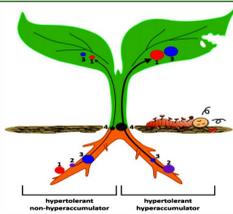


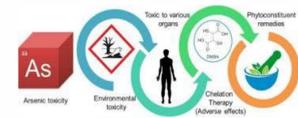


مکانیسم‌های تحمل آرسنیک در گیاهان بیش‌انباشتگر



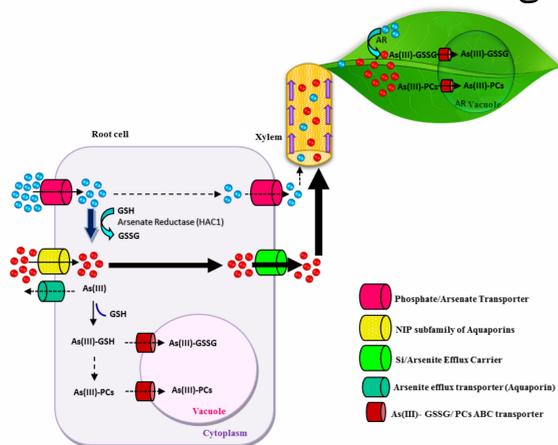
زهرا سوری^{۱*}

^۱ گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران



مکانیسم‌های تحمل و تجمع آرسنیک در گیاهان بیش‌انباشتگر

گیاهان بیش‌انباشتگر آرسنیک برای جذب، تحمل و تجمع مقادیر سمی این آلاینده، مجموعه‌ای از مکانیسم‌های هماهنگ مولکولی و فیزیولوژیکی را به کار می‌گیرند. فرآیند اصلی شامل سه مرحله کلیدی است: (۱) جذب و انتقال کارآمد، که در آن آرسنیک عمدتاً از طریق ناقلین فسفات (برای آرسنات) و کانال‌های آکوپورینی (برای آرسنیت) جذب شده و به‌طور فعال از ریشه به اندام‌های هوایی منتقل می‌شود. (۲) سمیت‌زدایی درون‌سلولی، که طی آن آنزیم آرسنات ردوکتاز (AR)، آرسنات را به آرسنیت کاهش داده و سپس آرسنیت با ترکیبات تیولی مانند GSH و PCs کمپلکس تشکیل می‌دهد. (۳) ذخیره‌سازی ایمن در واکوئل، که در آن این کمپلکس‌ها توسط ناقل‌های ABC به درون واکوئل پمپ می‌شوند و جداسازی نهایی آلاینده صورت می‌گیرد. در کنار این مسیر اصلی، یک سیستم آنتی‌اکسیدانی یکپارچه و قدرتمند شامل دفاع آنزیمی و غیرآنزیمی، با هدایت مولکول سیگنال‌ده نیتریک‌اکسید (NO)، از گیاه در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از آرسنیک محافظت کرده و تعادل سلولی را حفظ می‌نماید. این مجموعه سازوکارهای به هم پیوسته، اساس تحمل و انباشت استثنایی آرسنیک در این گیاهان را تشکیل می‌دهد (Souri et al., 2017; 2020; 2021; Bai et al., 2023).



نتیجه‌گیری

گیاه‌پالایی با استفاده از گیاهان بیش‌انباشتگر آرسنیک، یک راه‌حل زیستی و پایدار برای پالایش محیط‌های آلوده است. با این حال، برای رقابت‌پذیر کردن این فناوری در مقیاس میدانی، نیاز به پژوهش‌های عمیق‌تر بین‌رشته‌ای است. دو مسیر کلیدی برای پیشرفت عبارتند از: (۱) مهندسی ژنتیک برای ایجاد گیاهان پالایشگر جدید با انتقال ژن‌های کلیدی (مانند ژن‌های دخیل در سمیت‌زدایی) به گیاهان پررشد، و (۲) رویکردهای تلفیقی مانند کاربرد همزمان اصلاح‌کننده‌ها (نظیر فیتوهورمون‌ها و نانوذرات) به منظور افزایش چشمگیر بازدهی فرآیند پالایش.

منابع

- Bai, Y., Wan, X., Lei, M., Wang, L., and Chen, T. (2023). Research advances in mechanisms of arsenic hyperaccumulation of *Pteris vittata*: Perspectives from plant physiology, molecular biology, and phylogeny. *Journal of hazardous materials*, 460: 132463. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132463
- Karimi, N., Ghaderian, S. M., Raab, A., Feldmann, J., and Meharg, A. A. (2009). An arsenic-accumulating, hypertolerant brassica, *Isatis cappadocica*. *New Phytologist*, 184(1): 41–47. doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02982.x
- Souri, Z., Cardoso, A. A., da-Silva, C. J., de Oliveira, L. M., Dari, B., Sihi, D. et al. (2019). Heavy metals and photosynthesis: Recent developments. In *Photosynthesis, productivity and environmental stress* (pp. 107–134). Wiley. doi.org/10.1002/9781119501800.ch7
- Souri, Z., Karimi, N., and Ahmad, P. (2021). The effect of NADPH oxidase inhibitor diphenyleneiodonium (DPI) and glutathione (GSH) on *Isatis cappadocica*, under Arsenic (As) toxicity. *International Journal of Phytoremediation*, 23 (9): 945–957. doi.org/10.1080/15226514.2020.1870435
- Souri, Z., Karimi, N., and Sandalio, L. M. (2017). Arsenic hyperaccumulation strategies: An overview. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 5: 67. doi.org/10.3389/fcell.2017.00067
- Souri, Z., Karimi, N., Farooq, M. A., and Sandalio, L. M. (2020). Nitric oxide improves tolerance to arsenic stress in *Isatis cappadocica* desv. Shoots by enhancing antioxidant defenses. *Chemosphere*, 239:124523. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124523

چکیده

آرسنیک یک آلاینده‌ی سمی و سرطان‌زاست که سلامت انسان و محیط زیست را تهدید می‌کند. این شبه فلز از طریق منابع طبیعی و فعالیت‌های انسانی مانند معدن‌کاوی، کشاورزی و احتراق سوخت‌های فسیلی وارد خاک و آب‌های زیرزمینی شده و از طریق زنجیره غذایی به انسان منتقل می‌گردد. گیاه‌پالایی به عنوان یک فناوری سبز، پایدار و مقرون‌به‌صرفه، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. برخی از گیاهان که بیش‌انباشتگر نامیده می‌شوند، قادرند غلظت‌های بسیار بالایی از آرسنیک را در بافت‌های خود تجمع داده و بدون نشان دادن علائم سمیت، آن را سمیت‌زدایی کنند. از جمله این گیاهان می‌توان به سرخس معدنچی (*Pteris vittata*) و گیاه واس کاپادوکیه‌ای (*Isatis cappadocica*) اشاره کرد. گیاهان بیش‌انباشتگر، فلزات سنگین را از محیط‌های آلوده جذب و در بافت‌های خود تجمع می‌دهند. این توانایی منحصربه‌فرد بر پایه‌ی مکانیسم‌های مولکولی هماهنگی استوار است که شامل جذب هدمند توسط ناقلین اختصاصی، سمیت‌زدایی از طریق کلاته‌سازی با ترکیباتی چون گلوپتایون (GSH) و فیتوکلاتین‌ها (PCs)، ذخیره‌سازی ایمن در واکوئل‌ها با کمک ناقلین غشایی، و تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی برای مقابله با استرس اکسیداتیو می‌شود. شناخت دقیق این فرآیندها، پایه‌ی علمی ضروری را برای به‌کارگیری موفق و گسترده‌ی این گیاهان در فناوری گیاه‌پالایی محیط‌های آلوده فراهم می‌سازد.

مقدمه

آلودگی محیط‌زیست به آرسنیک یک تهدید جهانی برای سلامت عمومی و اکوسیستم‌ها محسوب می‌شود (Souri et al., 2019; Bai et al., 2023). پیشرفت شهرنشینی و صنعت باعث افزایش غلظت این آلاینده شده (Souri et al., 2017; 2021) و فرارگیری مزمن در معرض آن با بیماری‌های شدیدی مانند سرطان و بیماری‌های قلبی-عروقی مرتبط است. بنابراین توسعه فناوری‌های مؤثر و مقرون‌به‌صرفه برای پالایش محیط‌های آلوده ضروری است (Souri et al., 2019; 2023). روش‌های مرسوم پالایش، اغلب پرهزینه، مخرب خاک و همراه با تولید پسماند ثانویه هستند (Bai et al., 2023). در مقابل، گیاه‌پالایی به عنوان یک جایگزین سازگار با محیط‌زیست، اقتصادی و پایدار مطرح است (Souri et al., 2017; 2021). اساس این فناوری، استفاده از گیاهان متحمل و بیش‌انباشتگر است که قادر به جذب و تجمع مقادیر بالای آرسنیک در بافت‌های هوایی خود می‌باشند (Souri et al., 2017; Bai et al., 2023). این راهبرد، روشی امیدوارکننده برای پالایش محیط‌های آلوده محسوب می‌شود (Souri et al., 2017; 2021).

گیاهان بیش‌انباشتگر

گیاهان بیش‌انباشتگر، مانند *Pteris vittata* و *Isatis cappadocica* هسته فناوری گیاه‌پالایی را تشکیل می‌دهند (Souri et al., 2017; Bai et al., 2023). *P. vittata* به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد، گزینه اصلی است (Bai et al., 2023). *I. cappadocica* نیز نخستین گیاه گل‌دار بیش‌انباشتگر شناخته شده است که می‌تواند در خاک‌های بسیار آلوده بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم آرسنیک در هر کیلوگرم وزن خشک تجمع کند (Karimi et al., 2009). کارایی این گیاهان ناشی از مکانیسم‌های هماهنگی مانند جذب انتخابی، انتقال کارآمد، سمیت‌زدایی و ذخیره‌سازی واکوئلی است (Souri et al., 2017; 2021). مطالعه این گونه‌ها، پایه‌ای برای توسعه عملی و تحقیقات آنتی گیاه‌پالایی فراهم می‌کند.