

## CONSIDERACIONES TEORICAS DEL TRANSPORTE DE IONES EN CELULAS VEGETALES

*Hilda Moreno T.*

Ciclo Básico y Fsc. de Ciencias Biológicas,  
Universidad Nacional,  
Heredia, Costa Rica.

El presente trabajo tiene como propósito dar una visión global actualizada del transporte de iones en células vegetales.

El movimiento de un ión desde la solución del suelo al cilindro central de la raíz puede involucrar tanto el simplasma como el apoplasto. El ión podría moverse hasta la endodermis por los espacios libres, o por un movimiento simplasmático, o bien podría ser por combinación de ambas rutas.

En general, se acepta que para atravesar la endodermis los iones lo hacen exclusivamente vía simplasmática. El hecho que en la parte apical de la raíz las bandas de Caspary se encuentren poco desarrolladas (Pitman, 1977) hace pensar que el agua y los iones podrían entrar vía apoplasto hasta el cilindro central y con ello al tejido conductor xilemático. Este camino apoplasmático en el ápice de la raíz se da especialmente para  $\text{Ca}^{2+}$  y en menor proporción para  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$ . Esto es significativo, ya que estos iones son tomados preferentemente por la parte apical de la raíz. Según Clarkson y Hanson (1980) el ión  $\text{Ca}^{2+}$  es transportado por los apoplastos y su porcentaje es bajo en el simplasto.

Mientras la entrada de iones en los apoplastos del parénquima cortical se considera un proceso

no selectivo, ya que la solución en los apoplastos puede plantearse como una continuación de la solución del suelo, la toma de iones a través del plasmalema en el simplasto se considera un proceso selectivo. Evidentemente este último proceso dependerá en menor medida de la concentración que de la especificidad del ión.

La teoría del *transportador* permite explicar de un modo razonable la absorción de iones de un modo selectivo. Esta teoría se apoya fundamentalmente en la absorción selectiva de iones y en cálculos cinéticos de Epstein y Hagen (1952). Ellos encontraron que  $\text{K}^+$  y  $\text{Cs}^+$  interfieren competitivamente en la absorción de  $\text{Rb}^+$ , indicando esto que los tres iones estarían compitiendo por el mismo punto de unión con el transportador. Es así como para  $\text{Na}^+$  y  $\text{Rb}^+$ , por ejemplo, se distinguen dos situaciones: a altas concentraciones de  $\text{Rb}^+$  el ión  $\text{Na}^+$  no interfiere en la absorción de  $\text{Rb}^+$ ; pero cuando el  $\text{Rb}^+$  se encuentra a niveles de concentraciones bajas, el ión  $\text{Na}^+$  interfiere en la absorción de  $\text{Rb}^+$ . Es decir, la intensidad de absorción de  $\text{Rb}^+$  puede verse afectada por la adición de determinados iones.

Por otro lado se encuentra que los iones  $\text{K}^+$  y  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Sr}^{2+}$  son absorbidos en igual proporción y repartidos en la planta de la misma manera

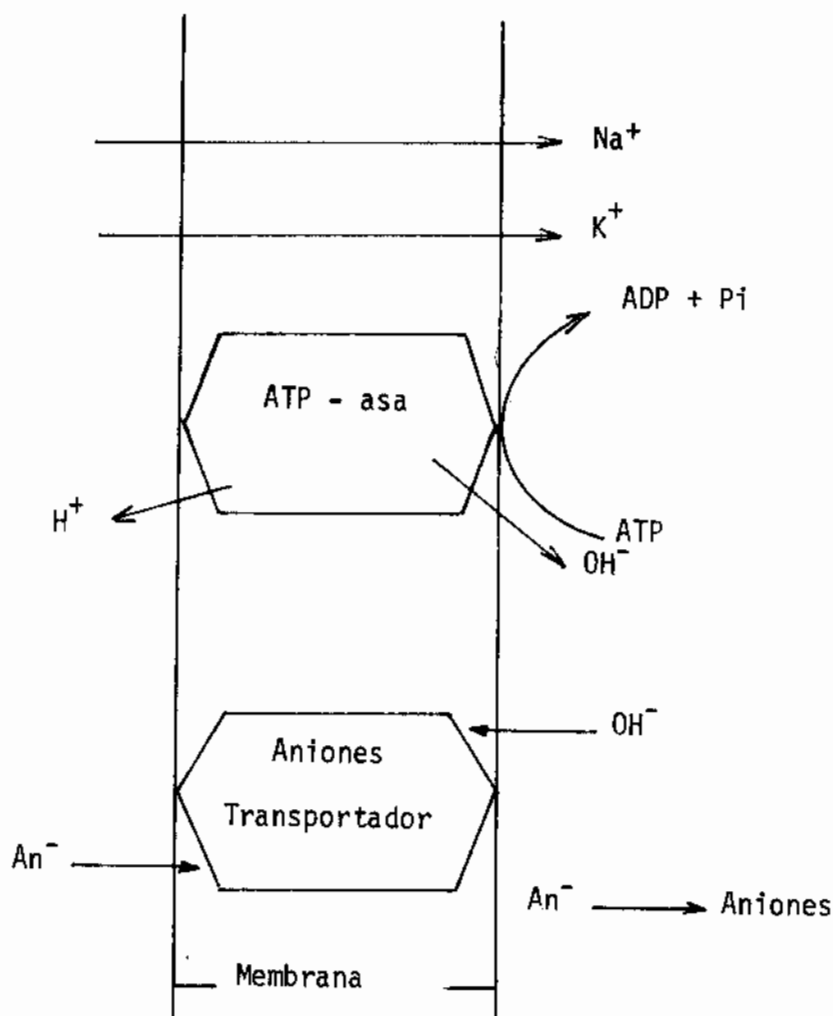


Figura 1

**ATP-asa como bomba de  $\text{H}^+$  acoplada a un transportador de aniones con flujo pasivo de  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ . Según Hodges 1973.**

(Mentzel y Heald, 1955). Esto indicaría que un par de iones tendrá un mismo transportador. Autores como West y Pitman (1967), Maas y Leggett (1968), Marscher y Schimansky (1968) cuestionan lo ya indicado, especialmente en lo que se refiere a la absorción de  $\text{K}^+$  y  $\text{Rb}^+$ . En el caso que  $\text{K}^+$  se encuentre por ejemplo a bajas concentraciones (0,1-0,5 mM) será absorbido preferentemente en contraposición a  $\text{Rb}^+$ , pero a concentraciones mayores ( $> 1$  mM) sucede lo contrario. Bajo estas consideraciones pareciera que cada ión absorbible tiene su propio transportador. El impedimento recíproco

de un mismo tipo de ión en la absorción es poco factible; más bien se plantea que un tipo de ión desplaza al otro por un punto de unión con el transportador (competencia).

La absorción del ión según la teoría del transportador se produciría por un complejo formado entre el ión y un producto metabólico. En analogía a las relaciones enzimáticas un transportador ("carrier") es considerado como la enzima y el ión como el sustrato. Observaciones en *Chlorella*, cultivada en soluciones nutritivas elevadas de fós-

foro, demuestran que una concentración progresiva de sales provoca la intensidad de absorción de fósforo a un límite (Devlin, 1980). Los resultados obtenidos por Kochian y Lucas (1983) sugieren por otro lado que para  $K^+$ , por ejemplo, se dan dos mecanismos cinéticos diferentes: relación lineal y saturación. Ambos mecanismos se encuentran localizados en el plasmalema de las células epidérmicas y corticales de *Zea mays*.

La representación por el "carrier" tiene carácter hipotético, pero dado que el mismo es difusible en la membrana, se puede pensar que tiene carácter lipídico. El hecho que la acumulación de iones sea inhibida cuando la actividad metabólica se ve afectada por bajas temperaturas, inhibidores metabólicos y otros, induce a pensar que la acumulación de iones requiere gasto de energía. Este planteamiento no es aceptado de modo general. Es así, por ejemplo, que el inhibidor DNP aumenta la respiración pero reduce la absorción de sales (Devlin, 1980), lo que indica más bien la participación de ATP en la absorción activa de iones.

Estudios de la última década señalan que en las membranas celulares se localizan bombas de protones, consideradas como las responsables del transporte activo e indirectamente del intercambio de sustancias para el transporte pasivo (Hodges, 1973; Poole, 1978). Las bombas de protones no solo posibilitan la toma de iones inorgánicos, sino también el transporte de azúcares y aminoácidos. El principio de la bomba consiste en la división de ATP en ADP y fosfato inorgánico, produciendo una separación de protones a ambos lados de la membrana, semejante a la síntesis de ATP.

Autores como Leonhard y Hodges (1973), Erdei y otros (1979), encuentran una estrecha relación entre la absorción de  $K^+$  y la actividad de ATPasa (bomba de protones). El supuesto que ATPasa participe directamente en el mecanismo de absorción de iones, es factible, ya que  $K^+$  estimula la actividad de ATPasa. También  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  estimulan la actividad de ATPasa como lo comprue-

ban Kuiper y Kuiper (1979), Pohlman-Nepveu y otros (1979). Según Lin y Hanson (1976) el ión  $K^+$  puede ser absorbido en contra de un gradiente electroquímico; esto indicaría entonces que el mecanismo de la bomba de protones sola, no aclararía el transporte. Ello lleva a suponer la existencia de un transportador específico para la toma de  $K^+$ , lo que no descarta la posibilidad de que se encuentre localizado en la membrana con la ATPasa. El modelo planteado por Hodges (Fig. 1) no aclara la absorción selectiva de iones, ya que el  $Na^+$  y  $K^+$  son absorbidos en igual proporción. Justamente en las células vegetales la absorción de iones de  $K^+$  es mayor que la de  $Na^+$ , pudiendo estar relacionado esto con el diámetro de los iones.

Estudios recientes indican la existencia de complejas moléculas orgánicas, los llamados ionóforos (Mengel, 1984) que unen  $K^+$  más específicamente que  $Na^+$ . La especificidad se basa en que  $K^+$ , en relación con  $Na^+$ , entrega su envoltura de hidratación con más facilidad. Un ionóforo específico de  $K^+$  es, por ejemplo, Nonactin según estudios de Kilbourn y otros (1967), y todo el complejo tendría carácter lipídico. Se puede pensar entonces que Nonactin potencialmente funge como transportador específico de  $K^+$  en las membranas biológicas.

Los mecanismos del transporte de iones no están completamente aclarados, pero toma fuerza la idea que se produce por bombas de protones y por transportadores.

En todas las relaciones iónicas que se dan dentro de las células, tanto en los organelos como fuera de ellos, están involucrados procesos pasivos y activos. En el transporte pasivo la difusión juega un gran papel, pero para aquellos iones que son transportados activamente (bombas de  $H^+$ ) se produce a ambos lados de la membrana un gradiente de potencial, el cual es justamente una característica de las células vegetales. La diferencia de potencial originada funge como ATP, una forma de energía, que es la fuerza motriz del transporte.

## LITERATURA CITADA

- Clarkson, D.T. and Hanson, J.B. 1980. The mineral nutrition of higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31: 239-298.
- Devlin, R.M. 1980. *Fisiología vegetal*. Omega. Barcelona. pp. 287-290.
- Epstein, E. and Hagen, C.E. 1952. A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots. *Plant Physiol.* 27: 457-474.
- Erdei, L., Toth, I. and Zsoldos, F. 1979. Hormonal regulation of  $Ca^{2+}$  stimulated  $K^+$  ATPase in rice roots: in vivo and vitro effects of auxins and reconstitution of the ATPase. *Physiol. Plant.* 45: 448-452.
- Hodges, T.K. 1973. Ion absorption by plants roots. *Adv. Agron.* 25: 163-207.
- Kilbourn, B.T., Dunitz, J.D., Pioda, L.A.R. and Simon, W. 1967. Structure of the  $K^+$  complex with nonactin, a macrocyclic lactone possessing highly specific  $K^+$  transport properties. *J. Mol. Biol.* 30: 559-563.
- Kochian, L.V. and Lucas, W.J. 1983. Potassium transport in corn roots. *Plant Physiol.* 73: 208-215.
- Kuiper, D. and Kuiper, P.J. 1979.  $Ca^{+}$  and  $Mg^{2+}$  stimulated ATPases from roots of *Plantago major* and *Plantago maritima*: Response to alterations of the level of mineral nutrition and ecological significance. *Physiol. Plant.* 45: 1-6.
- Leonhard, R.T. and Hodges, T.K. 1973. Characterization of plasma membrane-associated adenosine triphosphatase activity of oat roots. *Plant Physiol.* 52: 6-12.
- Lin, W. and Hanson, J.B. 1976. Cell potentials, cell resistance, and proton fluxes in corn root tissues. *Plant Physiol.* 58: 276-282.
- Maas, E.V. and Leggett, J.E. 1968. Uptake of  $^{86}Rb$  and K by excised maize roots. *Plant Physiol.* 43: 2,054-2,056.
- Marscher, H. and Schimansky, C. 1968. Unterschiedliche Aufnahme von Kalium und Rubidium durch Gerste. *Naturwissenschaften.* 55: 499.
- Mengel, K. 1984. *Ernahrung und Stoffwechsel der Pflanzen*. VEB G. Fischer Verlag, Jena. p. 219.
- Mentzel, R.G. and Heald, W.R. 1955. Distribution of potassium, rubidium, cesium, calcium, and strontium within plants grow in nutrient solution. *Soil Sci.* 80: 287-293.
- Pitman, M.G. 1977. Ion transport into the xylem. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28: 71-88.
- Pohlman-Nepveu, J., Kahr, M., Kylin, A., Stuiver, B. and Kuiper, P.J. 1979. Uptake and translocation of  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  ions in seedlings of oat and wheat, and its correlations with  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  activated ATPases from roots. *Physiol. Plant.* 45: 347-350.
- Poole, R.J. 1978. Energy coupling for membrane transport. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29: 437-460.
- West, K.L. and Pitman, M.G. 1967. Rubidium as a tracer for potassium in the marine algae *Ulva lactuca* L. and *Chaetomorphy darwinii* (Hooker) Kuetzing. *Nature.* 214: 1.262-1.263.