

UN PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO DE RAICES

LEÓN NIJENSOHN (x) y FELIX S. OLMOS (xx)

Instituto de Suelos y Riego - Facultad de Ciencias Agrarias - Mendoza, Argentina

Desde el planteo teórico y demostraciones experimentales de la influencia de la capacidad total de intercambio de los coloides en la adsorción preferencial por éstos de cationes monovalentes o divalentes, se ha dado creciente importancia a este fenómeno como explicación de la alimentación diferencial de plantas que crecen asociadas en el mismo suelo (1, 2, 3).

Considerados desde un punto de vista estrictamente fisico-químico, los respectivos coloides del sistema raíz-suelo compiten entre sí por la adsorción de los cationes del medio; los de más alta capacidad de intercambio fijarán con mayor energía que los de baja capacidad los cationes divalentes, mientras que los cationes monovalentes son adsorbidos con preferencia por los coloides de poca densidad superficial de carga (4).

La coexistencia de especies de diversa capacidad de intercambio radicular puede plantear interesantes problemas en la nutrición potásica, cálcica y magnésica de las mismas en medios pobres en uno o más de esos cationes.

Para establecer la importancia práctica local de este aspecto de las relaciones planta:suelo, es nuestro propósito estudiar en sucesivas contribuciones los valores de capacidad de intercambio radicular de las principales especies cultivadas de la región cuyana y de sus malezas. Ya hemos comenzado con la vid (5).

Como labor previa hemos elaborado, y lo proponemos en esta comunicación, un método de determinación de capacidad de intercambio catiónico de raíces que es sencillo, satisfactoriamente reproducible y adaptado al trabajo en serie.

ANTECEDENTES

Drake, Vengris y Colby (6), electrodializan las raíces fres-

(x) Profesor Titular de Edafología — Director del Instituto.

(xx) Jefe Interino de Trabajos Prácticos de Edafología — Investigador del Instituto.

cas empleando una corriente de 120 voltios y un amperaje inicial no mayor de 2 amperios, el que se baja gradualmente. Después de cinco minutos se llega a una intensidad entre 0,3 y 0,7 amp. para terminar con 0,1 a 0,15 amperios al cabo de hora y media de proceso. Las raíces así hidrogenadas son sometidas a la acción de una centrifuga de canastos, cinco minutos a 2.000 R. P. M. con lo que se consigue un contenido uniforme de humedad. Porciones de 5 gr. de estas raíces son puestas en contacto con solución de ClK normal e inmediatamente después se valora la acidez del sistema con solución de hidróxido de potasio utilizando un potenciómetro con electrodo de vidrio como detector del punto final, pH 7. La titulación debe ser completada en un lapso arbitrario, igual para todas las muestras, y que se fija en cinco minutos. Se secan luego las raíces a 90°C y la capacidad de intercambio se expresa como miligramos equivalentes por 100 gr. de raíces secas.

Mattson et al. (7) después de electrodiálisis las raíces las secan y pulverizan. Las titulaciones, también en presencia de ClK y a pH 7, se hacen en partes alícuotas del material así preparado. Los resultados obtenidos con este procedimiento son más altos que con el de Drake et. al., pero guardan proporcionalidad entre ellos.

Graham y Baker (8) electrodiálisis durante tres horas, con corriente de 110 v. y 0,3 amp. Las raíces hidrogenadas son suspendidas en agua y el sistema titulado directamente con solución de Ca(OH)2 0,04 normal, utilizando también electrodo de vidrio para indicar el punto final correspondiente a pH 7. Para hallar el peso seco del material analizado colocan a estufa a 60° durante 24 horas.

Schuffelen y Middelburg (9), previamente secan y pulverizan las raíces, las que se mezclan con cuarzo y se lixivian con ClH 0,05 normal. Después de lavar el exceso de ácido hacen percolar acetato de calcio 0,2 normal, cuyo sobrante eliminan con arrastre con agua. Finalmente desplazan el calcio adsorbido con ClH 0,05 normal y dosan el calcio del extracto con fotómetro a llama.

Keller y Deuel (10), hidrogenan las raíces con ClH 0,02, N. en cinco tratamientos sucesivos durante un total de doce horas. Después lavan con agua destilada hasta eliminación de cloruros y secan las raíces hidrogenadas al vacío a 50°C. Un gramo de las raíces así tratadas las ponen en contacto con 100 ml. de acetato de calcio 2N, con algo de cloruro de calcio, y dejan durante la noche. Lavan con agua libre de carbónico hasta eliminación de cloruros y luego desplazan el calcio adsorbido con 500 ml. de ClH 0,02 N. Titulan el calcio desplazado con Complexon III, usando púrpura de ftaleína como indicador.

Crooke (11) emplea el ácido clorhídrico 0,01 normal, en

friado hasta 2 a 4°C y sumerge en él las raíces durante dos períodos sucesivos de 5 minutos. Lava con agua destilada, enfriada a la temperatura mencionada, hasta desaparición de reacción ácida, al final de cada período. Una vez hidrogenadas las raíces continúa igual que en el método citado de Drake et. al. (6).

A los métodos descritos se les pueden formular las siguientes observaciones:

1°) La electrodiálisis necesita para su ejecución de aparatos costosos y el procedimiento no se adecúa al trabajo en serie por lo que, al demorar cada hidrogenación alrededor de dos horas, se hace muy demorosa su aplicación cuando se requiere determinar la capacidad de intercambio de un número elevado de muestras. Además, exige la adopción de especiales precauciones para impedir un ascenso exagerado de la temperatura, la que podría afectar las raíces. Sin embargo y a pesar de esas precauciones la temperatura puede llegar hasta los 45°C.

2°) El empleo del ácido clorhídrico como solución desplazante, hace necesario un prolongado tratamiento, como lo admiten Keller y Deuel (10). En cuanto a los datos aportados por Crooke (11) a través de los gráficos de la Fig. N° 1 de su trabajo, éstos no demuestran que por el procedimiento por él propuesto haya conseguido una hidrogenación total de las raíces.

3°) El procedimiento de determinación del hidrógeno adsorbido a través de la titulación hasta pH 7, determinado potenciométricamente con electrodo de vidrio, de la solución CIK en equilibrio con las raíces, adolece de imprecisión en el punto final el que depende del tiempo insumido en la titulación. Drake et. al. pretenden obviar este inconveniente fijando un lapso arbitrario —5 minutos— para completar la titulación, pero con eso sólo consiguen resultados relativos. En cuanto a su interpretación del fenómeno, al decir que "it is believed that the increased titration value obtained with time resulted from cation exchange effected with colloidal material inside the plant root" (6) la conceptuamos errónea, por no coincidir con datos experimentales aportados por los mismos investigadores. En efecto, en otra parte de su trabajo afirman que mediciones periódicas del pH del sistema "raíces-CIK" a los 1,5 y 30 minutos y 1, 12, 24 y 48 horas daban valores constantes. ¿Por qué entonces, considerar que la aparición de los nuevos hidrogeniones que se observan durante el curso de la titulación sea debida al intercambio con iones del interior de la raíz, fenómeno que también hubiera podido producirse durante los largos períodos de contacto de la experiencia anteriormente citada?

Más lógico nos parece atribuir dicha variación a la ruptura

del equilibrio entre el H adsorbido y el de la solución externa que se produce con cada adición de álcali; y esta conclusión lleva a admitir que no es total el reemplazo de los hidrógenos adsorbidos superficialmente en el momento arbitrario en que se da por terminada la titulación.

4º) El método de Schuffelen y Middelburg (9) tiene varios aspectos cuestionables: la pulverización previa de las raíces impide referir los resultados obtenidos a capacidad superficial de intercambio; el tratamiento con clorhídrico diluido no asegura la total hidrogenación de las raíces y probablemente el desplazamiento del calcio por este mismo ácido tampoco es completo. Además el lavado con agua del acetato de calcio en exceso, introduce la posibilidad de un parcial intercambio de calcio por hidrógeno en la última etapa de la lixiviación.

5º) El procedimiento propuesto por Keller y Deuel (10), incluye etapas que lo hacen excesivamente demoroso y además, subsiste la posibilidad de pérdidas de calcio adsorbido, por hidrólisis durante el lavado final.

PROCEDIMIENTO PROPUESTO

Reactivos necesarios

- 1 — *Ácido oxálico 0,5 Normal*
- 2 — *Solución de Hidróxido de Calcio (1 + 9): se toma un volumen de solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ recién filtrada y se le agregan 9 volúmenes de agua destilada. Preparar solución nueva para cada serie de ensayos.*
- 3 — *Solución de Versenato o Complexon III aproximadamente 0,02 N (Sal disódica del ácido etilenodiaminotetracético). Se disuelven 4 gr. de la droga en 1.000 ml. de agua. El título se determina con 10 ml. de la solución patrón de cloruro de calcio (1.2486 gr. de $\text{CO}_3 \text{Ca}$. p.a. disueltos en ligero exceso de $\text{ClH } 1 + 1$ y llevados a 500 ml. Título: 1 ml = 1 mgr. $\text{Ca} = 0,05 \text{ m.e.}$).*
- 4 — *Indicador: mezclar 40 gr. de sulfato de potasio y 0,2 gr. de murexido (purpurato de amonio).*
- 5 — *Solución de Hidróxido de Potasio al 10%*

Técnica

1º — Se extraen las plantas y se coloca la parte radicular de las mismas bajo el chorro directo de agua corriente, hasta eliminar lo mejor posible el medio de cultivo que tengan adheridas. Se

separan las raíces, empleando una tijera, se las pasa a un vaso de precipitación y se las cubre con agua destilada; se agitan suavemente con una varilla de vidrio; se deja unos minutos en reposo y se decanta luego el agua, dejando escurrir bien. Se repite este lavado hasta obtener raíces libres de todo material extraño. (x).

2° — Se cubren las raíces, lavadas y escurridas, con ácido oxálico 0,5 normal; al cabo de media hora se vierte la solución ácida y se vuelve a agregar una nueva porción de oxálico, la que se deja en contacto con las raíces otra media hora.

Mientras las raíces se encuentran sumergidas en el ácido se las agita, intermitentemente, con una varilla de vidrio.

3° — Se lava por decantación, con agua destilada, dejando periodos de contacto de 15 a 20 minutos. A partir del quinto lavado se controla la conductividad del agua decantada; se da por terminada la operación de lavaje cuando se alcanza una resistencia específica de 100.000 ohms o más, a 25°C. Si no se posee conductómetro, pueden darse por concluidos los lavados cuando 100 ml. del líquido decantado, previamente filtrado, en caliente y en presencia de ácido sulfúrico se colorean de rosado persistente con la adición de 0,1 ml. de permanganato de potasio 0,1 normal.

4° — Se sacan las raíces del vaso y se las coloca en delgada capa entre dos hojas de papel de filtro y, presionando suavemente, se absorbe la mayor parte del agua en exceso.

5° — Se pesan 5 gr. de las raíces así tratadas, con aproximación de 0,1 gr. y se las lleva a vaso de precipitación de 200 ml. donde se las cubre con 100 ml. de la solución diluida de Ca(OH) 2, aproximadamente 0,05N.

Simultáneamente en un vaso de igual capacidad, pero sin raíces, se agregan también 100 ml. de solución de Ca(OH) 2, la que servirá de prueba en blanco.

La temperatura de las soluciones no conviene que exceda los 25°C, durante el desplazamiento del H por Ca.

6° — Se tapan los vasos con sendos vidrios de reloj y al cabo de media hora se homogeniza por agitación con varilla de vidrio. Se deja en reposo unos minutos y luego se extraen, empleando pipeta de doble aforo, 50 ml. de las soluciones sobrenadantes, incluida la prueba en blanco, los que se colocan en sendos Erlenmeyers de 200 ml.

7° Se agregan 2 ml. de la solución de KOH 10% y 0,3

(x) A los efectos del estudio del método de la Determinación de Cap. de Intercambio se tomaron, de acuerdo a la literatura, las raíces en forma global. La posibilidad de que los valores varíen con el sector de la raíz que se considere (com. verb. Prof. Ing. Ricardo Tizio) sería tema de otra investigación.

gr. del polvo indicador. Se titula con la solución de Versenato hasta viraje a color violeta (comparar el punto final con un testigo con agua destilada, indicador y $K(OH)$ 10%). Calcular la concentración de Calcio en m.e. por 100 ml. (ml. versenato. título. 2).

8° — Se extraen las raíces y se las coloca cuantitativamente en un crisol filtrante de placa de vidrio, pono grueso, previamente tarado.

9° — Se lava al vacío, cubriendo las raíces 4 veces sucesivas con agua destilada.

10° — Se lleva el crisol a estufa y se mantiene a 80°C hasta constancia de peso; después de dejar enfriar en desecador se vuelve a pesar con precisión del miligramo. La diferencia con la tara da el peso de las raíces secas a estufa.

Cálculos: Se hacen de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Capacidad de Intercambio Catiónico de las raíces (en m.e. por 100 gr. de sustancia seca)}}{P} = \frac{(A-B)}{P} \cdot 100$$

Donde: A = m.e. % Ca en solución prueba en blanco.

B = m.e. % Ca en solución desplazante en equilibrio con raíces.

P = peso de las raíces secas, en gr.

DISCUSION

1° — La forma de lavado descripta en el punto 1° del procedimiento propuesto se prefirió al lavado sobre tamiz, como preconizan la generalidad de los autores mencionados en la literatura, porque observamos que suelen quedar adheridas a la malla sustancias extrañas o pasar trozos de raíces finas a través de ella.

2° — El objeto de reemplazar la solución ácida, al cabo de la primera hora de contacto, por otra nueva de igual concentración, responde al deseo de completar el intercambio por hidrógeno de cualquier catión que haya podido quedar adsorbido y eliminar los oxalatos solubles formados.

3° — Se ha utilizado el oxálico como ácido desplazante, para así insolubilizar el calcio iónico y hacer de esta manera más rápida e integral la hidrogenación de los coloides de las raíces.

4° — La concentración del ácido usado y el tiempo de con-

tacto del mismo con las raíces ha sido adoptado después de una serie de ensayos que se sumarizan en la Tabla N° 1, de cuyo examen surgen las siguientes consideraciones:

TABLA N° 1
INFLUENCIA DE LA CONCENTRACION Y TIEMPO DE CONTACTO
DE LA SOLUCION DESPLAZANTE
Raíces de *Vicia Benghalensis*

Tratamiento	Normalidad del Oxálico	Tiempo de Contacto horas	Capacidad de Intercambio m.e. % S. Seca Valores Promedio
1	0,5	0,5	31,1
2	0,5	1,0	40,6
3	0,5	24,0	38,8
4	1,0	0,5	34,7
5	1,0	1,0	39,9
6	1,0	24,0	38,2

a) A igualdad de tiempo no hay diferencias significativas entre las soluciones desplazantes; oxálico 0,5 y 1 N.

b) Los valores más bajos se registran a la media hora de contacto y los más altos a la hora. Un contacto prolongado, 24 horas, arroja resultados ligeramente inferiores a los de una hora.

5° — El empleo de hidróxido de calcio para desplazar el hidrógeno adsorbido y la titulación del calcio sobrante con versenato tiene las siguientes ventajas:

a) Que por la índole de la reacción de intercambio: Raíz H + Ca(OH) 2 = Raíz Ca + H2O, ésta debe producirse en forma total, instantánea e irreversible, en presencia de exceso de Ca(OH) 2.

b) La titulación del calcio con versenato es una operación analítica sencilla, rápida, suficientemente exacta y no requiere instrumental de precisión.

c) La probable disminución del calcio iónico por carbonatación durante el período de contacto se corrige con la inclusión de la solución de la prueba en blanco. No se ensayaron tiempos menores de contacto porque el adoptado resultó cómodo para trabajar en serie. Tiempos mayores (hasta 24 horas) no influían significativamente en los resultados.

Todo eso justifica que consideremos a esta parte del procedimiento como más adecuado que la acidimetría del sistema "CIK—raícesH", por titulación a pH 7.

6° — En cuanto a la reproducibilidad del método nos remitimos a la Tabla N° 2 donde se consignan los resultados obtenidos en la aplicación del procedimiento propuesto en varias especies. Salvo el caso de *Vitis Rup. Martin x Berl. Resseguier N° 1* — R. 57 cuyas raíces fueron obtenidas de barbechos desarrollados en aserrín, las raíces de las demás plantas fueron extraídas directamente de individuos desarrollados en el campo.

Del examen de la referida Tabla N° 2 y de los errores típicos calculados, se deduce que el método propuesto es satisfactoriamente reproducible, no pasando el coeficiente de variabilidad del 5,4 %, para la media de cuatro determinaciones.

7° — Raíces que fueron sometidas al proceso completo estipulado por nuestro método fueron puestas en agua. Se observó que conservaron su vitalidad y continuaron desarrollándose. Con esto se demuestra que ninguna etapa del procedimiento es demasiado drástica como para afectar en forma sensible al material radicular con que se trabaja.

8° — Algunos de los resultados obtenidos de Capacidad de Intercambio de Raíces que se consignan en la Tabla N° 2 difieren, y varios de ellos grandemente, con valores citados en la literatura (6). Atribuimos estas diferencias no al método en sí, sino a la posibilidad de la existencia real de distintos valores de capacidad de intercambio, en función del medio en el cual se desarrollaron las raíces analizadas (ripió, aserrín, soluciones nutritivas o suelo natural) y características de la variedad dentro de la especie. Esta presunción está basada en que las diferencias observadas no son de carácter sistemático en más o en menos y en que, por otra parte, ya se consignan (6) valores de Capacidad de Intercambio que difieren en más del 20 % para dos selecciones dentro de la misma variedad de maíz, por ejemplo.

TABLA N° 2

REPRODUCIBILIDAD DEL METODO

Espe cie	Ensayo N°	Capacidad de intercambio m. e. %	Media	Desviación típica	Coefficiente de variabilidad %	Desviación típica de la media	Coefficiente de variabilidad de la media %
Cynodon dactylon (chepica)	1	15,5	14,7	1,37	9,3	0,68	4,65
	2	15,0					
	3	12,8					
	4	12,4					
Portulaca oleracea (verdolaga)	1	13,4	14,0	1,42	10,0	0,71	5,0
	2	12,4					
	3	15,6					
	4	14,8					
Zea mays v. saccharata (maíz dulce)	1	20,0	22,6	2,4	10,8	1,2	5,4
	2	21,3					
	3	23,9					
	4	25,3					
Amaranthus sp. (bledo)	1	15,3	16,2	0,74	4,5	0,37	2,25
	2	15,7					
	3	17,2					
	4	16,6					
Vitis Rup. Martin x Berl. Resseguier N° 1 Richter 57	1	123,8	118,9	4,4	3,7	2,2	1,85
	2	115,0					
	3	118,0					

RESUMEN

Se propone un método para la determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico de Raíces. La muestra, limpia de sustancias extrañas por adecuado lavaje, es tratada con oxálico 0.5N., dos veces sucesivas, durante un total de una hora. Las raíces hidrogenadas son lavadas hasta eliminación de oxálico y luego secadas entre papeles de filtro; cinco gramos de raíces así tratadas se ponen en contacto con 100 ml. de solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aproximadamente 0,05N.

Al cabo de media hora se extraen porciones alícuotas de la solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en equilibrio con las raíces y de un testigo sin raíces y se titula directamente la concentración de calcio con solución valorada de versenato de sodio (sal disódica del ácido etileno diaminotetracético) en presencia de murexido como indicador.

La diferencia de concentración de calcio entre la solución testigo y las de los sistemas $\text{Ca}(\text{OH})_2$ — raíces, se refiere a Calcio adsorbido y se expresa en m.e./100 gr. de raíces secas a estufa.

El procedimiento no afecta la vitalidad de las raíces y demuestra ser sencillo, satisfactoriamente reproducible y adaptado a determinaciones en serie.

SUMMARY

A Procedure for the Determination of the Cation Exchange Capacity of Plant Roots

A rapid and simple method for the determination of the cation exchange capacity of excised plant roots is proposed. The sample, free of foreign substances through a thorough washing, is treated with oxalic acid 0,5N for two successive times during a whole hour. The hydrogenized roots are washed till the elimination of oxalic and then dried between sheets of filter papers. Five grams, approximately, of these roots are put into contact in a 200 ml. beaker with 100 ml. of a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution about 0,05N; at the same time another portion of 100 ml. of the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution is poured into another beaker but without roots.

Half an hour later, aliquots of both solutions are removed and their calcium concentration are determined by titration with ethylenediaminetetraacetate (Versenate) in the presence of ammonium purpurate indicator.

The difference between the calcium concentration of the blank solution and the one of the "calcium hydroxide-roots" sys-

tem is referred to adsorbed calcium and expressed as Cation Exchange Capacity in milliequivalents per 100 grams of oven dried roots.

The procedure proposed does not affect the roots vitality and it proves to be simple, reproducible and adapted to serial determination.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird eine kritische Revision der bestehenden Methoden durchgeführt, und die Schwierigkeiten und Begrenzungen derselben erwähnt.

Daraufhin wird ein neues Verfahren vorgeschlagen, das im wesentlichen aus folgendem besteht: Das durch richtiges Waschen von fremden Substanzen gesäuberte Muster, wird mit Oxalsäure 0,5 N zwei aufeinanderfolgende Male während insgesamt einer Stunde behandelt. Die hydrogenierten Wurzeln werden bis zur Ausscheidung der Oxalsäure gewaschen und dann zwischen Filterpapier getrocknet; fünf gr. so behandelte Wurzeln werden in 100 ml. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Lösung, annähernd 0,05 N, gelegt.

Nach einer halben Stunde werden proportionelle Mengen aus der im Gleichgewicht mit den Wurzeln stehenden $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Lösung und aus der Lösung ohne Wurzeln, entnommen, und die Calciumkonzentration unmittelbar mit einer titrierten "Komplexon III-Lösung" in Gegenwart von Murexid als Indikator, titriert.

Der Unterschied der Calciumkonzentration zwischen der Kontrolllösung und derjenigen der Systeme " $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Wurzeln" bezieht sich auf adsorbiertes Calcium und wird in m.e./100 gr im Ofen getrockneter Wurzeln ausgedrückt.

Die durchgeführten experimentellen Nachforschungen beweisen, dass das vorgeschlagene Verfahren einfach ausführbar ist, und nicht die Wurzelvitalität beeinträchtigt. Es ist zufriedenstellend wiederholbar und eignet sich für Serienbestimmungen.

L I T E R A T U R A C I T A D A

- (1) WIKLANDER LAMBERT. 1955 — Cation and anion exchange phenomena. En "Chemistry of Soils" — ed. by Bear F., Reinhold Pub. Corp. Monograph Series N° 126 pp. 107-148.
- (2) MEHLICH, ADOLF. 1955 — Soil Chemistry and Plant Nutrition. En "Chemistry of Soils" op. cit. pp. 289-327.
- (3) SMITH, R. L. AND WALLACE, A. 1956 — Cation exchange capacity of roots and its relation to calcium and potassium content of plants Soil Sci. 81, 97-109.
- (4) MC LEAN, E. O. y BAKER, F. E. 1953 — Cationic activities in systems of plant roots. Proc. Soil. Sci. Soc. Am. 17, 100-102.
- (5) OLMOS, FELIX S. y NIJENSOHN, LEON. 1959 — Capacidad de intercambio catiónico de raíces de vides y malezas de viñedos. Inédito.
- (6) DRAKE MACK, VENGRIS, JONAS and COLBY, WILLIAM G. 1951 — Cation exchange capacity of plant roots Soil Sci 72: 139-147.
- (7) MATTSON, S. et. al. 1949 — Phosphate relationships of soil and plant: I. Ann. Agr. Coll. Sweden 16: 457-484. op. cit. (6).
- (8) GRAHAM, E. R. and BAKER, W. L. Ionic saturation of plant roots with special reference to hydrogen. Soil. Sci. 72: 435. 1951
- (9) SCHUFFELEN, A. C. y MIDDELBURG. H. A. 1954 — A rapid method for the determination of the base exchange capacity of plant roots. Soil Sci. Amer. Proc. 18, 273-275.
- (10) KELLER P. und DEUEL, H. 1957 — Kationenaustausch Kapazität und Pektingehalt von Pflanzenwurzeln Zeit. Pfl. Dung. Bod. 79 (124), Heft 2: 119-131.
- (11) CROOKE, W. M. 1958 — Effect of Heavy — metal toxicity on the Cation Exchange Capacity of Plant Roots. Soil Sci 86: 231-239.