

不同浓度硒对丝瓜生长·叶绿素含量及光合特性的影响

李慧敏¹, 毕佳慧¹, 张倩玉¹, 张向丰¹, 于佳¹, 高一帆¹, 孙红艳¹, 王小云^{2*}

(1. 太原科技大学化学与生物工程学院, 山西太原 310024; 2. 山西农业大学水土保持科学研究所, 山西太原 030013)

摘要 [目的]研究不同浓度的外源硒对植物生长的影响。[方法]以丝瓜“泰国中绿”为试验材料,以滤纸为介质,在培养皿中采用0、1.0、1.5、2.0、2.5和5.0 μmol/L亚硒酸钠溶液处理丝瓜幼苗,研究不同浓度外源硒对丝瓜幼苗根长、茎长、茎粗、根体积、叶绿素含量及光合特性的影响。[结果]外源硒对丝瓜幼苗生长相关指标均有不同程度的影响,低浓度硒(1.0~2.5 μmol/L)处理对丝瓜根长、茎粗、根体积及叶绿素b含量具有一定的促进作用,2.0和2.5 μmol/L的硒显著促进了丝瓜芽长和整个植株的生长、光合特性的提升,1.5和2.0 μmol/L硒显著提高了叶绿素a含量;但5.0 μmol/L的硒对丝瓜根长和植株的生长具有抑制作用,并显著降低了叶绿素a、类胡萝卜素含量、光合速率、蒸腾速率和气孔导度。[结论]适宜浓度的亚硒酸钠对丝瓜生长具有一定的促进作用,且2.0~2.5 μmol/L是亚硒酸钠促进丝瓜生长的最佳浓度,硒浓度过高会抑制丝瓜生长。

关键词 硒;丝瓜;生长;叶绿素含量;光合特性

中图分类号 S642.4 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)22-0034-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.22.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Different Concentrations of Selenium on Growth, Chlorophyll Content and Photosynthetic Characteristics of Luffa

LI Hui-min, BI Jia-hui, ZHANG Qian-yu et al (School of Chemical and Biological Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan, Shanxi 310024)

Abstract [Objective] To study the effects of exogenous selenium at different concentrations on plant growth. [Method] With luffa ‘Thailand Zhonglu’ as the test material, filter paper as the medium, 0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 5.0 μmol/L sodium selenite solution was used to treat luffa seedlings to study the effects of different concentrations of exogenous selenium on root length, stem length, stem diameter, root volume, chlorophyll content and photosynthetic characteristics of luffa seedlings. [Result] Exogenous selenium had different effects on the growth related indexes of luffa seedlings. Low concentration selenium (1.0–2.5 μmol/L) treatment had a certain promoting effect on root length, stem diameter, root volume and chlorophyll b, 2.0 and 2.5 μmol/L selenium significantly promoted the bud length, the growth of the whole plant and photosynthetic characteristics, 1.5 and 2.0 μmol/L selenium significantly increased the content of chlorophyll a, but 5.0 μmol/L selenium inhibited the root length and plant growth of luffa, and significantly reduced the content of chlorophyll a and carotenoids, photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance. [Conclusion] The proper concentration of sodium selenite can promote the growth of luffa to a certain extent, and 2.0–2.5 μmol/L is the best concentration of sodium selenite to promote the growth of luffa, and excessive selenium concentration will inhibit the growth of luffa.

Key words Selenium; Luffa; Growth; Chlorophyll content; Photosynthetic characteristics

硒是人体所必需的微量营养素^[1],研究表明,硒具有保护心脏、抗氧化、提高机体免疫能力、延缓衰老等多种生物学功能^[2];缺硒则可引起人体40多种疾病^[3]。据报道,中国、泰国和埃及等国家,自然环境中硒含量非常低^[4-5];我国72%的地区硒含量匮乏,人均日硒摄入量26~32 μg^[6],远低于标准的50~200 μg^[7]。同时,硒也是生态环境中的重要元素,硒在动物、人体以及植物中的作用已被广泛研究。植物施加适量的外源硒可有效改善其品质,研究外源硒对植物生长发育的影响,对于进一步研究硒对植物营养、生理生化和在逆境中的作用,以及通过施加外源硒来提高植物可食器官硒含量,从而通过食物链改善动物和人体内的硒营养状况,具有非常重要的理论和实践意义^[8]。

2008年,杨红雨等^[9]田间试验结果表明,西瓜喷施硒肥能显著提高西瓜产量及西瓜果实硒含量。陈玉红等^[10]研究表明,低浓度硒可增加水培黄瓜的叶面积,促进黄瓜根系、茎

和叶片的生长,但当外源硒的浓度达2.00 mg/L时此促进作用则变为抑制;随后研究表明,添加一定量(0~4 mg/L)的外源硒能促进培养皿中滤纸上黄瓜种子的萌发,且品种之间存在显著差异,但当硒浓度大于8.0 mg/L时则变为抑制作用,但品种之间差异不显著^[11];笔者前期研究表明低硒处理使镉毒害降低的黄瓜幼苗株高、茎粗和根长、生物积累量等生长相关指标有所增加,但当外源硒浓度大于2.5 μmol/L后,硒对镉胁迫下黄瓜幼苗的生长将产生抑制作用,且随着硒浓度的增加抑制程度增大^[12]。梁春红等^[13]研究表明,适宜浓度的硒可显著促进菜薹的膨大,增加其粗度,提高菜薹产量;硒也明显提高了茎和叶的V_c含量、游离氨基酸含量和叶片类胡萝卜素含量,硒处理可促进菜心植株对硫和硒的吸收,提高植株的硫和硒含量。硒对烟草种子萌发和幼苗生长的研究表明,低浓度硒对烟草种子发芽率、根系生长及光合色素含量均具有一定的促进作用,高浓度硒则表现为抑制作用^[14]。同时,研究表明1.0 mg/L的亚硒酸钠浸泡春小麦种子对其种子萌发和幼苗生长有促进作用,且其发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、幼苗根长以及干鲜重等指标均随着硒浓度的升高呈先升高后下降的趋势^[15]。另外,硒对植物生长的影响在豌豆、大豆、水稻、灵芝等作物中也有研究,其影响程度不尽相同^[16-19]。丝瓜是大众性蔬菜之一,在我国南

基金项目 山西省重点研发计划项目(201903D221066);山西省省属科研条件质量提升专项技术开发实验室建设项目(201901);国家自然科学基金(31401319);太原科技大学大学生创新创业训练计划项目(XJ2020048)。

作者简介 李慧敏(1999—),女,山西广灵人,从事植物逆境生理研究。*通信作者,正高级工程师,博士,从事农业面源污染和植物生理研究。

收稿日期 2021-12-31; **修回日期** 2022-02-16

北均普遍种植,但现有丝瓜的产量和品质难以满足市场多样化的需求^[20]。研究施加不同浓度的外源硒对丝瓜生长的影响及硒与丝瓜品质的关系十分必要,旨在为富硒丝瓜及逆境条件下丝瓜的安全生产提供一定的理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试丝瓜品种为普遍栽培的品种“泰国中绿”,购自山东省潍坊市寿光市宏伟种业有限公司。

1.2 试验方法 种子预处理参考孙红艳等^[12]的方法,挑选大小均匀一致、饱满的丝瓜种子,在 50~55 ℃ 的温水中浸泡 15 min,置于铺有 3 层滤纸的培养皿中,每皿 15 粒种子,分别加入相对应的处理液 10 mL 后放置于白天(25±2)℃、晚上(20±2)℃ 的光照培养箱中进行培养,光照强度 600 μmol/(m²·s),光周期 10 h/d,每个处理重复 3 次。每天同一时间补充相应量的处理液,并做好相应记录。种植 10 d 后测量丝瓜幼苗芽长、根长、茎粗、根体积以及丝瓜叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量。

共设置 6 个处理:①对照 CK(蒸馏水、0 μmol/L Se);②1.0 μmol/L Se;③1.5 μmol/L Se;④2.0 μmol/L Se;⑤2.5 μmol/L Se;⑥5.0 μmol/L Se。Se 以 Na₂SeO₃ 溶液的形式加入。

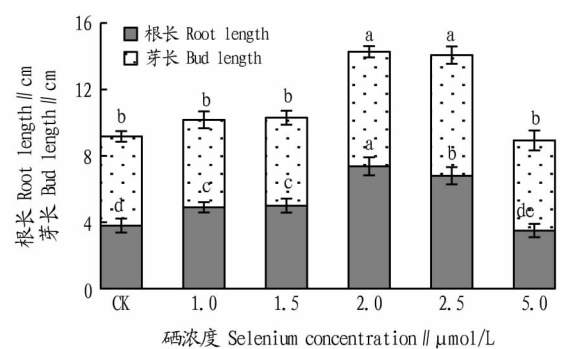
1.3 测定项目与方法 萌发相关指标的测定主要参考王素平^[21]的方法。芽长:测量茎基部至苗最顶端的长度;茎粗:游标卡尺测定茎基部直径;根长:测量根基部至根系最尖端的长度;根体积:采用体积排水法测定,即根系的体积等于其所排出同体积水的量。叶绿素含量采用 Beligni 等^[22]的方法测定,即准确称量叶片 0.100 g,用 10 mL 提取液(乙醇:丙酮:水=4.5:4.5:1)25 ℃ 黑暗提取 24 h,过滤后用紫外分光光度计在 OD 663、645 和 470 nm 比色测定其吸光度,分别计算叶绿素 a、b 和类胡萝卜素含量。丝瓜叶片光合特性相关指标采用美国 LICOR 公司生产的 LI-6400 光合仪测定,分别测定叶净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)。

2 结果与分析

2.1 不同浓度硒对丝瓜幼苗根长和芽长的影响 由图 1 可知,不同浓度外源硒处理对丝瓜幼苗根长和芽长具有不同程度的影响。外源添加 1.0、1.5、2.0、2.5 μmol/L 的硒能显著促进丝瓜根长的生长,根长在硒浓度为 2.0 μmol/L 时达最大值;但随着硒浓度增大至 5.0 μmol/L 时,丝瓜根系生长受阻,但与对照相比未达显著水平。外源硒对丝瓜芽长生长的影响表现为仅在浓度 2.0 和 2.5 μmol/L 时显著增加,与对照相比,分别增长 28.5% 和 35.4%。从根长和芽长之和可以看出,随着硒浓度的增加丝瓜长度先增加后减小,其增长百分比在硒浓度为 2.0 μmol/L 时达最大值 55.6%,当浓度增至 5.0 μmol/L 时对丝瓜生长具有抑制效应。表明外源添加硒对丝瓜幼苗根长的影响程度明显大于芽长,低浓度硒处理有利于丝瓜幼苗的生长,高浓度则会抑制丝瓜幼苗的生长。

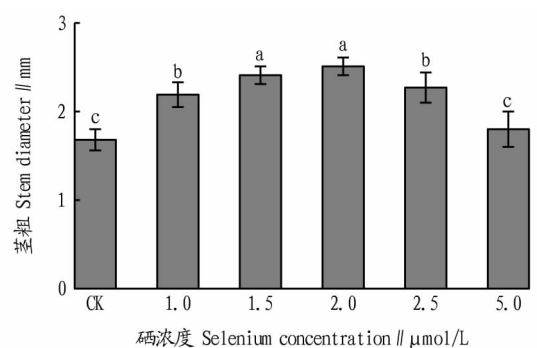
2.2 不同浓度硒对丝瓜幼苗茎粗的影响 由图 2 可知,外源硒对丝瓜幼苗茎粗具有促进作用,茎粗随着硒浓度的增加而

增粗,当硒浓度增至 2.0 μmol/L 时茎粗达最大值 2.51 mm,与对照相比增长 49.4%;但当硒浓度大于 2.0 μmol/L 后茎粗增长率有所下降,当浓度达 5.0 μmol/L 时与对照差异不显著,表明硒浓度过高可能不再对丝瓜幼苗茎的生长具有增粗作用。



注:不同小写字母表示不同硒浓度间差异显著($P<0.05$)
Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different selenium concentrations ($P<0.05$)

图 1 外源硒对丝瓜幼苗根长和芽长的影响
Fig.1 Effect of exogenous selenium on root length and bud length of luffa seedlings



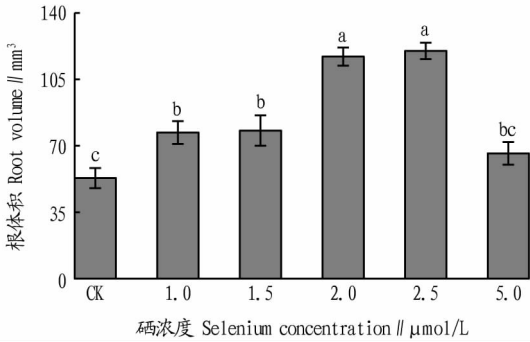
注:不同小写字母表示不同硒浓度间差异显著($P<0.05$)
Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different selenium concentrations ($P<0.05$)

图 2 外源硒对丝瓜幼苗茎粗的影响
Fig.2 Effect of exogenous selenium on stem diameter of luffa seedlings

2.3 不同浓度硒对丝瓜幼苗根体积的影响 外源硒对丝瓜幼苗根体积的影响随着硒浓度的不同而有所变化,当硒浓度小于 2.5 μmol/L 时丝瓜幼苗根体积与对照相比均显著增加,其增长率随着硒浓度的增加而增大,硒浓度为 2.0 和 2.5 μmol/L 时根体积较 1.0 和 1.5 μmol/L 显著增加;但当硒浓度增大至 5.0 μmol/L 时根体积显著减小并降低至对照水平,表明 5.0 μmol/L 硒对丝瓜幼苗根体积无显著影响(图 3)。

2.4 不同浓度硒对丝瓜幼苗叶片叶绿素含量的影响 由图 4 可知,外源硒对丝瓜幼苗叶片叶绿素含量的影响在不同种类的叶绿素间略有差异。叶绿素 a 含量随着硒浓度的增加逐渐增大,当硒浓度为 1.5 μmol/L 时叶绿素 a 含量与对照相比显著增加,硒浓度为 2.0 μmol/L 时含量达最大值 4.76 mg/g,但当硒浓度增至 5.0 μmol/L 时叶绿素 a 含量显著降低,且低于对照;表明低浓度硒可能会增加丝瓜幼苗叶片

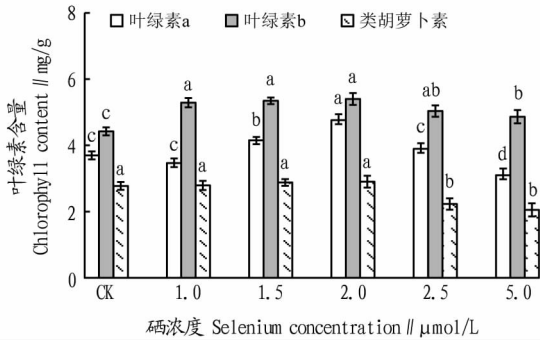
叶绿素 a 含量,而高浓度硒则会降低丝瓜幼苗叶片叶绿素 a 含量。



注:不同小写字母表示不同硒浓度间差异显著 ($P<0.05$)
Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different selenium concentrations ($P<0.05$)

图 3 外源硒对丝瓜幼苗根体积的影响

Fig.3 Effect of exogenous selenium on root volume of luffa seedlings



注:不同小写字母表示不同硒浓度间差异显著 ($P<0.05$)
Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different selenium concentrations ($P<0.05$)

图 4 外源硒对丝瓜幼苗叶绿素含量的影响

Fig.4 Effect of exogenous selenium on chlorophyll content of luffa seedlings

不同浓度外源硒均使丝瓜幼苗叶片叶绿素 b 含量显著增加,与对照相比其增长率在硒浓度为 2.0 $\mu\text{mol/L}$ 时达最大值 22.2%,当硒浓度为 5.0 $\mu\text{mol/L}$ 时增长率显著下降为 10.1%(图 4)。同时,1.0、1.5 和 2.0 $\mu\text{mol/L}$ 的外源硒对丝瓜幼苗叶片类胡萝卜素含量无显著影响,但 2.5 和 5.0 $\mu\text{mol/L}$ 的硒处理显著降低了丝瓜幼苗叶片类胡萝卜素含量。

2.5 不同浓度硒对丝瓜幼苗叶片光合特性的影响 由表 1 可知,随着硒浓度的增加,丝瓜幼苗净光合速率 P_n 先升高后降低,在硒浓度低于 2.0 $\mu\text{mol/L}$ 时与对照差异不显著,而硒浓度为 2.0 和 2.5 $\mu\text{mol/L}$ 时较对照分别显著升高 20.55% 和 12.33%,硒浓度为 5.0 $\mu\text{mol/L}$ 时较对照下降 12.33%;丝瓜幼苗叶片蒸腾速率 T_r 、气孔导度 G_s 和胞间 CO_2 浓度 C_i 的变化规律与 P_n 一致,硒浓度为 1.0 $\mu\text{mol/L}$ 时与对照相比无显著差异,随着硒浓度的增加均为先升高后降低,但其中 P_n 、 T_r 和 C_i 在硒浓度为 2.0 $\mu\text{mol/L}$ 时达最大值,而 G_s 在硒浓度为 2.5 $\mu\text{mol/L}$ 时达最大值,当硒浓度为 5.0 $\mu\text{mol/L}$ 时除 C_i 外其余光合特性指标均显著低于对照。

表 1 外源硒对丝瓜幼苗叶片光合参数的影响

Table 1 Effect of exogenous selenium on photosynthetic parameters of luffa seedling leaves

硒浓度 Selenium concentration $\mu\text{mol/L}$	净光合速率 P_n $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	蒸腾速率 T_r $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	气孔导度 G_s $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	胞间 CO_2 浓度 C_i $\mu\text{mol}/\text{mol}$
CK	7.3 b	2.2 b	141.2 c	322 d
1.0	7.1 b	2.3 b	149.4 c	336 d
1.5	7.4 b	2.5 a	162.3 b	362 c
2.0	8.8 a	3.0 a	165.4 b	405 a
2.5	8.2 a	2.8 a	173.2 a	387 b
5.0	6.4 c	1.7 c	125.4 d	316 d

注:同列不同小写字母表示不同硒浓度间差异显著 ($P<0.05$)
Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different selenium concentrations ($P<0.05$)

3 结论与讨论

微量元素硒在植物生长发育过程中具有非常重要的生理功能,硒能够增加植物创伤组织的再生能力,并具有延缓细胞衰老、抗氧化和提高抗逆性的功能;一定浓度的硒可以促进园艺植物的生长发育,并提高其产量和品质^[23]。硒在植物中的作用受硒类型、浓度、作用时间、作用方式和对植物作用部位等的影响,如低浓度亚硒酸钠可以提高园艺植物根的粗度、茎的长度与叶的厚度。在高强度光照胁迫下,硒能够延长生菜叶片的绿色保持时间^[24];另外,适量硒处理能促进园艺植物体中叶绿素的合成代谢,有利于园艺植物根、茎、叶的生长,提高叶片净光合速率,延缓叶片衰老,改善树体生长发育状况,最终提高园艺植物的产量和品质^[25]。但有关硒对丝瓜幼苗生长、叶绿素含量和光合特性的影响尚缺乏报道,故该研究采用培养皿中滤纸发芽培养丝瓜的方式,测定不同浓度的亚硒酸钠对丝瓜幼苗根长、芽长、茎粗、根体积、叶绿素含量和光合特性的影响,分析外源硒对丝瓜幼苗生长的影响。

该试验结果表明,低浓度硒处理对丝瓜幼苗生长具有一定的促进作用,与对照相比,1.0、1.5、2.0 和 2.5 $\mu\text{mol/L}$ 的外源硒显著增加了丝瓜幼苗的根长、茎粗、根体积及叶绿素 b 含量,其增长百分比在 2.0 或 2.5 $\mu\text{mol/L}$ 时达最大值,同时 2.0 和 2.5 $\mu\text{mol/L}$ 的硒显著促进了丝瓜芽长和整个植株的生长,1.5 和 2.0 $\mu\text{mol/L}$ 硒显著提高了叶绿素 a 含量,表明适当的硒有利于叶绿素的形成;但当硒浓度达 5.0 $\mu\text{mol/L}$ 时对丝瓜根长和植株的生长起到了抑制作用,并显著降低了叶绿素 a 和类胡萝卜素含量,对芽长、茎粗和根体积及叶绿素 b 含量的影响未达显著水平。净光合速率是反映植株叶片光合能力的重要生理指标^[26],在硒浓度为 1.0 $\mu\text{mol/L}$ 时, P_n 、 T_r 、 G_s 和 C_i 均和对照无显著差异,当硒浓度为 2.0~2.5 $\mu\text{mol/L}$ 时光合指标均显著高于对照且达最大值;而当硒浓度增加至 5.0 $\mu\text{mol/L}$ 时除 C_i 外其余指标均显著低于对照,表明此时硒引起的净光合速率的降低是非气孔因素所致,可能是光合机构受损。可见,1.0~2.5 $\mu\text{mol/L}$ 外源硒对丝瓜幼苗生长及叶绿素合成具有一定的促进作用,且随着硒浓度的增加促进作用增加,2.0~2.5 $\mu\text{mol/L}$ 的硒对丝瓜幼苗生长的促进效果

最佳;随着硒浓度的再增加,外源硒对丝瓜生长的促进作用消失,甚至变为毒害作用,表明高浓度硒对丝瓜幼苗生长具有一定的伤害。因此,2.0 或 2.5 $\mu\text{mol/L}$ 硒浓度可作为外源硒促进丝瓜生长及缓解丝瓜非生物胁迫的代表性研究浓度,外源硒对丝瓜幼苗其他生理生化指标的影响,有待进一步研究和探讨。

参考文献

[1] SCHWARZ K,FOLTZ C M.Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration[J].Journal of the American chemical society,1957,79(12):3292-3293.

[2] 吴求亮,杨玉爱,谢正苗,等.微量元素与生物健康[M].贵阳:贵州科技出版社,2000:12-25.

[3] COX D N,BASTIAANS K.Understanding Australian consumers' perceptions of selenium and motivations to consume selenium enriched foods[J].Food quality and preference,2007,18(1):66-76.

[4] TAPIERO H,TOWNSEND D M,TEW K D.The antioxidant role of selenium and seleno-compounds[J].Biomedicine and pharmacotherapy,2003,57(3/4):134-144.

[5] 朱善良.硒的生物学作用及其研究进展[J].生物学通报,2004,39(6):6-8.

[6] CHEN L C,YANG F M,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 and food chemistry,2002,50(18):5128-5130.

[7] GAILER J.Chronic toxicity of AsIII in mammals;The role of $(\text{GS})_2\text{AsSe}^-$ [J].Biochimie,2009,91(10):1268-1272.

[8] SUN H Y,DAI H X,WANG X Y,et al.Physiological and proteomic analysis of selenium-mediated tolerance to Cd stress in cucumber(*Cucumis sativus* L.)[J].Ecotoxicology and environmental safety,2016,133:114-126.

[9] 杨红丽,王子崇,张慎璞,等.西瓜喷施硒肥效应的研究[J].中国土壤与肥料,2008(1):37-39.

[10] 陈玉红,刘忠良.硒对水培黄瓜生长的影响[J].中国园艺文摘,2011,27

(3):13-14.

[11] 徐暄,孙其文.不同浓度硒对水果黄瓜种子萌发的影响研究[J].安徽农学通报,2014,20(20):22-24.

[12] 孙红艳,王杰文,王宇娜,等.硒对镉胁迫下黄瓜种子萌发及幼苗生长的影响[J].江苏农业科学,2016,44(12):175-177.

[13] 梁春红,康云艳,柴喜荣,等.硒营养对菜心(菜薹)植株生长、产量和品质的影响[J].广东农业科学,2014,41(7):33-37.

[14] 孟祥,阳显斌,李中权,等.硒对烟草种子萌发和幼苗生长的影响[J].安徽农业科学,2016,44(30):31-33.

[15] 冯魁,马艳明,田新年,等.亚硒酸钠浸种对春小麦种子萌发特性的研究[J].种子,2017,36(9):39-43.

[16] 何士敏,张燕,易涵.硒浸种对豌豆种子萌发的生理生化效应[J].种子,2012,31(2):42-47.

[17] 唐巧玉,吴永尧,周大寨,等.硒对大豆根系活力的影响[J].河南农业科学,2005,34(7):42-44.

[18] 邵志慧,林匡飞,徐小清,等.硒对小麦和水稻种子萌发的生态毒理效应的比较研究[J].生态学杂志,2005,24(12):1440-1443.

[19] 吉清妹,潘孝忠,符传良,等.亚硒酸钠对灵芝生长及富硒效应的影响[J].沈阳农业大学学报,2016,47(6):716-721.

[20] 康德贤,黎炎,卢发仕,等.有棱丝瓜新品种桂冠 5 号的选育[J].中国蔬菜,2021(1):89-91.

[21] 王素平. H_2O_2 对镉胁迫下黄瓜种子萌发及生长的影响[J].种子,2012,31(3):98-100.

[22] BELIGNI M V,LAMATTINA L.Nitric oxide counteracts cytotoxic processes mediated by reactive oxygen species in plant tissues[J].Planta,1999,208(3):337-344.

[23] 郭艳,张江萍,刘和.微量元素硒在园艺植物中的生理功能研究进展[J].中国农学通报,2013,29(1):76-79.

[24] XUE T L,HARTIKAINEN H,PIIRONEN V.Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce[J].Plant soil,2001,237(1):55-61.

[25] 王海波,王孝娣,姚秀业,等.氨基酸硒叶面肥在玫瑰香葡萄上的应用效果[J].中外葡萄与葡萄酒,2011(5):47-49.

[26] 郭银生.光环境调控对水稻幼苗和黑豆芽苗菜生长发育的影响[D].南京:南京农业大学,2011.

(上接第 30 页)

[3] 周宝元,马玮,孙雪芳,等.播/收期对冬小麦-夏玉米一年两熟模式周年气候资源分配与利用特征的影响[J].中国农业科学,2019,52(9):1501-1517.

[4] 徐晖,崔怀洋,张伟,等.播期、密度和施氮量对稻茬小麦光明麦 1 号氮肥表观利用率的调控[J].作物学报,2016,42(1):123-130.

[5] 苏在兴,王波,黄忠勤,等.播期·密度和追施缓释肥对徐麦 368 产量及群体结构的影响[J].安徽农业科学,2022,50(15):29-33,54.

[6] 王兰,王良,刘肖瑜,等.不同年型下冬小麦适宜播期及密度研究[J].山东农业科学,2019,51(3):29-35.

[7] 王燕,祁虹,张谦,等.粮棉轮作模式下播期播量对棉茬小麦生长发育和产量的影响[J].麦类作物学报,2018,38(12):1473-1480.

[8] 史晓芳,仇松英,史忠良,等.播期和播量对冬小麦尧麦 16 群体性状和产量的影响[J].麦类作物学报,2017,37(3):357-365.

[9] 刘莹,唐清,王立峰,等.播期和密度对襄麦 D31 籽粒产量及品质的影响[J].麦类作物学报,2017,37(3):376-381.

[10] 汪娟梅,张睿,田永平,等.播期播量对小麦中麦 895 产量和品质的影响[J].麦类作物学报,2020,40(11):1375-1381.

[11] 刘爱峰,曹新有,王灿国,等.优质强筋小麦济麦 44 面包相关品质的配粉效应研究[J].山东农业科学,2019,51(10):45-49.

(上接第 33 页)

[5] 吴耕民.中国温带落叶果树栽培学[M].杭州:浙江科学技术出版社,1993.

[6] 魏闻东.鲜食梨[M].郑州:河南科学技术出版社,2005.

[7] 张绍铃,张振铭,乔勇进,等.不同时期套袋对幸水梨果实品质、石细胞发育及其相关酶活性变化的影响[J].西北植物学报,2006,26(7):1369-1377.

[8] 李先明,秦仲麒,涂俊凡,等.不同类型纸袋套袋处理对梨果实品质的影响[J].浙江农业学报,2012,24(6):998-1003.

[9] 张喜焕,陈敬谊,辛贺明,等.梨果实外观品质研究进展[M]//郝荣庭,董启凤.梨科研与生产进展.北京:中国农业出版社,1998:131-134.

[10] 马克元,程福厚,傅玉翔,等.鸭梨果实果点和锈斑的发育[J].园艺学报,1995,22(3):295-296.

[11] 黄春辉,柴明良,潘芝梅,等.套袋对翠冠梨果皮特征及品质的影响[J].果树学报,2007,24(6):747-751.

[12] 李先明,伊华林,秦仲麒,等.不同时期套袋对鄂梨 2 号果实品质的影响[J].果树学报,2008,25(6):924-927.

[13] 李先明,朱红艳,李梦歌,等.湖北地区砂梨有害生物发生及防治现状[J].果树学报,2018,35(S1):46-54.