



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

配方肥配施锌肥和硫肥对小麦的提质增效作用

袁漫漫, 邬刚, 耿维, 王家宝, 井玉丹, 孙义祥

引用本文:

袁, 邬刚, 耿维, 等. 配方肥配施锌肥和硫肥对小麦的提质增效作用[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(4): 518–526.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0169>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

华北平原不同施氮量与施肥模式对作物产量与氮肥利用率的影响

蔡媛媛, 王瑞琪, 王丽丽, 刘惠芬, 杨殿林, 谭炳昌

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 503–510 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0254>

三种类型阻控剂对不同品种水稻富集镉的影响

龙思斯, 杨益新, 宋正国, 雷鸣, 杨勇, 蒋宏芳, 喻理, 沈跃, 周爽

农业资源与环境学报. 2016, 33(5): 459–465 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2016.0043>

控释氮肥和控释钾肥对棉花产量、品质及土壤肥力的影响

于小晶, 田晓飞, 张民, 李成亮, 孙玲丽, 刘之广, 陈剑秋

农业资源与环境学报. 2019, 36(3): 313–321 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0171>

施用腐植酸和生物肥对草莓品质、产量及土壤农化性状的影响

刘继培, 刘唯一, 周婕, 李桐, 赵跃, 张蒙

农业资源与环境学报. 2015(1): 56–61 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2014.0205>

不同优化平衡施肥措施对冬小麦田间群体微环境的影响

聂胜委, 张巧萍, 张玉亭, 宝德俊

农业资源与环境学报. 2018, 35(4): 311–317 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0266>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

袁漫漫, 邬刚, 耿维, 等. 配方肥配施锌肥和硫肥对小麦的提质增效作用[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(4): 518–526.

YUAN Man-man, WU Gang, GENG Wei, et al. Combined application of formula, zinc, and sulfur fertilizers to improve the yield and grain quality of wheat[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(4): 518–526.



开放科学 OSID

配方肥配施锌肥和硫肥对小麦的提质增效作用

袁漫漫, 邬刚, 耿维, 王家宝, 井玉丹, 孙义祥*

(安徽省养分循环与资源环境省级实验室/安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 合肥 230031)

摘要:为探明配方肥配施锌肥和硫肥对小麦产量和品质的影响,在安徽省小麦主产区宿州的西二铺村和湖町村分别设置了农民习惯施肥(CK)处理、配方肥处理、配方肥分别配施锌肥和硫肥处理以及同时配施锌肥和硫肥处理的田间试验。结果表明,与农民习惯施肥相比,配方肥显著增加了小麦产量,配方肥配施锌肥和硫肥进一步增加了小麦产量,进而提高小麦经济效益;同样,配方肥配施锌肥和硫肥提高了小麦氮、磷、钾肥偏生产力,平均增幅达到35.0%、107.0%、99.1%。配方肥配施锌肥和硫肥增加了籽粒锌和硫的积累量,对籽粒锌含量有一定促进作用,对籽粒硫含量影响不明显。不同处理小麦籽粒蛋白质含量及其组分、淀粉含量及其组分差异均不显著,但增施锌肥和硫肥提高了小麦籽粒的谷醇比,降低了直支比,有利于小麦品质的提高。因此,在土壤锌和硫含量较低的地区,配方肥配施锌肥和硫肥能促进小麦籽粒产量和品质的提高。

关键词:小麦; 锌; 硫; 配方肥; 产量; 养分含量; 品质

中图分类号: S143.7

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2020)04-0518-09

doi: 10.13254/j.jare.2019.0169

Combined application of formula, zinc, and sulfur fertilizers to improve the yield and grain quality of wheat

YUAN Man-man, WU Gang, GENG Wei, WANG Jia-bao, JING Yu-dan, SUN Yi-xiang*

(Key Laboratory of Nutrient Cycling, Resources and Environment of Anhui/Institute of Soil and Fertilizer, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: To investigate the effects of combined application formula, zinc, and sulfur fertilizers on yield and grain quality of wheat, two field experiments were performed in the Xi'erpu and Huting villages, the main growing areas of winter wheat in the Anhui Province. The experiments included usual farmer's practices, application of different formula fertilizers, and application of combined formula, zinc, and sulfur fertilizers. The results showed that compared with the farmer's usual practices, the use of formula fertilizers significantly increased wheat yield, and the combined application of zinc and sulfur fertilizers provided the highest yield. Therefore, the economic benefit of wheat was the highest under the treatment with combined formula, zinc, and sulfur fertilizers. Similarly, compared with the farmer's usual practices, applying this combination of formula, zinc, and sulfur fertilizer increased the partial productivity of nitrogen, phosphorus, and potassium in wheat on average by 35.0%, 107.0%, and 99.1%, respectively. Meanwhile, the content of zinc and the accumulation of zinc and sulfur in the wheat grain increased upon use of zinc, sulfur, and formula fertilizers. However, they had no obvious effect on sulfur content, protein and its components content, and starch and its components content in the grains. However, the glutenin to gliadin ratio had a general increasing trend, and amylase to amylopectin ratio had a general decreasing trend under the treatment of combined zinc, sulfur, and formula fertilizers compared with farmer's usual practices. The results suggested that the wheat quality increased with the application of zinc and sulfur fertilizers. Therefore, in areas with low soil zinc and sulfur content, the combined application of formula, zinc, and sulfur fertilizers could improve the wheat grain yield and quality.

Keywords: wheat; zinc; sulfur; formula fertilizer; yield; nutrient content; quality

收稿日期: 2019-04-04 录用日期: 2019-06-25

作者简介: 袁漫漫(1983—), 女, 安徽宿州人, 博士, 助理研究员, 从事生态环境与农业资源研究。E-mail: mmyuan09@163.com

*通信作者: 孙义祥 E-mail: sunyixiang@126.com

基金项目: 安徽省农业科学院科技创新团队项目(18C1021)

Project supported: Anhui Academy of Agricultural Sciences Innovative Research Team Program(18C1021)

<http://www.aed.org.cn>

锌、硫是作物正常生长必需的微量元素,具有重要的生理生化作用,同时,锌、硫也是维持人体健康的必需微量营养元素。锌缺乏会导致体质下降、视力下降或失明、智力发育不良和免疫力降低等疾病^[1],硫缺乏会导致人体无法正常合成蛋白^[2]。因此,近年来,植物微量元素营养状况及其与人体健康的关系,特别是禾谷类锌、硫等元素的生物强化越来越受研究者关注^[3-6]。土壤微量元素缺乏是限制我国大部分地区作物进一步增产提质的重要限制因子^[7-8]。

小麦是我国主要粮食作物,安徽小麦常年种植面积253万hm²,是我国小麦主产区之一。由于光、温、水的限制,安徽小麦主要分布于淮河以北。该区域土壤锌和硫缺乏^[9-10],是小麦品质不高的主要原因。研究表明合理的氮、磷、钾配比可以改善该区域小麦的品质^[11-12]。随着测土配方施肥技术的普及,合理的氮、磷、钾配比对改善小麦品质的作用越来越明显,通常情况下,给营养缺乏的土壤补充相应的元素可进一步提高小麦品质。大量研究表明小麦分别增施锌肥和硫肥可以改善小麦品质^[3-4,6]。而配方肥同时配施锌肥和硫肥对小麦品质的影响,尚缺乏系统的研究。因此,本研究在安徽北部小麦主产区进行配方肥增施锌肥和硫肥试验,通过研究小麦产量、养分积累及利用率、蛋白质含量及其组分、淀粉含量及其组分、籽粒锌和硫含量及其积累量,探究配方肥配施锌肥和硫肥对小麦产量和品质的影响,以期通过现代农艺措施促进小麦提质增效提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验地概况

试验地点位于安徽省宿州市埇桥区西二铺村和湖町村(皖北小麦主产区),土壤类型为砂姜黑土,属于温带半湿润季风气候区,多年平均气温为14℃,全年日照时数为2323~2472h,年平均降水量在744~896mm之间,土壤理化性质见表1。土壤有效锌含量低于0.50mg·kg⁻¹,土壤有效硫含量低于10.0mg·kg⁻¹,分别属于很低和极缺水平^[9,13]。试验地采用冬小

麦-夏玉米轮作方式。西二铺村试验于2017年10月20日开始小麦播种,播种量为225kg·hm⁻²,品种为烟农19;湖町村试验于2017年10月29日开始小麦播种,播种量为300kg·hm⁻²,品种为烟农999。播种行距统一为20cm,2018年6月3日收获。

1.2 试验设计

试验选择4种配方肥,N/P₂O₅/K₂O配方分别为15:15:15、25:8:10、25:18:7和27:8:10。于西二铺村和湖町村分别设置了4个和6个处理(表2),3次重复,小区面积为80m²。根据试验地施肥习惯,两地农民主要施N/P₂O₅/K₂O为15:15:15的复合肥和尿素,但施肥方式不同。其中,N/P₂O₅/K₂O配方25:8:10、25:18:7为试验地区市售小麦专用复合肥,两个配方相比,氮含量相同,相对后者,前者磷含量较少,而钾含量较多。N/P₂O₅/K₂O配方27:8:10是根据安徽淮北市土壤氮、磷、钾养分数据库,以及相应的小麦产量水平和每生产100kg籽粒氮、磷、钾养分需求量计算得到,与该地区市售小麦专用复合肥相比,适当提高了氮肥的比例,该配方是将氮、磷、钾肥掺混制得,氮肥为普通尿素(N 46%),磷肥为磷酸一铵(N 11%,P₂O₅ 44%),钾肥为氯化钾(K₂O 60%)。试验多采用一次性施肥方式,大型拖拉机旋耕20cm晾晒1d后,将肥料均匀撒于土壤表面,旋耕1次,最后用播种机将麦种播于土层3~5cm处。湖町村农民习惯处理于2018年3月10日追肥,人工撒施。田间管理按照当地栽培技术统一进行。

1.3 样品采集与测定方法

小麦成熟时,每个小区拔取1m²样品,再剪去根系,用于考种,测秸秆和籽粒氮、磷、钾养分,以及籽粒清蛋白、球蛋白、醇蛋白、谷蛋白、直链淀粉、支链淀粉、锌、硫的含量。采样后的小麦样品全部收获测产,风干后折算实产。

秸秆和籽粒氮、磷、钾养分含量的测定:研磨后的样品经H₂O₂-H₂SO₄消煮后,分别用凯氏定氮法、靛酚蓝比色法、火焰光度计法测定^[14]。

籽粒清蛋白、球蛋白、醇蛋白、谷蛋白含量的测

表1 试验地土壤理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties of the experiment site

地点 Site	pH	有机质 Organic matter/ g·kg ⁻¹	碱解氮 Hydrolyzable nitrogen/ mg·kg ⁻¹	有效磷 Olsen-P/ mg·kg ⁻¹	有效钾 NH ₄ OAc-K/ mg·kg ⁻¹	有效锌 DTPA-Zn/ mg·kg ⁻¹	有效硫 Available sulfur/ mg·kg ⁻¹
西二铺村 Xi'erpu village	6.95	19.7	116	19.2	78	0.34	5.88
湖町村 Huting village	6.89	19.8	121	20.3	84	0.36	7.69

表2 试验处理和施肥情况(kg·hm⁻²)Table 2 Fertilizer application in different treatments(kg·hm⁻²)

地点 Site	处理名称 Treatment code	处理方式 Method	配方肥 Formula fertilizer	尿素 Urea	硫磺 Sulfur	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	施肥方式 Fertilization mode	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
西二铺村 Xi'erpu village	T15-15-15-N	农民习惯(CK)	750	450	0	0	一次性基施	216	112.5	112.5
	T25-8-10	配方肥	750	0	0	0	一次性基施	187.5	60	75
	T25-18-7	配方肥	750	0	0	0	一次性基施	187.5	135	52.5
	T27-8-10-Zn-S	配方肥+锌肥+硫肥	750	0	15	15	一次性基施	202.5	60	75
湖町村 Huting village	T15-15-15-N	农民习惯(CK)	750	225	0	0	尿素基肥 150 返青肥 75	216	112.5	112.5
	T25-18-7	配方肥	750	0	0	0	一次性施肥	187.5	135	52.5
	T27-8-10	配方肥	750	0	0	0	一次性施肥	202.5	60	75
	T27-8-10-Zn	配方肥+锌肥	750	0	0	15	一次性施肥	202.5	60	75
	T27-8-10-S	配方肥+硫肥	750	0	15	0	一次性施肥	202.5	60	75
	T27-8-10-Zn-S	配方肥+锌肥+硫肥	750	0	15	15	一次性施肥	202.5	60	75

定:小麦面粉分别用蒸馏水、5%NaOH溶液、70%乙醇、0.2% NaOH溶液浸提后,用紫外分光光度计于595 nm处比色得出结果^[15]。

籽粒的直链淀粉和支链淀粉含量的测定采用双波长法^[16]。

籽粒锌含量的测定:小麦面粉在80℃下,用2 mol·L⁻¹盐酸溶液浸提,原子吸收分光光度法测定^[13]。

籽粒硫含量的测定:小麦面粉经HNO₃-HClO₄消煮,BaSO₄比浊法测定^[14]。

蛋白质含量=氮含量×5.7。

谷醇比=谷蛋白含量(%) / 醇蛋白含量(%)。

直支比=直链淀粉含量(%) / 支链淀粉含量(%)。

肥料偏生产力=小麦产量/肥料用量。

1.4 数据处理

应用Excel 2010和SPSS 20.0进行数据处理和统计分析。处理间比较采用One-way ANOVA分析,差异显著性分析采用Duncan法。

2 结果与分析

2.1 产量及其构成

从表3可以看出,配方肥配施硫肥和锌肥增加了小麦籽粒产量,其中T27-8-10-Zn-S增产最明显。与农民习惯处理(T15-15-15-N)相比,在西二铺村和湖町村T27-8-10-Zn-S的小麦产量分别增加了42.0%和26.4%,在湖町村T27-8-10-Zn和T27-8-10-S则增产7.4%和5.6%。T25-8-10和T25-18-7与当地农民习惯处理T15-15-15-N相比,增产效果因地而异,在西二铺村增产达到显著水平,在湖町村增产效果则不显著。西二铺村小麦产量主要与其有效

穗数有关,而湖町村小麦产量则与每穗粒数和千粒重相关。湖町村小麦比西二铺村晚播种10 d,增加了播种量,以增加有效穗数,保证产量。因此,湖町村不同施肥处理间有效穗数无显著差异。

2.2 氮、磷、钾养分积累及利用率

从表4可知,配方肥增施锌肥和硫肥增加了两地小麦地上部氮素积累量,但对湖町村小麦地上部磷、钾积累量影响不明显。与T15-15-15-N相比,其他施肥处理显著增加了小麦肥料偏生产力,西二铺村氮、磷、钾肥偏生产力平均增幅49.3%、102.0%、128.5%,湖町村平均增幅20.7%、112.1%、69.7%,其中湖町村T27-8-10-Zn-S氮、磷偏生产力增幅最大。

2.3 籽粒锌、硫含量和积累量

配方肥配施锌肥和硫肥增加了小麦籽粒锌的含量(图1),与T15-15-15-N相比,T27-8-10-Zn-S显著增加了两地籽粒锌含量,但所有处理籽粒锌含量均低于30 mg·kg⁻¹,距满足人体正常锌需求的籽粒锌含量(40~60 mg·kg⁻¹)^[17]尚有较大差距。T27-8-10-Zn-S小麦籽粒锌积累量显著高于T15-15-15-N,两处试验平均增幅54.0%(图2)。T25-8-10、T25-18-7与T15-15-15-N小麦籽粒锌含量差异不大,但T25-8-10、T25-18-7增加了小麦产量,促进了籽粒锌积累量的增加,其中西二铺村增幅达到显著水平。湖町村T27-8-10-Zn-S比T27-8-10-Zn籽粒锌积累量显著增加。

配方肥增施锌肥和硫肥施对小麦籽粒硫含量影响不大(图3)。两处试验中小麦籽粒硫积累量以T27-8-10-Zn-S最高,比T15-15-15-N平均多积累了78.9%(图4),这主要与小麦产量的增幅有关。

表3 配方肥配施硫肥和锌肥对小麦产量和产量构成的影响

Table 3 Yield and its composition of wheat under the treatments of combined applying formula, zinc and sulfur fertilizers

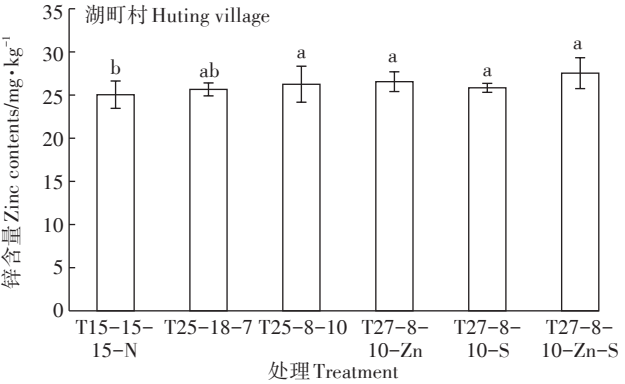
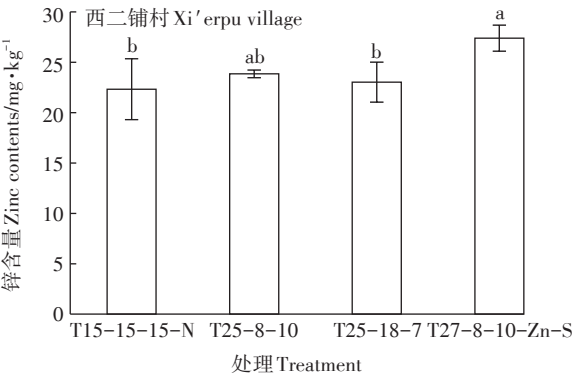
地点 Site	处理 Treatment	产量 Yield/kg·hm ⁻²	有效穗数 Numbers of effective ears/10 ⁴ ·hm ⁻²	结实率 Seed setting rate/%	每穗粒数 Grain number per ear	千粒重 1000-grain weight/g
西二铺村 Xi'erpu village	T15-15-15-N	4 973.3±287.0c	393.5±23.1c	93.1±0.8a	33.4±0.2a	35.7±1.0a
	T25-8-10	5 997.3±360.9b	651.0±68.4b	94.2±0.6a	34.3±2.8a	37.5±1.5a
	T25-18-7	6 769.1±447.4a	635.0±35.3b	91.0±3.8a	35.1±2.8a	36.3±0.5a
	T27-8-10-Zn-S	7 060.8±97.9a	823.8±18.1a	92.2±2.8a	33.1±2.5a	37.1±2.2a
湖町村 Huting village	T15-15-15-N	6 400.8±127.1d	618.3±14.0a	94.4±1.3a	30.2±0.8b	36.7±1.3ab
	T25-18-7	6 452.3±94.1cd	633.7±35.9a	93.3±2.6a	35.1±1.5a	36.9±0.9ab
	T27-8-10	6 471.3±142.2cd	645.7±15.2a	94.8±1.0a	35.9±1.2a	33.6±2.3b
	T27-8-10-Zn	6 873.0±331.0b	632.3±6.9a	96.5±1.6a	34.8±1.3a	36.7±2.9ab
	T27-8-10-S	6 761.8±81.5bc	613.6±43.4a	95.2±2.6a	34.6±1.4a	35.3±1.8ab
	T27-8-10-Zn-S	8 087.8±227.5a	676.3±116.5a	94.2±0.1a	35.1±1.9a	37.7±1.3a

注:表中数值为平均值±标准差(n=3),同列同一地点不同字母表示差异显著(P<0.05)。下同。
Notes: Data is Mean±SD(n=3). Different letters in the same column for the same site indicate significant differences at the 0.05 level. The same below.

表4 配方肥配施硫肥和锌肥对小麦养分积累和偏生产力的影响

Table 4 Nutrient accumulation and partial factor productivity of wheat under the treatments of combined applying formula, zinc and sulfur fertilizers

地点 Site	处理 Treatment	地上部养分积累量 Aboveground nutrient accumulation/kg·hm ⁻²			偏生产力 Partial factor productivity/kg·kg ⁻¹		
		N	P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
西二铺村 Xi'erpu village	T15-15-15-N	159.0±3.4c	38.9±4.2c	212.4±0.9c	23.0±1.3c	44.2±2.6c	44.2±2.6d
	T25-8-10	184.6±8.3b	41.6±8.3bc	238.3±9.4bc	32.0±1.9b	100.0±6.0b	80.0±6.0c
	T25-18-7	212.2±9.7a	54.3±9.7ab	271.7±24.1a	36.1±2.5a	50.1±3.5c	128.9±3.5a
	T27-8-10-Zn-S	210.6±11.0a	59.2±5.2a	264.6±19.3ab	34.9±0.5ab	117.7±1.6a	94.1±1.6b
湖町村 Huting village	T15-15-15-N	199.7±9.0bc	57.1±3.7a	260.9±27.5b	29.6±0.6d	56.9±1.1d	56.9±1.1e
	T25-18-7	189.9±2.0c	52.2±11.7a	294.5±4.4ab	34.4±0.5b	47.8±0.7e	122.9±1.8a
	T27-8-10	194.1±8.3c	46.8±4.1a	259.2±17.1b	32.0±0.7c	107.9±2.4c	86.3±1.9d
	T27-8-10-Zn	211.7±8.0b	55.8±9.5a	295.2±11.7ab	33.9±1.6b	114.6±5.5b	91.6±4.4c
	T27-8-10-S	213.3±14.9b	55.5±5.1a	311.7±47.1a	33.4±0.4bc	112.7±1.4bc	90.2±1.1cd
	T27-8-10-Zn-S	246.4±2.1a	57.4±5.9a	292.5±9.0ab	39.9±1.1a	134.8±3.8a	107.8±3.0b



不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下同
Different letters indicate significant differences among treatments(P<0.05). The same below

图1 配方肥配施硫肥和锌肥对小麦籽粒锌含量的影响

Figure 1 Zinc contents of wheat grain under the treatments of combined applying formula, zinc and sulfur fertilizers

2.4 籽粒蛋白质、淀粉及其组分含量

配方肥配施锌肥和硫肥对小麦籽粒蛋白及其组分影响不明显(表5)。除了湖町村 T25-18-7、T27-8-10-S 比 T15-15-15-N 显著增加了籽粒蛋白质含量,其他施肥处理对小麦籽粒蛋白质含量影响均不显著。与其他施肥处理相比,T15-15-15-N 小麦籽粒的清蛋白和球蛋白含量相对较高,醇蛋白和谷蛋白含量相对较少。西二铺村 T15-15-15-N 籽粒谷醇比显著

低于其他处理。说明配方肥配施锌肥和硫肥有助于小麦品质的提高。

不同施肥处理下,小麦籽粒直链淀粉、支链淀粉和淀粉含量差异不显著(表6)。但在西二铺村,改变农民习惯施肥方式明显降低了直/支比。

2.5 经济效益

从表7可以看出,配方肥配施锌肥和硫肥增加了小麦的净利润。与 T15-15-15-N 相比,配方肥及配

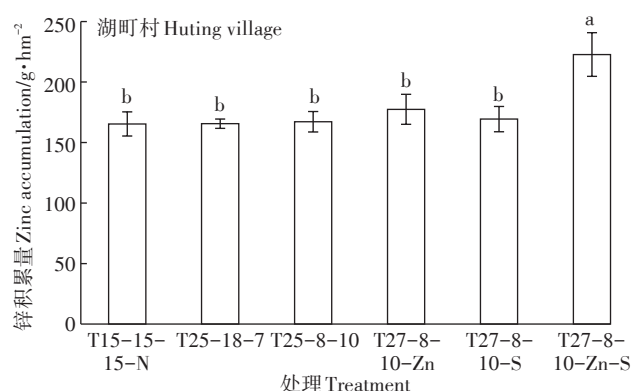
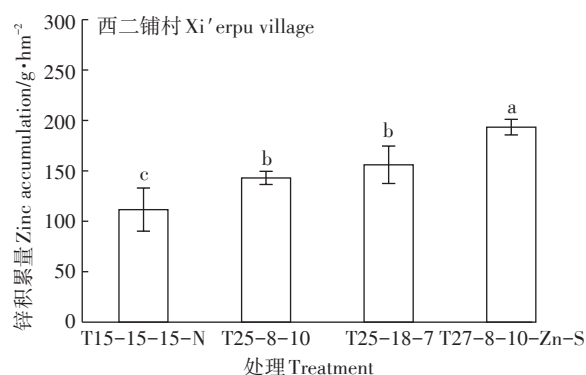


图2 配方肥配施硫肥和锌肥对小麦籽粒锌积累量的影响

Figure 2 Zinc accumulation of wheat grain under the treatments of combined applying formula, zinc and sulfur fertilizers

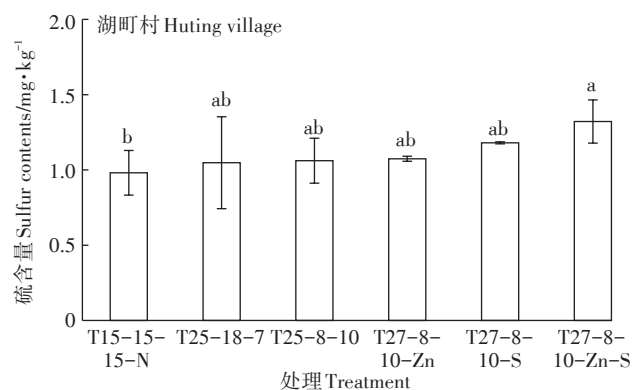
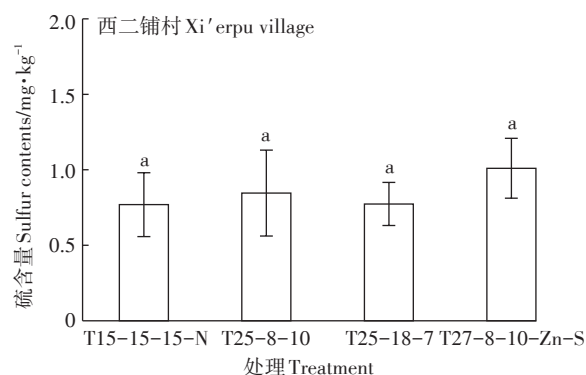


图3 配方肥配施硫肥和锌肥对小麦籽粒硫含量的影响

Figure 3 Sulfur contents of wheat grain under the treatments of combined applying formula, zinc and sulfur fertilizers

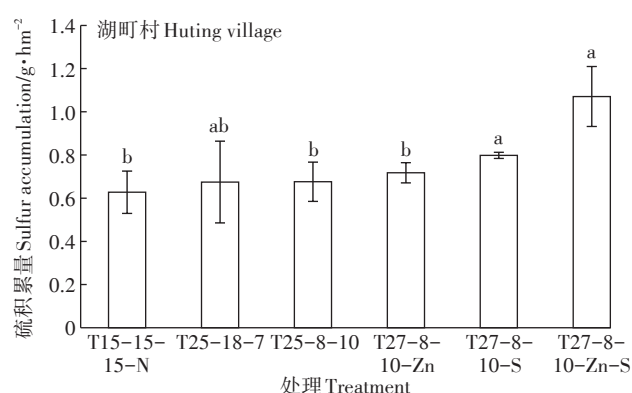
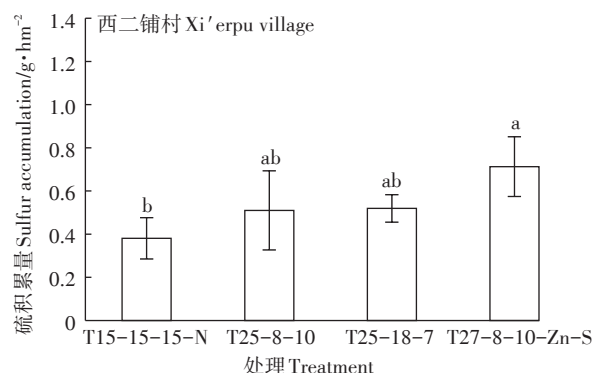


图4 配方肥配施硫肥和锌肥对小麦籽粒硫积累量的影响

Figure 4 Sulfur accumulation of wheat grain under the treatments of combined applying formula, zinc and sulfur fertilizers

表5 配方肥配施硫肥和锌肥小麦籽粒蛋白质及蛋白组分含量

Table 5 Protein and its components content of wheat grain under the treatments of combined applying formula, zinc and sulfur fertilizers

地点 Site	处理 Treatment	蛋白质 Protein/%	清蛋白 Albumin/%	球蛋白 Globin/%	醇蛋白 Gliadin/%	谷蛋白 Glutenin/%	谷醇比 Glutenin to gliadin ratio
西二铺村 Xi'erpu village	T15-15-15-N	12.28±0.43a	2.00±0.09a	2.47±0.18a	3.75±0.20a	4.05±0.37b	1.08±0.05b
	T25-8-10	13.06±0.30a	2.08±0.07a	2.17±0.06b	3.99±0.05a	4.81±0.34a	1.21±0.08a
	T25-18-7	13.00±0.70a	2.04±0.09a	2.17±0.06b	4.00±0.29a	4.79±0.39a	1.20±0.01a
	T27-8-10-Zn-S	13.19±0.47a	1.99±0.12a	2.16±0.10b	4.04±0.24a	5.00±0.38a	1.24±0.04a
湖町村 Huting village	T15-15-15-N	11.66±0.18b	1.88±0.05ab	2.22±0.01bc	3.55±0.09b	4.00±0.13b	1.13±0.04b
	T25-18-7	13.04±0.42a	1.97±0.17a	2.40±0.07a	3.95±0.03ab	4.71±0.30a	1.19±0.07ab
	T27-8-10	12.25±0.36ab	1.93±0.05ab	2.19±0.13c	3.69±0.12ab	4.43±0.21ab	1.20±0.07ab
	T27-8-10-Zn	12.70±0.41ab	1.86±0.06ab	2.27±0.06bc	3.88±0.19ab	4.69±0.33a	1.21±0.04ab
	T27-8-10-S	13.02±0.91a	1.77±0.11b	2.25±0.10bc	4.03±0.34a	4.97±0.36a	1.23±0.02a
	T27-8-10-Zn-S	12.79±0.23ab	1.97±0.04ab	2.36±0.06ab	3.86±0.11ab	4.61±0.10ab	1.19±0.02ab

表6 配方肥配施硫肥和锌肥小麦籽粒淀粉及其组分含量

Table 6 Starch and its components content of wheat grain under the treatments of combined applying formula, zinc and sulfur fertilizers

地点 Site	处理 Treatment	直链淀粉 Amylase/%	支链淀粉 Amylopectin/%	淀粉 Starch/%	直/支比 Amylase to amylopectin ratio
西二铺村 Xi'erpu village	T15-15-15-N	18.72±0.84a	47.20±0.71b	65.92±1.34a	0.40±0.02a
	T25-8-10	17.79±0.52a	48.04±0.80ab	65.83±0.77a	0.36±0.01b
	T25-18-7	17.56±0.51a	48.13±1.19ab	65.69±1.16a	0.36±0.02b
	T27-8-10-Zn-S	18.22±0.95a	49.06±0.29a	67.28±1.23a	0.37±0.02ab
湖町村 Huting village	T15-15-15-N	17.76±0.67a	46.89±1.02a	64.66±1.48a	0.38±0.01a
	T25-18-7	18.30±0.43a	47.21±2.14a	65.51±2.46a	0.39±0.01a
	T27-8-10	17.46±1.10a	46.76±1.64a	64.23±1.42a	0.37±0.03a
	T27-8-10-Zn	17.81±0.25a	47.69±1.31a	65.50±1.26a	0.37±0.01a
	T27-8-10-S	17.44±0.39a	46.98±0.33a	64.42±0.23a	0.37±0.01a
	T27-8-10-Zn-S	17.21±0.78a	47.34±0.78a	64.55±1.52a	0.36±0.01a

表7 配方肥配施硫肥和锌肥处理小麦经济效益比较(元·hm⁻²)Table 7 Economic benefit of wheat under the treatments of combined applying formula, zinc and sulfur fertilizers (yuan·hm⁻²)

地点 Site	处理 Treatment	肥料价格 Fertilizer price	人工、机械费用 Labour charge and mechanical cost	经济效益 Economic benefit	净利润 Net profit	比T15-15-15-N节本增收 Increase income than T15-15-15-N
西二铺村 Xi'erpu village	T15-15-15-N	2 595	750	4 476	1 131	—
	T25-8-10	2 800	750	5 398	1 848	717
	T25-18-7	2 800	750	6 092	2 542	1 411
	T27-8-10-Zn-S	2 950	750	6 355	2 655	1 524
湖町村 Huting village	T15-15-15-N	2 595	1200	5 761	1 966	—
	T25-18-7	2 800	750	5 807	2 257	291
	T27-8-10	2 800	750	5 824	2 274	309
	T27-8-10-Zn	2 950	750	6 186	2 486	520
	T27-8-10-S	2 950	750	6 086	2 386	420
	T27-8-10-Zn-S	3 100	750	7 279	3 429	1 463

注:2018年皖北小麦平均收购价格1.8元·kg⁻¹,湖町村T15-15-15-N追肥用工费用450元·hm⁻²,尿素(N)价格2 200元·t⁻¹,N/P₂O₅/K₂O=15:15:15配方肥价格2 100元·t⁻¹,其他配方肥价格2 800元·t⁻¹,施用锌肥和硫肥价格均为150元·hm⁻²。

Notes: Average wheat price was 1.8 yuan·kg⁻¹ in 2018. Labor charge was 450 yuan·hm⁻² for top dressing. Urea price was 2 200 yuan·t⁻¹. Formula fertilizer price was 2 100 yuan·t⁻¹ for N, P₂O₅ and K₂O all containing 15%. The other formula fertilizer price was 2 800 yuan·t⁻¹. The price of zinc and sulfur fertilizers application in the experiment was both 150 yuan·hm⁻².

施硫肥和锌肥处理肥料价格增加了205~505元·hm⁻²。西二铺村均采用一次性施肥的方式,人工和机械费用相同,湖町村T15-15-15-N比其他处理增加了450元·hm⁻²的追肥费用。由于配方肥配施锌肥和硫肥增加了小麦产量,小麦净利润得到大幅提高,比T15-15-15-N节本增收420~1 524元·hm⁻²。

3 讨论

3.1 配方肥配施锌肥和硫肥的小麦增产效应

自2005年农业部开展测土配方行动以来,笔者所在课题组基于安徽省小麦、水稻、玉米等主要农作物的“3414”试验,建立了相应的测土配方施肥技术指标体系,并根据“氮肥总量控制,磷钾恒量监控”的原则,采用区域“大配方”、具体田块“小调整”的策略,联合肥料企业生产了针对不同区域作物的配方肥,取得了作物增产、农民增收的效果^[18-19]。而“十三五”农业部印发《到2020年化肥使用量零增长行动方案》,构建绿色发展农业^[20],这对配方肥的研发和使用提出新的挑战,要求配方肥既要保障粮食增产、农民增收,更要保护生态环境、满足人们对美好生活的需求。

种植粮食作物的耕地普遍缺乏微量元素锌。据估计目前全球50%的用于种植粮食作物的耕地缺锌^[21],由于籽粒中植酸的作用,锌的有效性也较低^[22],从而导致粮食作物可食部分的锌含量普遍不足,并且这种情况在发展中国家呈恶化趋势^[23]。林葆等^[24]的研究发现,我国有4 860万hm²的土地缺锌,占总土地面积的51.1%,尤其在黄淮海平原的石灰性土壤上更为严重^[25]。

近年来随着农业生产技术的发展,粮食作物产量不断提高,复种指数增加,作物从土壤中带走的硫素逐渐增多。加之化肥施用结构发生变化,高浓度复合(混)肥的大力推广应用,普通过磷酸钙等含硫化肥的应用减少,部分地区的土壤硫素缺乏日趋严重。刘崇群^[17]研究表明,我国南方10省土壤缺硫面积约占耕地总面积的25%。李贵宝^[26]研究表明,河南土壤缺硫样本数占样本总数的63.4%。安徽地处我国南北过渡地区,缺硫土壤样本占总样本数的53.1%^[13],其中淮北平原土壤缺硫最为严重^[9-10,13],2015年数据显示,该地区缺硫耕地面积达到80%^[13]。

本研究在黄淮海平原的皖北小麦种植区开展,该试验土壤类型为砂姜黑土,土壤氮素养分不足,并且锌和硫等中微量养分匮乏^[9-10,13],施用配方肥后小麦增产,与江苏省小麦测土配方施肥技术应用结果相似^[27],配施锌肥和硫肥的配方施肥处理小麦产量增幅

更大。研究表明增施锌肥可以防止由于干热风、倒伏以及根系养分吸收能力下降造成的减产^[6]。同时,由于施硫肥促进了小麦的生长发育,提高了叶片单叶和群体光合速率,增大了生物量的积累,使产量构成因素同步提高而增加了产量,研究表明缺硫土壤增施硫肥可使小麦增产10.0%~25.0%^[28],与本研究结果一致。

值得关注的是,本研究中西二铺村小麦比湖町村早播种10 d,西二铺村播种量为225 kg·hm⁻²,采用增蘖保产量的策略,湖町村播种量为300 kg·hm⁻²,采用增苗保产量的策略。西二铺村小麦产量与有效穗数密切相关,而湖町村小麦产量与有效穗数关系不大,配方肥配施锌肥和硫肥的增产结果则与小麦的千粒重和每穗籽粒数有关。因此,根据播期调整播种量可保障小麦产量。

3.2 配方肥配施锌肥和硫肥的小麦环境效应

相对于农民习惯处理,配方肥处理减少了氮、磷、钾肥用量,总减肥量15.0%~26.9%,而产量增加了0.8%~42.0%,因此,氮、磷、钾肥偏生产力分别平均增加了35.0%、107.0%、99.1%。配方肥配施锌肥和硫肥处理小麦产量高于配方肥处理,其氮、磷、钾肥偏生产力明显高于配方肥处理。因此,配方肥配施锌肥和硫肥的环境效益较好。

3.3 配方肥配施锌肥和硫肥对小麦品质的影响

配方肥及配施锌、硫肥均能提高小麦产量,保护生态环境,促进农民增收(表7),但对小麦品质的提高仍需进一步研究。本研究中,配方肥配施锌、硫肥对小麦籽粒蛋白质、淀粉及其组分含量影响不大,但比农民习惯处理提高了谷醇比,降低了直支比,增加了小麦籽粒锌含量,有利于小麦品质的提高。但小麦籽粒锌含量小于30 mg·kg⁻¹,远低于Cakmak^[29]提出的满足人体锌营养健康的籽粒强化目标值(40~60 mg·kg⁻¹)。本研究中,配方肥配施锌肥弥补了产量增加对锌含量的稀释效应,甚至有所增加,但要满足人的健康营养需求,仍要进一步提高籽粒锌含量,这涉及到施肥方法、时期以及配施肥料形态、品种的选择等。郭九信等^[3]研究表明,叶面配施锌对小麦籽粒锌含量的提高作用大于土施锌。究其原因,在潜在缺锌的石灰性土壤上,同时土施磷肥和锌肥,可能会形成Zn-磷酸盐沉淀,降低锌和磷的有效性^[5,30]。相对土施锌肥,直接喷施锌肥则可能减弱叶片中锌与磷的拮抗作用,增加叶片锌向籽粒的转运,提高籽粒锌含量^[31]。王少霞等^[6]认为小麦灌浆前配施锌和磷酸二氢钾混

合物,可发挥钾、锌在籽粒中的协同效应,降低磷、锌的拮抗作用,有利于提高籽粒锌含量。与氮、磷、钾肥土施基肥相比,喷施锌增加了农民的种植成本,降低了小麦喷施锌肥的应用率。鉴于小飞机喷施农药方便快捷,已被农民广泛接受^[32],因此,使用小飞机喷施锌肥是小麦增锌的有效途径。

本研究中,配方肥增施硫肥对小麦蛋白质含量及其组分等品质指标的影响不大,但配方肥促进了小麦增产,保障了籽粒硫含量的稳定。与农民习惯施肥处理相比,湖町村配方肥配施硫肥显著增加了谷醇比,改善了小麦蛋白质品质,可能与增施硫肥能降低籽粒醇溶蛋白合成、增加谷蛋白合成有关^[33]。王东等^[34]研究发现,在缺硫土壤增施 $67.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 纯硫,可提高籽粒淀粉合成酶的活性,促进直连和支链淀粉的合成,使籽粒淀粉含量增加,千粒重提高^[28]。本研究增施 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 纯硫,尚未发现类似结果,可能与硫肥施用量、施用时期、小麦品种等因素有关。

4 结论

调节施肥配方和增施锌、硫肥增加了皖北小麦产量,提高了种植小麦的经济效益,促进了小麦地上部氮、磷、钾的积累,提高了肥料偏生产力。配方肥配施锌肥和硫肥对小麦籽粒蛋白质、淀粉含量及其组分含量影响不大,但与农民习惯处理相比,提高了谷醇比,降低了直支比,增加了小麦籽粒锌、硫积累量,有利于皖北小麦品质的提高。

参考文献:

- [1] Gibson R S. Zinc deficiency and human health: Etiology, health consequences, and future solutions[J]. *Plant and Soil*, 2012, 361: 291-299.
- [2] Jez J M, Fukagawa N K. Plant sulfur compounds and human health[M]// Jez J. Sulfur: A missing link between soils, crops and nutrition. American Society of Agronomy, 2008.
- [3] 郭九信, 廖文强, 孙玉明, 等. 锌肥施用方法对水稻产量及籽粒氮磷含量的影响[J]. *中国水稻科学*, 2014, 28(2): 185-192.
- [4] GUO Jiu-xin, LIAO Wen-qiang, SUN Yu-ming, et al. Effects of Zn fertilizer application methods on yield and contents of N and Zn in grain of rice[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2014, 28(2): 185-192.
- [5] Olivoto T, Carvalho I R, Nardino M, et al. Sulfur and nitrogen effects on industrial quality and grain yield of wheat[J]. *Revista de Ciências Agrovet-erárias*, 2016, 15(1): 24-33.
- [6] Zhang W, Liu D Y, Liu Y M, et al. Overuse of phosphorus fertilizer reduces the grain and flour protein contents and zinc bioavailability of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65: 1473-1482.
- [7] 刘崇群. 中国南方土壤硫的状况和对硫肥的需求[J]. *磷肥与复肥*, 1995(3): 14-18.
- [8] LIU Chong-qun. Sulfur in soils of southern China and the demand of sulfur fertilizer[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 1995(3): 14-18.
- [9] 邹春琴, 张福锁. 中国土壤: 作物中微量元素研究现状和展望[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 1-10.
- [10] ZOU Chun-qin, ZHANG Fu-suo. Soil in China: Current states and progress of trace elements in crops[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2009: 1-10.
- [11] 张自立. 安徽省土壤有效性微量元素分布研究: V. 有效锌的含量与分布[J]. *安徽农学院学报*, 1990, 17(4): 269-274.
- [12] ZHANG Zi-li. Content and distribution of available zinc in soil of Anhui Province[J]. *Journal of Anhui Agricultural College*, 1990, 17(4): 269-274.
- [13] 章力干, 张继榛, 竺伟民, 等. 淮北土壤有效硫状况及其影响因素[J]. *安徽农学通报*, 1999, 5(3): 16-18.
- [14] ZHANG Li-gan, ZHANG Ji-zhen, ZHU Wei-min, et al. Available sulfur distribution and its affecting factor in soil of Huaibei area of Anhui Province[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 1999, 5(3): 16-18.
- [15] 南镇武, 梁 斌, 刘树堂, 等. 长期定位施肥对冬小麦籽粒品质的影响[J]. *华北农学报*, 2015, 30(4): 162-167.
- [16] NAN Zhen-wu, LIANG Bin, LIU Shu-tang, et al. Effect of long-term fertilization on grain quality of winter wheat[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2015, 30(4): 162-167.
- [17] 张 秀, 朱文美, 代兴龙, 等. 施氮量对强筋小麦产量、氮素利用率和品质的影响[J]. *麦类作物学报*, 2018, 38(8): 963-969.
- [18] ZHANG Xiu, ZHU Wen-mei, DAI Xing-long, et al. Effect of nitrogen application rate on grain yield, nitrogen use efficiency and grain quality of strong gluten wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2018, 38(8): 963-969.
- [19] 钱晓华, 杨 平, 周学军, 等. 安徽省土壤有效硫现状及时空分布[J]. *植物营养与肥料学报*, 2018, 24(5): 231-238.
- [20] QIAN Xiao-hua, YANG Ping, ZHOU Xue-jun, et al. Current situation and spatial-temporal distribution of soil available sulfur in Anhui Province[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(5): 231-238.
- [21] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [22] LU Ru-kun. Analytical methods for soil and agro-chemistry[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [23] 章 城. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [24] ZHANG Cheng. Guidelines for modern plant physiology experiments [M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [25] 曾凡途, 赵 鑫, 周添红, 等. 双波长比色法测定马铃薯直链/支链淀粉含量[J]. *现代食品科技*, 2012, 28(1): 119-122.

- ZENG Fan-kui, ZHAO Xin, ZHOU Tian-hong, et al. Dual-wave-length colorimetric method for measuring amylase and amylopectin contents of potato starch[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2012, 28(1):119-122.
- [17] 薛艳芳, 李宗新, 张 慧, 等. 氮素供应对小麦锌吸收、运转和向籽粒积累影响的研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(36):24-30.
XUE Yan-fang, LI Zong-xin, ZHANG Hui, et al. Research advances of effects of nitrogen supply on zinc absorption, translocation and accumulation in wheat (*Triticum aestivum* L.) grains[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(36):24-30.
- [18] 孙义祥, 郭跃升, 于舜章, 等. 应用“3414”试验建立冬小麦测土配方施肥指标体系[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1):197-203.
SUN Yi-xiang, GUO Yue-sheng, YU Shun-zhang, et al. Establishing phosphorus and potassium fertilization recommendation index based on the “3414”[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2009, 15(1):197-203.
- [19] 袁漫漫, 邹 刚, 李若清, 等. 配方肥对早、晚稻的茎蘖动态、养分积累和产量的影响[J]. 磷肥与复肥, 2015, 30(2):43-45.
YUAN Man-man, WU Gang, LI Ruo-qing, et al. Effects of formula fertilizer on tillering, nutrient accumulation and yield in early and late rice[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2015, 30(2):43-45.
- [20] 白由路. 高效施肥技术研究的现状与展望[J]. 中国农业科学, 2018, 51(11):2116-2125.
BAI You-lu. The situation and prospect of research on efficient fertilization[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(11):2116-2125.
- [21] Cakmak I. Zinc deficiency in wheat in Turkey[M]. Netherlands: Springer, 2008.
- [22] Salim R M, Shaikh B Z. Distribution and availability of zinc in soil fractions to wheat on some alkaline calcareous soils[J]. *Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde*, 1988, 151(6):385-389.
- [23] Khoshgoftarmansh A H, Schulin R, Chaney R L, et al. Micronutrient-efficient genotypes for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture: A review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2010, 30(1):83-107.
- [24] 林 葆, 李家康. 当前我国化肥的若干问题 and 对策[J]. 磷肥和复肥, 1997(2):3-7, 25.
LIN Bao, LI Jia-kang. Problems and countermeasures of chemical fertilizer in China[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 1997(2):3-7, 25.
- [25] 刘 铮. 我国土壤中锌含量的分布规律[J]. 中国农业科学, 1994, 27(1):30-37.
- LIU Zheng. Regularities of content and distribution of zinc in soils of China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1994, 27(1):30-37.
- [26] 李贵宝. 硫肥的增产效应及其在河南省的应用前景[J]. 河南农业科学, 1997(3):22-24.
LI Gui-bao. Prospect of sulphur fertilization in Henan Province[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 1997(3):22-24.
- [27] 汪 珺, 陈乃祥. 测土配方施肥技术应用现状与展望[J]. 农业开发与装备, 2018(10):201-202.
WANG Jun, CHEN Nai-xiang. Application and prospect of soil testing and formulated fertilization technology[J]. *Agricultural Development and Equipments*, 2018(10):201-202.
- [28] 朱云集, 沈学善, 李国强, 等. 硫吸收同化分配及其对小麦产量和品质影响的研究进展[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(6):134-138.
ZHU Yun-ji, SHEN Xue-shan, LI Guo-qiang, et al. Advance in sulphur uptake, assimilation, distribution and its effects on yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2005, 25(6):134-138.
- [29] Cakmak I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification?[J]. *Plant and Soil*, 2008, 302:1-17.
- [30] Zhang Y Q, Shi R L, Rezaul K, et al. Iron and zinc concentrations in grain and flour of winter wheat as affected by foliar application[J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2010, 58:12268-12274.
- [31] Milani N, McLaughlin M J, Stacey S P, et al. Dissolution kinetics of macronutrient fertilizers coated with manufactured zinc oxide nanoparticles[J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2012, 60(16):3991-3998.
- [32] 陈 娟. 硫酸锌与小麦生产中常用农药配合喷施对籽粒富锌的影响及可能机制[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2018.
CHEN Juan. Effect of foliar ZnSO₄ application combined with commonly used pesticides in the production of wheat on Zn-enrichment of grain and its possible mechanism[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2018.
- [33] Wrigley C W, du Cros D L, Fullington J G, et al. Changes in polypeptide composition and grain quality due to sulfur deficiency in wheat[J]. *Journal of Cereal Science*, 1984, 2(1):15-24.
- [34] 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(3):878-883.
WANG Dong, YU Zhen-wen, WANG Xu-dong. Effects of sulfur on protein accumulation in kernels of winter wheat[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2003, 29(3):878-883.