

Auxinas. El estudio de su función y mecanismo de acción

Instructor: Dr. Víctor M. Loyola Vargas

I. Justificación

Los reguladores del crecimiento vegetal (RCV) conforman un grupo de sustancias, que a diferencia de las hormonas que se encuentran presentes en los animales, interactúan entre sí y se regulan unas a otras para producir una respuesta fisiológica. Entre los RCV, las auxinas son el grupo de estos compuestos que participa en el mayor número de procesos biológicos que se conocen. También, es el RCV que interacciona más con los otros RCV. Su estudio, desde los aspectos históricos de su descubrimiento, hasta el conocimiento actual sobre su modo de acción, es una pieza básica en la formación de cualquier futuro investigador que vaya a usar plantas como modelo de estudio.

II. Ubicación de la materia

Conocimientos previos	Biología, Fisiología y Anatomía vegetal, Biología celular.
Áreas de aplicación	Biotecnología, Bioquímica, Biología molecular.

III. Objetivo general

El objetivo general de este curso es el de que el alumno adquiera el conocimiento básico y las herramientas necesarias sobre los mecanismos de acción de las auxinas y de los procesos fisiológicos que se encuentran bajo su control con el fin de que los aplique en la generación de nuevas biotecnologías o en la generación de nuevos modelos para el estudio del desarrollo de las plantas.

IV. Metodología

El curso de auxinas constará de 48 horas, equivalentes a 3 créditos. Las sesiones serán tanto del tipo seminario para el análisis y discusión de artículos, como del tipo conferencia.

V. Contenido programático

Introducción.

1. Historia del descubrimiento de las auxinas.
 - a. El papel de Charles Darwin.
 - b. La contribución de Kenneth V. Thimann.
 - c. La prueba de la curvatura del coleoptilo.
 - d. Más de una auxina.

Objetivo específico.

Que el alumno conozca los antecedentes que sentaron las bases del conocimiento sobre las auxinas y el hecho de que como se sentaron las bases de la acción primaria de las auxinas.

Unidad I. La estructura química de las auxinas.

1. Las auxinas naturales.
 - a. Ácido indolacético.
 - b. Ácido indolbutírico.
 - c. Ácido fenolacético.
 - d. Ácido 4-cloro indolacético.
2. Los análogos de auxinas.
 - a. Ácido 2,4-diclorofenoxiacético.
 - b. Ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético
 - c. Ácido naftalenacético.
 - d. Ácido 3,6-dicloro-2-metoxibenzoico (Dicamba).
 - e. Ácido 4-amino-3,5,6- tricloropiconílico. (Picloram)
 - f. Otros compuestos con actividad auxínica.
3. ¿Qué hace a un compuesto una auxina?
 - a. Similitudes y diferencias entre las auxinas.

Objetivos específicos.

Que el alumno conozca la estructura química y pueda ser capaz de predecir si un nuevo compuesto puede o no tener actividad auxínica.

Unidad II. Herramientas para el estudio de las auxinas.

1. Métodos para determinar el contenido de auxinas.
 - a. Métodos cromatográficos.
 - b. El uso de la espectrometría de masas en la determinación de auxinas.

- c. Métodos inmunológicos para la localización y cuantificación de auxinas.
2. Contenido de auxinas en diferentes tejidos y procesos fisiológicos.
 - a. Durante el desarrollo de una planta.
 - b. Durante la embriogénesis cigótica.
 - c. Durante la embriogénesis somática.
3. Expresión de genes inducidos por auxinas.
4. Detección *in situ* de auxinas mediante anticuerpos.

Objetivos específicos.

Que el alumno conozca los diferentes métodos para cuantificar, identificar y analizar las pozas metabólicas de estos compuestos en diferentes procesos del desarrollo vegetal. Así como también para determinar su localización dentro de tejidos y células de forma específica.

Unidad III. La biosíntesis de las auxinas.

1. Las diferentes rutas de biosíntesis de las auxinas.
 - a. Biosíntesis dependiente de triptofano.
 - b. Biosíntesis no dependiente de triptófano.
2. Genes que codifican para las enzimas de la biosíntesis de las auxinas.
 - a. Biosíntesis dependiente de triptofano.
 - b. Biosíntesis no dependiente de triptofano.
3. Regulación de la biosíntesis de las auxinas.
4. Compartimentalización de la biosíntesis de las auxinas.
 - a. Biosíntesis dependiente de triptofano.
 - b. Biosíntesis no dependiente de triptofano.

Objetivos específicos

Que el alumno conozca las diferentes rutas de biosíntesis de las auxinas y sea capaz de establecer las diferencias entre ellas, y sea capaz de desarrollar protocolos de investigación que permitan estudiar los mecanismos bioquímicos y moleculares que las regulan.

Unidad IV. El transporte de las auxinas.

1. Los transportadores involucrados en la movilización de las auxinas.
 - a. Difusión pasiva.
 - b. Transportadores PIN.
 - c. Transportadores ABC.
 - d. Transportadores AUX1/LAX.
 - e. La fosforilación de los transportadores PIN.

- f. La participación de las citocininas en el transporte de las auxinas.
- 2. El transporte como base fundamental de los procesos de desarrollo de una planta.
 - a. Embriogénesis cigótica.
 - b. El desarrollo de las yemas axilares.
 - c. La inclinación de las hojas.
 - d. El desarrollo de la raíz.

Objetivos específicos

Que el alumno conozca los diferentes sistemas de transporte de las auxinas y las implicaciones fisiológicas de dicho transporte.

Unidad V. La conjugación de las auxinas.

- 1. Reacciones químicas que llevan a la conjugación de las auxinas con otras moléculas.
 - a. Aminoácidos.
 - b. Carbohidratos.
 - c. Coenzima A.
 - d. Péptidos.
- 2. Los genes *GH3*.
- 3. Las acil-ácido amido sintetetasas.
- 4. Los genes *ILR1*, *IAR3*, *ILL1* e *ILL2*.
- 5. Las amino ácido hidrolasas.
- 6. Función de la conjugación de las auxinas.
 - a. Almacenamiento.
 - b. Degradación.

Objetivos específicos

Que el alumno conozca los diferentes tipos de conjugación de las auxinas y su función, así como los genes que codifican para las enzimas que llevan a cabo las reacciones de conjugación e hidrólisis.

Unidad VI. La homeostasis de las auxinas.

- 1. Establecimiento de la homeostasis de las auxinas.
 - a. Biosíntesis.
 - b. Degradación.
 - c. Transporte.
 - d. Almacenamiento.

Objetivos específicos

Que el alumno conozca los diferentes factores que llevan a que una región de un tejido obtenga una concentración de auxina (homeostasis) que es la que finalmente produce el efecto fisiológico.

Unidad VII. La señalización por auxinas.

1. El mecanismo de señalización de las auxinas.
 - a. El receptor.
 - b. El mecanismo.
 - c. El apagado de la señal.

Objetivos específicos

Que el alumno sea capaz de establecer como los tejidos son capaces de mantener una determinada concentración de auxinas al interior de sus células.

Unidad VIII. La interacción de las auxinas y otros reguladores del crecimiento.

- a. La interacción de las auxinas con las citocininas.
- b. Las citocininas regulan el transporte polar de las auxinas.
- c. Las auxinas y las citocininas actúan antagónicamente.
- d. Las auxinas y el etileno actúan sinérgicamente.

Objetivos específicos

Que el alumno sea capaz de determinar cómo funciona la compleja red de interacción entre diferentes reguladores del crecimiento.

Unidad VIII. El papel de las auxinas en la embriogénesis somática.

- a. El posible papel de las auxinas en la inducción de la embriogénesis somática.
- b. El uso de diferentes auxinas en la inducción de la embriogénesis somática.

Objetivos específicos

Que el alumno sea capaz de diseñar experimentos que le permitan inducir la embriogénesis somática a partir de diferentes tejidos de una manera menos aleatoria.

Actividades de aprendizaje

Revisión y discusión de los artículos en los que se describen los antecedentes que llevaron al descubrimiento de las auxinas.

Análisis de las diferentes técnicas para la determinación del contenido de auxinas y su identificación.

Análisis de los factores que afectan la homeostasis de las auxinas como el factor determinante de su efecto fisiológico.

Diseño de experimentos para determinar el papel de las auxinas en la diferenciación celular.

Criterios y procedimientos de evaluación y acreditación

El alumno será evaluado de acuerdo con los siguientes parámetros:

- ◆ La calificación para acreditar el curso será de 80 puntos.
- ◆ Para tener derecho a acreditar el curso es requisito el entregar todos los trabajos oportunamente.

ACTIVIDAD	PORCENTAJE
Investigación bibliográfica, escritura de un tema por alumno para una publicación.	100

Bibliografía

La bibliografía para un tema como el de este curso debe ser dinámica, por ello la bibliografía que se enlista a continuación cambiará conforme se vaya generando nueva información.

Muestra de artículos de revisión (2010-2015)

Adamowski M. y J. Friml, PIN-dependent auxin transport: Action, regulation, and evolution, *Plant Cell*, 27(1): 20-32, (2015). DOI: 10.1105/tpc.114.134874.

Alarcón M. V., P. G. Lloret y J. Salguero, The development of the maize root system: role of auxin and ethylene, en: *Root Engineering*, (Morte A. y A. Varma, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 75-103, (2014). DOI:10.1007/978-3-642-54276-3_5.

Balzan S., G. S. Johal y N. Carraro, The role of auxin transporters in monocots development, *Front. Plant Sci.*, 5393, (2014). DOI: 10.3389/fpls.2014.00393.

Barbez E. y J. Kleine-Vehn, Divide Et Impera-cellular auxin compartmentalization, *Curr. Opi. Plant Biol.*, 16(1): 78-84, (2013). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2012.10.005>.

- Bargmann B. O. R. y M. Estelle, Auxin perception: in the IAA of the beholder, *Physiol. Plant.*, 151(1): 52-61, (2014). DOI: 10.1111/ppl.12135.
- Baster P. y J. Friml, Auxin on the road navigated by cellular PIN polarity, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 143-170, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_8.
- Bennett T. y O. Leyser, The auxin question: A philosophical overview, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 3-19, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_1.
- Bhalerao R. P. y U. Fischer, Auxin gradients across wood-instructive or incidental?, *Physiol. Plant.*, 151(1): 43-51, (2014). DOI: 10.1111/ppl.12134.
- Brumos J., J. M. Alonso y A. N. Stepanova, Genetic aspects of auxin biosynthesis and its regulation, *Physiol. Plant.*, 151(1): 3-12, (2014). DOI: 10.1111/ppl.12098.
- Calderon-Villalobos L. I., X. Tan, N. Zheng y M. Estelle, Auxin perception-structural insights, *Cold Spring Harbor Perspect. Biol.*, 2(7): 1-16, (2010). DOI: 10.1101/cshperspect.a005546.
- Chandler J. W. y W. Werr, Cytokinin-auxin crosstalk in cell type specification, *Trends Plant Sci.*, 20(5): 291-300, (2015). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2015.02.003>.
- Chen J., F. Wang, S. Zheng, T. Xu y Z. Yang, Pavement cells: a model system for non-transcriptional auxin signalling and crosstalks, *J. Exp. Bot.*, 66(16): 4957-4970, (2015). DOI: 10.1093/jxb/erv266.
- Chew Y. H., R. W. Smith, H. J. Jones, D. D. Seaton, R. Grima y K. J. Halliday, Mathematical models light up plant signaling, *Plant Cell*, (2014). DOI: 10.1105/tpc.113.120006. (En prensa).
- Cleland R. E., Auxins and cell elongation, en: *Plant hormones. Biosynthesis, signal transduction, action!*, (Davies P. J., ed.), Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 204-220, (2010). DOI:
- Couée I., A. A. Serra, F. Ramel, G. Gouesbet y C. Sulmon, Physiology and toxicology of hormone-disrupting chemicals in higher plants, *Plant Cell Rep.*, 32(6): 933-941, (2013). DOI: 10.1007/s00299-013-1428-z.
- De Smet I., S. Lau, U. Mayer y G. Jürgens, Embryogenesis the humble beginnings of plant life, *Plant J.*, 61(6): 959-970, (2010). DOI: 10.1111/j.1365-3113.2010.04143.x.
- De Smet I., U. Voss, S. Lau, M. Wilson, N. Shao, R. Timme, R. Swarup, I. Kerr, C. Hodgman, R. Bock, M. Bennett, G. Jürgens y T. Beeckman, Unraveling the evolution of auxin signaling, *Plant Physiol.*, 155(1): 209-221, (2010). DOI: 10.1104/pp.110.168161.
- de Wit M., S. Lorrain y C. Fankhauser, Auxin-mediated plant architectural changes in response to shade and high temperature, *Physiol. Plant.*, 151(1): 13-24, (2014). DOI: 10.1111/ppl.12099.
- Del Bianco M. y S. Kepinski, Context, specificity, and self-organization in auxin response, *Cold Spring Harbor Perspect. Biol.*, 3(1): 1-20, (2011). DOI: 10.1101/cshperspect.a001578.
- Demeulenaere M. J. y T. Beeckman, The interplay between auxin and the cell cycle during plant development, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 119-141, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_7.
- Doyle S. M., T. Vain y S. Robert, Small molecules unravel complex interplay between auxin biology and endomembrane trafficking, *J. Exp. Bot.*, 66(16): 4971-4982, (2015). DOI: 10.1093/jxb/erv179.

- Dresselhaus T. y K. Schneitz, The role of auxin for reproductive organ patterning and development, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 213-243, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_11.
- Durbak A., H. Yao y P. McSteen, Hormone signaling in plant development, *Curr. Opin. Plant Biol.*, 15(1): 92-96, (2012). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2011.12.004>.
- Elhiti M., C. Stasolla y A. Wang, Molecular regulation of plant somatic embryogenesis, *In Vitro Cell. Dev. Biol. -Plant*, 49(6): 631-642, (2013). DOI: 10.1007/s11627-013-9547-3.
- Fernández-Marcos M., L. Sanz, D. Lewis, G. Muday y O. Lorenzo, Control of auxin transport by reactive oxygen and nitrogen species, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 103-117, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_5.
- Finet C. y Y. Jaillais, AUXOLOGY: When auxin meets plant evo-devo, *Dev. Biol.*, 369(1): 19-31, (2012). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ydbio.2012.05.039>.
- Fraas S., V. Niehoff y H. Lüthen, A high-throughput imaging auxanometer for roots and hypocotyls of *Arabidopsis* using a 2D skeletonizing algorithm, *Physiol. Plant.*, 151(1): 112-118, (2014). DOI: 10.1111/ppl.12183.
- Freire Rios A., S. Yoshida y D. Weijers, Auxin regulation of embryo development, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 171-189, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_9.
- Friml J. y A. R. Jones, Endoplasmic reticulum: The rising compartment in auxin biology, *Plant Physiol.*, 154(2): 458-462, (2010). DOI: 10.1104/pp.110.161380.
- Fujimura T., Carrot somatic embryogenesis. A dream come true?, *Plant Biotechnol. Rep.*, 8(1): 23-28, (2014). DOI: 10.1007/s11816-013-0295-y.
- Ganguly A. y H. T. Cho, Signaling in polar auxin transport, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 1-24, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_1.
- Gao Y. y Y. Zhao, Auxin biosynthesis and catabolism, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 21-38, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_2.
- Geisler M. y S. Henrichs, Regulation of polar auxin transport by protein-protein interactions, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 155-178, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_8.
- Goh T., U. VoB, E. Farcot, M. J. Bennett y A. Bishopp, Systems biology approaches to understand the role of auxin in root growth and development, *Physiol. Plant.*, 151(1): 73-82, (2014). DOI: 10.1111/ppl.12162.
- Grunewald W. y J. Friml, The march of the PINs: developmental plasticity by dynamic polar targeting in plant cells, *EMBO J*, 29(16): 2700-2714, (2010). DOI: 10.1038/emboj.2010.181.
- Guilfoyle T. J., The PB1 domain in auxin response factor and Aux/IAA proteins: A versatile protein interaction module in the auxin response, *Plant Cell*, 27(1): 33-43, (2015). DOI: 10.1105/tpc.114.132753.
- Hayashi K. i., The interaction and integration of auxin signaling components, *Plant Cell Physiol.*, 53(6): 965-975, (2012). DOI: 10.1093/pcp/pcs035.
- Hepworth J. y M. Lenhard, Regulation of plant lateral-organ growth by modulating cell number and size, *Curr. Opin. Plant Biol.*, 17: 36-42, (2014). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2013.11.005>.

Heyman J., R. P. Kumpf y L. De Veyler, A quiescent path to plant longevity, *Trends Cell Biol.*, (2014). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tcb.2014.03.004>. (En prensa).

Hrtyan M., E. Sliková, J. Hejátko y K. Ruzicka, RNA processing in auxin and cytokinin pathways, *J. Exp. Bot.*, 66(16): 4897-4912, (2015). DOI: 10.1093/jxb/erv189.

Janda M., S. Planchais, N. Djafi, J. Martinec, L. Burketova, O. Valentova, A. Zachowski y E. Ruelland, Phosphoglycerolipids are master players in plant hormone signal transduction, *Plant Cell Rep.*, 32(6): 839-851, (2013). DOI: 10.1007/s00299-013-1399-0.

Keuskamp D. H. y R. Pierik, Plant competition: Light signals control polar auxin transport, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 281-293, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_14.

Kieffer M., J. Neve y S. Kepinski, Defining auxin response contexts in plant development, *Curr. Opin. Plant Biol.*, 13(1): 12-20, (2010). DOI: 10.1016/j.pbi.2009.10.006.

Koltai H., Cellular events of strigolactone signalling and their crosstalk with auxin in roots, *J. Exp. Bot.*, 66(16): 4855-4861, (2015). DOI: 10.1093/jxb/erv178.

Korasick D. A., T. A. Enders y L. C. Strader, Auxin biosynthesis and storage forms, *J. Exp. Bot.*, 64(9): 2541-2555, (2013). DOI: 10.1093/jxb/ert080.

Krupinski P. y H. Jönsson, Modeling auxin-regulated development, *Cold Spring Harbor Perspect. Biol.*, 2(2): 1-13, (2010). DOI: 10.1101/cshperspect.a001560.

Kurepin L. V., M. Zaman y R. P. Pharis, Phytohormonal basis for the plant growth promoting action of naturally occurring biostimulators, *J. Sci. Food Agric.*, 94(9): 1715-1722, (2014). DOI: 10.1002/jsfa.6545.

Landrein B. y T. Vernoux, Auxin, chief architect of the shoot apex, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 191-212, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_10.

Lau S., J. S. Ehrismann, A. Schlereth, S. Takada y U. Mayer, Cell-cell communication in Arabidopsis early embryogenesis, *Eur. J. Cell Biol.*, 89(2-3): 225-230, (2010). DOI: 10.1016/j.ejcb.2009.11.010.

Laxmi A., A. Gupta, B. S. Mishra, M. Singh, K. M. Jamsheer y S. Kushwah, Signal integration, auxin homeostasis, and plant development, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 45-79, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_3.

Lee O. y M. Cho, Trafficking of ABCB-type auxin transporters, en: *Plant ABC Transporters*, (Geisler M., ed.), Springer International Publishing, Switzerland, 287-300, (2014). DOI:10.1007/978-3-319-06511-3_15.

Leyser O., Auxin, self-organisation, and the colonial nature of plants, *Curr. Biol.*, 21(9): R331-R337, (2011). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2011.02.031>.

Liscum E., S. K. Askinosie, D. L. Leuchtman, J. Morrow, K. T. Willenburg y D. R. Coats, Phototropism: growing towards an understanding of plant movement, *Plant Cell*, 26(1): 38-55, (2014). DOI: 10.1105/tpc.113.119727.

Lisitskaya T. B. y T. D. Trosheva, Microorganisms stimulating plant growth for sustainable agriculture, *Russian Journal of General Chemistry*, 83(13): 2765-2774, (2013). DOI: 10.1134/S1070363213130252.

Ludwig-Müller J., Auxin conjugates: their role for plant development and in the evolution of land plants, *J. Exp. Bot.*, 62(6): 1757-1773, (2011). DOI: 10.1093/jxb/erq412.

Ma Q. y S. Robert, Auxin biology revealed by small molecules, *Physiol. Plant.*, 151(1): 25-42, (2014). DOI: 10.1111/ppl.12128.

- Mano Y. y K. Nemoto, The pathway of auxin biosynthesis in plants, *J. Exp. Bot.*, 63(8): 2853-2872, (2012). DOI: 10.1093/jxb/ers091.
- Martínez M. C., L. Armengot y M. M. Marques-Bueno, Regulation of polar auxin transport by protein phosphorylation, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 81-101, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_4.
- Michniewicz M., S. Powers y L. Strader, IBA transport by PDR proteins, en: *Plant ABC Transporters*, (Geisler M., ed.), Springer International Publishing, Switzerland, 313-331, (2014). DOI:10.1007/978-3-319-06511-3_17.
- Muday G. K., A. Rahman y B. M. Binder, Auxin and ethylene: collaborators or competitors?, *Trends Plant Sci.*, 17(4): 181-195, (2012). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2012.02.001>.
- Napier R., Auxin receptors and perception, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 101-116, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_6.
- Naseem M., M. Kaldorf y T. Dandekar, The nexus between growth and defence signalling: auxin and cytokinin modulate plant immune response pathways, *J. Exp. Bot.*, 66(16): 4885-4896, (2015). DOI: 10.1093/jxb/erv297.
- Ng L. P. J., G. E. van Noorden y U. Mathesius, Polar auxin transport regulation in plant-microbe interactions, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 201-219, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_10.
- Nick P., Auxin and self-organisation, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 291-313, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_14.
- Nishimura T. y T. Koshiba, Auxin biosynthesis and polar auxin transport during tropisms in maize coleoptiles, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 221-238, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_11.
- Normanly J., Approaching cellular and molecular resolution of auxin biosynthesis and metabolism, *Cold Spring Harbor Perspect. Biol.*, 2a001594, (2010). DOI: 10.1101/cshperspect.a001594.
- Novák O., A. Pencik y K. Ljung, Identification and profiling of auxin and auxin metabolites, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 39-60, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_3.
- Oliva M., E. Farcot y T. Vernoux, Plant hormone signaling during development: insights from computational models, *Curr. Opi. Plant Biol.*, 16(1): 19-24, (2013). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2012.11.006>.
- Oliva M., T. Vernoux y J. Traas, From auxin transport to patterning, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 259-279, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_13.
- Overvoorde P., H. Fukaki y T. Beeckman, Auxin control of root development, *Cold Spring Harbor Perspect. Biol.*, 2(6): 1-16, (2010). DOI: 10.1101/cshperspect.a001537.
- Pacurar D. I., I. Perrone y C. Bellini, Auxin is a central player in the hormone cross-talks that control adventitious rooting, *Physiol. Plant.*, 151(1): 83-96, (2014). DOI: 10.1111/ppl.12171.
- Pattison R. J., F. Csukasi y C. Catalá, Mechanisms regulating auxin action during fruit development, *Physiol. Plant.*, 151(1): 62-72, (2014). DOI: 10.1111/ppl.12142.
- Peer W. A., From perception to attenuation: auxin signalling and responses, *Curr. Opi. Plant Biol.*, 16(5): 561-568, (2013). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2013.08.003>.

- Peer W. A., M. K. Jenness y A. S. Murphy, Measure for measure: determining, inferring and guessing auxin gradients at the root tip, *Physiol. Plant.*, 151(1): 97-111, (2014). DOI: 10.1111/ppl.12182.
- Peng J., L. Ge, Y. Wang y R. Chen, Signaling and transport of auxin and plant development, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 239-258, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_12.
- Perrot-Rechenmann C., Cellular responses to auxin: division versus expansion, *Cold Spring Harbor Perspect. Biol.*, 2(5): a001446, (2010). DOI: 10.1101/cshperspect.a001446.
- Perrot-Rechenmann C., Auxin signaling in plants, en: *Molecular Biology. The Plant Sciences 2*, (Howell S. H., ed.), Springer, New York, 245-268, (2014). DOI:10.1007/978-1-4614-7570-5_15.
- Petrásek J., K. Malínská y E. Zazimalová, Auxin transporters controlling plant development
- Transporters and Pumps in Plant Signaling, en: *Transporters and pumps in plant signaling*, (Geisler M. y K. Venema, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 255-290, (2011). DOI:10.1007/978-3-642-14369-4_9.
- Pieterse C. M. J., D. Van der Does, C. Zamioudis, A. Leon-Reyes y S. C. M. Van Wees, Hormonal modulation of plant immunity, *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.*, 28(1): 489-521, (2012). DOI: 10.1146/annurev-cellbio-092910-154055.
- Prasad K. y P. Dhonukshe, Polar auxin transport: cell polarity to patterning, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 25-44, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_2.
- Ramakrishna P. y I. De Smet, Evolutionary aspects of auxin signalling, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 265-290, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_13.
- Reemmer J. y A. Murphy, Intercellular transport of auxin, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 75-100, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_5.
- Retzer K., B. Korbei y C. Luschnig, Auxin and tropisms, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 361-387, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_16.
- Robert H. S., L. Crhak Khaitova, S. Mroue y E. Benková, The importance of localized auxin production for morphogenesis of reproductive organs and embryos in *Arabidopsis*, *J. Exp. Bot.*, 66(16): 5029-5042, (2015). DOI: 10.1093/jxb/erv256.
- Robles L., A. Stepanova y J. Alonso, Molecular mechanisms of ethylene-auxin interaction, *Mol. Plant*, 6(6): 1734-1737, (2013). DOI: 10.1093/mp/sst113.
- Rodriguez-Villalon A. y C. Hardtke, Auxin and its Henchmen: hormonal cross talk in root growth and development, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 245-264, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_12.
- Ruiz Rosquete M., E. Barbez y J. Kleine-Vehn, Cellular auxin homeostasis: gatekeeping is housekeeping, *Mol. Plant*, 5(4): 772-786, (2012). DOI: 10.1093/mp/ssr109.
- Runions A., R. Smith y P. Prusinkiewicz, Computational models of auxin-driven development, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 315-357, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_15.

Saharan B. C. y V. Nehra, Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review, *Life Sciences and Medicine Research*, 211-30, (2011). DOI:

Saini S., I. Sharma, N. Kaur y P. Pati, Auxin: a master regulator in plant root development, *Plant Cell Rep.*, 32(6): 741-757, (2013). DOI: 10.1007/s00299-013-1430-5.

Salehin M., R. Bagchi y M. Estelle, SCFTIR1/AFB-based auxin perception: Mechanism and role in plant growth and development, *Plant Cell*, 27(1): 9-19, (2015). DOI: 10.1105/tpc.114.133744.

Sanan-Mishra N., S. P. Varanasi y S. Mukherjee, Micro-regulators of auxin action, *Plant Cell Rep.*, 32(6): 733-740, (2013). DOI: 10.1007/s00299-013-1425-2.

Santner A. y M. Estelle, The ubiquitin-proteasome system regulates plant hormone signaling, *Plant J.*, 61(6): 1029-1040, (2010). DOI: 10.1111/j.1365-313X.2010.04112.x.

Sauer M. y J. Kleine-Vehn, Auxin binding protein1: the outsider, *Plant Cell*, 23(6): 2033-2043, (2011). DOI: 10.1105/tpc.111.087064.

Sauer M., S. Robert y J. Kleine-Vehn, Auxin: simply complicated, *J. Exp. Bot.*, 64(9): 2565-2577, (2013). DOI: 10.1093/jxb/ert139.

Scarpella E. y Y. Helariutta, Vascular pattern formation in plants, *Current Topics Developmental Biology*, 91221-265, (2010). DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0070-2153\(10\)91008-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0070-2153(10)91008-9).

Scarpella E., M. Barkoulas y M. Tsiantis, Control of leaf and vein development by auxin, *Cold Spring Harbor Perspect. Biol.*, 2(1): a001511, (2010). DOI: 10.1101/cshperspect.a001511.

Scarpella E. y T. Berleth, Auxin transport and signaling in leaf vascular patterning, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 129-154, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_7.

Schaller G. E., A. Bishopp y J. J. Kieber, The Yin-Yang of hormones: Cytokinin and auxin interactions in plant development, *Plant Cell*, 27(1): 44-63, (2015). DOI: 10.1105/tpc.114.133595.

Scheuring D. y J. Kleine-Vehn, Intracellular auxin transport, en: *Auxin and Its Role in Plant Development*, (Zazimalová E., J. Petrásek y E. Benková, eds.), Springer, Vienna, 61-73, (2014). DOI:10.1007/978-3-7091-1526-8_4.

Shibasaki K. y A. Rahman, Auxin and temperature stress: Molecular and cellular perspectives, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 295-310, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_15.

Simon S. y J. Petrásek, Why plants need more than one type of auxin, *Plant Sci.*, 180(3): 454-460, (2011). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.12.007>.

Simontacchi M., C. García-Mata, C. G. Bartoli, G. E. Santa-María y L. Lamattina, Nitric oxide as a key component in hormone-regulated processes, *Plant Cell Rep.*, 32(6): 853-866, (2013). DOI: 10.1007/s00299-013-1434-1.

Singh J., V. Pandey y D. Singh, Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(3-4): 339-353, (2011). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017>.

Skupa P., Z. Opatrny y J. Petrásek, Auxin biology: applications and the mechanisms behind, en: *Applied Plant Cell Biology*, (Nick P. y Z. Opatrny, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 69-102, (2014). DOI:10.1007/978-3-642-41787-0_3.

- Spaepen S. y J. Vanderleyden, Auxin and plant-microbe interactions, *Cold Spring Harbor Perspect. Biol.*, 3(4): 1-13, (2011). DOI: 10.1101/cshperspect.a001438.
- Stewart J. L. y J. L. Nemhauser, Do trees grow on money? Auxin as the currency of the cellular economy, *Cold Spring Harbor Perspect. Biol.*, 2(2): 1-13, (2010). DOI: 10.1101/cshperspect.a001420.
- Strader L. C. y J. L. Nemhauser, Auxin 2012: a rich mea ho'oulu, *Development*, 140(6): 1153-1157, (2013). DOI: 10.1242/dev.090530.
- Sun J., L. Qi y C. Li, Hormonal control of polar auxin transport, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 119-127, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_6.
- Tarkovská D., O. Novák, K. Floková, P. Tarkowski, V. Turecková, J. Grúz, J. Rolcík y M. Strnad, Quo vadis plant hormone analysis?, *Planta*, 240(1): 55-76, (2014). DOI: 10.1007/s00425-014-2063-9.
- Tivendale N. D., J. J. Ross y J. D. Cohen, The shifting paradigms of auxin biosynthesis, *Trends Plant Sci.*, 19(1): 44-51, (2014). DOI: 10.1016/j.tplants.2013.09.012.
- Tromas A. y C. Perrot-Rechenmann, Recent progress in auxin biology, *C. R. Biol.*, 333(4): 297-306, (2010). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.crv.2010.01.005>.
- Turchi L., S. Baima, G. Morelli y I. Ruberti, Interplay of HD-Zip II and III transcription factors in auxin-regulated plant development, *J. Exp. Bot.*, 66(16): 5043-5053, (2015). DOI: 10.1093/jxb/erv174.
- Vanneste S. y J. Friml, Plant signaling: deconstructing auxin sensing, *Nat. Chem. Biol.*, 8(5): 415-416, (2012). DOI: 10.1038/nchembio.943.
- Viaene T., C. F. Delwiche, S. A. Rensing y J. Friml, Origin and evolution of PIN auxin transporters in the green lineage, *Trends Plant Sci.*, 18(1): 5-10, (2013). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2012.08.009>.
- Wabnik K., W. Govaerts, J. Friml y J. Kleine-Vehn, Feedback models for polarized auxin transport: an emerging trend, *Mol. Biosyst.*, 7(8): 2352-2359, (2011). DOI: 10.1039/C1MB05109A.
- Weijers D., Auxin: Harnessing a loose cannon, *Nature Plants*, 115024, (2015). DOI: 10.1038/nplants.2015.24.
- Xu Y. X., Y. Liu, S. T. Chen, X. Q. Li, L. G. Xu, Y. H. Qi, D. A. Jiang y S. H. Jin, The B subfamily of plant ATP binding cassette transporters and their roles in auxin transport, *Biol. Plant.*, 58(3): 401-410, (2014). DOI: 10.1007/s10535-014-0423-8.
- Yamazaki C., N. Fujii y H. Takahashi, The role of auxin transport and distribution in plant gravimorphogenesis, en: *Polar Auxin Transport*, (Chen R. y F. Baluška, eds.), Springer, Berlin Heidelberg, 179-199, (2013). DOI:10.1007/978-3-642-35299-7_9.
- Zazimalová E., A. S. Murphy, H. Yang, K. Hoyerová y P. Hosek, Auxin transporters - Why so many?, *Cold Spring Harbor Perspect. Biol.*, 2(3): a001552, (2010). DOI: 10.1101/cshperspect.a001552.
- Zhao Y., Auxin biosynthesis and its role in plant development, *Annu. Rev. Plant Biol.*, 61(1): 49-64, (2010). DOI: 10.1146/annurev-arplant-042809-112308.
- Zhao Y., Auxin biosynthesis, *The Arabidopsis Book*, 12e0173, (2014). DOI: <http://dx.doi.org/10.1199/tab.0173>.
- Zhu J. y M. Geisler, Keeping it all together: auxin-actin crosstalk in plant development, *J. Exp. Bot.*, 66(16): 4983-4998, (2015). DOI: 10.1093/jxb/erv308.