{30}$ , 花后 7 天、14 天和花后 28 天表现为  $S_{60} > S_{30} > S_0$ , 但花后 21 天却表现出  $S_{30} > S_0 > S_{60}$ 。对豫麦 49—198(图 1b 所示)而言,其开花期旗叶净光合速率也表现为  $S_{60} > S_0 > S_{30}$ , 花后 28 天同样表现为  $S_{60} > S_{30} > S_0$ , 但其花后其他时期与兰考矮早八表现有所

出入。图 2a、图 2b 是两品种旗叶光合作用对灌水的响应, 如图所示, 开花期和花后 28 天两品种均表现为  $W_2$  高于  $W_1$  和  $W_0$ , 矮早八(图 2a 所示)在花后 7 天和花后 14 天呈现  $W_1$  高于  $W_2$  和  $W_0$ , 而在花后 21 天  $W_0$  的光合速率有所回升, 出现  $W_0$  高于  $W_2$  和  $W_1$  现象。而豫麦 49—198(图 2b 所示)其  $W_0$  处理一直保持中等水平。

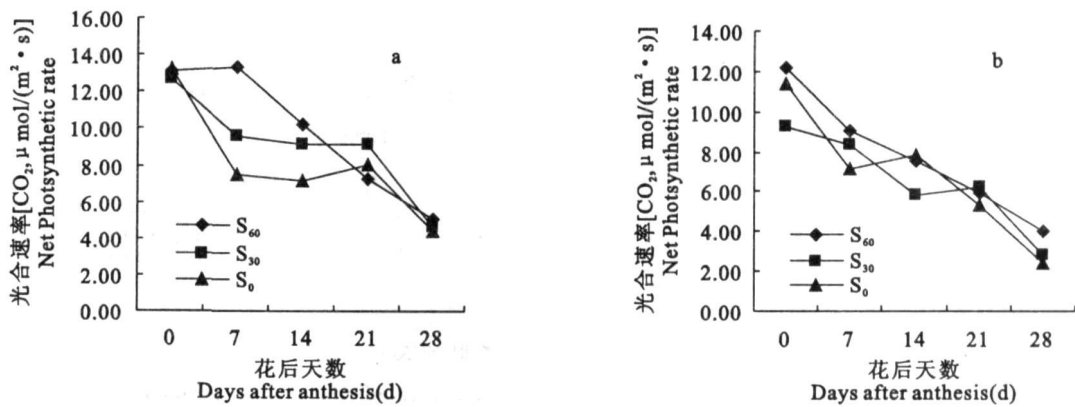


图 1 不同供硫处理小麦旗叶光合速变化  
Fig.1 Variation of flag leaf net photosynthetic rate of wheat with different sulphur-fertilization

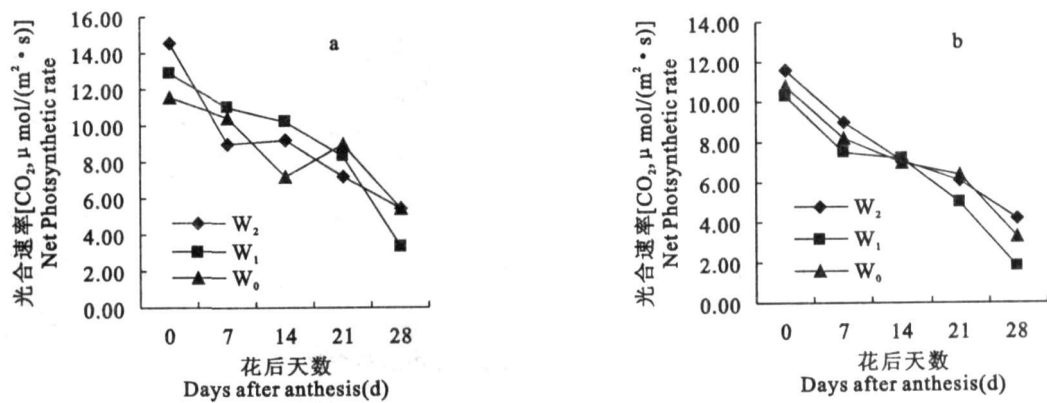


图 2 不同灌水处理小麦旗叶光合速变化  
Fig.2 Variation of flag leaf net photosynthetic rate of wheat with different irrigation

2.2 水、硫对小麦旗叶叶绿素含量的影响

叶绿素在光合作用中对光能的吸收、传递及光合化学反应起着非常重要的作用,其含量的多少将直接影响叶片的光合能力<sup>[9]</sup>。叶绿素中虽不含硫,但硫以氨基酸的形式参于叶绿素前体的合成,因此硫营养可能对植物的叶绿素含量产生影响<sup>[10]</sup>。如图 3 所示,两小麦品种旗叶 SPAD 值均呈单峰曲线,但施硫处理间存在着明显差异。如图 3a 所示,在花前 8 天至花后 14 天兰考矮早八旗叶 SPAD 值变化不大,在花后 14 天至花后 28 天内,不同硫处理间小麦旗叶 SPAD 值变化各不相同。豫麦 49—198(图

3b 所示)旗叶 SPAD 值在花后 7 天至花后 21 天呈现  $S_{60} > S_{30} > S_0$ 。不同灌水处理下,两小麦品种旗叶 SPAD 值之间差异不显著(图 4 所示)。

2.3 水、硫对小麦籽粒干物质积累的影响

由图 5、图 6 可知,在不同施硫和灌水处理下,小麦籽粒干物质积累动态表现基本一致,均随花后时间的推进而增加。从图 5a 可以看出,花后 7 天至花后 28 天,兰考矮早八各施硫处理间籽粒干重积累差异不明显,但在花后 28 天至花后 35 天各处理间差异明显,  $S_{60}$  和  $S_{30}$  仍有缓慢增加,  $S_0$  却有下降趋势,最终千粒重表现为  $S_{60} > S_{30} > S_0$ 。另外,从图 6a

可知,兰考矮早八籽粒干物重积累对灌水处理的响应表现同施硫处理基本相同,花后 7 天至花后 28 天,各灌水处理间表现差异不明显,但在花后 28 天至花后 35 天,籽粒干物重积累缓慢增加,  $W_0$  处理

却有下降的趋势,且最终表现为  $W_2 > W_1 > W_0$ 。而对豫麦 49-198 而言,各施硫处理间和灌水处理间籽粒干物重积累同兰考矮早八表现基本一致(图 5b,图 6b)。

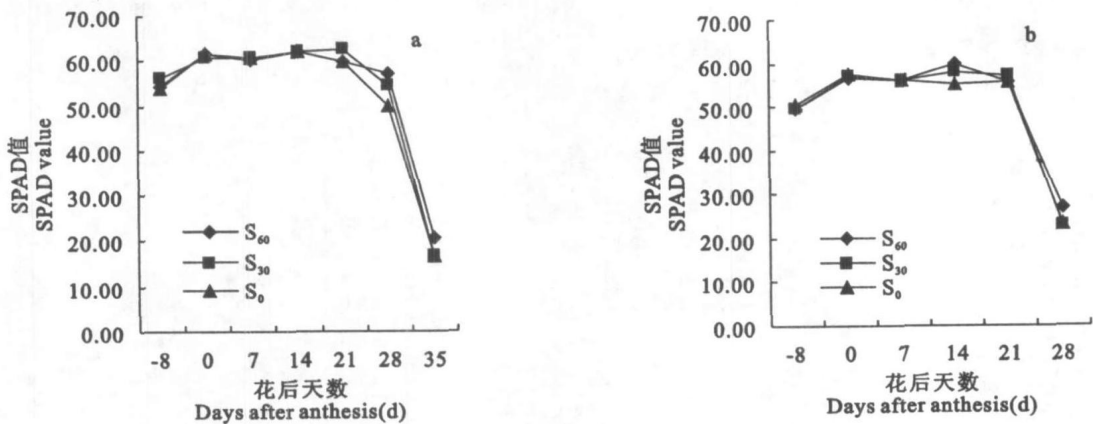


图 3 不同供硫处理小麦旗叶 SPAD 值变化

Fig.3 Variation of flag leaf SPAD value of wheat with different sulphur-fertilization

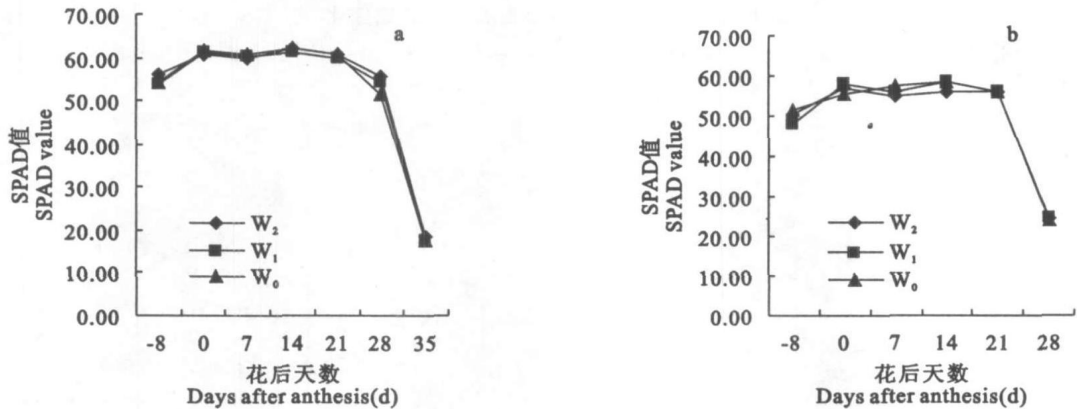


图 4 不同灌水处理小麦旗叶 SPAD 值变化

Fig.4 Variation of flag leaf SPAD value of wheat with different irrigation

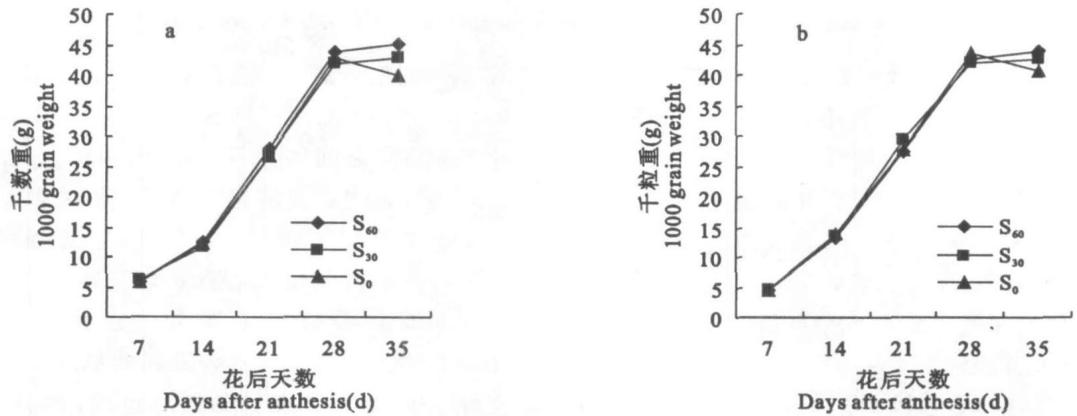


图 5 不同供硫处理小麦籽粒干物重积累变化

Fig.5 Variation of grain dry mass of wheat with different sulphur-fertilization

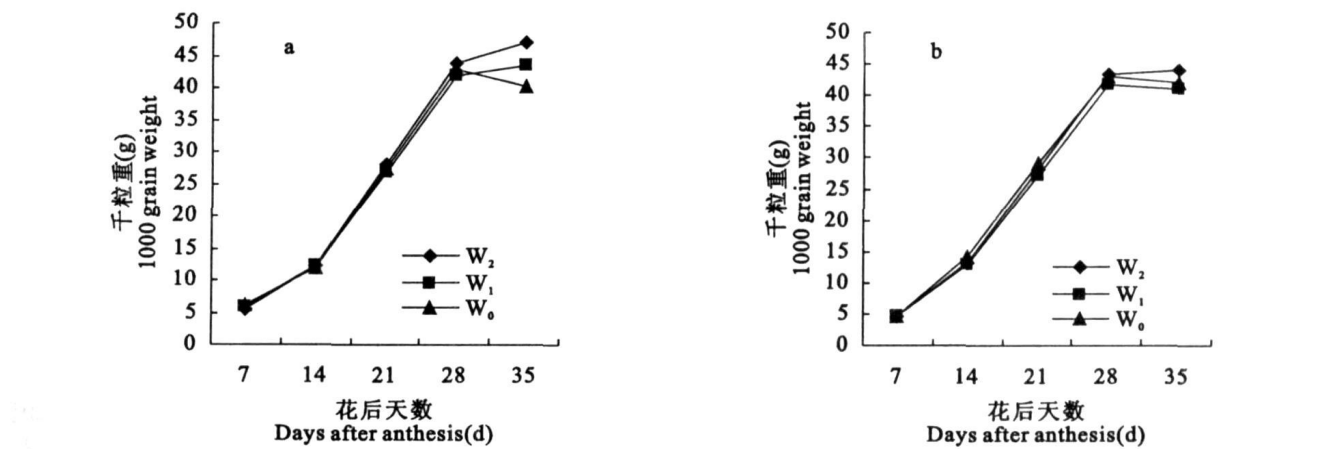


图 6 不同灌水处理小麦籽粒干物重积累变化

Fig. 6 Variation of grain dry mass of wheat with different irrigation

2.4 水、硫对小麦产量及产量构成因素的影响

由表 1 知,不同施硫和灌水处理,两小麦品种成穗数差异均达极显著水平,不同灌水处理两小麦品种千粒重亦达显著差异水平。兰考矮早八施硫处理与对照相比籽粒产量达极显著差异。两小麦品种对不同灌水处理的响应有一定差异,兰考矮早八穗数、

千粒重和产量对灌水处理的响应分别达显著或极显著差异,豫麦 49—198 在穗数、穗粒数、千粒重和产量上,对灌水处理的响应分别达显著或极显著差异水平;水、硫互作效应,由表 1 可以看出,存在于穗数、千粒重和产量上,达显著或极显著差异。

表 1 不同供硫和灌水处理下小麦籽粒产量及其构成因素方差分析(F 值)

Table 1 Variance analysis on grain yield and its components with sulphur—fertilization and irrigation(F value)

| 品种<br>Cultivar        | 处理<br>Treatment | 穗数<br>Ear number | 穗粒数<br>Kernels per spike | 千粒重<br>1000 Grain weight | 产量<br>Grain yield |
|-----------------------|-----------------|------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| 兰考矮早八<br>LKAZ8        | S               | 27.924 **        | 0.675                    | 2.11                     | 54.96 **          |
|                       | W               | 12.389 **        | 1.476                    | 52.689 **                | 6.99 *            |
|                       | S×W             | 4.477 *          | 1.214                    | 21.827 **                | 45.00 **          |
| 豫麦 49—198<br>YM49—198 | S               | 13.583 **        | 1.944                    | 2.74                     | 3.21              |
|                       | W               | 4.821 *          | 4.528 *                  | 10.38 **                 | 9.75 *            |
|                       | S×W             | 5.349 *          | 0.651                    | 2.776 *                  | 3.35 *            |

由表 2 可知,兰考矮早八成穗数对施硫量的响应表现为S<sub>60</sub>高于S<sub>30</sub>和S<sub>0</sub>处理,并达极显著差异。穗粒数和千粒重各施硫处理间差异不显著。最终籽粒产量对施硫量的响应却达到差异极显著水平,且表现为S<sub>60</sub>高于S<sub>30</sub>和S<sub>0</sub>处理,增产幅度达19.32%。豫麦 49—198 产量及其产量构成因素对施硫处理的响应与兰考矮早八基本一致,增产幅度达9.24%。

两品种对灌水处理的响应有所不同,兰考矮早八成穗数和产量对灌水处理的响应表现为W<sub>0</sub>高于W<sub>2</sub>和W<sub>1</sub>,且差异达极显著水平,其千粒重对灌水处理的响应表现为W<sub>2</sub>、W<sub>0</sub>高于W<sub>1</sub>,且差异达到极显著水平,而各灌水处理穗粒数间差异不显著。豫麦 49—198 优系,其成穗数对灌水处理的响应表现为W<sub>0</sub>>W<sub>1</sub>>W<sub>2</sub>,且处理间差异达到显著水平,其

穗粒数和产量对灌水的响应则是W<sub>1</sub>高于W<sub>2</sub>和W<sub>0</sub>,差异达到显著水平,而千粒重呈现W<sub>0</sub>、W<sub>2</sub>高于W<sub>1</sub>,并达到极显著差异水平。

3 结果讨论

硫是参与小麦生长发育的重要元素,也是作物叶绿素合成的重要参与元素<sup>[11]</sup>。植物吸收硫元素后,首先被同化为半胱氨酸,进一步合成谷胱甘肽,硫在植物体内的主要生理功能表现为:以硫脂方式组成叶绿体基粒片层,硫氧还蛋白半胱氨酸—SH在光合作用中传递电子,形成铁氧还蛋白的铁硫中心参与暗反应的CO<sub>2</sub>的还原过程,促进了叶绿素a和叶绿素b的合成。不少研究证明,在缺硫的条件下施硫明显促进作物的叶绿素含量和光合速

率<sup>[12,13]</sup>。许多学者在土壤缺硫的条件下进行过施硫对小麦产量影响的研究<sup>[12~14]</sup>,高义民等<sup>[15]</sup>认为土壤硫的亏缺值为 18.5 mg/kg,林葆等<sup>[16]</sup>试验表明,不同作物和不同的耕作方式对硫素的需求差别

很大,评价土壤中硫素供求状况必须与具体生产条件相结合。在本试验土壤有效硫含量 18.4 mg/kg 的条件下,补施适宜的硫肥(60 kg/hm<sup>2</sup>)能明显提高 2 个小麦品种的 SPAD 值和光合速率。

表 2 不同供硫和灌水处理下小麦籽粒产量及其构成因素比较

Table 2 Grain yield and its components in different sulphur-fertilizing and irrigation

| 品种<br>Cultivar             | 处理<br>Treatment | 穗数<br>Ear number<br>(10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> ) | 穗粒数<br>Kernels per spike | 千粒重<br>1000 grain weight<br>(g) | 产量<br>Grain yield<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|
| 兰考矮早八<br>LKAZ <sup>8</sup> | S <sub>60</sub> | 574.6 <sub>aA</sub>                                     | 44.02 <sub>aA</sub>      | 40.27 <sub>aA</sub>             | 6443.36 <sub>aA</sub>                      |
|                            | S <sub>30</sub> | 504.4 <sub>bB</sub>                                     | 42.46 <sub>aA</sub>      | 39.72 <sub>aA</sub>             | 5610.96 <sub>bB</sub>                      |
|                            | S <sub>0</sub>  | 496.1 <sub>bB</sub>                                     | 44.41 <sub>aA</sub>      | 40.38 <sub>aA</sub>             | 5400.16 <sub>bB</sub>                      |
|                            | W <sub>2</sub>  | 501.3 <sub>bB</sub>                                     | 43.74 <sub>aA</sub>      | 41.18 <sub>aA</sub>             | 5637.66 <sub>bA</sub>                      |
|                            | W <sub>1</sub>  | 516.8 <sub>bB</sub>                                     | 45.10 <sub>aA</sub>      | 38.07 <sub>bB</sub>             | 5537.98 <sub>bA</sub>                      |
|                            | W <sub>0</sub>  | 556.9 <sub>aA</sub>                                     | 42.05 <sub>aA</sub>      | 41.12 <sub>aA</sub>             | 6278.83 <sub>aA</sub>                      |
| 豫麦 49—198<br>YM49—198      | S <sub>60</sub> | 645.3 <sub>aA</sub>                                     | 29.22 <sub>aA</sub>      | 39.84 <sub>aA</sub>             | 6142.02 <sub>aA</sub>                      |
|                            | S <sub>30</sub> | 600.9 <sub>bAB</sub>                                    | 28.55 <sub>aA</sub>      | 38.79 <sub>aA</sub>             | 5746.84 <sub>aA</sub>                      |
|                            | S <sub>0</sub>  | 572.6 <sub>bB</sub>                                     | 26.88 <sub>aA</sub>      | 38.47 <sub>aA</sub>             | 5622.55 <sub>aA</sub>                      |
|                            | W <sub>2</sub>  | 581.8 <sub>bA</sub>                                     | 28.76 <sub>abA</sub>     | 39.02 <sub>abAB</sub>           | 5656.90 <sub>bA</sub>                      |
|                            | W <sub>1</sub>  | 613.2 <sub>abA</sub>                                    | 29.72 <sub>aA</sub>      | 37.27 <sub>bB</sub>             | 6188.79 <sub>aA</sub>                      |
|                            | W <sub>0</sub>  | 623.7 <sub>aA</sub>                                     | 26.17 <sub>bA</sub>      | 40.81 <sub>aA</sub>             | 5666.11 <sub>bA</sub>                      |

注:均值后小写字母和大写字母分别表示 5%和 1%的显著水平。  
Note: Values followed by different normal and capital letters indicate significant difference at 5% and 1% level, respectively.

不少研究结果表明,干旱胁迫时,光合电子传递受阻,活性氧在植物体内累积,叶绿素合成受到影响,降低叶绿素含量,减弱光合作用<sup>[17,18]</sup>。本试验结果也证实了土壤水分供应状况与光合作用的关系。2 小麦品种光合速率最终均表现为 W<sub>2</sub>(灌拔节水和灌灌浆水)>W<sub>1</sub>(仅灌拔节水)>W<sub>0</sub>(不灌水)。最终结果表明合理灌水能提高小麦叶片的光合速率,进而提高小麦植株物质积累量和运转量,最终使小麦生物产量和籽粒产量得以提高。

已有研究结果表明,施硫在增加可溶性氮、硫、甲硫氨酸和半胱氨酸含量的同时,有些植物还可形成甲硫脯氨酸代替脯氨酸和甜菜碱等渗透调节物质,从而提高植物的渗透调节能力<sup>[19~21]</sup>。本研究结果表明,兰考矮早八产量 W<sub>0</sub> 处理高于 W<sub>1</sub> 和 W<sub>2</sub> 处理,豫麦 49—198 产量 W<sub>1</sub> 处理高于 W<sub>2</sub> 和 W<sub>0</sub> 处理,水、硫互作对小麦籽粒产量、穗数及籽粒千粒重的效应达到显著水平,特别是兰考矮早八籽粒产量对水、硫互作的响应已达到极显著水平。由此可以推测,补施硫肥在一定程度上缓解了灌水次数减少对小麦光合速率和物质积累的影响,其内在的生理生化机制有待于进一步研究。

参 考 文 献:

[1] Morris R J. Sulphur in world agric[J]. Sulphur in Indian Agric, 1988, (1): 1—14.

[2] Saito K. Sulfur assimilatory metabolism the long and smelling road [J]. Plant Physiology, 2004, 136: 2443—2450.

[3] Zhao F J, Hawkesfordt M J. Sulfur assimilation and effects on yield and quality of wheat [J]. Journal of Cereal Science, 1999, 30: 1—17.

[4] 祝小捷,朱云集,郭天财,等. 不同氮素水平下施硫对高产小麦碳氮运转和产量的影响 [J]. 西北植物学报, 2007, 27 (9): 1820—1825.

[5] Ceccotti SP, Messick DL. 环境对农业中硫平衡的影响及目前中国农业硫平衡现状 [C]//中国农业硫肥研究进展和需求展望—国际研讨会论文集, 1999: 1—8.

[6] 王晨阳,马冬云,郭天财,等. 不同水、氮处理对小麦淀粉组成及特性的影响 [J]. 作物学报, 2004, 30 (8): 739—744.

[7] 介晓磊,韩燕来,谭金芳. 不同能力麦田水氮交互效应与耦合模式研究 [J]. 作物学报, 1998, 24 (6): 96—97.

[8] 徐恒永,赵君实. 高产冬小麦的冠层光合能力及不同器官的贡献 [J]. 作物学报, 1995, 21 (2): 204—209.

[9] 王 磊,白由路. 不同氮处理春玉米叶片光谱反射率与叶片全氮和叶绿素含量的相关研究 [J]. 中国农业科学, 2005, 38 (11): 2268—2276.

[10] 武维华. 植物生理学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[11] 周莉娜,曲 东,邵丽丽,等.干旱胁迫下硫营养对小麦光合色素及 MDA 含量的影响[J].西北植物学报,2005,25(8):1579—1583.

[12] 马春英,李雁鸣,韩金玲.不同施硫量对冬小麦光合特性和产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2005,11(2):211—217.

[13] 朱云集,谢迎新,郭天财,等.硫肥对两个没穗型冬小麦品种光合特性及产量的影响[J].作物学报,2006,32(3):436—441.

[14] 王 东,于振文,王旭东.硫素对冬小麦籽粒蛋白质积累的影响[J].作物学报,2003,29(6):878—883.

[15] 高义民,同延安,胡正义,等.陕西省农田土壤硫含量空间变异特征及亏缺评价[J].土壤学报,2004,41(6):938—944.

[16] 林 葆,李书田,周 卫.土壤有效硫评价方法和临界指标的研究[J].土壤学报,2004,41(6):938—944.

[17] 李妮亚,高俊凤,汪沛洪.小麦幼芽水分胁迫诱导蛋白的特征[J].植物生理学报,1998,24(1):65—71.

[18] 薛 松,王沛洪,许大全,等.水分胁迫对冬小麦 CO<sub>2</sub> 同化作用的影响[J].植物生理学报,1992,18(2):1—7.

[19] 王庆仁,林 葆.植物硫营养研究的现状与展望[J].土壤肥料,1996,(3):16—19.

[20] 周 卫,林 葆.土壤与植物中硫行为研究进展[J].土壤肥料,1997,(5):8—11.

[21] H marschner 著,李春俭等译.高等植物的矿质营养[M].北京:中国农业大学出版社,2001:177—184.

## Effects of irrigation and sulphur and their interactions on photosynthetic characteristics and yield of winter wheat

TIAN Wen-zhong, ZHU Yun-ji<sup>\*</sup>, GUO Tian-cai, XIE Ying-xin, ZHU Xiao-jie, WANG Fan  
(Henan Agricultural University/ National Engineering Research Centre for Wheat, Zhengzhou, He'nan 450002, China)

**Abstract:** Effects of different sulphur rate and irrigation time on photosynthetic characteristics and yield of two high-yield winter wheat cultivars with different spike types (LKAZ<sup>8</sup> with a big spike and YM49—198 with a multiple spike) were studied under field experiment conditions. The results showed that the yield of the S<sub>60</sub> with 60 kg/hm<sup>2</sup> was higher than that of S<sub>30</sub>(30 kg/hm<sup>2</sup>) and S<sub>0</sub>(0 kg/hm<sup>2</sup>), and the differences reached a significant level between them. Compared to control (S<sub>0</sub>), the yield of LKAZ<sup>8</sup> and YM49—198 with S<sub>60</sub> increased by 19.32% and 9.24%, respectively. Photosynthetic rate and SPAD value of two cultivars with S<sub>60</sub> were higher than that with S<sub>30</sub>(30 kg/hm<sup>2</sup>) and S<sub>0</sub>(0 kg/hm<sup>2</sup>) at the final. Among irrigation treatments, difference existed between the yield of two cultivars. The highest yield treatment of LKAZ<sup>8</sup> was W<sub>0</sub>(non-irrigation), and YM49—198 was W<sub>1</sub>(jointing stage irrigation) treatment.

**Key words:** winter wheat; irrigation; sulphur; photosynthetic characteristics; yield