

喷施富硒有机水溶肥料对冬小麦硒含量、累积量及籽粒产量质量的影响

王校辉, 闫红娜*

(平顶山市土壤肥料工作站, 河南 平顶山 467000)

摘要:在大田条件下,研究了喷施低(0.67 mL/L)、中(1.33 mL/L)、高(2.00 mL/L)三种浓度富硒有机水溶肥料对冬小麦硒含量、生物量、硒累积量及籽粒产量质量的影响。结果表明:(1)冬小麦各部位硒含量总体上表现为根>茎叶>穗,硒累积量均以茎叶为最高。(2)喷施富硒有机水溶肥料可提高冬小麦各部位硒含量、硒累积量,但对各部位干重影响不尽一致;随着喷施浓度由低至高,冬小麦根硒含量、硒累积量均呈先增加后降低趋势,茎叶硒含量、硒累积量均呈先降低后增加趋势,穗硒含量、硒累积量均呈逐步增加趋势。(3)喷施富硒有机水溶肥料可提高冬小麦产量、穗数、穗粒数及千粒重,但对籽粒粗蛋白、粗纤维、面筋质、脂肪及硒含量的影响不同;喷施中浓度富硒有机水溶肥料对冬小麦产量、千粒重及籽粒硒含量的提高较为明显,增幅依次为8.4%、6.2%、240.0%。(4)喷施中浓度富硒有机水溶肥料总体增产提质效果最好,达到富硒冬小麦要求。

关键词:富硒有机水溶肥料;冬小麦;硒含量;硒累积量;产量;质量

中图分类号:S512.1*1;S147.3 文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2021)05-0031-04

Effect of Spraying Selenium-Enriched Organic Water-Soluble Fertilizer on Selenium Content, Accumulation and Yield Quality of Winter Wheat

WANG Xiaohui, YAN Hongna*

(Soil and Fertilizer Working Station of Pingdingshan, Pingdingshan 467000, China)

Abstract: The effects of spraying low (0.67 mL/L), medium (1.33 mL/L) and high (2.00 mL/L) level selenium-enriched organic water-soluble fertilizer on selenium content, dry weight, selenium accumulation and yield, quality in wheat were investigated under field conditions. The results showed that: (1) The selenium content order was root>stem and leaf>spike, the selenium accumulation in stem and leaf was the highest. (2) Spraying selenium-enriched organic water-soluble fertilizer could increase the selenium content, selenium accumulation in each organ, but had different influences on dry weight; with the increase level of selenium-enriched organic water soluble fertilizer, the selenium content, selenium accumulation increased first and then decreased in root, decreased first and then increased in stem and leaf, showed a upward trend in spike. (3) Spraying selenium-enriched organic water-soluble fertilizer could increase the yield, number of spike, grains per spike, 1000-grain weight, but had different influences on crude protein, crude fiber, wet gluten, fat, Se content; spraying medium level Selenium-enriched organic water-soluble fertilizer had a better effect on yield, 1000-grain weight, Se content, the increasing ranges were 8.4%, 6.2%, 240.0%, respectively. (4) Spraying medium level selenium-enriched organic water-soluble fertilizer had the best effects on yield and quality, met the standard of selenium-enriched wheat.

Key words: Selenium-enriched organic water-soluble fertilizer; Winter wheat; Selenium content; Selenium accumulation; Yield; Quality

硒对人体健康具有非常重要的作用,缺硒可

导致多种疾病^[1-3]。人体获取硒的主要来源是植物中的硒,然而我国七成以上的土地处于低硒或缺硒状态,在低硒或缺硒的土壤中,植物体内硒含量不高,难以满足人体对硒的需求^[4-6]。小麦是我国主要粮食作物之一,具有较强的硒富集能力,通过提高小麦硒含量来满足人体对硒的需

收稿日期:2020-12-28

基金项目:河南省农业资源及生态保护项目(2130135)

作者简介:王校辉(1983-),男,高级农艺师,硕士,从事土壤肥料技术推广工作。

通讯作者:闫红娜,女,高级农艺师,E-mail: stfz4978076@163.com

求,对人体健康具有十分重要的意义^[7-8]。施用外源硒是提高作物硒含量的主要方法^[9],陈玉鹏等^[10]研究了不同施氮与施硒水平对小麦硒吸收、转运和分配的影响,指出小麦茎叶硒含量最大,根硒含量最小。刘红恩等^[11]研究了5种施硒量对冬小麦产量及硒吸收转运的影响,指出冬小麦根硒含量最高,茎叶硒含量最低;随着施硒量的增加,冬小麦各部位硒累积量均呈增加的趋势。董石峰等^[12]研究了喷施不同浓度亚硒酸钠对小麦生长特性及硒积累的影响,指出随着施硒浓度由8 mg/L增加至24 mg/L,小麦根硒累积量呈先增加后降低趋势,茎叶硒累积量呈增加趋势,穗硒累积量呈降低趋势。这些研究均采用盆栽方式,且结果有所差异。本研究选择抽穗开花期这一影响小麦产量质量的关键时期^[13-14],在大田条件下,通过喷施低、中、高三种浓度富硒有机水溶肥料,研究其对小麦硒含量、生物量、硒累积量及成熟后籽粒产量质量的影响,以期富硒小麦生产提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

试验在河南省平顶山市湛河区肖庄村大田内进行。平顶山市位于河南省中南部,处于暖温带和亚热带气候交错区域,年平均气温14.8~15.2℃,年均降水量690~880 mm,无霜期214~231 d^[15]。试验区域地势平坦,排灌方便。试验地块为当地种粮大户长期承包土地,试验之前各季种植及田间管理措施等长期均匀一致,土壤类型为潮土,基本理化性状为:pH值5.3,有机质32.6 g/kg,总氮1.79 g/kg,有效磷52.4 mg/kg,速效钾74 mg/kg,全硒0.447 mg/kg。供试小麦品种为济麦4号,播种量187.5 kg/hm²,2019年10月20日播种,机播,前茬作物为玉米,2020年5月27日收获。供试富硒有机水溶肥料为广西喷施宝股份有限公司提供的“康熙宝”牌有机水溶肥料,采用独创有机和无机硒螯合专利技术研制,登记证号农肥(1994)准字0008号,水剂,净含量250 mL,有机质≥125 g/L,N+P₂O₅+K₂O≥170 g/L,Mn+Zn+B:30~50 g/L。

本试验参考“康熙宝”牌有机水溶肥料使用说明,设置减少用量处理(低浓度)、使用说明推荐用量处理(中浓度)、增加用量处理(高浓度),并以清水处理为对照,具体处理如下:T₁(对照):喷清水675 kg/hm²;T₂(低浓度0.67 mL/L):喷富硒有机水溶肥料450 mL/hm²+清水675 kg/hm²;T₃(中浓度1.33 mL/L):喷富硒有机水溶肥料900 mL/hm²+清

水675 kg/hm²;T₄(高浓度2.00 mL/L):喷富硒有机水溶肥料1 350 mL/hm²+清水675 kg/hm²,各处理面积667 m²,不设重复。各处理分别于2020年4月22日、4月29日、5月6日10时前后喷施,喷施方式为背负式喷雾器人工喷施。喷施前,将有机水溶肥料与清水充分混合;喷施中,每个处理按照“M”形路线来回分两次喷施完毕。喷施标准以小麦叶面、叶背湿润为准。试验区域施肥采用复合微生物肥,于播种前一次性底施,复合微生物肥指标为:有效活菌数≥2 000万个/g,有机质≥15%,腐殖酸≥7%,N+P₂O₅+K₂O≥32%;其他田间管理同当地常规管理。

1.2 测定项目

1.2.1 根、茎叶、穗生物量

于5月13日(最后一次喷施后7 d),各处理选取3处有代表性区域,用铁锹于每处同行挖30 cm,取出小麦整株,轻轻抖落根部土壤,选择连续小麦样品20株,在实验室内分为根、茎叶、穗三个部位,清水冲洗干净后,在105℃下杀青30 min,65℃下烘干至恒重,称重。

1.2.2 根、茎叶、穗硒含量

将各处理烘干至恒重的样品进行粉碎,并按照生态地球化学评价动植物样品分析方法第2部分:硒量的测定原子荧光光谱法(DZ/T0253.2-2014)测定不同部位硒含量。

1.2.3 籽粒产质量指标

于5月27日(小麦收获时),各处理选取3处有代表性区域,每处在田间测定一米双行穗数,测定连续20株穗粒数、穗数,穗粒数测定后收割小麦样品1 m²,在室外阴凉处风干,测定籽粒千粒重及每平方米产量,并换算为每公顷穗数及产量。产量测定后,分别按照食品安全国家标准食品中蛋白质的测定第一法(GB 5009.5-2016)、植物类食品中粗纤维的测定(GB/T 5009.10-2003)、小麦和小麦粉面筋含量第1部分:手洗法测定湿面筋(GB/T 5506.1-2008)、食品安全国家标准食品中脂肪的测定第二法(GB 5009.6-2016)、食品安全国家标准食品中硒的测定第一法(GB 5009.93-2017)测定籽粒粗蛋白、粗纤维、面筋质、脂肪及硒含量。

1.3 数据分析与计算

采用SPSS 22进行数据分析处理。

不同部位硒累积量=不同部位硒含量×不同部位干重平均值

2 结果与分析

2.1 不同处理对冬小麦不同部位硒含量的影响

由表1可知,不同处理冬小麦各部位硒含量总体上表现为根>茎叶>穗(T₄茎叶除外)。喷施低、中、高三种浓度富硒有机水溶肥料(T₂、T₃、T₄)均可提高冬小麦各部位硒含量,冬小麦根、茎叶及穗硒含量增幅依次为15.0%~50.6%、143.8%~628.1%、32.4%~305.9%。随着喷施浓度的提高,根硒含量呈先增加后降低趋势,茎叶硒含量呈先降低后增加趋势,穗硒含量呈逐步增加趋势。

表1 不同处理对冬小麦不同部位硒含量的影响

处理	mg/kg		
	根	茎叶	穗
T ₁	0.320±0.007d	0.064±0.009d	0.034±0.008b
T ₂	0.418±0.007b	0.172±0.008b	0.045±0.007b
T ₃	0.482±0.012a	0.156±0.008c	0.131±0.004a
T ₄	0.368±0.006c	0.466±0.009a	0.138±0.004a

注:同列数据不同小写字母表示差异显著(P<0.05),下同

2.2 不同处理对冬小麦不同部位生物量及硒累积量的影响

表2显示,喷施低、中、高三种浓度富硒有机水溶肥料(T₂、T₃、T₄)对冬小麦各部位干重影响不尽一致,T₂处理冬小麦根、茎叶及穗干重均有所增加,而T₃、T₄处理冬小麦根、穗干重增加、茎叶干重降低。不同处理冬小麦各部位硒累积量均以茎叶为最高(表3)。喷施低、中、高三种浓度富硒有机水溶肥料(T₂、T₃、T₄)可提高冬小麦各部位硒累积

表2 不同处理对冬小麦不同部位干重的影响

处理	g/20株		
	根	茎叶	穗
T ₁	4.17±0.153b	53.60±1.874a	25.97±0.643a
T ₂	4.93±0.379ab	54.57±1.387a	27.43±1.563a
T ₃	5.33±0.569a	52.37±1.457a	26.10±0.872a
T ₄	5.20±0.100a	50.07±1.815b	27.33±0.208a

表3 不同处理对冬小麦不同部位硒累积量的影响

处理	μg/20株		
	根	茎叶	穗
T ₁	1.334±0.064c	3.427±0.441d	0.880±0.188d
T ₂	2.060±0.125b	9.392±0.661b	1.241±0.262c
T ₃	2.574±0.327a	8.174±0.573c	3.417±0.093b
T ₄	1.913±0.006b	23.327±0.792a	3.772±0.120a

量,冬小麦根、茎叶及穗硒累积量增幅依次为43.4%~93.0%、138.5%~580.7%、41.0%~328.6%。随着喷施浓度的提高,冬小麦根硒累积量呈先增加后降低趋势,茎叶硒含量呈先降低后增加趋势,穗硒含量呈逐步增加趋势。

2.3 不同处理对冬小麦产量质量的影响

表4显示,喷施低、中、高三种浓度富硒有机水溶肥料均可提高冬小麦籽粒产量、穗数、穗粒数及千粒重;随着浓度的增加,冬小麦产量、穗数、穗粒数及千粒重均呈单峰变化。T₃处理对冬小麦产量及千粒重的提高较为明显,分别较对照(T₁)增加8.4%、6.2%。

表4 不同处理对冬小麦产量及构成因素的影响

处理	产量(kg/hm ²)	穗数(×10 ⁴ plant/hm ²)	穗粒数(个)	千粒重(g)
T ₁	8475.90±129.90b	662.50±30.31a	36.05±0.13a	43.23±0.74c
T ₂	8589.29±85.04b	664.17±17.02a	36.72±0.43a	44.73±0.50b
T ₃	9184.59±170.09a	665.83±8.04a	36.73±1.06a	45.90±0.40a
T ₄	8816.07±383.48ab	663.33±27.42a	36.47±0.40a	45.37±0.06ab

就质量来说(表5),喷施低、中、高三种浓度富硒有机水溶肥料对冬小麦籽粒粗蛋白、粗纤维、面筋质、脂肪及硒含量的影响不同,其中对硒

表5 不同处理对冬小麦质量的影响

处 理	粗蛋白 (g/100g)	粗纤维 (%)	面筋质 (%)	脂肪 (g/100g)	硒含量 (mg/kg)
T ₁	12.9±0.70a	2.8±0.35a	28.7±0.82b	2.3±0.17a	0.05±0.01c
T ₂	12.8±0.53a	2.8±0.20a	27.9±0.70b	2.2±0.36a	0.11±0.03b
T ₃	13.2±0.36a	2.7±0.17a	28.8±0.66b	2.0±0.17a	0.17±0.04a
T ₄	13.2±0.44a	3.0±0.17a	30.2±0.40a	2.0±0.17a	0.17±0.03a

含量的影响较为明显。与对照(T₁)相比,T₂处理冬小麦籽粒粗蛋白、面筋质、脂肪含量分别降低0.8%、2.8%、4.3%,硒含量提高120.0%;T₃处理冬小麦籽粒粗纤维、脂肪含量分别降低3.6%、13.0%,粗蛋白、面筋质、硒含量分别提高2.3%、0.3%、240.0%;T₄处理冬小麦籽粒脂肪含量降低13.0%,粗蛋白、粗纤维、面筋质、硒含量分别提高2.3%、7.1%、5.2%、240.0%。

3 结论与讨论

3.1 冬小麦各部位硒含量总体上表现为根>茎叶>

穗, 硒累积量均以茎叶为最高。本试验中硒含量总体表现与刘红恩等^[11]的研究结果较为接近, 但与陈玉鹏等^[10]的研究结果不同, 这可能与本试验大田土壤硒含量 0.447 mg/kg 较高有关, 也可能与本试验取样时期较早等诸多因素有关。

3.2 喷施低、中、高三种浓度富硒有机水溶肥料可提高冬小麦各部位硒含量及硒累积量, 但对各部位干重影响不尽一致。喷施低、中、高三种浓度富硒有机水溶肥料冬小麦茎叶及穗硒含量增幅依次为 143.8% ~ 628.1%、32.4% ~ 305.9%, 茎叶及穗硒含量、硒累积量增幅依次为 138.5% ~ 580.7%、41.0% ~ 328.6%, 高于根硒含量与硒累积量增幅, 说明喷施低、中、高三种浓度富硒有机水溶肥料对冬小麦茎叶及穗的影响较大, 这可能与富硒有机水溶肥料直接喷施到这两个部位有关。

3.3 随着喷施浓度由低至高, 冬小麦根硒含量、硒累积量均呈先增加后降低趋势, 茎叶硒含量、硒累积量均呈先降低后增加趋势, 穗硒含量、硒累积量均呈逐步增加趋势。本试验中根硒累积量总体表现与董石峰等^[12]的研究结果一致, 穗硒累积量与刘红恩等^[11]的研究结果一致, 但茎叶硒累积量与二者^[11-12]的研究结果均不相同, 具体原因有待于进一步研究。

3.4 喷施低、中、高三种浓度富硒有机水溶肥料可提高冬小麦产量、穗数、穗粒数及千粒重, 但对籽粒粗蛋白、粗纤维、面筋质、脂肪及硒含量的影响不同。总体上, 喷施中浓度富硒有机水溶肥料对冬小麦产量、千粒重及籽粒硒含量的提高较为明显, 增幅依次为 8.4%、6.2%、240.0%。硒对农作物生长发育具有双重作用, 适量硒可增强作物抗逆性, 促进生长发育; 而高硒量会产生毒害, 降低作物产量^[16-20], 这可能是本试验中随着喷施浓度的增加, 冬小麦产量、穗数、穗粒数及千粒重均呈单峰变化的主要原因。

3.5 就冬小麦籽粒硒含量而言, 由于过量摄入硒也会引起人体患病^[21]等原因, 目前国家层面尚未有冬小麦籽粒富硒相关标准, 参考河北省地方标准“富硒农产品硒含量要求”(DB13/T 2702-2018)中富硒谷物类硒含量指标为 0.10 ~ 0.80 mg/kg 的要求, 本试验中喷施低、中、高三种浓度富硒有机水溶肥料冬小麦籽粒均达到富硒冬小麦标准。需要说明的是, 根据河南省地方标准“富硒土壤硒含量要求”(DB41/T 1871-2019)中 pH < 6.5, 硒含量 ≥ 0.35 mg/kg 为富硒土壤的要求, 本试验区域土壤硒含量已达富硒土壤要求, 但喷施清水处理冬小麦

籽粒硒含量 0.05 mg/kg 仍较低, 尚未达到以上富硒冬小麦标准, 说明富硒土壤未必能生产出硒含量较高的富硒冬小麦, 这不仅与本试验土壤 pH 值 5.3 较低有关, 也与有机质 32.6 g/kg 较高有关。随着 pH 降低, 土壤对亚硒酸盐的吸附能力增加, 降低了亚硒酸盐的生物有效性; 有机质会吸附固定硒, 使土壤中有效态硒减少, 不利于植物对硒的吸收^[22-23]。因此, 在富硒区域, 通过技术措施来提高土壤中硒的有效性, 进而促进农产品硒含量增加, 将对今后富硒冬小麦生产具有十分重要的意义。

综合考虑富硒有机水溶肥料投入成本、冬小麦产量质量状况等因素, 生产中以喷施中浓度(富硒有机水溶肥料 900 mL/hm²+清水 675 kg/hm²)总体增产提质效果最好, 可促进冬小麦增产, 降低粗纤维、脂肪含量, 提高粗蛋白、面筋质、硒含量, 达到富硒冬小麦要求。

参考文献:

- [1] 曹庆军, 张兆琴, 杨粉团, 等. 叶面喷施硒肥对吉林省春小麦产量及籽粒富硒作用的影响[J]. 东北农业科学, 2020, 45(5): 6-8, 46.
- [2] 姚海坡, 董志强, 吕丽华, 等. 3 个地区不同小麦品种籽粒硒含量分析[J]. 华北农学报, 2020, 35(6): 100-105.
- [3] 穆婷婷, 张福耀, 李志华, 等. 不同时期施硒对谷子硒含量、有机硒转化率及谷子品质的影响[J]. 华北农学报, 2018, 33(6): 193-198.
- [4] Li N N, Xie W W, Zhou X B, et al. Comparative effects on nutritional quality and selenium metabolism in two ecotypes of *Brassica rapa* exposed to selenite stress[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2018, 150: 222-234.
- [5] 史丽娟, 白文斌, 曹昌林, 等. 外源硒对高粱产量、籽粒硒含量及品质的影响[J]. 作物杂志, 2020(3): 191-196.
- [6] 朱娟娟, 马海军, 喻春明, 等. 饲用苕麻对硒元素吸收累积、分配及转运特征[J]. 华北农学报, 2020, 35(5): 159-170.
- [7] Poblaciones M J, Rodrigo S, Santamaría O, et al. Agronomic selenium biofortification in *Triticum durum* under Mediterranean conditions: From grain to cooked pasta[J]. *Food chemistry*, 2014, 146: 378-384.
- [8] 唐玉霞, 王慧敏, 吕英华, 等. 冬小麦硒素吸收积累特性及叶面喷施效应的研究[J]. 华北农学报, 2010, 25(S1): 198-201.
- [9] 罗定祥, 冶 军, 侯振安, 等. 不同有机物料对土壤硒形态及小麦硒吸收的影响[J]. 新疆农业科学, 2018, 55(2): 328-336.
- [10] 陈玉鹏, 彭 琴, 梁东丽, 等. 施氮对小麦硒(VI)吸收、转运和分配的影响[J]. 环境科学, 2017, 38(2): 825-831.
- [11] 刘红恩, 李金峰, 赵 鹏, 等. 施硒对冬小麦产量及硒吸收转运的影响[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(5): 694-699.
- [12] 董石峰, 孙 敏, 赵剑敏, 等. 花期喷施亚硒酸钠对小麦生长特性及硒积累的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2019, 39(6): 13-18.

(下转第 55 页)

7 d和14 d时,对假禾谷镰刀菌PG和PMG活性均表现低促高抑的作用,其余时间腐解液均表现抑制作用。不同腐解时间、不同浓度腐解液对假禾谷镰刀菌细胞壁降解酶的活性影响存在明显差异,究其原因可能是腐解液中的物质种类或浓度不同所致;此外,秸秆还田条件下,小麦茎基腐病重发的原因可能与秸秆腐解液或腐解物对致病病菌PG和PMTE活性的促进作用相关。

玉米秸秆腐解液或秸秆还田土壤中主要含有42种化学物质^[12]。本研究结果表明,玉米秸秆腐解液对假禾谷镰刀菌菌丝生长、孢子萌发和细胞壁降解酶活性表现不同程度的促进和抑制作用。究竟何种物质抑制或促进假禾谷镰刀菌的生长需要进一步深入研究。

参考文献:

[1] Poole G J, Smiley R W, Walker C, et al. Effect of climate on the distribution of *Fusarium* spp. causing crown rot of wheat in the Pacific Northwest of the United States[J]. *Phytopathology*, 2013, 103(11): 1130-1140.

[2] 邓渊钰,孙海燕,李 伟,等.小麦茎基腐镰孢菌致病力的快速测定[J]. *麦类作物学报*, 2016, 36(11): 1547-1552.

[3] Scherm B, Balmas V, Spanu F, et al. *Fusarium culmorum*: causal agent of foot and root rot and head blight on wheat [J]. *Molecular Plant Pathology*, 2013, 14(4): 323-341.

[4] 杨 云,贺小伦,胡艳峰,等.黄淮麦区主推小麦品种对假禾谷镰刀菌所致茎基腐病的抗性[J]. *麦类作物学报*, 2015, 35(3): 339-345.

[5] 张德珍,李鹏昌,陈晓霞,等.山东省小麦根腐病原菌的分离鉴定[J]. *植物保护学报*, 2016, 43(2): 233-240.

[6] 周海峰.黄淮麦区小麦茎基腐病原鉴定及其致病性研究[D].郑州:河南农业大学, 2014.

[7] 张向向,孙海燕,李 伟,等.我国冬小麦主产省小麦茎基腐镰孢菌的组成及其致病力[J]. *麦类作物学报*, 2014, 34

(2): 272-278.

[8] 王 幸,邢兴华,徐泽俊,等.耕作方式和秸秆还田对黄淮海夏大豆产量和土壤理化性状的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2017, 39(6): 834-841.

[9] 陈梦云,李晓峰,程金秋,等.秸秆全量还田与氮肥运筹对机插优质食味水稻产量及品质的影响[J]. *作物学报*, 2017, 43(12): 1802-1816.

[10] 白 伟,张立祯,逢焕成,等.秸秆还田配施氮肥对东北春玉米光合性能和产量的影响[J]. *作物学报*, 2017, 43(12): 1845-1855.

[11] 郭晓源,景殿玺,周如军,等.玉米秸秆腐解液酚酸物质含量检测及对玉米大斑病菌的影响[J]. *玉米科学*, 2016, 24(4): 166-172.

[12] QI Yongzhi, ZHEN Wenchao, LI Haiyan. Allelopathy of decomposed maize straw products on three soilborn diseases of wheat and the analysis by GC-MS[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2015, 14(1): 88-97.

[13] 莫熙礼,吴彤林,李松克,等.黑粉病菌对苻苳生长及其细胞壁降解酶活性变化的影响[J]. *贵州农业科学*, 2015, 43(7): 80-82, 87.

[14] 张承胤,代 丽,甄文超.玉米秸秆还田对小麦根部病害化感作用的模拟研究[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(5): 298-301.

[15] 杨 媚,杨迎青,郑 丽,等.水稻纹枯病菌细胞壁降解酶组分分析、活性测定及其致病作用[J]. *中国水稻科学*, 2012, 26(5): 600-606.

[16] 高增贵,陈 捷,高洪敏,等.玉米茎腐病菌产生的细胞壁降解酶种类及其活性分析[J]. *植物病理学报*, 2000, 30(2): 148-152.

[17] 李 晶,赵先龙,乔天长,等.秸秆腐解液对玉米幼苗的生理效应及酚酸类化感成分的检测[J]. *核农学报*, 2015, 29(9): 1799-1805.

[18] 陈 捷,高洪敏,吴友三.酚类物质和代谢对瓜果腐霉菌产生的细胞壁降解酶活性的影响[J]. *植物病理学报*, 1996, 26(2): 76-81.

(责任编辑:王 昱)

(上接第34页)

[13] 张嘉园,亢 玲,桂安胜,等.小麦品系XN6426抽穗期相关基因的检测与定位[J]. *麦类作物学报*, 2016, 39(11): 1433-1439.

[14] 张 政,牛胤全,张 东,等.小麦抽穗期和开花期形状的全基因组关联分析[J]. *作物杂志*, 2019(1): 44-49.

[15] 王校辉.河南省平顶山市耕地土壤养分状况及聚类分析[J]. *东北农业科学*, 2021, 46(3): 37-40.

[16] 刘俊美,单长卷.硒对镉胁迫下玉米幼苗生理特性的影响[J]. *东北农业科学*, 2020, 45(3): 1-5.

[17] 刘 庆,田 侠,史衍玺.外源硒矿粉对玉米硒累积及矿物质元素吸收的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(2): 403-409.

[18] 郝玉波,刘华琳,慈晓科,等.施硒对两种类型玉米硒元素分配及产量、品质的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(2):

411-418.

[19] 蒋方山,张海军,吕连杰,等.叶面喷施亚硒酸钠对黑粒小麦籽粒硒含量、产量及品质的影响[J]. *麦类作物学报*, 2018, 38(12): 1496-1503.

[20] 孔凡丽,张恩萍,曹庆军,等.硒的生理功能及在主要作物中的吸收富集[J]. *东北农业科学*, 2020, 45(6): 115-118.

[21] 张胜男,聂兆君,赵 鹏,等.磷硫配施对冬小麦硒吸收及转运的影响[J]. *中国农业科技导报*, 2020, 22(5): 137-144.

[22] Sanghun L, James J D, Howard J W. Selenite adsorption and desorption in selected south Dakota soils as a function of pH and other oxyanions[J]. *Soil Science*, 2011, 176(2): 73-79.

[23] 朱建明,梁小兵,凌宏文,等.环境中硒存在形式的研究现状[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2003, 22(1): 75-81.

(责任编辑:刘洪霞)