

锌肥对干旱下冬小麦产量形成及籽粒锌积累动态的影响

王志强, 刘康, 彭凌馨, 李宗震, 龚璞,
张丽婷, 董中东, 任永哲, 辛泽毓, 林同保

(河南农业大学农学院/河南粮食作物协同创新中心/
省部共建小麦玉米作物学国家重点实验室, 郑州450002)

摘要: 干旱胁迫是造成冬小麦减产的主要原因之一,为探寻干旱防御技术,本研究以豫农211为材料,在拔节期、灌浆期对小麦进行不同水分和锌肥处理,研究了施用锌肥对干旱条件下冬小麦SPAD值、叶片相对含水率、地上部干物质积累、籽粒灌浆速率、籽粒锌积累动态及产量形成的影响。结果表明,干旱胁迫下,冬小麦叶片SPAD值、叶片相对含水率、单株地上部干物质积累、籽粒灌浆速率、籽粒锌积累速率、产量及其构成因素均显著下降,施用适量锌肥可以提高小麦叶片叶绿素量,增加叶片相对含水率及单株干物质总量,提高籽粒灌浆速率,促进籽粒锌积累速度及最终籽粒含锌量,提高产量。本试验条件下,锌肥能增加干旱下小麦产量4.80%,籽粒含锌量36.86%。

关键词: 锌; 干旱胁迫; 冬小麦; 籽粒锌积累; 产量

中图分类号:S512.1

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.2017.09.004

王志强,刘康,彭凌馨,等. 锌肥对干旱下冬小麦产量形成及籽粒锌积累动态的影响[J]. 灌溉排水学报,2017,36(9): 20-24.

0 引言

小麦是我国重要的粮食作物,在全国粮食消费总额中占1/5左右,因此小麦生产在我国具有重要的意义。然而由于资源环境刚性约束,如干旱胁迫,微肥缺乏,造成冬小麦大面积减产。河南是中国小麦主产区之一,小麦生长季正处旱季,整体降雨量难以满足小麦生长发育的需求,造成小麦旱灾频繁发生,从而减产,所以寻找小麦干旱防御技术对河南冬小麦的生产具有重要意义^[1]。营养调控是增强小麦节水抗旱性的重要手段之一,其中锌是植物生长不可或缺的微量元素,也是植物许多酶合成和重要蛋白质合成的主要成分,并参与光合作用^[2]。根据调查,河南土壤有效含锌量为0.04~1.99 mg/kg,平均值为0.64 mg/kg^[3],土壤有效锌在0.5~1 mg/kg之间属于潜在性缺锌^[4]。缺锌不仅影响小麦抗旱性,也影响小麦籽粒含锌量,而人体锌元素主要源于日常饮食,我国北方人们大部分偏爱面食,小麦成为其主要口粮,小麦籽粒含锌量的高低直接影响人体含锌量。而人体缺乏锌则会造成免疫力下降,智力发育不全等问题^[5],影响人体健康。研究表明,锌肥可以提高作物抗旱能力^[6],而锌肥对小麦影响的研究多集中在正常条件下的产量形成方面^[7]。关于干旱条件下锌肥对小麦产量形成过程及籽粒含锌量的影响还鲜见报道。本研究通过干旱条件下喷施锌肥,探讨冬小麦的产量形成及籽粒锌积累动态,进而为合理施锌和建立干旱防御技术提供一定依据。

1 材料与方法

试验于2014—2015年在河南省郑州市惠济区地湾村进行,其地理坐标为东经113°60′、北纬34°87′,属北

收稿日期:2016-09-13

基金项目:高校博士点专项科研基金项目(20124105110007);公益性行业(农业)科研专项项目(201203077);国家农业科技成果转化项目(2014D00000018)

作者简介:王志强(1978-),男,河南辉县人。教授,主要从事作物节水栽培与抗旱生理研究。E-mail: wzq78@163.com

通信作者:林同保(1962-),男,河南武陟人。教授,主要从事作物节水技术研究。E-mail: linlab@163.com

温带大陆性季候风,年日照时间为2 181.7 h,年平均气温为14.4 ℃,年平均降水量为632.3 mm,其中小麦生长期间的降雨量为179 mm,占全年降雨量的28.3%。本试验季降雨量数据见表1。试验地土壤为壤土,有效氮、有效磷、有效钾、有效锌量分别为149、24、186、0.62 mg/kg。

表1 试验点本年度(小麦生长季)降雨量

日期	降雨量/mm	日期	降雨量/mm	日期	降雨量/mm
10月19日	2.9	1月25日	3.8	4月1日	39.5
10月20日	10.4	1月27日	0.2	4月2日	18.2
10月30日	0.1	1月28日	4.1	4月4日	4.8
11月1日	0.1	1月29日	0.7	4月5日	0.2
11月15日	0.9	2月23日	1.1	4月18日	5.7
11月22日	0.8	3月17日	6.6	4月19日	10.7
11月23日	8.1	3月18日	1.2	5月1日	4.2
11月27日	5.4	3月19日	4.8	5月2日	52.6
11月28日	0.1	3月23日	1.4	5月7日	17.1
11月29日	2.2	3月25日	0.9	5月8日	6.2
12月10日	0.1	3月26日	0.9	5月10日	1.1
1月24日	4.3	3月31日	0.2	5月11日	1.1

供试小麦材料为豫农211,于2014年10月18日播种,5月30日收获。播种量为150 kg/hm²,底施复合肥量为(有效氮、有效磷和有效钾使用量质量比为20:20:5)90 kg/hm²。采用随机区组试验设计,主处理为2个水分水平,即正常(W,设为对照)、干旱(D),正常水分处理按照高产要求灌溉,干旱处理全生育期无灌溉,越冬期、拔节期、灌浆期测定土壤相对含水率,正常灌水处理下分别为76.8%、81.4%和82.1%,干旱处理下分别为63.6%、59.9%和74.2%。副处理设2个锌肥处理,即不施锌肥和喷施30 kg/hm²锌肥(Zn),方法是在拔节期用ZnSO₄·7H₂O配成0.4%溶液,在晴朗无风的傍晚叶面喷施,隔2 d喷施1次,共2次;灌浆期用ZnSO₄·7H₂O配成0.2%溶液,在晴朗无风的傍晚叶面喷施2次,这2个时期取样均在喷施锌肥7 d后进行。共4个处理,重复3次。田间除草和植保措施按高产田管理要求进行。

在返青期、拔节期、抽穗期、灌浆期、成熟期,挑选10株长势均匀具有代表性的植株,用SPAD502型叶绿素仪测量最上部叶片含叶绿素量;同期测定地上部干物质质量和叶片相对含水率;在小麦开花期选刚开花小麦进行挂牌标记,每5 d从挂牌小麦中取穗中部籽粒100个,重复3次,烘干称质量,计算灌浆速率;测定灌浆速率的同时,采用电感耦合等离子体发射光谱技术(ICP)测定籽粒含锌量^[8];在成熟期每小区选0.667 m²进行测产,调查成穗数,同时在小区内随机取20穗具有代表性的麦穗调查穗粒数,脱粒后调查千粒质量;采用Excel制作图表,使用SPSS18.0进行统计分析,用LSD检验法分析各处理之间的差异显著性($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 锌肥对不同水分条件下冬小麦SPAD值的影响

小麦植株绝大部分的干物质都是由叶片光合作用合成,叶绿素是光合作用过程中必不可少的物质,叶绿素值(SPAD值)能很好地反映叶片含叶绿素量。由表2可知,各处理SPAD值在整个生育期表现一致,呈单峰曲线,W、W+Zn处理在灌浆期达到峰值,D、D+Zn处理在抽穗期达到峰值,各处理在抽穗期、灌浆期、成熟期差异达到显著性水平,灌浆期之后因干物质转运或植株衰老而迅速下降。拔节期之前,各处理间SPAD值无显著差异。拔节期后由于降雨,虽正常灌水SPAD值大于干旱,但无显著差异,锌肥效果不明显。抽穗期各处理间差异开始显著,正常灌水处理SPAD值显著大于干旱处理,相同水分条件下,施锌肥处理SPAD值显著大于未施锌肥的处理,该差异在灌浆期进一步扩大,正常灌溉处理的冬小麦SPAD值在灌浆期继续增加,而干旱胁迫下的冬小麦SPAD值则开始下降。到成熟期,叶绿素降解,叶片枯黄,SPAD值迅速下降,但施锌处理SPAD值显著大于同一水分条件下不施锌肥的处理,说明锌肥能够缓解叶绿素的降解,维持较高的绿叶面积,从而维持光合作用,有利于后期小麦干物质的运转及籽粒灌浆。

表2 不同水分和施锌条件下冬小麦叶片 SPAD值动态变化

处理	返青期(3月6日)	拔节期(3月15日)	抽穗期(4月19日)	灌浆期(5月10日)	成熟期(5月25日)
W	47.78±1.09a	48.26±0.87a	57.94±0.40b	58.86±0.22b	8.64±0.10b
W+Zn	47.07±1.65a	50.69±1.65a	59.75±0.82a	61.29±0.68a	11.71±0.29a
D	46.72±0.19a	49.43±1.55a	54.70±0.43c	53.95±0.40d	5.78±0.31d
D+Zn	47.65±0.60a	49.89±1.27a	55.83±0.42c	55.78±0.72c	7.24±0.03c

注：数字后的不同字母表示统计学上的差异显著性($p < 0.05$)，下同。

2.2 锌肥对不同水分条件下冬小麦叶片含水率相对含水率的影响

水分一般占植物组织鲜质量的65%~90%。叶片相对含水率可以表征植物在遭受水分胁迫后的整体水分亏缺状况,反映了植株叶片细胞的水分生理状态。由表3可知,随生育期的推进,不同处理小麦叶片相对含水率变化趋势一致,呈现单峰变化曲线,返青期由于未进行水分和锌肥处理,各处理间叶片相对含水率无明显差异,拔节初期进行水分灌溉和锌肥喷施,受降雨影响,各处理间叶片相对含水率也无显著差异,拔节期后随温度上升,叶面蒸腾变大和土壤缺水,各处理间开始出现显著差异,到抽穗期正常灌溉的冬小麦叶片相对含水率显著高于干旱条件下的处理,同时同一水分条件下,锌肥处理后的小麦叶片相对含水率显著高于未喷施锌肥的处理。灌浆期时,正常灌水处理下的小麦叶片相对含水率略大于干旱处理下的,同一水分条件下喷施锌肥的处理叶片相对含水率也有所增大,但各处理间差异不显著。说明干旱胁迫抑制叶片对水分的吸收,喷施锌肥能够缓解干旱胁迫的抑制效应。

表3 不同水分和施锌条件下冬小麦叶片相对含水率

处理	返青期(3月6日)	拔节期(3月15日)	抽穗期(4月19日)	灌浆期(5月10日)
W	90.83%±0.0088a	91.35%±0.0050a	90.82%±0.0076b	84.07%±0.0030a
W+Zn	91.27%±0.0048a	92.29%±0.0050a	92.66%±0.0026a	84.30%±0.0067a
D	89.60%±0.0043a	91.44%±0.0022a	87.48%±0.0019d	83.19%±0.0105a
D+Zn	90.07%±0.0032a	91.67%±0.0047a	89.33%±0.0030c	83.57%±0.0073a

2.3 锌肥对不同水分条件下冬小麦地上部干物质积累的影响

植株群体干物质积累是产量形成的基础。由表4可知,各处理小麦地上部干物质积累量趋势一致,拔节期前处于缓慢增长阶段,拔节期后气温回升,光合速率增大,干物质积累增长速度加快,抽穗期、灌浆期、成熟期各处理间均出现显著差异。受喷施锌肥影响,拔节期W+Zn、D与W处理之间差异达到显著性水平,D+Zn与W处理之间差异不显著、但与D处理之间差异显著,各处理间干物质积累量较返青期分别增加76.29%、81.23%、60.37%、72.33%。随生育期的推进,各处理间地上部干物质积累量均表现为W+Zn处理>W处理>D+Zn处理>D处理,说明干旱显著降低冬小麦地上部干物质积累速度,锌肥能有效缓解干旱胁迫对植株生长的抑制,促进植株干物质积累。

表4 不同水分和施锌条件下冬小麦地上部干物质积累动态变化

处理	返青期	拔节期	抽穗期	灌浆期	成熟期
W	0.523±0.002a	0.922±0.001b	1.753±0.039b	3.009±0.003b	3.814±0.009b
W+Zn	0.530±0.004a	0.960±0.003a	1.929±0.019a	3.211±0.028a	4.065±0.032a
D	0.540±0.006a	0.866±0.003c	1.524±0.018d	2.742±0.038d	3.269±0.151d
D+Zn	0.534±0.007a	0.920±0.002b	1.666±0.006c	2.832±0.002c	3.483±0.008c

2.4 锌肥对不同水分条件下冬小麦灌浆速率的影响

图1表示不同处理下小麦的灌浆速率。由图1可知,不同水分和锌肥条件下各灌浆速率一致,灌浆开始各处理间灌浆速率几乎相同,随灌浆推进,不同处理灌浆速率呈现出迅速增加-缓慢增加-迅速下降的趋势,D处理灌浆速率在5~10d呈现出迅速增加趋势,10~20d间以较小的幅度增加,20d后灌浆速率下降;与D处理不同的是,W、W+Zn、D+Zn处理的灌浆速率在5~15d迅速增加,15~20d灌浆速率基本不变,20d后灌浆速率下降,4个处理灌浆速率均在第20天达到最大值,且最大值间差异显著。10~20d各处理与W处理相比,W+Zn处理籽粒灌浆速率显著大于正常,D、D+Zn处理小麦籽粒灌浆速率显著小于W处理,D+Zn处理籽粒灌浆速率显著大于D处理、小于W处理,说明干旱显著降低了冬小麦的灌浆速率,喷施锌肥不仅能够缓解干旱胁迫造成的影响,而且能够显著提高籽粒灌浆速率。

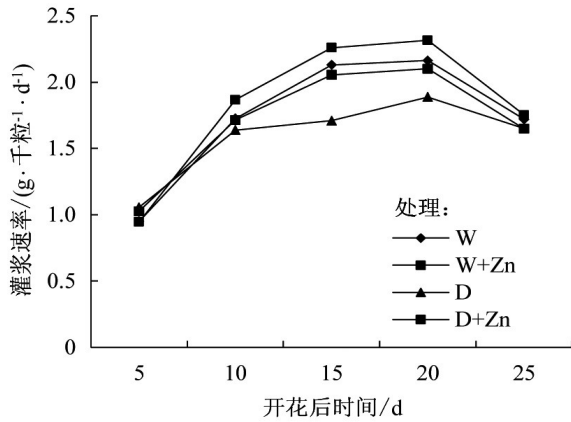


图1 不同水分和施锌条件下冬小麦灌浆速率变化动态

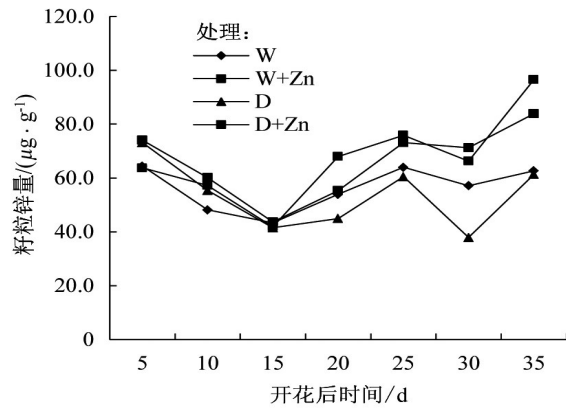


图2 不同水分和施锌条件下冬小麦籽粒含锌量动态

2.5 锌肥对不同水分条件下冬小麦籽粒锌积累动态的影响

图2表示了籽粒锌积累动态。由图2可知,随灌浆推进不同处理下冬小麦籽粒锌积累动态变化趋势一致,5~15 d籽粒含锌量迅速下降,15~25 d迅速上升,25~30 d缓慢下降,30~35 d上升。15 d后 W+Zn、D+Zn 处理下籽粒含锌量均大于不喷施锌肥的处理,且35 d喷施锌肥处理与不喷施处理间差异达到显著性水平,说明外源喷施锌肥能够有效提高小麦籽粒含锌量,对改善小麦籽粒品质具有重要意义。

2.6 锌肥对不同水分条件下冬小麦产量及构成因素的影响

由表5可知,干旱胁迫下,无论是否喷施锌肥小麦的穗粒数、千粒质量、穗数、产量均小于W处理,其中干旱胁迫下冬小麦千粒质量、穗数、产量均与对照差异显著,降幅分别为3.35%、3.78%、5.22%、7.98%;D+Zn处理与W处理间穗粒数、千粒质量差异不显著,穗数、产量差异显著,降幅分别为0.81%、0.80%、12.31%、3.56%,各指标降幅均小于干旱。W+Zn处理下冬小麦产量要素和产量均高于W处理的,除穗粒数外,其余各指标差异均达到显著性水平,分别增加4.57%、3.14%、8.35%、7.17%;同样D+Zn处理下冬小麦产量要素和产量均高于D处理的,且除穗粒数外各指标均差异达到显著性水平,增幅分别为2.62%、3.10%、3.43%、4.80%。干旱胁迫和锌肥处理虽然能在一定程度上改变冬小麦的穗粒数,但差异不显著,说明穗粒数对产量的影响作用不大。

表5 不同水分和锌肥对冬小麦产量及其构成因素的影响

处理	穗数/(10 ⁴ ·hm ⁻²)	千粒质量/g	穗粒数/(粒·穗 ⁻¹)	产量/(kg·hm ⁻²)
W	808±8.17b	41.24±0.36b	36.79±1.83a	8 648.1±30.54b
W+Zn	875.5±3.53a	42.54±0.89a	38.47±1.34a	9 321.5±15.31a
D	685±2.85c	39.68±0.37c	35.56±1.21a	8 004.0±13.25d
D+Zn	708.5±2.33c	40.91±0.32c	36.49±1.11a	8 388.1±20.11c

3 结论与讨论

干物质积累是营养器官建成和籽粒产量形成的基础^[9-10]。叶绿素破坏及降解可直接导致光合作用效率的降低,进而影响光合产物的形成^[11],导致植株弱小,干物质积累和产量降低。干旱使植物叶绿素合成速率降低,降解速率加快,锌形成的锌卟啉是叶绿素合成的前提^[12-13],是叶绿素合成过程中必不可少的酶促反应因子。碳酸酐酶是一种重要的光合作用酶,可降低CO₂在叶肉细胞中的扩散阻力,为羧化反应提供产物,锌是碳酸酐酶必不可少的成分,缺锌能使碳酸酐酶活性降低,从而影响叶绿素的合成,适量施锌能够增加叶片含叶绿素量,提升光合能力。水是植物的血液,叶片相对含水率反映了植物受水分胁迫后体内水分亏缺情况。在植物体内同化的物质首先溶于水中,水分充足时可以加快物质的流动,从而增加植株干物质积累以及提高灌浆速率。试验表明,干旱胁迫降低了含叶绿素量,加快植株失水,降低叶片相对含水率,从而降低地上部干物质积累,这与马富举等^[14]、韩金玲等^[15]的研究结果一致,施锌肥不仅能够有效抑制干旱胁迫带来的影响,而且能够显著提高植物体内的含叶绿素量及叶片相对含水率,从而提高地上部干物质积累。

激素在小麦灌浆过程中起重要作用^[16],其中生长素与籽粒灌浆速率显著正相关^[17],而锌在生长素合成中起重要作用,缺锌植株生长素量降低,供锌后生长素量升高。本研究表明干旱胁迫显著降低籽粒灌浆速率,这可能与干旱条件下生长素的合成受抑制有关^[18],喷施锌肥不仅能够缓解干旱胁迫对灌浆速率造成的降低

作用,且同一水分水平下喷施锌肥显著提高籽粒灌浆速率,提高小麦的千粒质量。

小麦籽粒含锌量是衡量小麦品质的重要指标,籽粒锌积累速率及最终含锌量高低主要受自身遗传特性所控制,但其积累机制及影响因素未见报道,干旱影响籽粒含锌量的积累,这可能与干旱胁迫阻碍植株对养分的吸收以及物质的运转有很大关系,同时增施锌肥能显著提高籽粒锌积累速率和最终籽粒含锌量,其原因可能在于土壤有效含锌量未达到籽粒锌积累所需最大值有关,具体机制及原因有待于深入研究。

综上所述,在干旱胁迫下,适量施用锌肥,可以增加小麦含叶绿素量和叶片相对含水率,提高光合速率,增加单株地上部干物质积累量,促进灌浆速率,从而增强植株抗逆性、增加产量。在不同水分条件下施用锌肥均可以增加籽粒锌积累速率,最终增加籽粒含锌量,提高籽粒营养品质。干旱胁迫下施锌肥可提高植物的抗逆性,增加产量,同时也是增加籽粒含锌量的有效措施之一。

参考文献:

- [1] 卞城月,马长健,刘馨惠,等.灌溉频次与种植模式对冬小麦产量及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2016,35(2):81-85.
- [2] 徐晓燕,杨肖娥,杨玉爱.锌在植物中的形态及生理作用机理研究进展[J].广东微量元素科学,1999,6(11):1-6.
- [3] 孙德祥.锌在土壤中的含量及其应用[J].河南科学,1985(2):96-105.
- [4] 刘合满,张兴昌,苏少华.黄土高原主要土壤锌有效性及其影响因素[J].农业环境科学学报,2008,27(3):898-902.
- [5] 欧阳红,何优璇.缺锌对健康的危害及补锌过程中应注意的问题[J].广东微量元素科学,2001,8(12):8-11.
- [6] 李孟华,王朝辉,王建伟,等.低锌旱地施锌方式对小麦产量和锌利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(6):1346-1355.
- [7] 王健波,林琪,张洪生,等.不同时期施锌对早稻籽粒锌积累的影响[J].中国土壤与肥料,2010(2):45-48.
- [8] 彭凌馨.锌对干旱胁迫下冬小麦生理特性及产量的影响[D].郑州:河南农业大学,2016.
- [9] 吴春胜.超高产玉米灌浆速率与干物质积累特性研究[J].吉林农业大学学报,2008,30(4):382-385.
- [10] 王志强,张丽婷,彭凌馨,等.锌肥对水分逆境下玉米产量形成的影响[J].河南农业大学学报,2014,48(6):674-679.
- [11] 朱新广,王强,张其德,等.冬小麦光合功能对盐胁迫的响应[J].植物营养与肥料学报,2002,8(2):177-180.
- [12] OHKI K. Effect of zinc nutrition on photosynthesis and carbonic anhydrase activity in cotton [J]. Physiologia Plantarum, 1976, 38(4): 300-304.
- [13] JACOBSON B S, FONG F, HEAT H R L. Carbonic anhydrase of spinach. Studies on its location, inhibition and physiological function [J]. Plant Physiology, 1975, 55: 468-474.
- [14] 马富举,李丹丹,蔡剑,等.干旱胁迫对小麦幼苗根系生长和叶片光合作用的影响[J].应用生态学报,2012,23(3):724-730.
- [15] 韩金玲,杨晴,周印富,等.旱地施用锌肥对冬小麦干物质积累和产量的影响[J].麦类作物学报,2010,30(2):358-361.
- [16] 樊高琼,杨文钰,邵庆勤,等.小麦籽粒发育过程中淀粉和激素含量的变化及其关系[J].麦类作物学报,2007,27(2):327-330.
- [17] 张学勇,杨欣明,董玉琛.醇溶蛋白电泳图谱在小麦种质资源遗传分析中的应用[J].中国农业科学,1995,28(4):5-32.
- [18] 梁海燕,刘迪迪,张娜,等.干旱胁迫对不同基因型小麦籽粒灌浆及内源激素的影响[J].西北农业学报,2015,24(5):41-47.

The Impact of Zinc Fertilizer on Yield and Accumulation of Zinc in Grain of Winter Wheat under Drought Stress

WANG Zhiqiang, LIU Kang, PENG Lingxin, LI Zongzhen, GONG Pu,

ZHANG Liting, DONG Zhongdong, REN Yongzhe, XIN Zeyu, LIN Tongbao

(College of Agronomy, Henan Agricultural University/Collaborative Innovation Center of Henan Grain

Crops/State Key Laboratory of Wheat and Maize Crop Science, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Drought is one of main abiotic stresses limiting wheat production. In this paper, we investigated the feasibility of using zinc fertilizer to alleviate the impact of drought on growth and yield of the wheat. The cultivar Yunong211 was used as the model plant, and the effect of zinc fertilizer on *SPAD* value, leaf water content, dry matter accumulation, filling rate, accumulation of zinc in grain, as well as the yield was examined under different drought stresses. The results showed that drought significantly reduced the chlorophyll content in leaves, leaf water content, dry matter accumulation, filling rate, accumulation of zinc in grain and the yield. Applying adequate zinc fertilizer improved the chlorophyll content in the leaves, total plant dry matter, grain filling rate, zinc accumulation in grain, and yield. In our experiments, applying zinc fertilizer increased yield and zinc content in the grain by 4.80% and 36.86%, respectively, when the plant was subjected to drought stress.

Key words: zinc; drought stress; winter wheat; grain zinc accumulation; yield

责任编辑:赵宇龙