مقابله با بحران آب با دستکاری در معماری ریشه گیاه

زهرا سلیمان‌نژاد
دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهی
دبیر زیست‌شناسی شهرستان نکا

چکیده

خشکی و کمبود آب از مهم‌ترین مشکلات مناطق خشک و نیمه خشک نظیر ایران است که رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خشکی بر جنبه‌های مختلف رشد گیاه تأثیر می‌گذارد و موجب کاهش تولید مادهٔ خشک می‌شود. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های بحران کم آبی، سهم بالای مصرف آب در بخش کشاورزی است. لذا، یکی از راه‌های پیشگیری از اتلاف منابع آب شیرین، انتخاب و کشت گونه‌های گیاهی مقاوم به خشکی است. بنابراین، می‌توان با ایجاد گیاهان تراریخت مقاوم به خشکی، مانند بیش بیانی هدفمند سیتوکینین اکسیداز/دهیدروژناز (CKX) تحت کنترل پروموتر القایی در ریشه، منجر به کاهش مصرف آب شد.

کلیدواژه‌ها: بحران آب، تراریخت، خشکی، گونه‌های مقاوم.

مقدمه

با توجه به این‌که حیات در کرهٔ زمین وابسته به آب است، متأسفانه کم توجهی به‌دلیل فراوانی، ارزانی و در دسترس بودن آب باعث نابودی تدریجی آن شده به گونه‌ای که علائم بحران از مدت‌ها پیش هویدا شده و با ادامهٔ روند موجود، در آینده‌ای نه چندان دور، جهان را با فاجعه‌ای عظیم مواجه خواهد کرد. گرچه جمعیت جهان در حال افزایش و سطح زندگی نیز در حال ارتقاست، این امر باعث تقاضای بیشتر و افزایش سطح مصرف آب می‌شود، ولی منابع آب شیرین جهان در بهترین حالت، ثابت و حتی رو به کاهش است (رحیمی).

در ایران محدودیت منابع آبی، استفاده کامل از زمین‌های قابل کشت را محدود کرده است. از مجموع ۵۱ میلیون هکتار از اراضی قابل کشت، فقط ۱۸/۷ میلیون

در ایران محدودیت منابع آبی، استفاده کامل از زمین‌های قابل کشت را محدود کرده است

هکتار با ۶۰-۵۰ درصد بهره‌وری در چرخهٔ تولید به‌کار گرفته می‌شود (هاشمی‌پور، ۱۳۷۷). همچنین ٤ میلیون هکتار از اراضی زراعی کشور شور است (بانیانی و حکیمی، ۱۳۷٦). در این راستا استفاده از گیاهان زراعی متناسب با شرایط اقلیمی کشور و ابداع روش‌های به‌زراعی برای بهره‌برداری بیشتر از امکانات موجود، به‌ویژه آب و خاک ضروری به‌نظر می‌رسد.

براساس گزارش سازمان ملل در آینده‌ای نزدیک ۳۱ کشور جهان با کمبود آب مواجه خواهند شد و نام ایران به عنوان یکی از بحرانی‌ترین کشورهای درگیر کمبود آب در آینده برده می‌شود. انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۵ بیش از دو سوم جمعیت جهان در شرایط کمبود جدی آب قرار بگیرند و یک سوم بقیه در شرایط کمیابی آب زندگی کنند.

خشکی و کمبود آب از مهم‌ترین مشکلات مناطق خشک و نیمه خشک نظیر ایران است که رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تنش خشکی زمانی در گیاه حادث می‌شود که میزان آب دریافتی گیاه کمتر از تلفات آن باشد. این امر ممکن است به علت اتلاف بیش از حد آب یا کاهش جذب و یا وجود هر دو مورد باشد (کوچکی و علیزاده، ۱۳۷٤). خشکی بر جنبه‌های مختلف رشد گیاه تأثیر می‌گذارد و موجب کاهش و به تأخیر انداختن جوانه‌زنی، کاهش رشد اندام‌های هوایی و کاهش تولید مادهٔ خشک می‌شود. کاهش پتانسیل اسمزی و پتانسیل کل آب، همراه با از بین رفتن آماس، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش رشد از علائم مخصوص تنش آب است. در صورتی که شدت تنش آب زیاد باشد، موجب کاهش شدید فتوسنتز و مختل شدن فرایندهای فیزیولوژیک، توقف رشد و سرانجام مرگ گیاه می‌شود (Singh et al., ۱۹۹۶).

براساس گزارش سازمان ملل در آینده‌ای نزدیک ۳۱ کشور جهان با کمبود آب مواجه خواهند شد

با توجه به محدودیت منابع آب، رشد روز افزون جمعیت و مصرف بالای آب در بخش کشاورزی، مستلزم توجه بیشتر به این بخش است.

بیان مسئله

رشد جمعیت و ارتقای فناوری که منجر به بهره‌برداری بیشتر از منابع و محیط طبیعی می‌شود، به همراه گسترش فعالیت‌های بشری، که فرایندهای آلوده ساز محیط را افزایش می‌دهد، موجب افزایش فشار بر منابع محیط زیست می‌شود. این روند منجر به تغییرات کیفی و کمی منابع آب می‌شود. لذا، یکی از بحران‌های مهمی که بشر را تهدید می‌کند، مسئله بحران کمبود آب است.

اهداف تحقیق

هدف آن است که با ارائهٔ راه‌حل‌هایی، جلوی فاجعه‌ای که ممکن است در آینده نسل بشر را تهدید کند، گرفته شود. از جمله موارد مهم پیشگیری از اتلاف منابع آب، افزایش بهره‌وری آب، انتخاب گونه‌های گیاهی مقاوم به خشکی و شوری در فضای سبز شهرها و کشاورزی، کاهش تبخیر و تعرق به‌وسیله کشت محصولات در محیط‌های دارای پوشش، است (بردبار و همکاران، ۱۳۸۸). لذا این تحقیق به بررسی افزایش کارایی مصرف آب، با استفاده از گونه‌های گیاهی تراریخت مقاوم به خشکی در کشاورزی پرداخته است.

گیاهان مقاوم به خشکی

از آنجا که تنش کم‌آبی یکی از موانع اصلی در تولید محصولات زراعی و باغی در بسیاری از نقاط دنیا به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. لذا، درک مکانیسم‌های درگیر در تحمل به تنش خشکی اهمیت حیاتی دارد. گیاهان به روش‌های مختلف با استرس خشکی مقابله می‌کنند. از جملهٔ این استراتژی‌ها تغییر در مورفولوژی گیاه، نظیر تغییر در معماری سیستم ریشه است. اندازه و معماری سیستم ریشه توانایی گیاه را برای دسترسی به آب و مواد غذایی تعیین می‌کند و با مقاومت به کمبود آب ارتباط مثبت دارد (Tuberosa et al., ۲۰۰۲)، لذا با سیستم‌های ریشه بزرگ‌تر کارایی استفاده از آب و مواد مغذی بهبود می‌یابد. یکی از تنظیم کننده‌های کلیدی معماری سیستم ریشه هورمون سیتوکینین (CK) است. سیتوکینین هورمون گیاهی است که تقریباً تمام جنبه‌های نمو و فیزیولوژی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (MOK, ۱۹۹۴). اثر مهاری سیتوکینین در رشد ریشه برای اولین‌بار توسط Skoog and Miller (۱۹۵۷) گزارش شد. این که کالوس در محیطی با نسبت کم سیتوکینین به اکسین قرار داده شود، معمولاً بخش هوایی کم و ریشه‌های بیشتری تولید می‌کند و بالعکس. بنابراین، استفاده از سیتوکینین خارجی و یا تغییر میزان سیتوکینین درونی در جهش یافته‌ها و یا گیاهان تراریخت می‌تواند منجر به تغییر نمو ریشه گیاه شود. کاهش در میزان سیتوکینین تمایز سلول‌ها را در مریستم ریشه به تأخیر می‌اندازد (Werner et al., ۲۰۰۳). سیتوکینین‌ها همچنین فاصله بین پریموردیای ریشهٔ جانبی مجاور را تنظیم می‌کنند (Shkolnik-Inbar and Bar-Zvi, ۲۰۱۰). بنابراین، کاهش در میزان CK یا کاهش در سیگنالینگ آن می‌تواند باعث تشکیل سیستم ریشه بزرگ‌تر شود (Heyl et al., ۲۰۰۸). کاهش CK ممکن است با تحریک تجزیه CK، به‌وسیله بیش بیانی آنزیم اصلی غیرفعال کننده CK، به نام سیتوکینین اکسیداز/دهیدروژناز (CKX) یا با کاهش بیوسنتز سیتوکینین حاصل شود (Miyawaki et al., ۲۰۰۶).

بیش بیانی CKX منجر به افزایش تحمل در برابر استرس خشکی و شوری شد (Nishiyama et al., ۲۰۱۱). افزایش فعالیت CKX بر رشد ریشه اثر مثبت، اما بر رشد و نمو سیستم‌های بخش هوایی اثر منفی قوی داشته که منجر به فنوتیپ کوتوله با تأخیر در اندام‌زایی شده است. به منظور مقابله با این مشکل، افزایش بیان CKX با استفاده از پروموتر خاص ریشه، مانند ژن WRKY۶ عمدتاً به ریشه محدود شد (Werner et al., ۲۰۱۰). در گیاهان تنباکو با بیان ژن WRKY۶:CKX۱

اندازهٔ سیستم ریشه تا حد زیادی افزایش یافته است (۳۹-۲۷٪)، در حالی‌که نمو بخش هوایی آن‌ها بسیار شبیه به نمونه وحشی بود. به‌طور مشابه، بیان خاص ریشه ژن CKX در آرابیدوپسیس نیز منجر به افزایش سیستم ریشه شد (Werner et al., ۲۰۱۰). بنابراین، بیان هدفمند و خاص ریشه ژن CKX که از اثرات منفی بر رشد بخش هوایی اجتناب می‌کند، باعث افزایش تحمل به خشکی و گرما می‌شود.

در گیاهان تنباکو با بیان ژن WRKY۶:CKX۱ پتانسیل آب بالاتر در برگ‌ها و کاهش پژمردگی نسبت به نمونهٔ وحشی مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که یکی از پارامترهای مؤثر در مقاومت به خشکی این گیاهان سیستم ریشه بزرگ‌تر و نسبت بالاتر ریشه به بخش هوایی آن‌هاست (Mackova et al., ۲۰۱۳). جدا از دسترسی بهتر به سطوح عمیق‌تر خاک با تأمین آب بیشتر (به‌خصوص در شرایط مزرعه)، سیستم ریشه بزرگ نیز ممکن است تجمع یون‌ها از جمله Mg^{2+} را بهبود دهد که به نظر می‌رسد در حفظ کلروفیل تحت تنش خشکی نقش مثبت دارد (Werner et al., ۲۰۱۰). لذا این رویکرد برای تعدیل معماری سیستم ریشه ممکن است برای تولید گیاهان زراعی بهینه‌سازی شده در جهت رشد در محیط‌های دشوار کشاورزی مفید باشد (Werner et al., ۲۰۱۰).

نتیجه‌گیری

با هدف قرار دادن بیش بیانی CKX۱ با استفاده از پروموتر WRKY۶ در ریشه، می‌توان از اثرهای منفی آن بر رشد بخش هوایی اجتناب کرد، همچنین باعث افزایش تحمل به خشکی و گرما شد. این نتایج نشان‌دهندهٔ اهمیت وابسته به بافت و زمان فعال‌سازی ژن در پاسخ به تنش خشکی است. ترکیب پروموتر ـ ژن مناسب، پتانسیل قابل‌توجهی را برای دست‌کاری هدفمند مخزن هورمون گیاهی و در نتیجه تنظیم پاسخ به استرس ارائه می‌دهد. لذا، با ایجاد و کشت گیاهان مقاوم به خشکی می‌توان مصرف و اتلاف آب را کاهش داد. به نظر می‌رسد سازش‌های مختلفی که موجب کاهش هدر رفتن آب در شرایط تنش خشکی می‌شوند دارای اثر منفی روی عملکرد گیاه هستند. به‌عنوان‌مثال، لوله‌ای شدن برگ و بسته شدن روزنه‌ها هر دو آب گیاه را حفظ می‌کنند، اما میزان جذب نور و ورود کربن دی‌اکسید به درون برگ را محدود می‌سازند و این‌ها به‌نوبهٔ خود عملکرد گیاه را کاهش می‌دهند. بنابراین، این صفات برای اصلاح مقاومت به خشکی مفید نیستند؛ اما دست‌کاری میزان هورمون سیتوکینین در ریشه بدون اثر منفی در بخش هوایی منجر به افزایش عملکرد گیاه تحت تنش خشکی می‌شود.

منابع

۱. بانیانی، ع. و حکیمی، م. ۱۳۷۶. کشت گلدانی پنبه با استفاده از پیپرپات. سنبله. ۹۲، ۶۲-۲۴.

۲. بردبار، م.، سلوکی، م. و بردبار، ب. ۱۳۸۸. راهکارها و روش‌های کاربردی برای مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی. همایش ملی مدیریت بحران آب.

۳. رحیمی ح . مشکل ناشناختهٔ جهانی: بحران آب. پیک‌نور، سال اول، شماره دو. ص۳۳-۲۴.

۴. کوچکی، ع. و علیزاده، ا. ۱۳۷۴. اصول زراعت در مناطق خشک. جلد اول. (تألیف آی- آرنون) چاپ چهارم. انتشارات آستان قدس رضوی. ص ۲۶۰.

۵. هاشمی‌پور، ص. ۱۳۷۷. کشاورزی ایران در یک نگاه. مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، وزارت کشاورزی. ص ۹۴.

6. Heyl, A., Ramireddy, E., Brenner, W.G., Riefler, M., Allemeersch, J. and Schmülling, T. 2008. The transcriptional silencer ARR1-SRDX suppresses pleiotropic cytokinin activities in Arabidopsis. Plant Physiology. 147: 1380–1395.

7. Mackova, H., Hronkova, M., Dobra, J., Tureckova, V., Novak, O., Lubovska, Z., Motyka, V., Haisel, D., Hajek, T., Tom Prasil, I., Gaudinova, A., Storchova, H., Ge, E., Werner, T., Schmulling, T. and Vankova, R. 2013. Enhanced drought and heat stress tolerance of tobacco plants with ectopically enhanced cytokinin oxidase/dehydrogenase gene expression. Journal of Experimental Botany. 64(10): 2805–2815.

8. Miyawaki, K., Tarkowski, P., Matsumoto-Kitano, M., Kato, T., Sato, S., Tarkowska, D., Tabata, S., Sandberg, G. and Kakimoto, T. 2006. Roles of Arabidopsis ATP/ADP isopentenyltransferases and tRNA isopentenyltransferases in cytokinin biosynthesis. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA. 103: 16598–16603.

9. Mok, M.C. 1994. Cytokinins and plant development: an overview. In Cytokinins: Chemistry, Activity, and Function. Edited by Mok, D.W.S. and Mok, M.C. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 155–166.

10. Nishiyama, R., Watanabe, Y. and Fujita, Y. 2011. Analysis of cytokinin mutants and regulation of cytokinin metabolic genes reveals important regulatory roles of cytokinins in drought, salt and abscisic acid responses, and abscisic acid biosynthesis. The Plant Cell. 23: 2169–2183.

11. Shkolnik-Inbar, D. and Bar-Zvi, D. 2010. ABI4 mediates abscisic acid and cytokinin inhibition of lateral root formation by reducing polar auxin transport in Arabidopsis. The Plant Cell. 22: 3560–3573.

12. Singh, J. and Patel, A. L. 1996. Water statues, gaseous exchange, prolin accumulation and yield of wheat in response to water stress. Annual of Biology Ludhiana. 12: 77-81.

13. Skoog, F. and Miller, C. (1957) Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissue cultured in vitro. Symp. Soc. Exp. Biol. 11: 118–131.

14. Tuberosa, R., Sanguineti, M.C., Landi, P., Giuliani, M.M., Salvi, S. and Conti, S. 2002. Identification of QTLs for root characteristics in maize grown in hydroponics and analysis of their overlap with QTLs for grain yield in the field at two water regimes. Plant Mol. Biol. 48: 697–712.

15. Werner, T., Motyka, V., Laucou, V., Smets, R., Van Onckelen, H. and Schmulling, T. 2003. Cytokinin-deficient transgenic Arabidopsis plants show multiple developmental alterations indicating opposite functions of cytokinins in the regulation of shoot and root meristem activity. Plant Cell 15: 2532–2550.

16. Werner, T., Nehnevajova, E., Kollmer, I., Novak, O., Strnad, M., Kramer, U., Schmulling, T. 2010. Root-specific reduction of cytokinin causes enhanced root growth, drought tolerance, and leaf mineral enrichment in Arabidopsis and tobacco. The Plant Cell. 22: 3905–3920.