

CARACTERIZACION ELECTROFISIOLOGICA DE LA TOLERANCIA AL ESTRES SALINO Y A LA ACIDEZ DEL SUELO EN MAIZ. EFECTOS CON EL TRATAMIENTO DE FERTILIZANTES ENMENDANTES AL TERRENO

E. Niubó, G. Rodríguez* y C. Sánchez.

Lab. de Biología Celular, Grupo de Bioplasmas, *Lab. de Zeolitas, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Avenida 25 y 158, Playa, Apartado Postal 6990, Ciudad de La Habana, Cuba.

Recibido: 23 de julio de 1996.

RESUMEN. Se hizo un estudio electrofisiológico en plántulas de maíz cultivadas en suelo salino y en ferralítico rojo con adiciones de distintas combinaciones de roca fosfórica y zeolita con potasio y amonio, con el propósito de determinar cuál de ellas es la mejor para estos suelos. Los índices investigados fueron el potencial eléctrico superficial espontáneo y la variación del potencial eléctrico superficial post-estímulo en el tejido foliar. Se concluyó que las combinaciones roca fosfórica + zeolita-potasio y roca fosfórica + zeolita-amonio son igualmente buenas tanto para el suelo salino como para el ferralítico rojo, así como roca fosfórica sola para este último.

ABSTRACT. An electrophysiological study on young maize plants breeding in saline soil and red ferralitic soil and zeolite with addition of different combinations of phosphoric rock with potassium and ammonium was made for the purpose to determine the best combination for these soils. Spontaneous superficial electrical potential and the change of superficial electrical potential after electrical stimulus on leaves was investigated. It is concluded that combinations of phosphoric rock + zeolite-potassium and phosphoric rock + zeolite-ammonium are good for both kind of soil. Furthermore phosphoric rock only is good at red ferralitic soil too.

INTRODUCCION

La principal riqueza de un país está en sus suelos, de ahí la gran importancia de su conocimiento para su ulterior explotación y en el caso específico de la producción agrícola se impone dadas las características de cada región, el uso de fertilizantes y enmendantes o la combinación de ambos con vistas a obtener mayores rendimientos.

La presencia de concentraciones extremas de sal en el suelo y el pH son importantes factores ecológicos.¹ Extensiones considerables del territorio cubano están sufriendo un aumento progresivo de la salinidad, principalmente por sales de sodio y otra parte de las tierras cultivables son suelos ferralíticos con un pH por debajo del idóneo para una amplia variedad de plantas.² En los suelos salinizados con compuestos de sodio predominan las sales insolubles, pero el efecto más dañino para los cultivos resulta la toxicidad que le confieren al suelo las sales sódicas. Las condiciones físicas de estos suelos también son desfavorables para los cultivos por el marcado efecto de los iones sodio sobre la estructura, ya que destruye los agregados. Son además, poco permeables al aire y al agua.

Los suelos ferralíticos muestran baja capacidad de intercambio catiónico, además de poseerlos en bajas cantidades. Son suelos con cierto proceso de desarrollo donde el material arcilloso presente es del tipo de las arcillas hidroxídicas o caolínicas.³ La acidez de estos suelos es en general desfavorable para la mayoría de los cultivos dada la mala asimilación de los elementos nutritivos y el pobre desarrollo de los microorganismos. Además, elementos tan importantes como el fósforo se encuentran formando fosfatos de aluminio e hierro poco solubles y por ende, no aprovechables por las plantas.

Las acumulaciones de sal pueden ser parcialmente controladas por métodos de ingeniería de los suelos y prácticas de mejora de la tierra.⁴ Existen en Cuba grandes yacimientos

de minerales como las zeolitas y la roca fosfórica los que aplicados a los suelos salinos pueden resultar en un magnífico fertilizante-enmendante por su capacidad de intercambio iónico. Por su contenido de calcio,⁵ la clinoptilolita cubana se diferencia de las variedades sódico-potásicas de otras partes del mundo. En ella, la suma K_2O+N_2O es menor que $CaO+MgO$,⁶ resultando de gran utilidad su aporte de calcio a las plantas que crecen en suelo salino. La roca fosfórica es también de gran utilidad por su gran contenido de fósforo⁷ y carbonato de calcio.

Se conoce que el maíz es una gramínea poco susceptible al estrés salino durante las etapas de germinación, emergencia y producción del fruto, sin embargo, es severamente dañado su crecimiento vegetativo aún a bajas concentraciones de sal.^{8,9}

En la literatura no se encuentran trabajos que relacionen el comportamiento eléctrico extracelular (potenciales superficiales) en cultivos en condiciones de salinidad o acidez de los suelos. Sin embargo, en estudios previos^{10,11} con el empleo de una adaptación del método propuesto por Bures y Zachar,¹² se demostró la existencia de variaciones de los potenciales superficiales en correspondencia con la tolerancia a la salinidad en variedades y somaclones de la caña de azúcar cultivados en condiciones controladas de salinidad y en suelos salinos.

Teniendo en cuenta este antecedente y las características de los minerales mencionados, se decidió hacer una caracterización de los potenciales eléctricos superficiales en tejido foliar de plántulas de maíz cultivado en suelo ferralítico rojo y en condiciones de simulación de suelo salino y relacionar el comportamiento eléctrico del tejido con el estado fisiológico de las plantas en presencia de diferentes combinaciones de fertilizantes-enmendantes frente al estrés provocado por el suelo.

MATERIALES Y METODOS

Se emplearon plántulas de maíz de 30d, las cuales fueron sembradas en macetas individuales y mantenidas en condiciones de vivero hasta el momento del registro electrofisiológico. Las plantas fueron irrigadas con un volumen de 10mL de agua destilada cada día con sistema de drenaje abierto (este volumen no llega a saturar de agua al suelo).

Los tipos de suelos en estudio fueron uno ferralítico rojo proveniente de la parcela del Centro Nacional de Investigaciones Científicas y otro salinizado artificialmente.

La salinización del suelo se realizó mediante la adición de una disolución de NaCl 258,6 mol/L. En estudios previos de salinización en condiciones controladas de cultivo, se observó que es necesario emplear altas concentraciones de sales para obtener efectos similares a los provocados en campo por los suelos salinos.¹⁰

La zeolita natural empleada fue la ZP1-86 del yacimiento Piojillo de Villa Clara, cuya fase fundamental es Clinoptilolita y una parte de Mordenita. Las formas modificadas de la roca zeolítica se obtuvieron por intercambio iónico con los iones NH_4^+ y K^+ . La roca fosfórica utilizada fue del yacimiento La Candela.¹³

Las proporciones de roca fosfórica y zeolita fueron a partes iguales. El suelo y el fertilizante-enmendante se utilizaron en la proporción 2:1.

Al suelo salino se le adicionó el fertilizante-enmendante en las combinaciones siguientes:

Roca fosfórica

Roca fosfórica + zeolita- NH_4^+

Roca fosfórica + zeolita- K^+

El tamaño de partícula empleado fue de 0,4 y 1 mm para la zeolita y 0,2 mm para la roca fosfórica.

Al suelo ferralítico se le adicionó:

Roca fosfórica

Roca fosfórica + zeolita- K^+

Roca fosfórica + zeolita- NH_4^+

El tamaño de las partículas empleado fue de 0,4 y 1 mm para la zeolita y 0,2 mm para la roca fosfórica.

En el momento de realizar el registro electrofisiológico se separó de la planta la hoja #2, según la clasificación de Kuiper¹⁴ y se fijó mediante bandas elásticas a un soporte de baquelita.

Se registraron dos potenciales eléctricos superficiales: el espontáneo (Ps1) y el obtenido al estimular con un pulso de corriente directa de 2 V, 500 ms de duración y polaridad contraria al Ps1 (Ps2). Se calculó la variación del potencial superficial (Ps) como la diferencia de voltaje entre Ps1 y Ps2 ($\text{Ps1}-\text{Ps2}$), y el porcentaje de variación del potencial superficial después de la estimulación con respecto al Ps antes de la estimulación ($\%\Delta\text{Ps}$).

Para la realización de los registros de los potenciales se emplearon electrodos de calomel conectados a un pre-amplificador diferencial MEZ 8201 (Nihon-Kohden) y se visualizaron los cambios de voltaje en la pantalla del pre-amplificador. Los electrodos de registro sirvieron a la vez de electrodos de estimulación mediante el paso de pulsos eléctricos desde un estimulador MSE-3R (Nihon-Kohden) hasta los electrodos a través del pre-amplificador, lo que permitió evitar su polarización.

El análisis estadístico de los datos se hizo mediante las pruebas F-max (homogeneidad de varianzas) y ANOVA (análisis de varianza).¹⁵

RESULTADOS Y DISCUSION

Plantas en suelo salino

El potencial eléctrico superficial espontáneo en las plantas con enmendantes fue significativamente mayor que en las controles (Tabla I).

TABLA I
Variación del potencial eléctrico superficial en hojas de maíz cultivadas en suelos salino y ferralítico rojo con diferentes fertilizantes-enmendantes

Suelo salino					
Fertilizante enmendante	Ps (mV)	ΔPs (mV)	$\%\Delta\text{Ps}$	Crecimiento de las plantas	Daño foliar
Control (sin enmendante)	201	5	69	xx	xxx
RF	24*	14	60x	xx	xxx
RF + Z- NH_4^+	39*	19	49*	xxxx	x
RF+Z - K^+	32*	15	47*	xxxx	—
Suelo ferralítico rojo					
Control (sin enmendante)	13	15	122	xx	xxx
RF	10	5*	44*	xxxx	—
RF + Z- NH_4^+	13	9	75*	xxx	x
RF+Z - K^+	14	8*	55*	xxxx	x

RF Roca fosfórica. Z zeolita.

Ps Potencial superficial. ΔPs Variación del potencial superficial. $\%\Delta\text{Ps}$ Porcentaje de variación del potencial superficial.

* $p < 0,05$.

El $\%\Delta\text{Ps}$ post-estímulo eléctrico con respecto al potencial espontáneo, fue significativamente menor en las plantas tratadas con roca fosfórica + zeolita-amonio y en roca fos-

fórica + zeolita-potasio con respecto a las que sólo se les adicionó roca fosfórica y a los controles. El tratamiento con roca fosfórica no varió la respuesta eléctrica de las plantas con res-

pecto a las no tratadas con enmendantes (Tabla I), lo que se correspondió con un mayor deterioro de las plantas, que se manifestó por la presencia de hojas y tallos de menor talla y marcado daño foliar, los que presentaron color amarillento, quemaduras en el extremo distal y manchas hipocrómicas indicadoras de déficit de potasio.^{2,16}

Contrariamente, aquellas plantas que mostraron mayores Ps y menores %ΔPs crecieron más vigorosamente y con menos signos de déficit mineral.

El aumento del Ps y la disminución del %ΔPs parecen estar asociados al carácter de tolerancia a la salinidad. Una respuesta similar fue encontrada en condiciones de estrés por NaCl en una variedad de la caña de azúcar, reconocida desde el punto de vista agronómico como una de las más resistentes al estrés salino.¹¹

Es conocido que la salinización de los suelos por NaCl provoca en las plantas un déficit de nutrientes minerales, fundamentalmente de potasio¹⁷ y que este efecto puede ser contrarrestado con el suministro de CaSO_4 o CaCO_3 en concentraciones de $1 \text{ y } 10 \text{ mmol/L}$ ^{18,19} posiblemente por un mecanismo competitivo entre calcio y sodio a nivel de membrana celular.

La mayor tolerancia que mostraron las plantas tratadas con las combinaciones de roca fosfórica + zeolita parece estar justificada por el intercambio, posiblemente potenciado, que se establece con el calcio que aportan ambos minerales y los coloides del suelo; de forma tal que el calcio en el CaCO_3 es sustituido por los iones sodio del suelo, formándose Na_2CO_3 que es eliminable por lavados, pasando el calcio a formar parte de los coloides del suelo. El amonio y el potasio adicionados con la zeolita pueden también sustituir al sodio.

A las mejoras obtenidas mediante intercambios químicos se adiciona un efecto físico, ya que el tamaño de las partículas de los minerales mejora la textura del suelo salino, generalmente arcilloso y muy compacto, permitiendo una mejor oxigenación de las raíces, más fácil drenaje del agua y disipación del calor.

Plantas en suelo ferralítico rojo

Las plantas que crecieron en suelo ferralítico rojo con enmendantes no mostraron diferencias entre sus Ps y los de las que crecieron en el mismo suelo sin enmendantes (Tabla II); posiblemente el aumento del Ps esté relacionado con la mejoría del estado fisiológico de las plantas cuando está asociado al exceso de iones tóxicos, como es el caso en el suelo salino. El efecto radica en la porte deficitario de algún nutriente; no obstante, esta observación requiere de nuevos estudios para su confirmación.

Los valores calculados del %ΔPs fueron todos significativamente mayores con respecto a los controles. Los bajos valores de respuesta, frente al estímulo eléctrico coincidieron con la mejoría del estado fisiológico de las plantas, del mismo modo que las plantas que crecieron en suelo salino, lo que hizo evidente un mejor desarrollo vegetativo, así como desaparición o tendencia a disminuir el color rojo violáceo del tallo y las hojas, hecho que indicó un mayor aporte de fósforo a los tejidos.

Las plantas tratadas solamente con roca fosfórica tenían un aspecto tan robusto como las que se desarrollaron con las combinaciones de roca fosfórica y zeolita con amonio o potasio, coincidiendo también con que poseían %ΔPs muy bajos con respecto a los controles, de donde se deduce que el mayor daño en este tipo de suelo depende del aporte deficitario del fósforo asimilable por las plantas. El déficit de fósforo

es corregido por dos mecanismos, uno dado por el enclavamiento que se produce a partir del calcio aportado por la roca fosfórica y la zeolita, el cual sustituye a los iones H^+ que saturan al complejo absorbente, enmendando de este modo la acidez del suelo y la formación de fosfatos poco solubles y el otro, por el aporte directo que se hace en iones tales como fosfato, calcio, amonio y potasio, los que son deficitarios en este tipo de suelo o se encuentran en formas no asimilables.

Es posible que la mejoría experimentada por el tratamiento con roca fosfórica sola, se deba a que las condiciones de acidez del suelo favorezcan la solubilización del fosfato tricalcico contenido en la roca fosfórica, de por sí poco soluble.

La corrección de la acidez del suelo por otras técnicas como es la lixiviación, en busca del aumento de pH^{20} , ocasionan nuevos déficits de sales a los ya existentes en los suelos con bajo pH. Por ello y además por la mejoría del estado fisiológico y vegetativo de las plantas, observado en este estudio, es que se recomienda el empleo de fertilizantes-enmendantes como la roca fosfórica y la zeolita.

Finalmente, el grado de toxicidad de la sal sódica, así como la acidez del medio, pueden provocar desbalances iónicos intracelulares como consecuencia de variaciones en la distribución conformacional de las proteínas y ésteres en la membrana citoplasmática y a la inhibición del gradiente de protones.²¹ Tales alteraciones son la base y posible explicación de los patrones diferentes de respuesta eléctrica del tejido foliar aquí registrado, en dependencia de su estado fisiológico.

CONCLUSIONES

Las menores variaciones porcentuales de la respuesta eléctrica del tejido está asociada a una mejoría del estado fisiológico de las plantas. Esta mejoría con el uso de fertilizantes-enmendantes fue dada por mayor talla de las plantas y disminución o ausencia de daño foliar.

La adición de roca fosfórica y zeolita en las formas de amonio o potasio a suelos salinos y ferralíticos rojos es beneficiosa para el desarrollo vegetativo de plantas de maíz que sean cultivadas en ellos. La roca fosfórica sola, produce un efecto benéfico en el caso del suelo ferralítico rojo, no así en el salino.

BIBLIOGRAFIA

1. Tóth T. and Rajkai K. *Soil Sci.*, **157**, 263, 1994.
2. Mills D. and Benzioni A. *Journal of Plant Physiol.*, **139**, 737, 1992.
3. Guerra F., Sanata Cruz G y Orayazabal R. *Edafología general*. Editorial Pueblo y Revolución, La Habana, 50, 1983.
4. Krishna Raj S. and Sree Rangasamy S.R. *J. Plant Physiol.*, **142**, 754, 1993.
5. Brito A. Las rocas zeolíticas de Cuba. Manuscrito archivo del Instituto de Geología, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, 1972.
6. Coutin D y Brito A. Características de la zeolitización en rocas sedimentarias de origen volcánico en Cuba oriental. Serie Geológica, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, 20, 1975.
7. All India Co-ordinated Agronomic Research Project (ICAR), Project Bulletin No. 3, 1987.
8. Maas E.V. and Hoffman G. *J. California Agriculture*, **37**, 14, 1983.
9. Ristic Z., Gifford D.J. and Cass D.D. *J. Plant Physiol.*, **139**, 467, 1993.
10. Niubó E. Memorias X Seminario Científico, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, *Revista CENIC*, **19**, Número especial, 66, 1988.

11. Niubó E. Libro de Resúmenes del V Congreso Latinoamericano de Botánica, 75, 1990.
12. Bure J. and Zachar J. Electrophysiological Methods in Biological Research. Czechoslovak Academy of Sciences, 271, 1967.
13. Rodríguez-Fuentes G., Gonzalez Abreu Ramírez A., Carreras M., Reyes L. y Tres Campos E. **Rev. CENIC Ciencias Químicas**, **19**, 77, 1988.
14. Van Dillewijn C. (Clasificación de Kuijper H.) Botánica de la caña de azúcar, Ediciones Revolucionarias, La Habana, Cuba, 1975.
15. Scheeffe H. Analysis of variance. Wiley, New York, 1959
16. Meidner H. Class experiments in plant physiology. George Allen and Unwin, London, 65, 1984.
17. Ben-Hayyin Gozal., Spiegel-Ruy P. and H. Newman. **Plant Physiol.**, **78**, 144, 1985.
18. Jacoby B and Hanson H.B. **Plant Physiol.**, **77**, 930, 1985.
19. Binet P. **Vegetatio**, **61**, 241, 1985.
20. Tótil T., Matsumoto S., Mao R. and Yin Y. **Soil Sci.**, **10**, 218, 1995.
21. Huges T.K. **Adv. Agron.**, **25**, 163, 1973.