

外源硒对‘晋苦荞5号’光合特性、籽粒硒积累和产量及品质的影响

曹昌林, 吕慧卿*, 郝志萍, 高翔

(山西省农业大学高粱研究所 / 高粱遗传与种质创新山西省重点实验室, 山西 晋中 030600)

摘要: 通过叶面喷施的手段研究了不同喷施时期和不同喷施浓度硒对‘晋苦荞5号’光合特性、籽粒硒积累、品质及产量的影响。结果表明, 低浓度硒显著促进植株生长, 高浓度硒则抑制其生长。当硒浓度 $\leq 1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 随硒浓度的增加, 除籽粒总黄酮外的各项指标均显著提高, 并以 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的浓度为最佳, 同 T_0 相比, $T_{0.5}$ 处理SPAD值可提高1.9%~2.2%; 净光合速率提高3.2%~5.0%; 干物质积累提高1.2%~2.0%; 籽粒硒含量可提高1.5~17.7倍; 蛋白质含量可提高1.1%~1.6%; 脂肪含量可提高2.5%~2.6%; 籽粒总黄酮含量则降低2.2%~4.5%; 籽粒千粒重可提高3.0%~3.7%; 产量可提高9.9%~12.4%。总之, 叶面喷施硒可明显提高‘晋苦荞5号’植株光合作用、籽粒硒含量, 明显改善品质和提高产量, 但不利于籽粒总黄酮的积累, 其中以现蕾期喷施 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硒为最佳。

关键词: 硒; 荞麦; 籽粒硒积累; 光合特性; 品质; 产量

硒是环境中一种重要的生命元素, 1957年被证明为动物生命所必需。研究发现人体的40多种疾病, 如癌症、贫血、脑血管疾病、肝炎、白内障、糖尿病等都与缺硒有关^[1]。世界卫生组织推荐成人每日硒摄入量为50~200 μg , 但是目前人均日摄入量仅为26~32 μg ^[2-3]; 于植物而言, 硒是植物生长的一种必需元素, 少量的硒可刺激植物生长发育, 促进植物新陈代谢, 增强植物对环境胁迫的抗性, 但过量的硒又会抑制植物的生长^[4]。植物吸收和富集外源无机态硒并将其转化为安全、有效的生物有机态硒是人体摄入硒的唯一来源。研究富硒农业, 开发富硒食品对预防和治疗硒缺乏症具有重要的现实意义, 在研究植物富硒的同时, 研究硒对植物产量和品质的影响, 成为了农业硒元素另一个被关注的方向。许多学者在不同的作物上进行了施硒研究, 但结论褒贬不一。王学君等^[5]研究发现施硒可以提高轻度盐碱地玉米产量, 降低

玉米吸钾能力; 张妮等^[6]报道小麦生物量和产量随施硒量增加呈先增加后降低的趋势, $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的施用量滴灌小麦产量最高; 李佳^[7]认为叶面喷施利于水稻穗部对硒的富集, 精米硒含量达到95.8~103.2 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有利于增加后期干物质积累; 李海等^[8]、郭美俊等^[9]、张鹏飞等^[10]和穆婷婷等^[11]研究发现: 低浓度硒对糜子和谷子农艺性状及产量有明显提高作用; 叶面喷施硒可以提高谷子粗蛋白、脂肪、赖氨酸和叶酸等的含量和籽粒硒含量, 谷子产量随着硒浓度的增加先增加后减小; 田秀英等^[12]报道: 土壤施硒量不超过 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 可促进苦荞生长, 提高地上部各器官干重和植株总干重以及各器官总黄酮和芦丁含量与累积量, 增加苦荞中后期对总黄酮的累积; 以Se0.5处理效应最佳, 各处理差异达显著水平; 过量的硒($\text{Se}1.5 \sim 2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)显著抑制苦荞生长, 降低各器官干重、总黄酮和芦丁含量与累积, 不利于硒在籽粒中富集和总黄酮在籽粒中的分布。而陈雪等^[13]认为: 叶面喷施亚硒酸钠对水稻生物量、籽粒产量和收获指数无显著影响, 但可提高籽粒蛋白含量; 张新军等^[14]认为: 喷施硒肥对燕麦的经济性状、产量、生物量、粗脂肪及淀粉无显著影响; 张纪元等^[15]认为: 喷施硒肥对小麦产量结构、品质特性无显著影响, 但可显著提高籽粒硒含

收稿日期: 2020-03-23; 录用日期: 2020-04-06

基金项目: 山西省归国留学人员科研资助项目(2015-119); 国家现代农业产业技术体系子项目(CARS-08-B-6); 国家基础性长期性监测项目(AES2020S0406)。

作者简介: 曹昌林(1965-), 男, 山西平遥人, 副研究员, 大学本科, 长期从事作物栽培与施肥研究。E-mail: changlincao954@163.com。

通讯作者: 吕慧卿, E-mail: Lhq6868@163.com。

量;王朝阳等^[16]研究认为:根施硒肥可显著提高茶叶硒含量,但对茶叶产量和品质影响不显著;冯学金等^[17]研究认为:喷施合适剂量的硒肥可以提高胡麻籽粒硒含量和产量,且对胡麻品质影响较小。不同学者研究的作物及其生态环境不同,得出的结论也不尽一致,‘晋苦荞5号’荞麦施硒对其产量及品质有无促进作用无法定性,因此,为了系统了解硒对‘晋苦荞5号’生长发育、籽粒硒积累、产量及品质的影响,为‘晋苦荞5号’的大面积推广提供技术支撑。本文通过研究‘晋苦荞5号’在不同生育期、不同施硒水平下产量构成、品质指标、籽粒硒积累和叶绿素及光合速率等的变化,确定‘晋苦荞5号’最适施硒量和最佳施硒时期,为‘晋苦荞5号’的高产和优质生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究于2017、2018年在山西省农业大学高粱研究所东白基地进行,该基地属于温带大陆性季风气候区,海拔803 m,年均气温9.8℃,极端高温37℃,极端低温-21.2℃,无霜期158 d,常年降水量425 mm;2017年5~9月降水量301.3 mm,日照时数1109 h,2018年5~9月降水量313.8 mm,日照时数1178 h。一年一熟种植区;栗钙土,质地中壤,0~25 cm耕层有机质含量17.34 g·kg⁻¹,全氮0.70 g·kg⁻¹,有效磷2.14 mg·kg⁻¹,速效钾102.6 mg·kg⁻¹,硒含量0.06 mg·kg⁻¹,pH 6.9。

1.2 试验材料与设计

以‘晋荞麦(苦)5号’为试材,亚硒酸钠为硒肥来源。试验采用裂区设计法,主区为喷施时期:分为现蕾期和盛花期,副区为喷施浓度:0(仅喷施清水)、0.5、1、1.5和2 mg·L⁻¹5个梯度,记为:T₀、T_{0.5}、T₁、T_{1.5}、T₂,喷施量225 kg·hm⁻²。所有处理3次重复,小区面积2 m×5 m=10 m²。种植行距50 cm,每区种10行,留苗密度90万株·hm⁻²。2017年6月16日播种,9月30日收获,2018年6月18日播种,9月30日收获,两年均播前一次性底施氮、磷、钾含量为23%、11%、8%的复合肥750 kg·hm⁻²,其它管理同大田。

1.3 测试项目及方法

植株叶片SPAD的测定:在荞麦现蕾期和盛花

期喷施硒肥后,灌浆初期(8月27日),利用叶绿素测定仪SPAD-502测定荞麦顶部第一片展开叶SPAD值。每株测3叶,每处理测定10株,取其均值作为各处理SPAD值。

植株的净光合速率的测定:在荞麦现蕾期(7月26日)和盛花期(8月8日)分别喷施硒肥,灌浆初期(8月26日)9:00~11:30用LI-6400-XT便携式光合仪选择荞麦最顶部叶片进行净光合速率的测定,每株测3叶,每处理测10株,取其平均值。

植株干物重的测定:待荞麦成熟后,每处理取其代表性植株地上部10株进行收割并风干称重。取其平均值。

植株籽粒硒含量的测定:采用原子荧光法^[18]。

籽粒蛋白质、脂肪和总黄酮的测定:荞麦成熟收获后,对籽粒进行蛋白质、脂肪和总黄酮的检测,2017年蛋白质、脂肪和总黄酮的检测是把样品送交中国农业科学院农产品加工研究所进行检测,采用分光光度测定法,所依据的标准是中华人民共和国农业行业标准NY/T 1295-2007。2018年蛋白质、脂肪和总黄酮的检测是把样品送交山西省农业大学农业环境与资源研究所进行检测。采用分光光度测定法,所依据的标准是湖南省地方标准DB43/T 476-2009。

籽粒产量及构成的测定:荞麦成熟后,全区收获脱粒记产,并数定千粒重和植株分支数。

1.4 数据分析

采用Excel 2010作图,DPS 6.5统计分析软件进行统计分析,采用SSR多重比较。

2 结果与分析

2.1 叶面喷施硒对植株叶片SPAD值的影响

从图1可看出,植株SPAD值随硒肥浓度的增加先增加后降低,以T_{0.5}处理为最大,T₁处理次之,T₀处理第3。两年不同时期T₁处理SPAD值较T_{0.5}处理降低,但除2018年盛花期外均差异不显著,与T₀处理相比,2017、2018年现蕾和盛花期T_{0.5}处理的SPAD值分别提高了2.2%、2.2%、2.0%、1.9%,差异达5%显著水平,同时T_{1.5}和T₂处理SPAD值较T_{0.5}显著降低,说明了T_{1.5}和T₂处理严重抑制了植株的生长。对于不同喷施时期,两生育时期差异不显著。

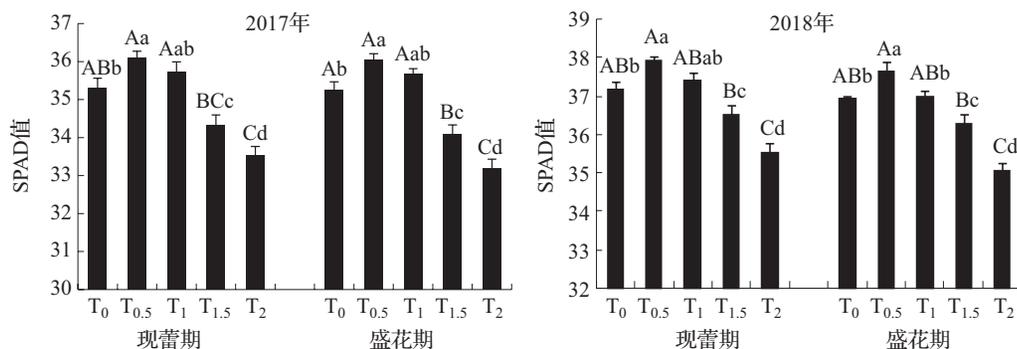


图1 2017和2018年硒处理后植株的SPAD值

注:不同大、小写字母分别表示差异达0.01、0.05显著水平。下同。

2.2 叶面喷施硒对植株净光合速率的影响

从图2可看出,植株净光合速率随硒浓度的增加呈先升后降的变化,并以T_{0.5}处理为顶峰,较T₀处理分别提高3.2%、4.2%、5.0%及1.6%,其差异性2017年达5%显著,2018年现蕾期达1%显著,盛花期差异不显著;T₁处理的净光合速率较T_{0.5}有所回落,但2017年差异不显著,2018年差异现蕾期达5%显著,

盛花期达1%显著;T_{1.5}和T₂处理的净光合速率则显著降低。说明T_{1.5}和T₂处理已对植株光合作用产生了严重的抑制作用。

盛花期和现蕾期同硒浓度下的净光合速率差异不显著,同处理2018年显著高于2017年,这可能与年份间的降雨不同有关。总之,低浓度硒促进植株的光合形成,高浓度硒则会抑制植株的光合形成。

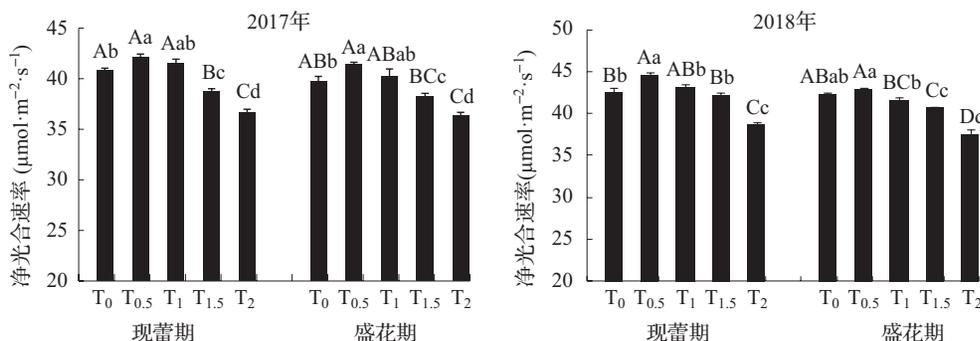


图2 2017和2018年硒对植株净光合速率的影响

2.3 叶面喷施硒对植株干物重的影响

从图3可以看出,荞麦干物重的变化与SPAD值相似,T_{0.5}干物重较T₀处理分别增加1.2%、1.3%、2.0%、2.0%,差异达5%显著水平;T₁与

T_{0.5}相比干物重降低,但差异不显著。两年喷施现蕾期与盛花期差异不显著,而相同时期不同年份间比较,2018年好于2017年,虽有差异,但原因是年间降雨量不同造成的。

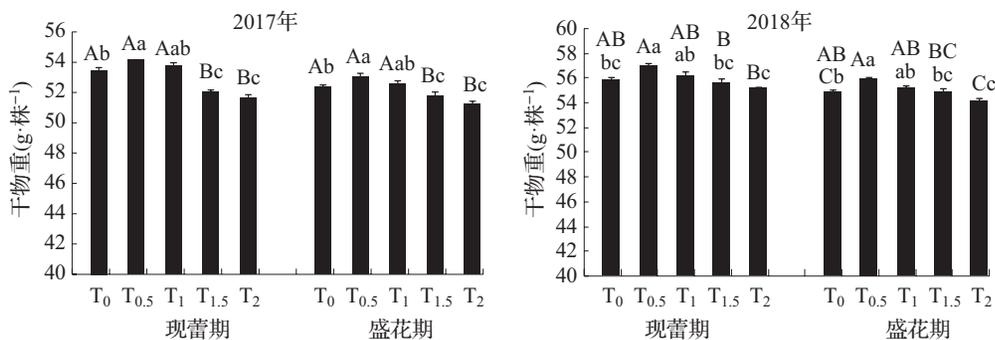


图3 2017和2018年喷施硒植株的干物重

2.4 叶面喷施硒对籽粒硒含量的影响

从图4可看出, 现蕾期和盛花期喷施硒均可提高籽粒硒含量, 且其随硒浓度的增加籽粒硒含量极显著地增加。但现蕾期和盛花期间与年际间差异均不显著, 而从不同年份喷施硒的效果看,

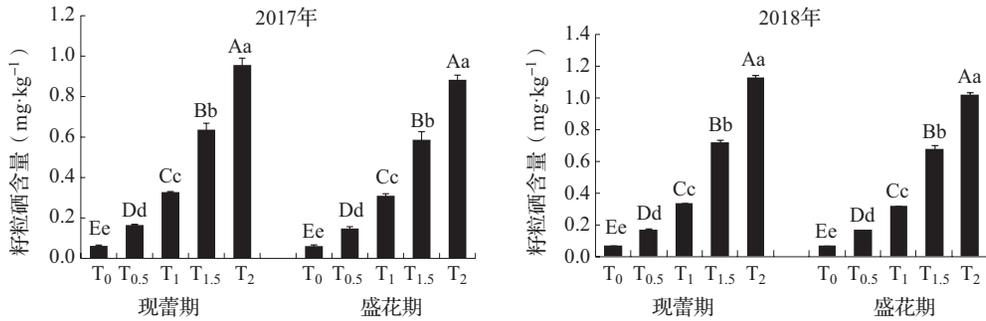


图4 2017和2018年施硒后籽粒的硒含量

2.5 叶面喷施硒对籽粒蛋白质、脂肪及总黄酮的影响

从表1可看出, 籽粒蛋白质和脂肪均随着硒肥浓度的增加呈先升后降的变化趋势, 并以T₀.₅处理为最大, 蛋白质和脂肪在两年的现蕾期和盛花期分别达到了13.4%和13.4%、13.5%和13.4%、2.5%和2.5%、2.6%和2.5%。同T₀处理相比, 蛋白质含量分别提高1.4%、1.5%、1.6%、1.1%, 脂肪含量分别提高5.4%、4.2%、4.9%、5.0% ($P < 0.05$); T₁处理蛋白质和脂肪含量开始回落, 其值位于T₀和T₀.₅处理之间, 且与T₀和T₀.₅处理之间差异不显著, T₁.₅和T₂处理开始下降, 而2018年现蕾期的蛋白质及脂肪T₁.₅

和T₂处理与T₀相比差异不显著, 但与T₀.₅处理差异显著, 说明高浓度的硒不利于蛋白质及脂肪的合成。两年均表现出现蕾期和盛花期喷施差异不显著。

籽粒总黄酮随硒浓度的增加呈先降后升趋势, 并以T₀.₅处理最低, 同T₀相比, 2017年现蕾期和盛花期降低4.5%和2.3%, 2018年现蕾期和盛花期降低3.7%和2.2%, 差异均达5%显著; 然后, 含量有所回升, 但回升值不显著。现蕾期和盛花期喷施效果差异不显著, 2018与2017年相比, 由于品质分析样品是送交两个单位测试的, 可能使用的试剂、仪器及标准有所差异, 导致测试数据差距较大。不同喷施时期及不同年份, 表现出的规律性相似。

表1 硒肥对荞麦籽粒蛋白质、脂肪及总黄酮的影响

(%)

时期	处理	蛋白质		脂肪		总黄酮	
		2017年	2018年	2017年	2018年	2017年	2018年
现蕾期	T₀	13.3ABbc	13.3ABbc	2.4BCb	2.4ABbc	2.2Aa	3.2Aa
	T₀.₅	13.4Aa	13.5Aa	2.5Aa	2.6Aa	2.1Ab	3.1Ab
	T₁	13.4ABab	13.4Aab	2.5ABab	2.5ABab	2.2Aab	3.2Aab
	T₁.₅	13.2BCc	13.4ABab	2.4Cbc	2.4Bbc	2.2Aa	3.2Aab
	T₂	13.0Cd	13.2Bc	2.3Cc	2.4Bc	2.2Aa	3.2Aab
盛花期	T₀	13.2ABbc	13.3ABbc	2.4ABab	2.4ABbc	2.2Aa	3.2Aa
	T₀.₅	13.4Aa	13.4Aa	2.5Aa	2.5Aa	2.2Ab	3.1Ab
	T₁	13.3ABab	13.4ABab	2.4Aab	2.5ABab	2.2Aab	3.2Aab
	T₁.₅	13.1BCcd	13.2BCc	2.3ABbc	2.3Bbc	2.2Aab	3.2Aa
	T₂	12.9Cd	13.1Cd	2.3Bc	2.2Bc	2.2Aa	3.2Aa

注: 同列不同大、小写字母分别表示处理间差异显著性达0.01水平和0.05水平。下同。

2.6 叶面喷施硒对植株分枝数、籽粒千粒重及产量的影响

从表 2 中可看出, 荞麦分枝数、千粒重和产量均随硒浓度的增加呈先增加后降低变化, 以 $T_{0.5}$ 处理最大, 同 T_0 相比, 分枝数提高 2 ~ 2.3 个; 千粒重提高 3.0% ~ 3.7%; 产量提高 9.9% ~ 12.4%, 其

差异均达 5% 显著。同年度同处理现蕾期与盛花期的分枝数、千粒重和产量差异均不显著 (除 2018 年 T_2 处理分枝数 1% 显著外); 同处理下千粒重、分枝数和产量的变化趋势两年表现一致, 这与年份间降雨时期不同有关, 不同时期、不同年份间的结果表现一致。

表 2 硒肥对荞麦分枝数、籽粒千粒重及产量的影响

时期	处理	分枝数 (个)		千粒重 (g)		产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	
		2017 年	2018 年	2017 年	2018 年	2017 年	2018 年
现蕾期	T_0	10.0Ab	12.3ABb	22.5ABbc	22.8ABbc	1715.7ABbc	1923.5ABab
	$T_{0.5}$	12.0Aa	14.0Aa	23.1Aa	23.6Aa	1897.5Aa	2155.5Aa
	T_1	11.0Aab	11.7BCb	22.8Aab	23.0ABab	1713.0ABab	1944.1ABab
	$T_{1.5}$	6.7Bc	10.0CDc	22.4ABbc	22.7ABbc	1573.5ABbc	1869.2ABab
	T_2	6.0Bc	8.3Dd	21.9Bc	22.2Bc	1419.0Bc	1650.3Bb
盛花期	T_0	9.3Ab	11.3ABab	22.2ABbc	22.7ABbc	1692.7ABbc	1890.5Aab
	$T_{0.5}$	11.0Aa	13.1Aa	23.1Aa	23.6Aa	1860.3Aa	2125.5Aa
	T_1	10.0Aab	10.3ABab	22.7ABab	23.0ABab	1702.5ABab	1870.5Aab
	$T_{1.5}$	6.0Bc	9.3BCbc	22.2ABbc	22.7ABbc	1498.5Bbc	1828.5Aab
	T_2	6.0Bc	7.0Cc	21.8Bc	22.0Bc	1390.5Bc	1671.3Bb

3 讨论

3.1 叶面喷施对植株叶片 SPAD 值及净光合速率的影响

叶片叶绿素含量的高低是表征作物光合效率与生长状况的重要指标^[19-20]。本试验中, SPAD 值随硒浓度的增加呈先增加后降低的变化趋势, 硒浓度为 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的处理最高, 此结论与宋丽芳等^[21]研究结论相似。硒元素并非叶绿素分子的组成成分, 适量的硒能够提高叶绿素含量的原因, 分析认为是硒元素显著影响作物对铁、锌、锰、铜等元素的吸收^[22-23], 而铁、锌、铜等元素在叶绿素的形成中起到了催化作用^[24], 因此适量硒能够提高叶绿素含量的原因, 可能是由于硒促进了植物对铁、锌、铜等元素的吸收, 从而促进了叶绿素的形成。适量的硒可以提高植株叶片的叶绿素含量, 自然也就能够提高植株的净光合速率, 增强其光合能力^[24], 本试验结果也充分表征了此结论, 随硒浓度的递增, 净光合速率呈先增加后降低的趋势, 与王丽霞等^[25]、张慧娇^[26]的结论相同。

3.2 叶面喷施对籽粒硒积累的影响

我国学者张联合等^[27]对水稻吸收亚硒酸盐生理特性的研究发现, 随着外界溶液中硒浓度的提高和吸收时间的延长, 叶片吸收亚硒酸盐持续增加, 亚硒酸盐吸收与溶液硒处理水平、吸收时间始终为一条直线, 没有呈现吸收饱和趋势, 这说明水稻叶片是以被动方式吸收溶液中亚硒酸盐的。本试验也发现随硒浓度的增加, 籽粒硒含量持续性增加, 说明晋荞麦 (苦) 5 号对硒的吸收也是以被动方式吸收的, 此结论与穆婷婷等^[11]、张纪元等^[15]的研究结论相一致。由于荞麦对硒是被动吸收, 硒含量过大易使人产生中毒现象 (国家标准粮食中硒含量在 $0.1 \sim 0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为正常, 高于 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 会产生硒中毒), 因此, 晋苦荞 5 号荞麦施用硒的浓度不宜超过 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 以 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 最佳。

3.3 叶面喷施对籽粒品质的影响

硒对植物蛋白质和脂肪的合成和代谢有着直接和间接的作用, 硒作为一种核糖核酸链的组成成分, 不仅在转运氨基酸合成蛋白质的过程中起直接

的作用^[28],还促进植物对氮、磷的吸收^[29],对蛋白质和脂肪的合成与代谢起到了间接的作用。本研究发现,低浓度的硒促进蛋白质和脂肪的合成,高剂量的硒对蛋白质和脂肪的合成则有抑制作用,与张慧娇^[26]和卫玲等^[30]的研究结论相同。但总黄酮含量是先降低后增加,与田秀英等^[12]的研究结论不一致,可能因为少量的硒刺激和促进了植株的生长及其对氮、磷的吸收,而氮、磷的增加不利于总黄酮的形成和积累^[31-32],但继续增大硒肥用量,抑制了植株的生长,减少了对氮、磷的吸收,反而有利于总黄酮的形成和积累。

3.4 叶面喷硒对籽粒产量及构成的影响

植物产量就是植物在生育期间生产和积累有机物的总量^[33]。有机物又是作物进行光合作用的产物,提高光合作用即可增强有机物的积累,从而提高产量。本试验证实适量硒喷施于荞麦叶片可提高叶片叶绿素含量和作物的光合作用,那么,自然也就促进了有机物的积累,从而形成了较高的产量。本研究发现,随硒浓度的增加,植株干物重、分枝数、籽粒千粒重和产量的变化是先增加后降低,充分证明了低浓度的硒有促进植株的生长,高浓度的硒抑制植株生长的作用。与李佳^[7]、田秀英等^[12]、卫玲等^[30]、黄丽美等^[34]的研究结论一致。

本文中,荞麦籽粒品质分析是由两个单位进行测试的,测试结果相距较大,可能是使用方法及试剂材料有差异所致,但并不影响本文的研究分析,并且二者处理间表现结果一致。

4 结论

本研究认为,浓度 $<0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硒于现蕾期对晋苦荞5号荞麦进行叶面喷施可提高叶绿素含量1.9%~2.2%;提高光合能力3.2%~5.0%;提高植株干物重1.2%~2.0%;籽粒硒含量可提高1.5~17.7倍;提高籽粒千粒重3.0%~3.7%;提高籽粒产量9.9%~12.4%;提高籽粒蛋白质含量1.1%~1.6%;提高籽粒脂肪含量2.5%~2.6%,但降低了籽粒总黄酮含量2.2%~4.5%。表现为低浓度的硒促进作物的生长,高浓度的硒抑制作物的生长。因此,晋苦荞5号荞麦在现蕾期喷施浓度 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒为最佳。

致谢:张建华同志在本文的完成中做了大量的工作,在此一并致谢!

参考文献:

- [1] 沈荣明. 硒的营养功能及富硒产品的开发前景[J]. 现代食品, 2016(14): 24-25.
- [2] Chen L, Yang F, Xu J, et al. Determination of selenium concentration of rice in China and effect of fertilization of selenite and selenate on selenium content of rice[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2002, 50(18): 5128-5130.
- [3] Gailer J. Chronic toxicity of As^{III} in mammals: The role of $(\text{GS})_2\text{AsSe}^-$ [J]. Biochimie, 2009, 91(10): 1268-1272.
- [4] 徐文. 硒的生物有效性及植物对硒的吸收[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(23): 46-48.
- [5] 王学君, 董晓霞, 孙泽强, 等. 钾、锌、硒和优化施肥对轻度盐碱地玉米产量和肥料吸收的影响[J]. 山东农业科学, 2011, 17(1): 53-55.
- [6] 张妮, 李琦, 张栋, 等. 外源硒对滴灌小麦籽粒硒含量及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(7): 995-1001.
- [7] 李佳. 硒对寒地水稻产量和稻米安全品质的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.
- [8] 李海, 张翔宇, 杨如达, 等. 不同施硒方式对糜子产量及相关性状的影响[J]. 现代农业科技, 2015(2): 29-37.
- [9] 郭美俊, 郭平毅, 原向阳, 等. 叶面喷施亚硒酸钠对谷子光合特性及产量构成的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(6): 1099-1107.
- [10] 张鹏飞, 张爱军, 张建恒, 等. 叶面施硒对谷子硒富集及品质的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(4): 231-234.
- [11] 穆婷婷, 杜慧玲, 张福耀, 等. 外源硒对谷子生理特性、硒含量及其产量和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(1): 51-63.
- [12] 田秀英, 王正银. 硒对苦荞硒、总黄酮和芦丁含量、分布与累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 721-727.
- [13] 陈雪, 沈方科, 梁欢婷, 等. 外源施硒措施对水稻产量品质及植株硒分布的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48(1): 46-50.
- [14] 张新军, 杨才, 曾昭海, 等. 叶面喷施硒肥对裸燕麦产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(3): 408-412.
- [15] 张纪元, 张平平, 马鸿翔, 等. 喷施微肥对小麦产量、品质及籽粒微量元素含量的影响[J]. 江西农业学报, 2012, 24(3): 64-66.
- [16] 王朝阳, 刘运华, 孙乐, 等. 根施硒肥对茶叶硒含量及品质成分的影响研究[J]. 陕西农业科学, 2019, 65(10): 31-33.
- [17] 冯学金, 郭秀娟, 杨建春, 等. 喷施硒肥对胡麻籽粒硒含量、产量及品质的影响[J]. 作物杂志, 2019(3): 155-157.
- [18] 唐玉霞, 王慧敏, 刘巧玲, 等. 原子荧光法测定小麦中硒含量的研究[J]. 华北农学报, 2009, 24(S1): 218-220.
- [19] 陈劲丰, 时元智, 崔远来, 等. 不同水肥模式下水稻光合光响应特性研究[J]. 中国农村水利水电, 2015(7): 16-20.

- [20] 徐澜, 高志强, 安伟, 等. 冬麦春播条件下旗叶光合特性、叶绿素荧光参数变化及其与产量的关系 [J]. 应用生态学报, 2016, 27 (1): 133-142.
- [21] 宋丽芳, 冯美臣, 张美俊, 等. 外源硒对苦荞生长发育及子粒硒含量的影响 [J]. 作物杂志, 2019, 35 (3): 150-154.
- [22] 秦玉燕, 王运儒, 时鹏涛, 等. 叶面喷硒对茶树叶片硒及矿质元素含量的影响 [J]. 南方农业学报, 2019, 50 (3): 622-627.
- [23] 刘庆, 田侠, 史衍玺. 外源硒矿粉对玉米硒累积及矿质元素吸收的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22 (2): 403-409.
- [24] 娄成后. 植物生理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1980.
- [25] 王丽霞, 黄大野, 林妃, 等. 外源硒对福橙叶片光合特性和叶片养分含量的影响 [J]. 湖北农业科学, 2019, 58 (5): 61-66.
- [26] 张慧娇. 施硒对荞麦抗氧化性和品质影响的研究 [D]. 沈阳: 辽宁大学, 2019.
- [27] 张联合, 赵巍, 郁飞燕, 等. 水稻离体叶片吸收亚硒酸盐的生理特性 [J]. 土壤学报, 2012, 49 (1): 189-193.
- [28] 刘睿. 硒对苦荞营养效应的研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [29] 乔爱民, 林雪娟. 硒与植物的关系 [J]. 仲恺农业技术学院学报, 2003, 16 (3): 67-73.
- [30] 卫玲, 肖俊红, 刘博, 等. 硒肥对黑大豆农艺性状、产量及品质的影响 [J]. 山西农业科学, 2019, 47 (9): 1581-1584.
- [31] Lea U S, Slimestad R, Smedvig P, et al. Nitrogen deficiency enhances expression of specific MYB and BHLH transcription factors and accumulation of end products in the flavonoid pathway [J]. Planta, 2007, 225 (5): 1245-1253.
- [32] Jia H, Wang J A, Yang Y, et al. Changes in flavonol content and transcript levels of genes in the flavonoid pathway in tobacco Under phosphorus deficiency [J]. Plant Growth Regulation, 2014, 76 (2): 225-231.
- [33] 余松烈. 作物栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1980.
- [34] 黄丽美, 徐宁彤, 曲琪环. 硒对玉米产量及籽粒营养品质、重金属含量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45 (10): 59-61.

The effects of exogenous selenium on photosynthetic characteristics, selenium accumulation in grain, yield and quality of “jin tartary buckwheat 5”

CAO Chang-lin, LÜ Hui-qing*, HAO Zhi-ping, GAO Xiang (Institute of Sorghum, Shanxi Agricultural University/Shanxi Key Laboratory of Sorghum Genetic and Germplasm Innovation, Jinzhong Shanxi 030600)

Abstract: The effects of different spraying periods and different concentrations of selenium on photosynthetic characteristics, grain selenium accumulation, quality and yield of “jin tartary buckwheat 5” were studied by foliar spraying. The results showed that low concentration of selenium significantly promoted plant growth, while high concentration of selenium inhibited plant growth. When selenium concentration was $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ or less, all the indexes of the plants, except the total seeds flavonoids, were significantly improved with the increased concentration of selenium, and the concentration of $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ was the best. Compared with T_0 , the SPAD of $T_{0.5}$ increased by 1.9% ~ 2.2%, the net photosynthetic rate increased by 3.2% ~ 5.0%, dry matter accumulation increased by 1.2% ~ 2.0%, the selenium content in grains increased by 1.5 ~ 17.7 times, protein content increased by 1.1% ~ 1.6%, the fat content increased by 2.5% ~ 2.6%, the content of total flavonoids decreased by 2.2% ~ 4.5%, grain 1000-grain weight increased by 3.0% ~ 3.7%, yield increased by 9.9% ~ 12.4%. In a word, selenium by foliar spraying could significantly improve the photosynthetic rate, grain selenium content, grain quality and yield of “jin tartary buckwheat 5”, but it was not conducive to the accumulation of total flavonoids. Selenium of $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ by foliar spraying in the bud stage was the best.

Key words: selenium; buckwheat; selenium accumulation in grain; photosynthetic characteristics; quality; yield