

张雪洁,周 梦,赵世宇,等. 纳米硒对草莓叶片光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(16):167-173.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.16.025

纳米硒对草莓叶片光合特性及叶绿素荧光参数的影响

张雪洁¹,周 梦²,赵世宇¹,仝璐遥¹,杨天佑¹,张 浩¹,单长卷¹

(1. 河南科技学院,河南新乡 453003; 2. 长江大学,湖北荆州 434023)

摘要:采用盆栽试验及叶面喷施纳米硒(Se^0NPs)溶液的方法,研究不同浓度 Se^0NPs 对草莓 3 个生育时期(大果期、转色期、成熟期)叶片光合生理参数、叶绿素荧光参数、叶绿素 SPAD 值及成熟期草莓植株总生物量、果实糖度和单果质量的影响。结果表明, Se^0NPs 能够显著提升各时期草莓植株叶片 SPAD 值、蒸腾速率(T_r)、水分利用效率(WUE)、快速光曲线初始斜率(α)以及最大电子传递速率(ETR_{max}),同时显著降低各时期叶片非光化学淬灭系数(NPQ),且均以 20 mg/L 处理变化最为显著。同时, Se^0NPs 能够一定程度上提升各时期叶片净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、PS II 实际光化学效率[$Y(\text{II})$]、PS II 最大光化学量子产额(F_v/F_m)、PS II 有效光化学量子产额(F_v'/F_m')以及光化学淬灭系数(q_p),且亦均以 20 mg/L 处理提升最为显著。此外, Se^0NPs 处理下叶片的 CO_2 气孔导度(G_s)在大果期显著提升,在转色期显著下降,而在成熟期仅 10、20 mg/L Se^0NPs 溶液处理下显著上升,且均以 20 mg/L 处理变化最为显著。另外,各浓度 Se^0NPs 处理下大果期叶片表观电子传递速率(ETR)显著下降,以 40 mg/L 处理最为显著,而在转色期、成熟期,该值则显著上升,且均以 20 mg/L 处理最为显著。各浓度 Se^0NPs 处理下大果期、成熟期叶片气孔限制值(L_s)显著下降,转色期则显著上升,且均以 20 mg/L 处理变化最为显著。另外, Se^0NPs 处理还显著提升各生育时期植株总生物量、果实糖度和单果质量,且均以 20 mg/L 处理提升最为显著。研究结果表明,20 mg/L Se^0NPs 能够最大程度上提升各生育时期草莓叶片光合能力,进而提升植株干物质积累、果实糖度和单果质量,该浓度可以应用于草莓生产中。

关键词:纳米硒;草莓;光合特性;叶绿素荧光;SPAD

中图分类号: S668.401 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)16-0167-07

草莓是广受欢迎的小浆果之一,其果实营养丰富,口味甜美,具有较高的经济价值和广阔的商业前景^[1]。提升草莓果实品质及产量以达到经济效益最大化,已成为近年来国内外研究的重点。光合作用是植物体内最重要的生理活动,植物体内绝大多数碳源均来源于光合作用。同时,大量研究表明,植物叶片光合作用的强弱程度,对植物果实的产量及品质起到至关重要的作用^[2]。因此,提升植物叶片光合能力,对提高果实产量及改善品质具有重要意义。

硒元素对植物生长发育,特别是在叶片光合作用方面,同样可以起到促进作用。冯涛等研究表

明,通过根施硒肥,梨树叶片净光合速率、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率以及气孔导度均得到显著提升,同时,果实中可溶性糖、维生素 C 等含量也随之提升^[3]。钟松臻等研究表明,适宜浓度的亚硒酸钠(Na_2SeO_3)显著提升了水稻叶片中光合色素含量及净光合速率^[4]。郭美俊等通过对谷子叶片喷施 Na_2SeO_3 发现,其叶片叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、PS II 实际光化学效率以及表观电子传递速率等指标均得到显著提升,最终提升了谷子产量^[5]。笔者前期研究也表明,对草莓植株进行氨基酸硒处理,草莓叶片光合色素含量、净光合速率等指标均显著上升,进而提高草莓果实产量和改善品质^[6]。近年来,红色零价态纳米硒(Se^0NPs)的出现,在食品及医疗领域备受关注,由于纳米硒活性高、无毒害、易吸收等优势,现已成为生物强化富硒的最佳选择^[7]。目前,有关于硒元素调控植物叶片光合特性的研究已有相关报道,但有关于新型纳米硒与草莓植株叶片光合生理特性的研究尚属空白。因此,探究 Se^0NPs 对草莓叶片光合特性的影响,对

收稿日期:2021-10-05

基金项目:河南省科技攻关项目(编号:212102110131、212102110017、192102210193)。

作者简介:张雪洁(1995—),女,山东莒县人,硕士研究生,主要从事作物生理调控研究。E-mail:344749201@qq.com。

通信作者:单长卷,博士,副教授,硕士生导师,主要从事作物生理与品质调控研究。E-mail:shchjuan1978@aliyun.com。

其应用于农业生产具有指导意义。

本研究 2021 年 3—5 月采用盆栽试验,以不同浓度纳米硒(Se^0NPs)溶液对草莓植株进行叶面喷施处理,测定果实生长发育 3 个时期(大果期、转色期、成熟期)叶片光合生理参数、叶绿素荧光参数及叶绿素含量相对值(SPAD 值),同时测定果实糖度、单果质量和植株总生物量,最终筛选合适的浓度,以期对 Se^0NPs 提升草莓光合能力和在农业生产中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验所用材料为我国主栽品种章姬草莓幼苗,将幼苗定植于塑料盆内,塑料盆规格为 $14\text{ cm} \times 15\text{ cm}$,容积约为 2 L,每盆装培养土 2 kg。试验所用纳米硒购买自上海四通纳米技术港有限公司,纳米硒粒子颗粒直径在 20 ~ 60 nm 之间。

1.2 试验设计

幼苗定植后,每盆浇水 400 mL,置于室内进行缓苗处理。3 d 后,选取长势良好的幼苗置于人工气候箱中进行培养。培养期间,利用称质量法控制持水量在 70% ~ 75% 之间。本研究共设置 4 个处理,即 T1(10 mg/L)、T2(20 mg/L)、T3(40 mg/L) 3 个浓度梯度 Se^0NPs 溶液处理以及对照组(CK),其中对照组仅采用等量清水进行处理。待草莓现蕾期开始,每 8 d 喷施 1 次,以叶面喷施的形式对草莓植株叶片进行 Se^0NPs 处理,共喷施 3 次,每次每盆喷施溶液 10 mL。每个处理 15 个重复,共计 60 盆。

1.3 测定项目与方法

分别在大果期(花后 18 d)、转色期(花后 23 d)、成熟期(花后 28 d),选取叶片大小、叶龄相近,无损伤、病虫害且完全展开的叶片进行测定。

1.3.1 SPAD 值 SPAD 值以 SPAD-502 叶绿素含量测定仪进行测定。

1.3.2 光合生理参数 采用 Li-6800 便携式光合仪进行测定,时间选在天气晴朗的 08:00—12:00。测定指标包括净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、 CO_2 总导度(G_{tc})、气孔限制值(L_s)以及水分利用效率(WUE)。

1.3.3 叶绿素荧光参数 采用 PAM-2500 便携式调制荧光仪进行测定,所测定指标包括 PS II 实际光化学效率 [$Y(II)$]、PS II 最大光化学量子产额(F_v/F_m)、PS II 有效光化学量子产额(F_v'/F_m')、表

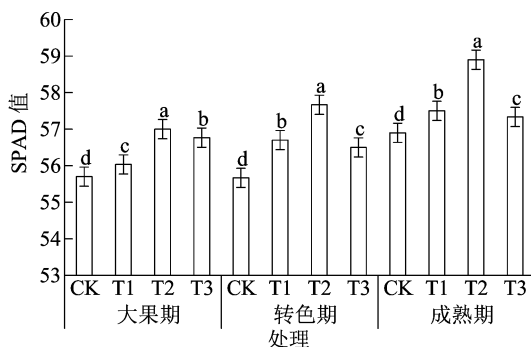
观电子传递速率(ETR)、非光化学淬灭系数(NPQ)、光化学淬灭系数(q_p)、快速光曲线初始斜率(alpha)以及最大电子传递速率(ETR_{\max})。

1.3.4 果实糖度、单果质量、总生物量 果实糖度采用手持折光仪进行测定,单果质量采用电子天平进行测定,植株总生物量以烘干法进行测定。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 Se^0NPs 溶液对不同生育时期草莓叶片相对叶绿素含量的影响

如图 1 所示,不同浓度 Se^0NPs 对不同时期草莓叶片 SPAD 值的影响呈现相似的变化趋势。在大果期,T1、T2、T3 处理使 SPAD 值分别较对照组提升 0.6%、2.3%、1.9%;在转色期,T1、T2、T3 处理使 SPAD 值分别较对照组提升 1.8%、3.6%、1.4%;在成熟期,T1、T2、T3 处理使 SPAD 值分别较对照组提升 1.1%、3.5%、0.8%。各时期 SPAD 值均随 Se^0NPs 浓度的升高呈现先升后降的变化趋势,均以 T2 处理提升最为显著。表明 Se^0NPs 显著提升叶片的 SPAD 值。



不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

图 2 至图 4 同

图 1 不同浓度 Se^0NPs 溶液对草莓叶片 SPAD 值的影响

2.2 不同浓度 Se^0NPs 溶液对不同生育时期草莓叶片光合生理参数的影响

如图 2-A 所示,在大果期,不同浓度 Se^0NPs 处理下叶片 T_r 均较对照组显著提升,T1、T2、T3 处理分别提升 19.2%、30.0%、23.5%,其中以 T2 处理提升最为显著;在转色期,不同浓度处理下叶片 T_r 亦显著高于对照,T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 7.7%、15.4%、3.6%,其中以 T2 处理提升最为显著,T1 和 T3 处理间差异并不明显;在成熟期,T1、T2 处理均显著高于对照组 22.5%、39.9%,而 T3 处理则显著低于对照组 16.9%。表明 Se^0NPs 显著提升大果期、转色期草莓叶片 T_r ,但在转色期这种提升

趋势则会相对放缓,而在成熟期 T1、T2 处理下 T_r 则显著提升,而 T3 处理却显著下降。

如图 2-B 所示,在大果期,各浓度 Se^0NPs 处理下叶片 P_n 均较对照组显著提升,T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 23.0%、38.8%、26.1%,其中以 T2 处理提升最为显著;在转色期,各浓度处理叶片 P_n 亦均显著高于对照,T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 26.3%、43.5%、6.2%,其中以 T2 处理提升最为显著;而在成熟期,仅 T1、T2 处理显著高于对照组 29.4%、61.7%,而 T3 处理则显著低于对照 10.8%。表明 Se^0NPs 在大果期、转色期显著提升 P_n ,而在成熟期仅提升 T1、T2 处理的 P_n ,并显著降低 T3 处理的 P_n 。

如图 2-C 所示,在大果期,各浓度 Se^0NPs 处理下叶片 C_i 均较对照组显著提升,T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 3.3%、7.0%、5.5%,其中以 T2 处理提升最为显著;而在转色期,各浓度处理 C_i 则较对照组显著下降,T1、T2、T3 处理分别较对照组下降 13.7%、16.9%、10.1%,其中以 T2 处理下降最为显著;在成熟期,各浓度处理下 C_i 变化不一,T1、T2 处理分别显著高于对照组 5.6%、10.6%,T3 处理则显著低于对照 14.1%。表明 Se^0NPs 显著提升大果期草莓叶片 C_i ,以 T2 处理最为显著,同时显著降低转色期的 C_i ,以 T2 处理下降最为显著,而在成熟期,T1、T2 处理下 C_i 显著提升,而 T3 处理下该值则显著降低。

如图 2-D 所示,在大果期,各浓度 Se^0NPs 处理下叶片 Gtc 均得到显著上升,T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 33.9%、65.6%、48.9%,其中以 T2 处理上升最为显著;在转色期,不同浓度处理下该值则会显著低于对照组,T1、T2、T3 处理分别较对照组降低 17.6%、28.1%、17.9%,其中亦以 T2 处理下降最为显著;而在成熟期,各浓度处理下该值亦均显著高于对照组,T1、T2、T3 处理 Gtc 较对照组分别显著提升 36.7%、53.0%、17.9%。表明 Se^0NPs 能够显著提升草莓大果期和成熟期 Gtc 值,且均以 T2 处理提升最为显著; Se^0NPs 显著降低转色期的 Gtc 值。

如图 2-E 所示,在大果期,各浓度 Se^0NPs 处理下叶片 L_s 均出现显著降低,T1、T2、T3 处理分别较对照组降低 11.9%、24.4%、17.8%,其中以 T2 处理下降最为显著;在转色期,各浓度处理下叶片 L_s 值则出现显著上升的趋势,T1、T2、T3 处理分别较对

照组提升 49.3%、68.8%、32.8%,其中以 T2 处理上升最为显著;在成熟期,各浓度处理下的 L_s 亦呈显著下降趋势,T1、T2、T3 处理分别较对照组显著降低 18.1%、23.1%、5.1%,其中以 T2 处理下降最为显著。表明 Se^0NPs 显著降低大果期和成熟期草莓叶片 L_s 值,均以 T2 处理最为显著;显著提升转色期的 L_s 值,且亦以 T2 处理最为显著。

如图 2-F 所示,不同浓度 Se^0NPs 对草莓叶片 WUE 产生较为相似的影响,各时期均呈单峰变化趋势,即在 T2 处理达到峰值,随之开始下降。在大果期,T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 3.2%、6.3%、1.9%;在转色期,T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 17.3%、20.8%、1.9%;在成熟期,T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 5.7%、14.7%、6.3%。表明 Se^0NPs 能够显著提升植株水分利用效率。

2.3 不同浓度 Se^0NPs 溶液对不同生育时期草莓叶片叶绿素荧光参数的影响

如图 3-A 所示,在大果期,各浓度 Se^0NPs 处理下 Y(II) 均得到显著提升,T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 23.4%、30.3%、26.1%,其中以 T2 处理提升最为显著;在转色期,不同浓度处理下 Y(II) 变化不一,T1、T2 处理分别高于对照 3.0%、7.1%,其中 T2 处理显著高于对照组,T1 处理则仅略高于对照,而 T3 处理却显著低于对照组 8.6%;在成熟期,不同浓度处理下 Y(II) 值均较对照组有所提升,T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 4.6%、17.1%、2.3%,其中 T2 处理显著高于对照组,T1、T3 处理则仅略高于对照组。表明 Se^0NPs 提升了大果期、成熟期的 Y(II) 值,且均以 T2 处理提升最为显著,而在转色期,T1、T2 处理下该值会提升,以 T2 处理上升最为显著,T3 处理该值则会显著降低。

如图 3-B 所示,在大果期,各浓度 Se^0NPs 均显著提升了 F_v/F_m ,T1、T2、T3 处理下该值分别较对照组提升 0.1%、1.0%、0.7%,其中以 T2 处理提升最为显著;在转色期,不同浓度处理下 F_v/F_m 变化不一,T1、T2 处理分别较对照组提升 0.3%、0.8%,而 T3 处理则显著低于对照组 0.7%;在成熟期,各处理变化趋势与转色期相似,T1、T2 处理显著高于对照组 0.9%、0.5%,而 T3 处理则略低于对照组。表明 Se^0NPs 能够提升大果期的 F_v/F_m ,而在转色期、成熟期,T1、T2 处理下该值显著上升,T3 处理则下降。

如图 3-C 所示,在大果期,各浓度 Se^0NPs 处理下叶片 F_v'/F_m' 均得到显著提升,T1、T2、T3 处理分

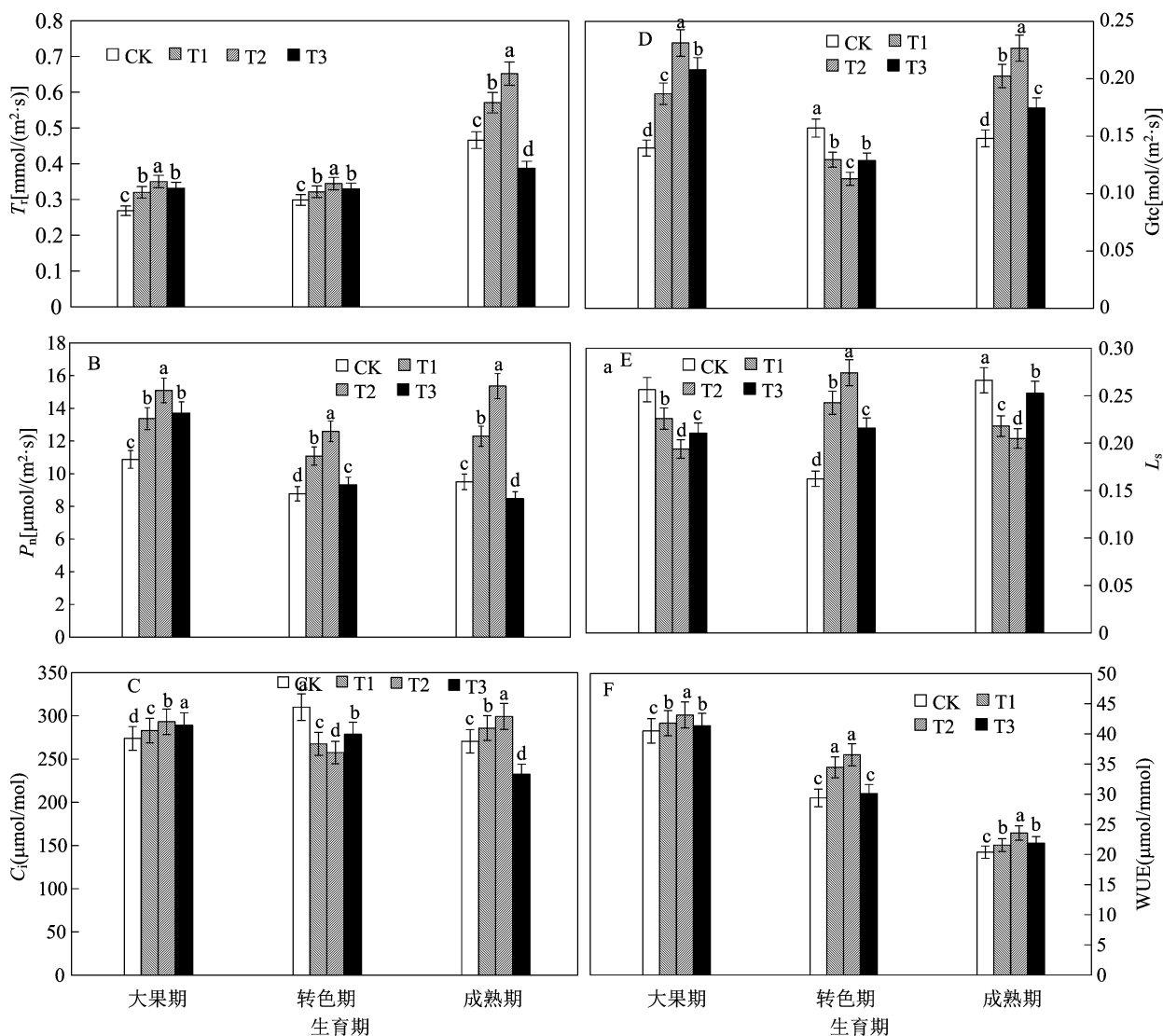


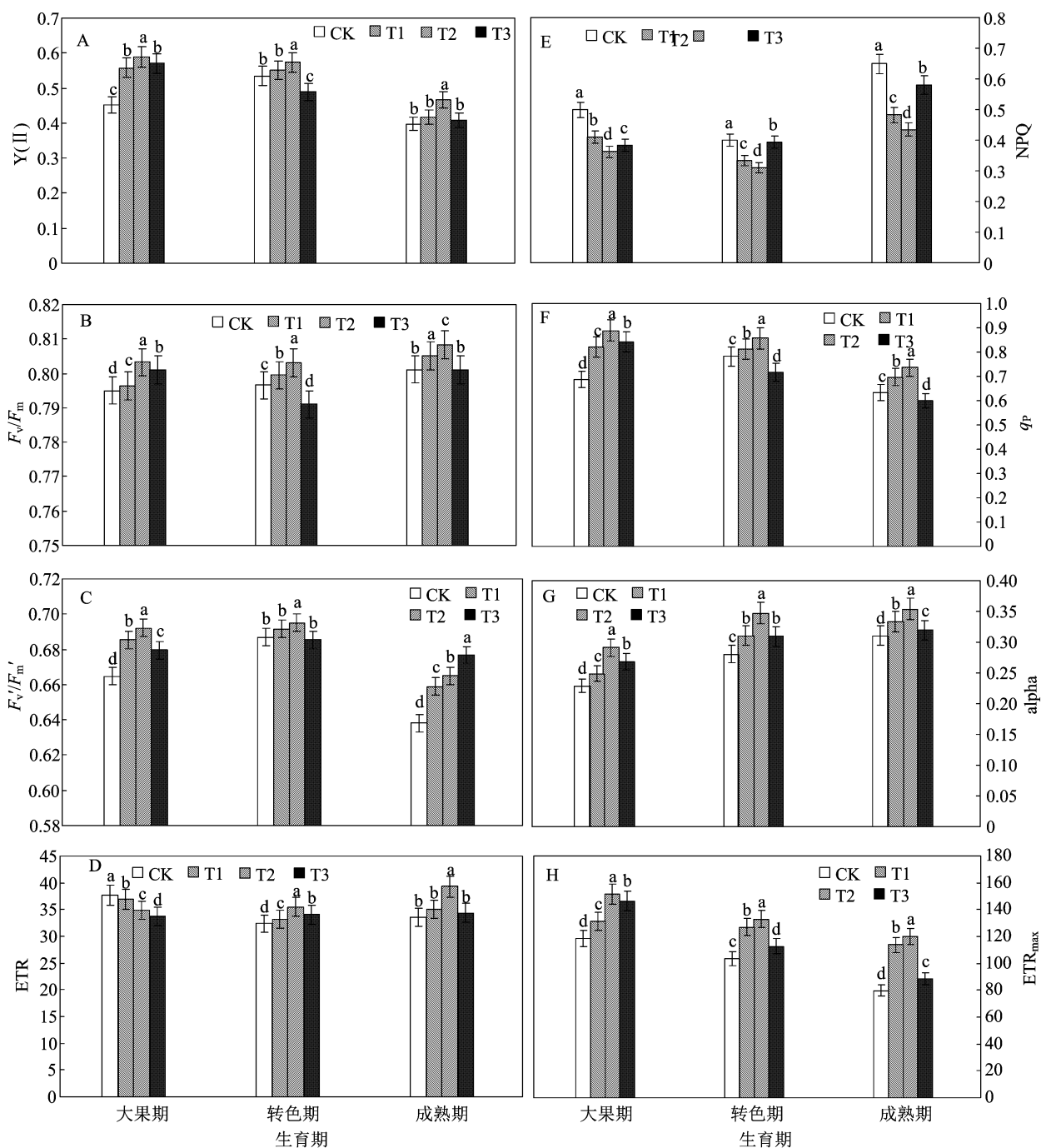
图2 不同浓度 Se^0NPs 溶液对不同生育时期草莓叶片光合生理参数的影响

别较对照组显著提升 2.1%、2.7%、1.5%，其中以 T2 处理提升最为显著；在转色期，仅 T1、T2 处理下该值高于对照组 6.7%、11.8%，其中以 T2 处理提升最为显著，而 T3 处理则略低于对照组 0.2%；在成熟期，各浓度处理下该值则呈现随硒浓度上升而逐渐上升的趋势，T1、T2、T3 处理分别显著高于对照组 3.3%、4.2%、6.1%，其中以 T3 处理提升最为显著。表明 Se^0NPs 提升了大果期、成熟期的 F_v'/F_m' 值，且这 2 个时期分别以 T2、T3 处理提升最为显著，而在转色期，仅 T1、T2 处理下该值得到提升，以 T2 处理最为显著，T3 处理下该值则会出现小幅度下降。

如图 3-D 所示，在草莓大果期，各浓度 Se^0NPs 溶液处理下叶片 ETR 值会出现随硒浓度提升不断下降的变化趋势，T1、T2、T3 处理分别较对照组显著

降低 1.7%、7.2%、10.2%，其中以 T3 处理下降最为显著；在草莓转色期，不同浓度处理下该值则会较对照组显著提升，T1、T2、T3 处理分别提升 2.4%、9.6%、5.1%，其中以 T2 处理提升最为显著；在草莓成熟期，不同浓度处理下该值亦较对照组有所提升，T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 4.4%、17.1%、2.3%，其中 T2 处理显著高于对照组，其他处理仅略高于对照组。表明 Se^0NPs 溶液处理会显著降低大果期草莓叶片 ETR 值，以 T3 处理最为显著，同时提升转色期、成熟期叶片 ETR 值，且该 2 个时期均以 T2 处理提升最为显著。

如图 3-E 所示，在草莓大果期，各浓度 Se^0NPs 溶液处理下叶片 NPQ 值均较对照组显著降低，T1、T2、T3 处理分别降低 17.8%、27.3%、23.4%，其中以 T2 处理下降最为显著；在草莓转色期，不同处理

图3 不同浓度 Se^0NPs 溶液对不同生育时期草莓叶片叶绿素荧光参数的影响

叶片该值亦显著低于对照, T1、T2、T3 处理分别较对照组降低 16.4%、22.4%、1.2%, 亦以 T2 处理下降最为显著; 在草莓成熟期, T1、T2、T3 处理叶片该值分别低于对照组 10.7%、33.2%、25.7%, 其中以 T2 处理下降最为显著。表明 Se^0NPs 溶液处理会显著降低各时期草莓叶片 ETR 值, 且各时期均以 T2 处理下降最为显著。

如图 3-F 所示, 在大果期, 各浓度 Se^0NPs 处理

下 q_p 值均显著高于对照组, T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 19.5%、29.3%、22.7%, 其中以 T2 处理提升最为显著; 在转色期, T1、T2 处理 q_p 值均显著高于对照, 分别较对照组提升 4.0%、9.7%, 以 T2 处理提升最为显著, 而 T3 处理则较对照组显著降低 8.3%; 在成熟期, 不同浓度处理下该值变化趋势与转色期相似, 即 T1、T2 处理较对照组显著提升 10.1%、16.2%, 而 T3 处理则显著低于对照组

5.4%。表明 Se^0NPs 能够提升大果期 q_p 值,同时 T1、T2 处理会提升转色期、成熟期的 q_p ,而 T3 处理 q_p 值在这 2 个时期则显著下降,且均以 T2 处理提升最为显著。

如图 3-G 所示,草莓各时期各浓度 Se^0NPs 处理下叶片 α 值均较对照组有显著提升。在大果期, T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 8.7%、27.1%、17.0%;在转色期, T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 10.6%、23.6%、10.2%;在成熟期, T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 7.1%、13.8%、28.9%,且各时期均以 T2 处理提升最为显著。表明 Se^0NPs 能显著提升各时期草莓叶片 α 值。

如图 3-H 所示,草莓各时期各浓度 Se^0NPs 处理下叶片 ETR_{\max} 值亦均较对照组有显著提升。在大果期, T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 10.8%、28.1%、23.8%;在转色期, T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 22.7%、28.7%、8.9%;在成熟期, T1、T2、T3 处理分别较对照组提升 42.8%、50.6%、10.9%,且各时期均以 T2 处理提升最为显著。表明 Se^0NPs 能够提升各时期草莓叶片 ETR_{\max} 值。

2.4 不同浓度 Se^0NPs 溶液对不同生育时期草莓果实单果质量、糖度及植株总生物量的影响

相比对照组, Se^0NPs 显著提升各时期果实单果质量,且各个时期均以 T2 处理提升最为显著, T3 处理次之, T1 处理提升幅度最小(图 4-A)。此外, Se^0NPs 处理下,各时期糖度及植株总生物量均呈现与单果质量相似的变化趋势,即先升高后降低,且均以 T2 处理效果最佳(图 4-B、图 4-C)。表明 Se^0NPs 能够显著提升不同生育时期草莓果实单果质量、糖度及植株总生物量。

3 讨论与结论

光合作用是植物有机物质形成的基础,与植物果实品质和产量的形成存在密切关系。因此,研究纳米硒溶液对草莓叶片光合特性的影响,对进一步探究其促进草莓果实品质及产量提升的成因具有重要意义。目前,有关于纳米态硒对植物光合特性影响的研究较少,关于纳米硒调控草莓叶片光合特性的研究尚未见报道。本研究结果表明,叶面喷施 Se^0NPs 溶液处理能够对不同生育时期草莓叶片不同光合指标起到积极作用,从而提升草莓光合效率,进而促进植株干物质、果实糖度的积累以及单果质量的提升。

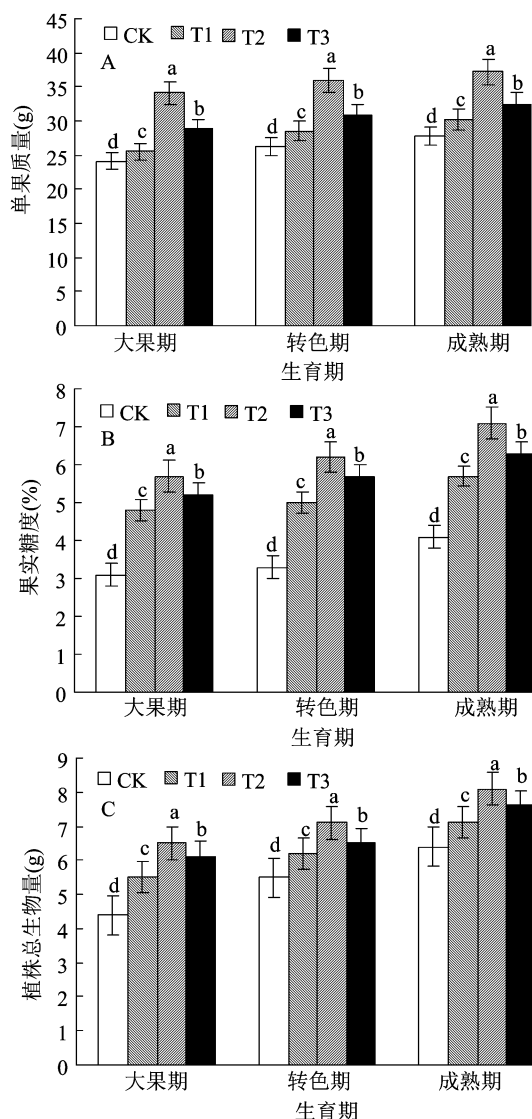


图4 不同浓度 Se^0NPs 溶液对不同生育时期草莓果实单果质量、糖度及植株总生物量的影响

史丽娟等研究表明,亚硒酸钠能够提升各时期谷子叶片 SPAD 值^[8],这与本研究结果基本一致。然而,赵双玲等在水稻上的研究却出现了相反的结果^[9],这可能是由于硒的形态以及供试材料差异导致的。迄今有关于硒对草莓叶片 SPAD 影响的研究仍鲜有见报道,本研究结果表明, Se^0NPs 能够对不同生育时期草莓叶片的 SPAD 值起到显著的提升作用,说明 Se^0NPs 能够提升草莓叶片相对叶绿素含量,同时意味着 Se^0NPs 对植物氮素的吸收起到了一定促进作用。有研究曾经发现,有机态硒 (SeMet) 能够显著提升不同生育时期草莓叶片中各种光合色素的含量,这也进一步证实了硒对草莓叶片光合色素含量提升的有效性^[6]。造成这种现象的原因可能是由于硒的抗氧化作用延缓了叶绿体的衰老,

同时亦有研究表明,硒能够促进植物对多个有益于叶绿素合成的微量元素的吸收^[10-11]。在这些生理作用下,草莓 SPAD 值得以提升,这也为草莓叶片光合效率的提升提供了基础。

郭美俊等研究表明,硒能够提升各时期谷子叶片 Y(Ⅱ)、ETR、和 q_p 的值^[5];高尚等的研究中也曾经发现,有机态硒能够显著提升不同生育时期草莓叶片 Y(Ⅱ)、 F_v'/F_m' 、 F_v/F_m 、ETR 以及 q_p 的值,同时显著降低叶片 NPQ 值^[6]。本研究结果表明,除高浓度 Se^0 NPs 处理外,适量浓度 Se^0 NPs 处理能够提升不同生育时期草莓叶片 Y(Ⅱ)、 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 以及 q_p 值,同时显著降低不同生育时期叶片 NPQ 的值,这与先前的研究结果基本一致。此外,本研究还发现, Se^0 NPs 处理下转色期、成熟期的草莓叶片 ETR 均有所提升,这与前人研究结果一致,但大果期叶片 ETR 值却呈现随硒浓度提升逐渐下降的变化趋势,有关这种现象的原因还有待进一步研究阐明。另外,本研究还发现, Se^0 NPs 处理能够提升各时期叶片 α 和 ETR_{max} 的值,该 2 个指标分别反映了叶片光能利用效率和最大电子传递速率,该 2 个指标的提升进一步证实了硒对叶片光能利用及电子传递能力的提升作用。上述现象说明 Se^0 NPs 不仅提升了草莓叶片中光能及电子传递的能力及效率,同时还减少了能量损耗,从而达到提升叶片光合效率的目的。闫帅等研究表明,硒能够改善植物叶片组织结构,进而提升其光合能力,硒还会提升叶片光合色素的含量,保护光合系统不受伤害^[12]。这些都是本研究中叶片光合荧光参数指标得到提升的原因。

蔡天革等研究表明,通过喷施适量的硒显著提升了荞麦叶片 P_n 以及 T_r ^[13]。本研究结果表明,经过 Se^0 NPs 处理后草莓叶片的 P_n 及 T_r 总体上呈现上升趋势,这与前人研究结果基本一致,但在草莓成熟期,40 mg/L 浓度 Se^0 NP 处理草莓果实叶片的上述 2 个指标则出现了显著下降,这可能是由于过量的硒对草莓叶片造成了毒害,导致其光合系统受到损害,进而导致光合能力的下降。此外,本研究结果发现,除高浓度处理外,草莓大果期、成熟期,硒对叶片光合能力的提升主要是依靠调控气孔因素所导致的,而在转色期则是由于非气孔因素导致

的,类似的现象在我们之前的研究中也发现^[6]。造成这种现象的原因,很可能是由于草莓叶片在不同生育时期固有的生理活动差异导致的。武林楠等研究表明,硒能够提升葡萄水分利用率,本研究表明 Se^0 NPs 显著提升不同生育时期草莓植株水分利用率,这与相关研究结果^[14] 基本一致,造成这种现象的原因可能是因为 Se^0 NPs 对气孔开放程度的提升,增加了 CO_2 通量,同时提升了叶片光合能力,最终导致更多干物质的合成。

参考文献:

- [1] 韩永超,曾祥国,向发云,等. 草莓属植物种质资源对炭疽病抗性的离体评价[J]. 中国农业科学,2019,52(20):3585-3594.
- [2] 杨 湘,苏学德,李鹏程,等. 不同土壤水势对克瑞森葡萄光合生理及果实品质的影响[J]. 西南农业学报,2020,33(7):1429-1434.
- [3] 冯 涛,周国华,卢立波. 施硒肥对梨树生理、光合作用和果实品质的影响[J]. 北方园艺,2020(11):37-41.
- [4] 钟松臻,张宝军,张 木,等. 硒对水稻光合作用及抗氧化作用的影响[J]. 中国土壤与肥料,2017(4):134-139.
- [5] 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.
- [6] 高 尚,蔡莉萍,单长卷. 硒代蛋氨酸对草莓光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J]. 灌溉排水学报,2020,39(12):16-23.
- [7] 宋萧萧,冷小京. 纳米硒的研究进展及其在食药领域的应用[J]. 食品安全质量检测学报,2021,12(1):210-216.
- [8] 史丽娟,白文斌,曹昌林,等. 亚硒酸钠对高粱光合作用、产量及籽粒硒含量的影响[J]. 山西农业科学,2020,48(11):1801-1804,1838.
- [9] 赵双玲,银永安,黄 东,等. 富硒肥对膜下滴灌水稻农艺性状、产量及品质的影响[J]. 中国稻米,2021,27(2):93-94,97.
- [10] 李 颖,杨小环,鲁一薇,等. 外源硒对镉胁迫下紫苏幼苗生长发育毒害的缓解效应[J]. 山西农业科学,2021,49(4):408-413.
- [11] 金小琬,朱 茜,黄 进,等. 硒对叶绿体及光合作用的影响[J]. 分子植物育种,2019,17(1):288-294.
- [12] 闫 帅,李晓光,徐 锴,等. 硒叶面肥对‘南果梨’幼树叶片光合、叶绿素荧光参数及组织结构的影响[J]. 中国果树,2018(4):23-26,30.
- [13] 蔡天革,范宪荣,邵冉冉,等. 氮硒配施对荞麦光合特性、产量和硒质量分数的影响[J]. 沈阳大学学报(自然科学版),2020,32(6):456-463.
- [14] 武林楠,郝玉杰,冯建荣,等. 硒对盐胁迫下葡萄光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 新疆农业科学,2016,53(7):1217-1222.