Mecanismos de adaptación para la tolerancia a baja radiación en fase de llenado de grano en el cultivo del arroz

Eliel E. Petro¹, Maria C. Rebolledo²

¹ Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

² CIRAD, UMR AGAP

Introducción

El cambio climático reduce la cantidad de radiación incidente afectando los ecosistemas (Davy, Esau, Chernokulsky, Outten, & Zilitinkevich, 2017), el desarrollo y crecimiento de las plantas (Cox, Maclean, Gardner, & Gaston, 2020). El estrés por baja radiación provoca reducciones de rendimiento entre 40% a 50% en India (Sekhar et al., 2019; Viji, Thangaraj, & Jayapragasam, 1997), China (Ren et al., 2002) y Colombia (Delerce et al., 2016). Además, la falta de ventanas óptimas para la siembra debido a condiciones climáticas desfavorables (Ferrari, Pagliari, & Trettel, 2018) o el desabastecimiento de agua, (Delerce et al., 2016) aumenta la probabilidad de que los cultivos de arroz se encuentren bajo una baja radiación en fase de llenado de grano. La fase de llenado de grano es la más sensible. En efecto, una reducción del 50% de la radiación en esta fase generó una reducción de la tasa de fotosíntesis neta y el llenado de grano (Wang, Deng, & Ren, 2015; Yoshida, 1981).

Estudios recientes han indicado que las respuestas de las diferentes variedades al sombreado eran diversas (Li et al., 2010; Wang et al., 2013), sugiriendo que hay un control genético de la respuesta a la baja radiación y por lo tanto que existe la posibilidad de mejorar la respuesta a la baja radiación de las variedades disponibles actualmente. En efecto, las plantas podrían optimizar su fotosíntesis (Gommers, Visser, Onge, Voeselek, & Pierik, 2013), por lo que variedades con mayor tolerancia al sombreado muestran una mayor captación y uso eficiente de la luz, una reducción más baja en la acumulación de materia seca y rendimiento (Li et al., 2010).

Materiales y métodos

Para evaluar la respuesta de los genotipos RAY NABJA, SWARNA, VANDANA, ZALCHA y NORUNKAN a la baja radiación, dos experimentos fueron realizados. El primero en CIAT bajo condiciones de campo con reducción del 50% de la radiación en fase de llenado de grano; se evaluó el rendimiento y sus componentes. El segundo experimento se realizó en CIRAD bajo condiciones de baja radiación en cámaras de crecimiento Microclima MC1750E (Snijders, Holanda); en estas, las plántulas fueron mantenidas en las dos cámaras con las siguientes condiciones: temperatura: 27 °C (días) y 22 °C (noche), fotoperiodo: 12 horas (luz) y 12 horas (oscuridad), intensidad lumínica: 750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, humedad relativa: 65% (días) y 80% (noche) y finalmente el CO₂: 400 ppm. La tolerancia a baja radiación, con respecto a la eficiencia fotosintética, se estudió en fase vegetativa para evitar una interacción con los sumideros (fase reproductiva). Por lo tanto, cuando las plantas alcanzaron 7 hojas en el tallo principal en una de las cámaras de crecimiento se redujo la intensidad lumínica de 750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a 350 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, quedando ésta como tratamiento de estrés y la otra cámara de crecimiento como tratamiento control. Con

el LICOR LI - 6800 Portable Photosynthesis System se realizó una curva de luz para medir la fotosíntesis máxima, punto de compensación de la luz, respiración oscura y rendimiento cuántico aparente midiendo la última hoja formada de cada planta teniendo en cuenta los siguientes parámetros: 500 $\mu\text{mol s}^{-1}$, ventilador: 10000 rpm, temperatura: 28 °C, humedad relativa: 65% y CO₂: 400 ppm; por su parte la densidad de flujo de fotones fotosintéticos varió de: 0, 25, 50, 150, 300, 450, 600, 900, 1200, 1500 y 1750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Adicionalmente se evaluó el ángulo de tallos y de la hoja más desarrollada.

Resultados

En el experimento de campo se observó que los genotipos VANDANA, NORUNKAN mostraron las menores reducciones de rendimiento y fertilidad; mientras que los genotipos ZALCHA, SWARNA y RAY NABJA mostraron mayor susceptibilidad al tratamiento de sombra al perder mayor fertilidad. Bajo condiciones controladas los genotipos de mejor comportamiento en condiciones de campo, mostraron características fotosintéticas de interés relacionadas con la tolerancia a baja radiación. El genotipo VANDANA alcanzó mayor fotosíntesis máxima en condiciones de baja radiación, mostrando mayor eficiencia en el uso de la radiación disponible. Por su parte, NORUNKAN mostró baja tasa de respiración, y un menor punto de compensación en condiciones de estrés en comparación con el control, lo que le permitiría iniciar la fotosíntesis con bajo niveles de radiación.

Por otro lado, se observó una correlación negativa y significativa entre puntos de compensación de la luz y el ángulo de tallos, lo que sugiere que plantas con mayor ángulo de tallos favorecen un inicio de la actividad fotosintética con menores niveles de radiación como fue el caso para NORUNKAN.

Discusión

Las especies tolerantes a la sombra generalmente tienen tasas de respiración en la oscuridad más bajas y, por lo tanto, puntos de compensación de luz más bajos (Givnish, Montgomery, & Goldstein, 2004), que las especies no adaptadas a la sombra. En este estudio los genotipos NORUNKAN y VANDANA mostraron baja reducción de rendimiento y fertilidad en condiciones de campo; en condiciones controladas, NORUNKAN mostró bajo punto de compensación de la luz en condiciones de baja radiación; al respecto Azcón-Bieto & Talón (2013) indicaron que los bajos valores del punto de compensación de luz de las plantas adaptadas a la sombra se deben a su reducida tasa de respiración. Adicionalmente este genotipo presentó alta tasa fotosintética en ambos tratamientos, lo que sugiere su adaptación a ambientes con alta y baja radiación. Por su parte VANDANA, alcanzó mayores valores de fotosíntesis máxima en condiciones de baja radiación en comparación con el control; lo que permite inferir que es un genotipo adaptado a ambientes de baja radiación y no así para ambientes de alta radiación. Los genotipos VANDANA y NORUNKAN que mostraron tolerancia a baja radiación son originarios de India y Sri Lanka respectivamente; países en los cuales se presentan cambios estacionales con fuertes precipitaciones y nubosidad durante ciertas épocas del año a causa de la temporada de monzón, por lo que su adaptación a la baja radiación puede estar asociada a esta condición.

Conclusión

- Los genotipos VANDANA y NORUNKAN mostraron baja reducción de rendimiento y fertilidad en condiciones de campo.
- Los genotipos tolerantes NORUNKAN y VANDANA mostraron mayor eficiencia de uso de luz en condiciones de baja radiación en cámara de crecimiento.
- Se identificaron dos estrategias como mecanismo de adaptación a la baja radiación: fotosíntesis máxima alta en condiciones de estrés para VANDANA y bajo punto de compensación de la luz para NORUNKAN en condiciones de baja radiación. Por lo que estos genotipos pueden recomendarse como parentales en los programas de mejoramiento para el desarrollo de nuevas variedades adaptadas a ambientes de baja radiación en fase de llenado de grano.
- Se debe encontrar alternativas para realizar fenotipado a partir de estos parámetros fotosintéticos a un mayor número de genotipos y encontrar sus relaciones con características de arquitectura de la planta como el ángulo de tallos.

Bibliografía

- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal* (Segunda Ed). Madrid, España: McGRAW-HILL.
- Cox, D. T. C., Maclean, I. M. D., Gardner, A. S., & Gaston, K. J. (2020). Global variation in diurnal asymmetry in temperature, cloud cover, specific humidity and precipitation and its association with leaf area index. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.15336>
- Davy, R., Esau, I., Chernokulsky, A., Outten, S., & Zilitinkevich, S. (2017). Diurnal asymmetry to the observed global warming. *International Journal of Climatology*, 37(1), 79–93. <https://doi.org/10.1002/joc.4688>
- Delerce, S., Dorado, H., Grillon, A., Rebolledo, M. C., Prager, S. D., Patiño, V. H., ... Jiménez, D. (2016). Assessing weather-yield relationships in rice at local scale using data mining approaches. *PLoS ONE*, 11(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161620>
- Ferrari, S., Pagliari, P., & Trettel, J. (2018). Optimum sowing date and genotype testing for upland rice production in Brazil. *Scientific Reports*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26628-6>
- Givnish, T. J., Montgomery, R. A., & Goldstein, G. (2004). Adaptive radiation of photosynthetic physiology in the Hawaiian lobeliads: Light regimes, static light responses, and whole-plant compensation points. *American Journal of Botany*, 91(2), 228–246. <https://doi.org/10.3732/ajb.91.2.228>
- Gommers, C. M. M., Visser, E. J. W., Onge, K. R. S., Voesenek, L. A. C. J., & Pierik, R. (2013). Shade tolerance: When growing tall is not an option. *Trends in Plant Science*, 18(2), 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.09.008>
- Li, H., Jiang, D., Wollenweber, B., Dai, T., & Cao, W. (2010). Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 33(4), 267–275. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.07.002>
- Ren, W., Yang, W., Xu, J., Fan, G., Wang, L., & Guan, H. (2002). Impact of low-light stress on leaves

characteristics of rice after heading. *J Sichuan Agric Univ*, 20(3), 205–208.

Sekhar, S., Panda, D., Kumar, J., Mohanty, N., Biswal, M., Baig, M. J., ... Behera, L. (2019). Comparative transcriptome profiling of low light tolerant and sensitive rice varieties induced by low light stress at active tillering stage. *Scientific Reports*, 9(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42170-5>

Viji, M. M., Thangaraj, M., & Jayapragasam, M. (1997). Low irradiance stress tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *Biologia Plantarum*, 2(39), 251–256.

Wang, L., Deng, F., & Ren, W.-J. (2015). Shading tolerance in rice is related to better light harvesting and use efficiency and grain filling rate during grain filling period. *Field Crops Research*, 180, 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.05.010>

Wang, L., Deng, F., Ren, W.-J., & Yang, W.-Y. (2013). Effects of Shading on Starch Pasting Characteristics of Indica Hybrid Rice (*Oryza sativa* L.). *PLoS ONE*, 8(7), e68220. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068220>

Yoshida, S. (1981). Climatic environment and its influence. In T. I. R. R. Institute (Ed.), *Fundamentals of rice crop science* (pp. 65–110). Manila, Philippines: International Rice Research Institute.