

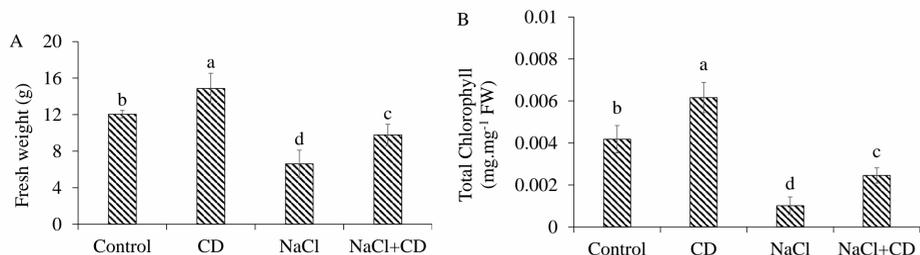
# افزایش تحمل شوری گیاه گوجه با کاربرد برگی کربن دات‌های سنتز شده به روش هیدروترمال

شراهه ریسمانی<sup>۱</sup>، منصور شریعتی<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup> گروه علوم گیاهی و جانوری، دانشکده علوم و فناوری‌های زیستی، دانشگاه اصفهان، اصفهان

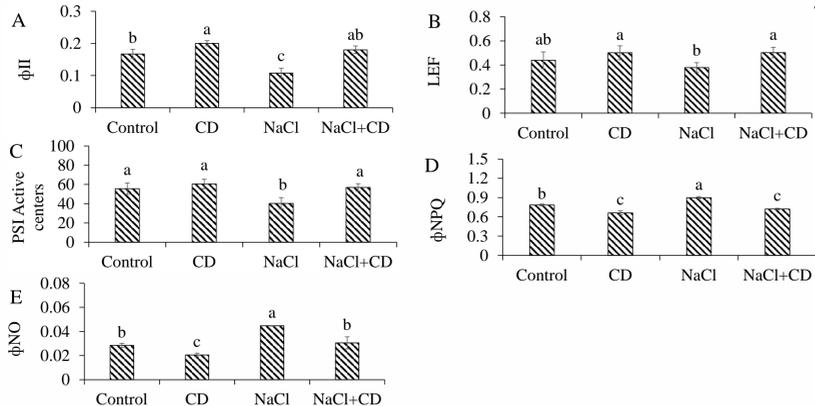
## نتایج و بحث

تنش شوری وزن تر و محتوای کلروفیل گیاه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. در شرایط تنش شوری، احتمالاً بیوسنتز کلروفیل به دلیل تخریب تیلاکوئید و غشاهای و افزایش تجزیه کلروفیل ناشی از فعالیت بیشتر کلروفیلز محدود می‌شود و متعاقباً کاهش فتوسنتز و رشد را به همراه دارد. تیمار CD تنها و همزمان با شوری، به ترتیب، وزن تر و مقدار کلروفیل کل گیاه را نسبت به تیمار شوری تنها افزایش داد. بهبود رشد و تحمل شوری القا شده به وسیله CD در گیاهان تیمار شده با NaCl احتمالاً ناشی از بهبود بیوسنتز کلروفیل است. CD ها می‌توانند به‌طور قابل توجهی ژن‌های کدکننده آنزیم کلروفیل سنتز را القا و سنتز کلروفیل، فتوسنتز و رشد را افزایش دهد.



شکل ۲- تأثیر تیمارهای مختلف شامل کربن دات (۳۰ میلی‌گرم بر لیتر)، تنش شوری (سدیم کلرید ۱۰۰ میلی‌مولار) و تیمار هم‌زمان کربن دات و شوری بر وزن تر و کلروفیل کل در گیاه گوجه‌فرنگی.

با توجه به شکل ۲، مقدار شاخص بازده کوانتومی فتوسیستم ۲ (شکل ۲-۱)، شاخص جریان خطی الکترون (شکل ۲-۲)، مراکز فعال واکنش در فتوسیستم ۱ (شکل ۲-۳) در گیاهان تحت تنش شوری کاهش یافت؛ که نشان‌دهنده کاهش توانایی کلروفیل‌های آنتنی فتوسیستم ۲ در انتقال کامل انرژی جذب‌شده به مراکز واکنش و اختلال در انتقال الکترون و کاهش پذیرنده‌های الکترونی فعال است؛ برعکس، افزایش شاخص‌های مذکور در گیاهان تیمار شده با CD تنها نسبت به شاهد و همچنین بهبود این شاخص‌ها با کاربرد تیمار CD در گیاهان تحت تنش شوری ملاحظه گردید که احتمالاً ناشی از ارتقای تبدیل و بهره‌برداری از انرژی نور است (Li et al., 2020). همچنین تنش شوری، بازده کوانتومی خاموش‌سازی غیرفتوشیمیایی (شکل ۲-۴) و بازده کوانتومی اتلاف انرژی (شکل ۲-۵) را نسبت به شاهد افزایش داد که بیانگر افزایش اتلاف انرژی به دلیل کاهش به دام‌اندازی انرژی و افت فعالیت فتوشیمیایی است. کاربرد هم‌زمان CD و NaCl، کاهش معنی‌دار این شاخص‌ها را نسبت به تنش شوری تنها موجب گردید و اتلاف انرژی را کاهش داد. تعامل قوی CD با سطح کلروپلاست و تسهیل جذب فوتون و انتقال الکترون در زنجیره تیلاکوئیدی، می‌تواند موجب تسریع کل فرآیند انتقال الکترون فتوسنتزی و بهبود عملکرد فتوسنتزی شود (Tan et al., 2021).



شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف شامل کربن دات (۳۰ میلی‌گرم بر لیتر)، تنش شوری (سدیم کلرید ۱۰۰ میلی‌مولار) و تیمار هم‌زمان کربن دات و شوری بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل a در گیاه گوجه‌فرنگی. (A) ΦII، (B) LEF، (C) PSI Active Centers، (D) ΦNPQ، (E) ΦNO.

## چکیده

تنش شوری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش محصولات کشاورزی است. در این پژوهش، از کربن‌دات‌ها به‌عنوان الیسیتورهای زیست‌سازگار در مقیاس کوانتومی (۱ تا ۱۰ نانومتر) با قابلیت تولید اقتصادی، پایداری بالا و حلالیت مناسب در آب برای تقویت گیاه گوجه‌فرنگی در برابر تنش شوری استفاده شد. نتایج نشان داد که کربن‌دات‌ها به‌طور معنی‌داری توان تحمل شوری را در گیاه افزایش می‌دهند. این نانومواد با بهبود شاخص‌های رشد از جمله وزن تر و محتوای کلروفیل، نقش محافظتی خود را آشکار کردند. افزون بر این، استفاده از کربن‌دات‌ها موجب افزایش مراکز فعال واکنش در فتوسیستم ۱، بهبود جریان خطی الکترون (LEF)، کاهش اتلاف انرژی از فتوسیستم ۲ (ΦNO) و کاهش خاموش‌سازی غیرفتوشیمیایی در فتوسیستم ۲ (ΦNPQ) شد که در نهایت به افزایش بازده کوانتومی فتوسیستم ۲ (ΦII) و ارتقای فرآیند فتوسنتز در شرایط عادی و تنش شوری انجامید. بهبود فتوسنتز نیز سبب رشد مطلوب‌تر گیاه تحت شوری شد.

## مقدمه

تنش شوری بسیاری از محصولات مهم کشاورزی حساس به شوری مانند گوجه‌فرنگی را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد؛ به همین دلیل، توسعه راهکارهای مؤثر برای تقویت مقاومت گیاهان به تنش شوری ضروری است. نانومواد کربنی به‌دلیل سازگاری زیستی، هزینه کم تولید و پایداری مطلوب آنها، جایگزین مناسبی برای نانومواد فلزی محسوب می‌شوند. کربن‌دات‌ها (CD) نانوذرات فلورسنت ۱ تا ۱۰ نانومتر هستند که به‌دلیل غیرسمی بودن، انحلال‌پذیری بالا در آب، پایداری و ویژگی‌های نوری، کاربرد وسیعی در موجودات زنده دارند. مطالعات اخیر نشان دادند CD ها قادرند پیامدهای منفی تنش‌های زیستی و غیرزیستی را کاهش دهند و به‌ویژه در شرایط شوری با بهبود شاخص‌های فتوسنتزی و رشد، مقاومت گیاه را افزایش دهند. با وجود این ویژگی‌ها، اطلاعات درباره نقش CD در پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاهان تحت تنش شوری هنوز محدود است. هدف پژوهش حاضر بررسی اثر CD سنتز شده از اتیلن‌دی‌آمید و سیتریک اسید بر کاهش پیامدهای تنش شوری از طریق شاخص‌های فیزیولوژیک اولیه و برخی شاخص‌های فتوسنتزی در گوجه‌فرنگی رقم CH است. یافته‌هایی که می‌تواند کاربرد ایمن و گسترده CD را برای مبارزه با تنش‌های محیطی در کشاورزی ترویج کند.

## مواد و روش‌ها

**سنتز کربن دات به روش هیدروترمال:** CD دوب‌شده با نیتروژن به روش هیدروترمال با استفاده از ۱ گرم سیتریک اسید و ۸۵۰ میکرولیتر اتیلن دی‌آمین و ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در اتوکلاو ویژه انجام واکنش‌های شیمیایی در دما و فشار بالا ساخته شد.

**شرایط کشت و تیماردهی گیاه گوجه فرنگی:** ابتدا بذرها در گلدان‌های حاوی پیت ماس کاشته شدند و گلدان‌ها به‌طور منظم آبیاری شدند. دو هفته بعد از جوانه‌زنی، نشاها به سیستم کشت هیدروپونیک محتوی محلول غذایی اصلاح‌شده جانشین منتقل شدند. پس از یک هفته، اندام هوایی گیاهان دو بار در طول یک هفته با کربن دات اسپری شدند. سپس شاخص‌های فیزیولوژیک گیاهان شامل وزن تر، میزان کلروفیل با استفاده از استون ۸۰ درصد و براساس فرمول‌های زیر، فلورسانس کلروفیل a و شاخص‌های مربوطه شامل بازده کوانتومی فتوسیستم ۲ (ΦII)، جریان خطی الکترون (LEF)، مراکز فعال فتوسیستم ۱، بازده کوانتومی خاموش‌سازی غیرفتوشیمیایی (ΦNPQ) و بازده کوانتومی اتلاف انرژی (ΦNO) توسط دستگاه MultiseQ (V2.0, PhotosynQ, USA) اندازه‌گیری شدند.

Chl a (μg/mg) = 12.21(A663)-2.81 (A646)

Chl b (μg/mg) = 20.13(A646)-5.03(A663)

Total Chl (μg/mg) = Chla+Chlb

**آنالیز آماری:** آزمایشات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شدند و آنالیز آماری نتایج حاصل از شاخص‌های اندازه‌گیری شده، با روش تحلیل واریانس (ANOVA) دوطرفه و پس از آزمون Duncan در سطح  $p \leq 0.05$  و با استفاده از نرم افزارهای SPSS نسخه ۹ و Excel نسخه ۲۰۱۶، انجام شد.

## منابع

Li Y, Xu X, Wu Y, Zhuang J, Zhang X, Zhang H, Lei B, Hu C, Liu Y (2020) A review on the effects of carbon dots in plant systems. *Materials Chemistry Frontiers* 4: 437-444.

Tan, T. L., Zulkifli, N. A., Zaman, A. S. K., Jusoh, M. B., Yaapar, M. N., and Rashid, S. A. (2021). Impact of photoluminescent carbon quantum dots on photosynthesis efficiency of rice and corn crops. *Plant Physiology and Biochemistry* 162: 737-751.