



Ciencia UANL

Universidad Autónoma de Nuevo León

ciencia@mail.uanl.mx

ISSN (Versión impresa): 1405-9177

MÉXICO

2003

Manuel Rojas Garcidueñas

CONCEPTOS SOBRE FISIOLÓGÍA VEGETAL REPRODUCTIVA

Ciencia UANL, abril-junio, año/vol. VI, número 002

Universidad Autónoma de Nuevo León

Monterrey, México

pp. 171-175



Conceptos sobre fisiología vegetal reproductiva

Manuel Rojas Garcidueñas*

La globalización ha hecho patente la pobreza y debilidad competitiva de la agricultura mexicana y la necesidad de apoyo tanto económico como técnico. Tras la tecnología está la investigación aplicada, cuyos efectos no son siempre inmediatos pero son importantes a largo o mediano plazo. En consonancia con el carácter de la revista *CiENCIA UANL*, este artículo no pretende explicar técnicas de producción, sino exponer una visión básica de la fisiología de la producción en lenguaje accesible al profesional de cualquier campo, y suscitar ideas para la investigación de la productividad de los cultivos.

El sistema vegetal

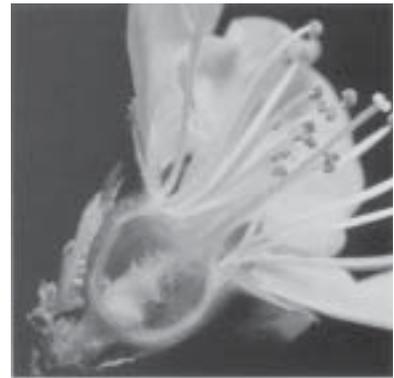
En la metodología científica existen dos maneras de considerar al ser vivo: El reduccionismo lo hace únicamente en términos de sus moléculas y de las leyes físicas y químicas.

El organicismo supone que la organización conlleva a un salto cualitativo con leyes propias que no contradicen a las leyes físicas; no postula una energía especial como el vitalismo sino que (así como el magnetismo no es una "fuerza" que se añade al hierro) surge de la disposición de su propia materia, la vida no es algo que se añade a un ser sino que surge de la propia organización del ser biológico.

Los conceptos reduccionistas son

muy fructíferos en la investigación biológica, pero inadecuados para explicar muchos fenómenos biológicos. El estudio del ser vivo lleva de modo insensible y lógico al de las moléculas que lo constituyen, pasando así a la química y luego a la física; pero el recorrido contrario, el paso insensible de la física a la biología no es posible, pues las explicaciones basadas en la adaptación y la evolución, básicas en la biología, son ajenas a la física. Si se centrifuga un embrión de pollo se conservan todas sus moléculas en la misma proporción, lo único que se pierde es el pollo y no puede ser reconstruido como sucedería si se desmontan los componentes de una máquina.

Para la visión organismica de la planta es útil considerarla como un sistema: un conjunto de procesos interrelacionados y autorregulados conforme a un plan general determinado por un programa genético derivado de la selección adaptativa. La figura 1 presenta un esquema del sistema. Los estímulos del medio (luz, agua, nutrientes, etc.) entran al sistema por procesos físicos (ósmosis, etc.) o por moléculas receptoras (clorofila, fitocromo, etc.) que los transforman a lenguaje químico y los refieren al ADN-ARN; éste ordena la síntesis de enzimas y proteínas que regulan la marcha del sistema orgánico. Las enzimas son los efectores del metabolismo por medio de reac-



ciones reversibles, irreversibles, competitivas, etc., hay intermediarios diversos: las hormonas son importantes pudiendo activar al sistema o, volviendo al ADN-ARN, cambiar el curso del metabolismo llevando a respuestas alternativas.

Muchos estímulos entran a la "caja metabólica". Para la producción los más importantes son la luz y el CO_2 , que en la fotosíntesis producen las moléculas básicas para obtener la energía y la materia por medio de un enorme número de reacciones y compuestos químicos.

Existen dos grandes vías de transformación de productos: una lleva a constituir el cuerpo de la planta; la otra, a dar productos de almacenaje que son el objeto de la agricultura (figura 2). Es evidente que para dar fruto, la planta debe primero formar un cuerpo, pero éste, como se ve en la

* Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias.

Tabla 1. Rendimiento e índice foliar de variedades de maíz

Variedad	Ton/ha ²	Índice foliar ²
NL VS I	6.5	1.5
Asgrow 511 w	6.1	1.2
NL VS II	5.6	1.4
H 412	5.1	1.2
NL T54	4.1	1.1
NL T61	4.1	1.4
NL T38	3.3	0.9

figura 2, representa una pérdida de materiales para el almacenaje. La planta soluciona el dilema formando un cuerpo en su juventud y cambiando la dirección de los nutrientes por medio de enzimas y hormonas en la edad adulta para almacenar productos. Sería de gran interés al agricultor poder "abrir o cerrar" tal o cual dirección del flujo, y así se ha tratado de hacer utilizando variedades enanas o muy precoces.

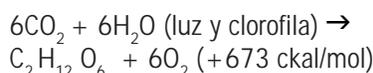
La expresión "genes de rendimiento" es incorrecta, pues el rendimiento no es un proceso, sino el resultante de innumerables procesos determinados por innumerables genes. Los factores de clima y suelo que influyen en el rendimiento no se tratarán aquí, pues serían mejor discutidos por los agrónomos, que saben



manipularlos en provecho de los cultivos.

Fotosíntesis: entrada al sistema

La principal puerta de entrada al sistema productivo es la fotosíntesis, fuente última de la energía y materia de la planta. El proceso se sintetiza en la conocida ecuación:



Esta ecuación señala los términos inicial y final de un proceso que ocurre en los cloroplastos, estructuras altamente organizadas, y que puede sintetizarse así (ver figura 3):

- 1) Los fotones son absorbidos por dos sistemas de pigmentos clorofílicos (SPI y SPII), rompiendo la molécula de agua en H⁺ y OH⁻ y desprendiendo O₂.
- 2) Los electrones liberados en esta reacción lumínica pasan por moléculasceptoras y a su paso sintetizan moléculas con alta energía: trifosfato de adenosina (ATP) y dinucleótido-difosfato-nicotinamida (NADP).
- 3) En la fotólisis del agua, la energía de la luz queda atrapada como energía química (ATP y NADP) con la cual el CO₂ del aire se integra a la química de la planta y

produce ácido fosfoglicérico (PGA).

- 4) El PGA inicia una complicada serie de reacciones, el ciclo de Calvin, donde se producen hidratos de carbono como la glucosa, fuente básica en el metabolismo vegetal y otros compuestos.

Exteriormente, la fotosíntesis está limitada por la luz y el CO₂; internamente se limita por las puertas de entrada, estomas y cutícula de la hoja y por el contenido de clorofila de la planta. La abundancia de los cloroplastos varía en las plantas, pero en general el contenido de clorofila depende de la superficie fotosintética, es decir, del número y tamaño de las hojas. Por otra parte, si bien la molécula de clorofila es igual en todas las plantas superiores, la eficiencia del proceso puede variar; existe evidencia de que así como hay grandes diferencias en el área foliar de los cultivos, hay también grandes diferencias en la asimilación de los productos (g materia seca/m² hoja/semana). Puede considerarse que:

Rendimiento = superficie fotosintética x asimilación neta

Por tanto, si se cruzan dos variedades de alto rendimiento por el mismo factor no se ganaría nada, pero si cada una tiene diferente factor el híbrido los conjuntaría para una mayor capacidad de rendimiento. La tabla 1 muestra variedades con alto



Fig. 2. Diagrama del flujo del carbono en el organismo vegetal.

sis, pero también la capacidad de almacenaje, es decir, el número de macollos con espigas. Esto indica la importancia de tener variedades cuyo follaje permanezca verde todo el período de llenado del grano.

Transporte: flujo del sistema

La teoría más aceptada sobre el transporte de productos elaborados es la de flujo de masa. El agua asciende a la hoja por tensión transpiratoria, llega a los tejidos clorofílicos y ahí se carga de azúcares y otros productos; el alto potencial osmótico determina el flujo de la solución a células con menor concentración y, finalmente, entra a los vasos cribosos del floema, transportándose a los sumideros donde descargan. Existen aún muchas



incógnitas en la comprensión del transporte de productos elaborados; además de los gradientes de concentración se involucran moléculas bioactivas, enzimas, hormonas y fenómenos de energía metabólica en la carga y descarga de los vasos. También influye la distancia entre fuente y sumidero: en trigo la hoja que nutre a la espiga es la hoja-bandera; en maíz, la hoja basal de la flor femenina, etc. Una exposición completa del proceso no se dará ahora.

En todo caso, el transporte obedece a las ecuaciones básicas siguientes y cualquier factor que lo modifique debe hacerlo a través de los términos de las ecuaciones:

$$T = VAC \quad (T = \text{tasa del transporte}; \\ V = \text{velocidad}; A = \text{área del tubo}; \\ C = \text{concentración del soluto})$$

$$V_f = HG \quad (V_f = \text{volumen del flujo}; H \\ = \text{conductividad hidráulica}; G = \\ \text{gradiente fuente-sumidero})$$

Muchos factores pueden modificar el transporte, pero solamente se tratará uno de ellos: el hormonal. Numerosas aplicaciones hormonales meramente técnicas, a veces llamadas de "spray and pray" (aspersión y oración), sin analizar causas han hecho evidente que en muchos casos aumenta la producción al aumentar el potencial de crecimiento de los

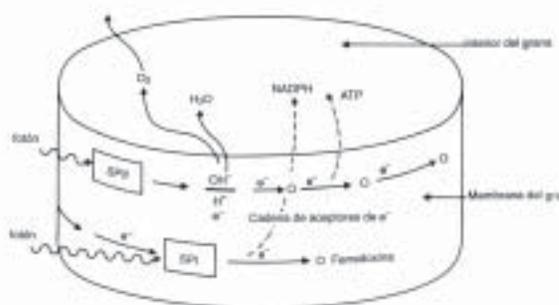
órganos de almacenaje y, por tanto, la demanda de productos, pero en tanto se desconozca el mecanismo del transporte más detalladamente es difícil concluir, si el efecto depende del aumento del gradiente de concentración fuente-sumidero, o si se involucra una acción hormonal directa sobre la conductividad hidráulica.

Experimentos más críticos prueban que las hormonas afectan directamente la carga y descarga de productos a través de las membranas celulares: auxinas, giberelinas y citoquininas las incrementan, y la abscisina las inhibe. Estas hormonas se transportan de los frutos en desarrollo a las hojas y pueden servir de señales reguladoras en la carga de los vasos cribosos.

Existe competencia por los productos entre los diversos sumideros que se regula por controles hormonales, que varían tanto el flujo como la dirección del transporte al inducir mayor crecimiento en unos puntos que en otros. Incluso hay evidencia de que al revertir las hormonas sobre el ADN-ARN puede cambiar el programa de desarrollo de las yemas y su destino en hojas o en flores.

El uso de las hormonas en la agricultura parecía muy promisorio hasta hace poco tiempo; en la actualidad hay cierto desencanto pues, si bien en muchos casos se tienen efectos muy ventajosos, la respuesta a estos productos es en general errática

Fig. 3. En los grana de los cloroplastos están absorbidos en la membrana los sistemas de pigmentos y los aceptores; por ellos viajan los e⁻ y con la energía liberada se sintetizan ATP y NADPH.



con efectos indeseables algunas veces. Esta variabilidad puede tener como causas:

- 1) Aplicaciones simplistas buscando mayor producción, sin tomar en cuenta los muchos factores que se involucran en ella (agua, nutrientes, etc.), extrapolando a diferentes situaciones.
- 2) Pruebas con visión reduccionista, extrapolando efectos de una especie a otra o en diferentes estados del desarrollo, casos en los que equilibrios hormonales y metabólicos son diferentes.
- 3) Aplicaciones de mezclas de hormonas, extractos de algas, etc., que imposibilitan analizar los efectos de los componentes aplicados.

Las hormonas actúan sobre complejos de genes, en general desconocidos, y sus efectos son múltiples; tal vez no se podrá tener un manejo agrícola confiable de ellas hasta conocer cómo actúan en el genoma de los cultivos y qué enzimas producen o afectan. Por ahora vale decir que deben diseñarse pruebas más críticas, bioensayos en ambiente controlado y centrados en unas pocas especies selectas en los que se valoren no tan sólo los grandes procesos del desarrollo (producción de raíces, floración, etc.), sino también los fenómenos que ocurren a nivel celular. Las hormonas serán sin duda muy valiosas

en la productividad agrícola, cuando se entienda mejor su acción fundamental.

Conclusiones

Las investigaciones de fisiología vegetal no son un ejercicio de «ciencia pura», sino un medio de aumentar la productividad de los cultivos. La visión organicista permite esbozar las interrelaciones y autorregulaciones del sistema metabólico; el análisis reduccionista lleva a entender la acción de los factores externos, las limitantes por agentes internos y las puertas de entrada al sistema. Se podrán entonces manipular los cultivos y su ambiente, modificándolos en el campo u optimizándolos en ambiente controlado, así como seleccionar progenitores con genomas complementarios adecuados para obtener mejores híbridos, o puntualizar la característica específica que se desea modificar por introgresión génica.

Referencias

Dada la índole de este artículo se ha juzgado preferible dar, en lugar de citas específicas, algunas obras generales que desarrollan el pensamiento de sus autores, en los que descansan los conceptos aquí expuestos.

1. Azcón-Bieto, J.; Talón, M. (editores). (1993). Fisiología y bio-

química vegetal. Interamericana-McGraw Hill de España:Madrid. Cap. V Fotosíntesis (J.M. Ramírez); Cap. VII Transporte (J.L. Guardiola).

2. Evans, T.L.(editor). (1978). Crop physiology. Cambridge University Press: England. Introduction; Cap. XI The physiological basis of crop yield (T.L. Evans).
3. Hoad, G.V. y cols. (editores). (1983). Hormone action in plant development. A critical Appraisal. Butterworth:London. Artículo: Are hormones involved in assimilate transport? (J.W. Parker).
4. Rainer, J.M. The organism as an adaptive control system. Prentice Hall: Englewood Cliffs, USA. Cap.I Scientific biology: promise and fulfillment. Cap.V Multienzyme systems.
5. Rojas Garcidueñas, M. (1982). Reduccionismo y organicismo en la biología moderna. Ciencia (Academia de la Investigación Científica) 33:189-197. (La Acad. Invest. Cient. Se denomina hoy Academia Mexicana de la Ciencia).
6. Rojas Garcidueñas, M. (1993). Fisiología vegetal aplicada, 4ª edición. McGraw Hill de México: México. Cap. II El organismo como sistema; Cap. VII Fotosíntesis; Cap.XIII Aspectos aplicados del metabolismo básico; Cap.XXI Aspectos aplicados del desarrollo.