

اثرات تنش گرمایی ناشی از تغییر اقلیم در طول مراحل رشد برنج

میثاق پرهیزکار^{۱*}

۱- استادیار پژوهش، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران

* نویسنده مسئول: misagh.parhizkar@gmail.com

چکیده

برنج یکی از محصولات غذایی مهم جهان است که تغییرات در عوامل اقلیمی مانند دما تأثیر مهمی بر رشد و عملکرد آن دارند. با افزایش دمای زمین که محرک اصلی این گرمایش، انتشار گازهای گلخانه‌ای است، تهدیدهای قابل توجهی برای رشد، عملکرد و کیفیت برنج ایجاد شده است و در نتیجه این موضوع می‌تواند امنیت غذایی کشورهای تولیدکننده برنج را به خطر اندازد. اثر گرمای هوا بر مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی برنج می‌تواند متفاوت باشد. گرمای بیش از حد می‌تواند دوره رشد رویشی برنج را کوتاه کند و در نتیجه عملکرد برنج را پایین آورد. علاوه بر این، دمای بالا مرحله گلدهی را تحت تأثیر قرار داده و می‌تواند بر سرعت تشکیل دانه موثر باشد، به طوری که دمای بالا باعث کاهش پر شدن دانه و شاخص‌های مهم کیفیت برنج می‌شود. برخی راهکارهای مناسب مانند انتخاب رقم‌های مقاوم به گرما مانند طارم هاشمی و خزر، مدیریت مصرف آب در مرحله خوشه‌دهی و گلدهی برنج و مدیریت تغذیه مناسب با استفاده از عناصر غذایی کلیدی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم نقش مهمی در مقاومت گیاه برنج در برابر گرما را فراهم می‌کنند. در متن حاضر تلاش شده است تا اثرات نامطلوب گرما بر مراحل رشد برنج گردآوری و معرفی شوند و توصیه‌های ترویجی بر مقابله با این گرما ارائه شده است.

واژگان کلیدی: دما، سازگاری، عملکرد، کشاورزی

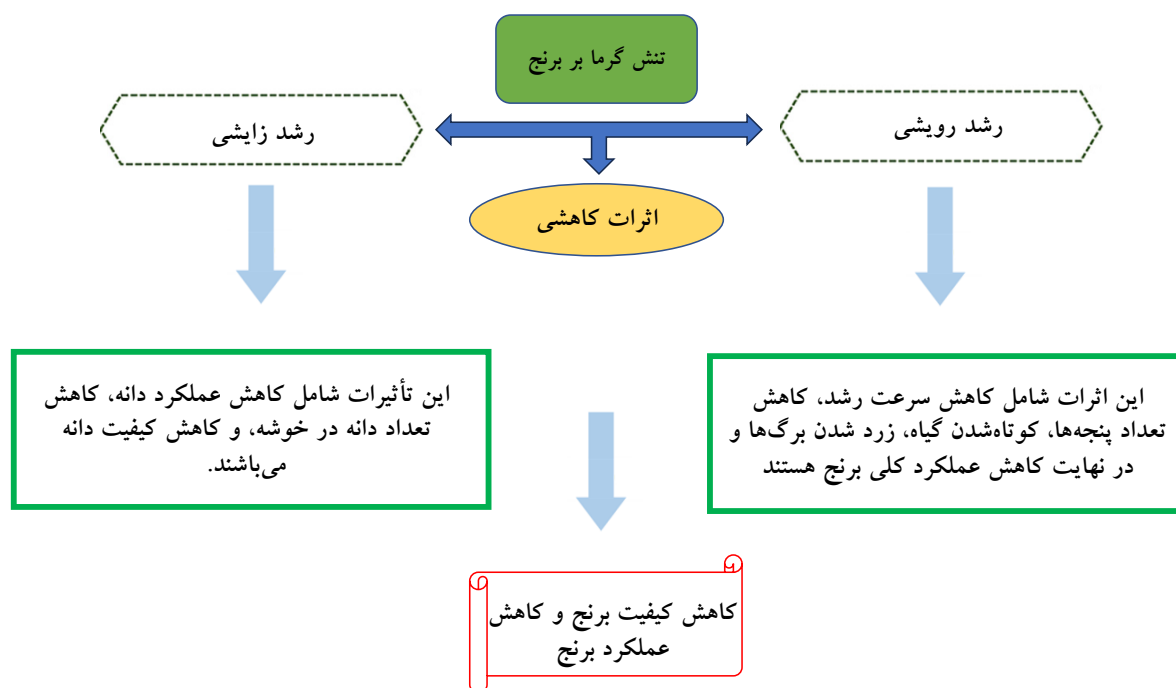
بیان مساله

شروع گرمایش جهانی به عنوان یکی از مهم‌ترین رخدادهای ایجاد شده در جو از قرن گذشته تا به امروز باید مورد ارزیابی قرار گیرد. از سال ۱۸۵۰، دمای زمین به طور متوسط در هر دهه ۰/۰۶ درجه سلسیوس افزایشی یافته است، و نرخ گرمایش بیش از سه برابر سریع‌تر از سال ۱۹۸۲، تقریباً ۰/۲ درجه سلسیوس در هر دهه است. عوامل مختلفی باعث افزایش گرمایش جهانی می‌شوند که محرک اصلی این گرمایش، انتشار گازهای گلخانه‌ای است و سایر عوامل از طریق تولید این گازها موثرند. از عوامل دیگر نیز می‌توان به رشد سریع جمعیت و احتراق سوخت‌های فسیلی اشاره کرد که در این میان فعالیت‌های انسانی نقش پررنگی در افزایش میانگین دمای سطح زمین داشته است. این فعالیت‌ها عمدتاً از طریق انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر به گرمایش جهانی شده‌اند و در نتیجه دمای سطح جهانی از ۰/۸ به ۱/۳ درجه سلسیوس بین سال‌های ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۹ افزایش یافته است (هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم، ۲۰۲۳). این روند تاکنون باعث خشکسالی‌های بی‌سابقه، آتش‌سوزی‌های جنگلی و سیل شده و به تدریج تأثیر خود را بر جوامع در سراسر جهان نشان می‌دهد. با این حال، این اثر تنها به موارد ذکر شده محدود نمی‌شود و اثرات منفی آن بر محصولات کشاورزی، به خصوص برنج، به عنوان یکی از مهم‌ترین غلات کشت شده توسط بشر در بسیاری از کشورهای آسیایی، آمریکای لاتین و آفریقایی و غذای اصلی نیمی از جمعیت جهان (فائو، ۲۰۲۰)، ادامه داشته است. در این زمینه دمای بالا، زمان تجمع زیست‌توده برنج را کوتاه می‌کند، تجمع کربوهیدرات را کاهش می‌دهد و عملکرد را پایین می‌آورد. هنگامی که دما از حد بالای دمای رشد طبیعی برنج فراتر رود، گلدهی و میوه‌دهی طبیعی را مختل می‌کند و در نتیجه باعث افزایش میزان دانه‌های پوک و کاهش عملکرد می‌شود. گرمای بیش از حد می‌تواند دوره رشد رویشی برنج را کوتاه کند و در

نتیجه عملکرد را کاهش دهد (لی و همکاران، ۲۰۲۴). در این مقاله، اثرات نامطلوب تغییرات گرما بر مراحل رشد برنج و نیز ارائه راهکارهایی برای مقابله با این شرایط ارائه شده است. ذکر این نکته ضروری است که منفی یا مثبت بودن تغییرات متوسط دما در طول دوره رشد گیاه بستگی به رژیم فعلی دارد. در جایی که محصولات در نزدیکی حد بالای تحمل گرمایی باشند، تنش گرمایی برای گیاه و عملکرد بسیار نامطلوب است اما در مناطق خنک‌تر افزایش متوسط درجه حرارت بسیار خوب خواهد بود.

معرفی دستاورد

۱- اثر گرما بر رشد رویشی برنج: به‌طوری‌که اثرات قابل توجهی از افزایش دما بر رشد رویشی و زایشی برنج دیده می‌شود (شکل ۱). در طول مرحله رشد رویشی، قرار گرفتن در معرض دمای بالاتر از ۳۵ درجه سلسیوس می‌تواند رشد قسمت هوایی و زیرزمینی را مهار و منجر به علایمی مانند سفید شدن غلاف برگ‌ها، کاهش تعداد پنجه‌ها و کاهش ارتفاع گیاه شود. دمای بالا می‌تواند اثرات منفی قابل توجهی بر جوانه‌زنی و رشد مورفولوژیکی نهال‌های برنج داشته باشد. این اثرات شامل کاهش سرعت جوانه‌زنی، کاهش طول ریشه و ساقه، کاهش تعداد برگ‌ها، کاهش وزن خشک ریشه و ساقه و کاهش میزان کلروفیل است. در دماهای بسیار بالا، جوانه‌زنی ممکن است به‌طور کامل متوقف شود و حتی منجر به مرگ نهال‌ها شود. علاوه بر این دمای بالا می‌تواند اثرات منفی قابل توجهی بر غلاف برگ برنج داشته باشد. این اثرات شامل کاهش تعداد دانه، کاهش وزن دانه‌ها، و افزایش احتمال بروز بیماری‌هایی مانند پوسیدگی غلاف برگ برنج می‌باشند. قرار گرفتن در معرض دمای بالای ۳۸ درجه سلسیوس به‌مدت یک تا دو روز به‌طور قابل توجهی طول ریشه‌ها و ساقه‌ها را کاهش می‌دهد که مستقیماً بر عملکرد برنج تأثیر می‌گذارند (لیو و همکاران، ۲۰۱۹). دمای بالا همچنین میزان فتوسنتز در برگ‌ها را کاهش می‌دهد که تأثیرات قابل توجهی بر رشد برنج دارد.



شکل ۱- اثر گرما بر مراحل رشد رویشی و زایشی برنج

۲- اثر گرما بر رشد زایشی برنج: در این مرحله، حساسیت برنج به دماهای بالا بیشتر می‌شود. دماهای بالاتر طول دوره خوشه‌دهی در درجه اول اثرات مضر بر سنبلیچه‌ها دارند و باعث کاهش سنبلیچه‌ها می‌شوند. دمای بالا مرحله گلدهی را تحت تأثیر قرار داده و می‌تواند بر سرعت تشکیل دانه موثر باشد، به‌طوری‌که دمای بالا باعث کاهش پُر شدن دانه و شاخص‌های مهم کیفیت می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که دماهای بالاتر از ۳۶ درجه سلسیوس می‌تواند موجب محصور شدن سنبلیچه‌ها شود، در نتیجه تعداد سنبلیچه‌ها در هر خوشه و تعداد دانه‌ها کاهش می‌یابد (وو و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر این ذکر این نکته ضروری است که کربوهیدرات تولید شده در مرحله فتوسنتز به دانه منتقل شده و توسط انواع آنزیم‌ها به نشاسته تبدیل می‌شود که یک فرآیند بیوشیمیایی پیچیده است. دمای بالا می‌تواند باعث کاهش نشاسته برنج شود، این موضوع حتی در فرآورده‌های پخت و پز و خشک کردن برنج نیز دیده شده است. مدت‌زمان پُر شدن دانه و سرعت پُر شدن دانه، وزن نهایی دانه را تعیین می‌کنند. با وجود اینکه دمای بالا سرعت پُر شدن دانه را افزایش می‌دهد، اما مدت‌زمان پُر شدن دانه را کوتاه می‌کند. افزایش سرعت پُر شدن دانه، جبران کوتاه شدن نامطلوب زمان پُر شدن را نمی‌کند و بنابراین وزن دانه کاهش می‌یابد (ارشد و همکاران، ۲۰۱۷). در مرحله زایشی برنج، قسمت‌های مختلفی می‌توانند در معرض اثرات گرما قرار گیرند که در زیر به آن‌ها اشاره شده است.

۲-۱- اثر گرما در طول مرحله ظهور خوشه: تحقیقات نشان داده است که آستانه گرما برای تشکیل خوشه در برنج ۳۳/۱ درجه سلسیوس است. با این حال، آستانه گرما برای تشکیل خوشه در برنج برای همه ارقام (چه محلی و چه پرمحصول) یکسان نیست. در حقیقت، آستانه گرما به دمایی گفته می‌شود که در صورت تجاوز از آن، فرآورده‌های فیزیولوژیکی گیاه مانند تشکیل خوشه، گرده‌افشانی، تلقیح و پُر شدن دانه دچار اختلال می‌شوند. ارقام محلی (بومی) معمولاً در شرایط اقلیمی منطقه خود تطابق بیشتری داشته و در برابر تنش‌های دمایی خاص محل (گرما یا سرما) ممکن است مقاوم‌تر باشند. ارقام پرمحصول، معمولاً در فرآیند اصلاح ژنتیکی برای عملکرد بالا انتخاب شده‌اند، اما ممکن است به تنش گرمایی حساس‌تر باشند، به‌خصوص در مراحل حساس مانند تولید خوشه یا گرده‌افشانی. علاوه بر این آن‌ها ممکن است فقط تا حدود ۳۶-۳۵ درجه سلسیوس را تحمل کنند؛ دمای بالاتر باعث کاهش تعداد خوشه یا ناباروری گل‌ها می‌شود. افزایش بیش از این دما می‌تواند اثرات نامطلوبی را روی تشکیل خوشه داشته باشد (سانچز و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر این در این مرحله یکی از مکانیسم‌های اصلی آسیب ناشی از استرس در سلول‌های گیاهی، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن است. این تجمع می‌تواند طیف گسترده‌ای از آسیب‌های بیوشیمیایی مانند تخریب غشا را ایجاد کند (رایتر و همکاران، ۲۰۰۶).

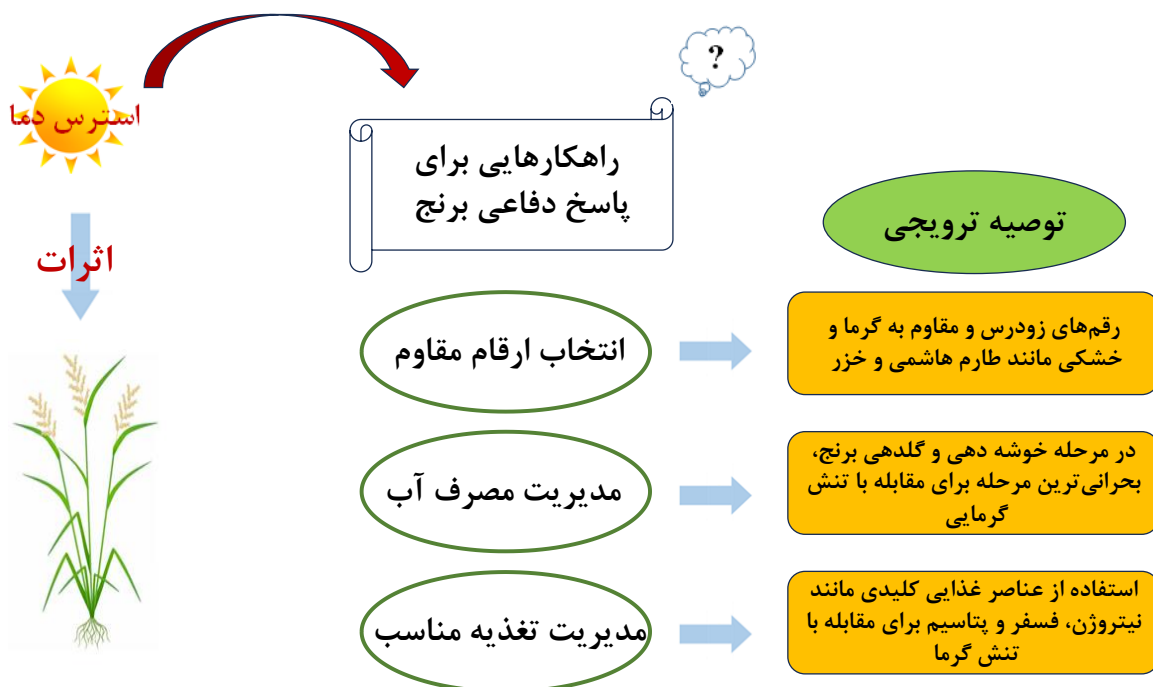
۲-۲- اثر گرما در طول مرحله خوشه‌دهی و گلدهی: مرحله خوشه‌دهی و گلدهی در برنج با باز شدن بساک‌ها و طول شدن سریع لوله گرده مشخص می‌شود. لقاح زمانی کامل می‌شود که گامت نر از درون لوله گرده با سلول تخمک ادغام شود و رشد را آغاز کند. قرار گرفتن در معرض دمای بیش از ۳۵ درجه سلسیوس برای بیش از یک ساعت در طول این دوره بحرانی می‌تواند منجر به باز شدن ضعیف بساک شده و موجب مهار رشد لوله گرده می‌شود. این پدیده در نهایت باعث کاهش میزان تشکیل دانه در برنج می‌شود (داس و همکاران، ۲۰۱۴).

۲-۳- اثر گرما در طول مرحله پُر شدن دانه: فتوسنتز فرایندی حیاتی برای گیاهان است که طی آن نور خورشید، آب و دی‌اکسید کربن به گلوکز (نوعی قند) و اکسیژن تبدیل می‌شوند. شرایط ایده‌آل برای فتوسنتز شامل نور مناسب، دمای بهینه، دسترسی به آب و دی‌اکسید کربن است. مواد فتوسنتزی به شکل ساکارز به دانه منتقل می‌شوند و دمای بالا به ساختار فتوسنتزی آسیب می‌رساند و تولید مواد فتوسنتزی را کاهش می‌دهد و همچنین تأثیر نامطلوبی بر انتقال و تخلیه ساکارز دارد که بدون شک کارایی انتقال مواد فتوسنتزی به دانه را کاهش می‌دهد. کربوهیدرات‌های منتقل شده از برگ توسط مجموعه‌ای از آنزیم‌ها به نشاسته

تبدیل شده و در آندوسپرم ذخیره می‌شوند. دمای بالا بر فعالیت این آنزیم‌ها تأثیر می‌گذارد و منجر به تغییرات آشکار در محتوای نشاسته، نسبت آمیلوز و آمیلوپکتین و ساختار نشاسته می‌شود و در نهایت بر پر شدن دانه و کیفیت برنج تأثیر می‌گذارد. به‌طور کلی، دمای بالا پیچیدگی ساختار ریز نشاسته را افزایش می‌دهد و به‌دلیل تغییرات در فعالیت‌های آنزیمی، ظاهر و سایر خواص فیزیکوشیمیایی برنج را تضعیف می‌کند (فن و همکاران، ۲۰۱۹).

توصیه‌های ترویجی

برنج به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی در جهان، با افزایش گرمایش جهانی که تهدیدی جدی برای امنیت غذایی محسوب می‌شود، با چالش‌های جدی در رشد و عملکرد خود روبرو است. برای اطمینان از کیفیت پایدار برنج در شرایط اقلیمی نامناسب، باید راهکارهایی نوآورانه ارائه شود. به‌عنوان مثال، انتخاب ارقام مقاوم به گرما، مدیریت مصرف آب و مدیریت صحیح مواد غذایی ممکن است ساده‌ترین راه‌ها برای پاسخ سریع به گرما باشند (شکل ۲). برای مقابله با تنش گرمایی در کشت برنج، رقم‌های مقاوم به گرما و خشکی مانند طارم هاشمی و خزر توصیه می‌شوند. این ارقام نسبت به ارقام حساس، تحمل بیشتری در برابر دمای بالا و کم‌آبی دارند و می‌توانند عملکرد بهتری در شرایط گرم و خشک ارائه دهند. مدیریت مصرف آب در مرحله خوشه‌دهی و گلدهی برنج، بحرانی‌ترین مرحله برای مقابله با تنش گرمایی است. در این مرحله، تنش رطوبتی می‌تواند منجر به افزایش پوکی دانه و کاهش عملکرد محصول شود. مدیریت تغذیه مناسب و استفاده از عناصر غذایی کلیدی در برنج برای مقابله با تنش گرما بسیار حیاتی است. عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم نقش مهمی در رشد، توسعه و مقاومت گیاه برنج در برابر تنش‌های محیطی از جمله گرما دارند. علاوه بر این، باید یک سیستم هشدار گرما ایجاد شود و مجموعه‌ای از اقدامات کشت مقاوم به تنش از قبل انجام شود. در این زمینه، تلفیق زمینه‌های مختلف علوم مانند خاکشناسی، زراعت و هواشناسی می‌تواند روش مناسبی برای پیش‌بینی و مقابله با گرمایش جهانی قبل از کاشت برنج باشد.



شکل ۲- راهکارهای مختلف برای افزایش تحمل گرما در برنج

فهرست منابع

- Arshad, M.S., Farooq, M., Asch, F., Krishna, J.S.V., Prasad, P.V.V. and Siddique, K.H.M. 2017. Thermal stress impacts reproductive development and grain yield in rice. *Plant Physiol. Biochem*; 115: 57–72.
- Das, S., Krishnan, P., Nayak, M. and Ramakrishnan, B. 2014. High temperature stress effects on pollens of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Environ. Exp. Bot*; 101: 36–46.
- Fan, X., Li, Y., Lu, Y., Zhang, C., Li, E., Li, Q., Tao, K., Yu, W., Wang, J., Chen, Z., Zhu, Y. and Liu, Q. 2019. The interaction between amylose and amylopectin synthesis in rice endosperm grown at high temperature. *Food Chem*; 301: 125258.
- FAOSTAT, 2020. Food and agricultural organization [WWW document] (URL). www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.
- IPCC. Climate Change 2023 Synthesis Report; IPCC: Geneva, Switzerland, 2023.
- Li, N., Zhao, Y., Han, J., Yang, Q., Liang, J., Liu, X., Wang, Y. and Huang, Z. 2024. Impacts of future climate change on rice yield based on crop model simulation—A meta-analysis. *Science of The Total Environment*; 949: 175038.
- Liu, J., Hasanuzzaman, M., Wen, H., Zhang, J., Peng, T., Sun, H. and Zhao, Q. 2019. High temperature and drought stress cause abscisic acid and reactive oxygen species accumulation and suppress seed germination growth in rice. *Protoplasma*; 256: 1217–1227.
- Ryter, S.W., Kim, H.P., Hoetzel, A., Park, J.W., Nakahira, K., Wang, X. and Choi, A.M.K. 2006. Mechanisms of Cell Death in Oxidative Stress. *Antioxid. Redox Signal*; 9: 49–89.
- Sánchez, B., Rasmussen, A. and Porter, J.R. 2013. Temperatures and the growth and development of maize and rice: A review. *Glob. Change Biol*; 20: 408–417.
- Wu, C., Cui, K., Wang, W., Li, Q., Fahad, S., Hu, Q., Huang, J., Nie, L. and Peng, S. 2016. Heat-induced phytohormone changes are associated with disrupted early reproductive development and reduced yield in rice. *Sci. Rep*; 6: 34978.