

TRABAJOS DE REVISION

DEPARTAMENTO INTERFACULTATIVO DE FISIOLOGIA VEGETAL

Prof. Dr. LUIS RECALDE

LOS MACRONUTRIENTES CATIONICOS EN LA FISIOLOGIA DE LAS PLANTAS

por

I. AGÜI MARTIN y M. C. ALVAREZ TINAUT

(Continuación) (*)

4.—ESTUDIO FISIOLÓGICO DEL MAGNESIO

4.1.—INTRODUCCION.—El Mg es considerado por JACOB (85), desde un punto de vista cuantitativo, como el quinto elemento esencial en la nutrición mineral de las plantas. Su importancia como constituyente metálico de la clorofila, es indiscutible. Sin embargo, el Mg clorofilico sólo representa una pequeña parte del contenido total en la planta; el resto se encuentra presente, como Mg prostoplasmático, en raíces, tallos y semillas. Estas últimas son particularmente ricas en Mg, sobre todo en las cubiertas. En los agrios, según GONZALEZ SICILIA (62), la mitad del Mg se encuentra en troncos y ramas, un tercio en las raíces y el resto en las hojas. Es interesante por tanto destacar, para comprender mejor su importancia, que el Mg no está asociado exclusivamente a las partes verdes de las plantas y que incluso vegetales sin clorofila, como los hongos, lo contienen en proporciones importantes.

El Mg es un elemento extraordinariamente móvil, que emigra con facilidad a las partes metabólicamente más activas, como se deduce del hecho de que los síntomas de deficiencia aparezcan primero en las hojas más viejas.

(*) Parte I publicada en n.º 2 (1980), *Ars Pharmaceutica*.

4.2.—EFECTOS DE LA DEFICIENCIA Y TOXICIDAD DE MAGNESIO

4.2.1.—*Síntomas visuales de deficiencia en magnesio.*—Por ser el Mg un constituyente de la clorofila, es lógico que el efecto más acusado de su deficiencia sea la clorosis. En efecto, todas las plantas verdes presentan algún tipo de clorosis debido a la falta de Mg, y los síntomas son siempre más graves, o aparecen primero, en las hojas basales, progresando sistemáticamente hacia las más jóvenes a medida que la deficiencia se hace más aguda. Sin embargo, a pesar de que la clorosis es un síntoma general, los detalles de la misma pueden variar considerablemente de unas plantas a otras. En general, suele afectar a los tejidos internerviales, mientras los nervios y los tejidos próximos a ellos mantienen su color verde. A veces son los márgenes, o el ápice, de la hoja los primeros afectados, 58, 109). A medida que la deficiencia se agudiza la clorosis progresa, extendiéndose homogéneamente por toda la hoja. La clorosis suele ir acompañada (71, 72, 73, 162, 163) o precedida (28, 110, 163) de la aparición de tintes brillantes.

La necrosis, que suele presentarse a continuación de la clorosis y de la pigmentación, puede quedar restringida a los márgenes del limbo foliar, o bien puede aparecer y desarrollarse en las áreas internerviales cloróticas.

Existe un gran parecido entre los síntomas producidos por la deficiencia de Mg y los que resultan de la deficiencia de Mn, excepto que en esta última las manchas purpúreas o necróticas aparecen en las hojas más jóvenes. La intercambiabilidad del Mg y Mn en muchos sistemas enzimáticos puede estar relacionada con esta particular semejanza entre sus síntomas de deficiencia.

Las hojas gravemente afectadas se marchitan y caen, o se caen sin marchitarse, pudiendo llegar a ser la defoliación extremadamente grave.

El Mg también influye en el desarrollo de las raíces, en el tamaño de los frutos y en la calidad de las cosechas (163).

4.2.2.—*Efectos anatómicos y citoquímicos asociados con la deficiencia de magnesio.*—LYON y GARCIA (98), trabajando con plantas de tomate, observaron que la deficiencia de Mg provoca las siguientes alteraciones: (a) formación de células medulares más pequeñas, y (b) un mayor desarrollo del clorénquima,

cuyas células —de menor tamaño, pero más numerosas— se encontraban densamente cargadas de cloroplastos.

Se ha observado también que la deficiencia de Mg produce ciertas alteraciones en la estructura de algunos orgánulos, tales como cloroplastos (148, 156) y mitocondrias (103).

4.2.3.—*Efectos producidos por la toxicidad del magnesio.*— BRYAN (15), haciéndose eco de diversas referencias bibliográficas, observa que los suelos derivados de silicatos magnésicos, de bajo contenido en Ca, no son fértiles. CORRIE (31) también admite que los suelos que contienen un exceso de Mg sobre el Ca pueden, a veces, ser estériles, pero señala que esto puede deberse al hecho de que el exceso de Mg vaya acompañado de un bajo contenido en K y P, y concentraciones relativamente elevadas de ciertos elementos tóxicos.

En cultivos de limonero con soluciones nutritivas (32), se vió que la aplicación de un exceso de Mg originaba una clorosis en las hojas, análoga a la producida por una deficiencia de Fe, y que con las máximas concentraciones se apreciaban síntomas claros de daño en la raíz. Igualmente, se ha observado que en estaquillas de limonero cultivadas con una solución nutritiva conteniendo 50 meq/l de sulfato, cloruro o nitrito de magnesio, se producía una disminución del desarrollo del vástago y del sistema radicular (34).

Los estudios anatómicos, anteriormente citados (98), llevaron a la conclusión de que un exceso de Mg producía una disminución en el desarrollo del floema, y un aumento en el tamaño de las células parenquimatosas más próximas a la endodermis.

4.3.—FUNCION DEL MAGNESIO EN LAS PLANTAS SUPERIORES

4.3.1.—*El magnesio como constituyente de metabolitos.*— Como ya hemos apuntado, el Mg forma parte de la molécula de las clorofilas, en cuya composición interviene en una proporción del 2,7, y esto constituye, sin duda, la función más destacable de este elemento. Ahora bien, el Mg clorofilico sólo representa el 10 por ciento del Mg total de la hoja, mientras que los cloroplastos contienen el 50 por ciento, o más, de dicho total (140). Es evidente, pues, la gran riqueza de Mg no clorofilico presente en estas organelas, lo cual no es extraño ya que,

como veremos más adelante, el Mg es el activador más frecuente de los enzimas involucrados en el metabolismo energético.

De acuerdo con los trabajos de Ts'o et al. (152, 153) parece ser que el Mg puede intervenir en la composición de ciertas partículas microsómicas de naturaleza ribonucleoproteica. Actualmente se ha comprobado que, en efecto, los iones Mg^{++} intervienen en la formación del ribosoma funcional (38, 157).

4.3.2.—*El magnesio en los sistemas enzimáticos.*—El Mg es capaz de activar más enzimas que ningún otro elemento. Su actuación, sin embargo, no resulta muy específica, ya que otros cationes —como el Mn— pueden sustituirlo, aunque la actividad resulte casi siempre algo menor.

Los estudios realizados en sistemas enzimáticos aislados demuestran que el Mg juega un papel predominante en la activación de numerosos enzimas involucrados en el metabolismo glucídico (108), especialmente aquellos que actúan sobre sustratos fosforilados. Asimismo es necesario para la activación de los enzimas que intervienen en la síntesis de los ácidos nucleicos, a partir de nucleótidos fosfatados (112). De lo anteriormente expuesto parece desprenderse que el Mg es necesario para todas aquellas reacciones en que se transfieren grupos fosfatos, en las que este elemento podría intervenir, al menos cuando se trate del ATP, facilitando la postura o la formación del enlace del grupo fosfatado terminal o subterminal (129).

4.3.3.—*El magnesio en los procesos metabólicos.*—Como constituyente de la clorofila y activador de las enzimas que efectúan la transferencia de los grupos fosfato, la deficiencia de Mg afecta a numerosas facetas del metabolismo vegetal. Así, entre los primeros síntomas se encuentra la clorosis, seguida de una disminución de la fotosíntesis; a continuación puede aparecer una elevada concentración de los compuestos de nitrógeno soluble, lo que sería indicio de la alteración de la proteosíntesis. Esta alteración de la síntesis proteica puede explicarse por el hecho de que los iones Mg intervienen en el funcionamiento del RNA a tres niveles: (a) en la configuración activa o funcional de algunos RNA₁; (b) en la formación del ribosoma funcional a partir de varias subunidades; y (c) en la unión del RNA₂ al ribosoma durante la proteosíntesis (38, 157).

7.—BIBLIOGRAFIA

- 1.—ABDEL-HALIM, J. E. (1964). Ph. D. Thesis, Univ. Maryland, College Park.
- 2.—ALLENDE, J. E., MORA, G., GATICA, M. and ALLENDE, C. C. (1965). *J. Biol. Chhem.*, 240, 3229-32.
- 3.—ARNON, D. I. (1950a). *Lostya*, 3, 40.
- 4.—ARNON, D. I. (1950b). *Lotsya*, 3,40.
- 5.—ARNON, D. I., STOUT, P. R. (1939). *Plant Physiol.*, 14, 371-375.
- 6.—ASHER, C. J., OZANNE, P. G. (1967). *Soil Sci.*, 103, 155-61.
- 7.—BAMFORD, R. (1931). *Bull. Torrey Bot. Club*, 58, 149-178.
- 8.—BATEMAN, D. F. and LUMSDEN, R. D. (1965). *Phytopatology*, 55, 734-738.
- 9.—BEESON, K. C. (1941). *Mineral Composition of crops*. U.S. Dep. Agr. Misc. Publ., 369, 93-117.
- 10.—BENNET-CLARK, T. A. (1956). In "The Chemistry and mode of action of plant growth substances". (R. L. Wain and F. Wightman eds.) Academic Press, New York, 284-294.
- 11.—BIDDULPH, O., CORY, R. and BIDDULPH, S. (1959). *Plant Physiol.*, 34, 512-19.
- 12.—BJERRUM, J., SCHWARZENBACH, G., SILLEN, L. G. (1957). *Stability Constants. Part. I, Organic Ligands*. The Chemical Society, Special Publication 6, London, 1-105.
- 13.—BRADY, N. C. (1974). *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, 12, 336-341.
- 14.—BROWN, H. D., NEUCERE, N. J., ALTSCHULL, A. M. and EVANS, W. J. (1965). *Life Sci.*, 4, 1439-1447.
- 15.—BRYAN, O. C. (1958). *The citrus Industry*, 39 (7), 12, 19-20.
- 16.—BRYAN, O. C. (1959). *The citrus Industry*, 40 (3), 9-10.
- 17.—BURLING, E. and JACKSON, W. T. (1965). *Plant Physiol.*, 40, 138-141.
- 18.—BURSTROM, H. (1952). *Physiol. Plantarum*, 5, 391-402.
- 19.—BURSTROM, H. (1954). *Physiol. Plantarum*, 7, 332-342.
- 20.—CAMP, A. F., CHAPMAN, H. D., BAHRT, G. M. and PARKER, E. R. (1941). In "Hunger Sings in Crops". (Ed. G. Hambidge). *Am. Sos. Agr. and Nat. Fert. Soc. Washington, D.C.*, 267-311.
- 21.—CARLIER, A. and BUFFEL, K. (1955). *Acta Bot. Neerl.*, 4, 551-564.
- 22.—CARR, D. J. and NG, E. K. (1959). *Physiol. Plantarum*, 12, 264-274.
- 23.—CARTER, O. G. and LATHWELL, D. J. (1967). *Plant Physiol.*, 42, 1407-1412.
- 24.—CLELAND, R. (1960). *Plant Physiol.*, 35, 581-584.
- 25.—COLEMAN, R. G. and HEGARTY, N. P. (1957). *Nature*, 179, 376-377.
- 26.—COLEMAN, R. G. and RICHARDS, F. J. (1956). *Ann. Bot. (London) (N.S.)*, 20, 393-409.
- 27.—COOIL, B. J. and SLATTERY, M. C. (1948). *Plant Physiol.*, 23, 425-42.
- 28.—COOPER, H. P. (1941). In "Hunger sings in Crops". (Ed. G. Hambidge). *Am. Soc. Agron. and Nat.*
- 29.—CORMARCK, R. G. H. (1949). *Bot. Rev.*, 15, 583-612.
- 30.—CORMARCK, R. G. H. (1955). *Science*, 122, 1019-20.
- 31.—CORRIE, F. E. (1948). *Some elements of plants and animals*. Londres.
- 32.—CHAPMAN, H. D. (1952). *Studies on nutrition of citrus*. XIII International Horticultural Congress.

- 33.—CHAPMAN, H. D., BROWN, S. M. and RAYNER, D. S. (1947). *Hilgardia*, 17, 619-50.
- 34.—CHAPMAN, H. D. et al. (1966). *Calif. Citograph*, 51 (6), 238-40 y 242-43.
- 35.—CHENG, P. Y. (1965). *Biochem. Biophys. Acta*, 102, 314-16.
- 36.—CHESTER, V. E. (1965). *Proc. Roy. Soc. Er. B*, 162, 555-556.
- 37.—CHRISPE
- 38.—DAS, H. K., GOLDSTEIN, A., LOWNEY, L. I. (1967). *J. Mol. Biol.*, 24, 231.
- 39.—DAVIDSON, O. W. (1941). In "Hunger Sings in Crops". (Ed. G. Hambridge). *Am. Soc. Aggron. and Fert. Soc. Washington, D.C.*, 191-239.
- 40.—DAVIDSON, F. M. and LONG, C. M. (1958). *Biochem. J.*, 69, 458-66.
- 41.—DAY, D. (1928). *Science*, 68, 426-427.
- 42.—DODDS, J. A. and ELLIS, R. J. (1966). *Biochem. J.*, 101, 31.
- 43.—EATON, S. V. (1952). *Bot. Gaz.*, 114, 165-80.
- 44.—EDWARDS, J. K. (1936). *Am. J. Bot.*, 23, 483-89.
- 45.—EINSET, E. and CLARK, W. L. (1958). *J. Biol. Chem.*, 231, 703-715.
- 46.
- 47.—ELZAM, O. E. and EPSTEIN, E. (1969). *Agrochim.*, 13, 196-206.
- 48.—EPSTEIN, E. (1961). *Plant Physiol.*, 36, 437-44.
- 49.—EPSTEIN, E. (1972). XI. In "Mineral nutrition of plants: principles and perspectives". (Ed. John Wiley and Sons, Inc.), 285-322.
- 50.—EPSTEIN, F. H. and WHITMAN, R. (1966). *Biochem. J.*, 99, 232-238.
- 51.—EVANS, H. J. and SORGER, G. J. (1966). *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 17, 47-76.
- 52.—FISCHER, R. A. and HSIAO, T. C. (1968). *Plant Physiol.*, 43, 1953-1958.
- 53.—FLORELL, C. (1956). *Physiol. Plantarum*, 9, 236-242.
- 54.—FOOTE, B. D. and HANSON, J. B. (1964). *Plant Physiol.*, 39, 450-460.
- 55.—FROST, D. V. and SANDY, H. R. (1953). *Soc. Exp. Biol. Med.*, 83, 102-5.
- 56.—FUJINO, M. (1967). *Sci. Bull. Fac. Educ. Nagasaki Univ.*, 18, 1-47.
- 57.—GALEY, F., JONES, P. G. W. and LUNT, O. R. (1968). Citado por Jones R. G. W. y Lunt (1967).
- 58.—GARNER, W. W., MCMURTRY, J. E. Jr., BACON, L. W. and MOSS, E. G. (1923). *J. Agr. Research*, 23, 27-40.
- 59.—GERMAIN, M. and PROULX, P. (1965). *Biochem. Pharmacol.*, 14, 1815-1819.
- 60.—GINZBURG, B. Z. (1958). *Nature*, 181, 398-400.
- 61.—GINZBURG, B. A. (1961). *J. Exp. Bot.*, 12, 85-107.
- 62.—GONZALEZ SIDLIA, E. (1960). *El cultivo de los agrios*. (Ed. Bello, Valencia).
- 63.—GREGORY, F. G. and BAPTISTE, E. C. D. (1936). *Ann. Bot. (London)*, 50, 579-619.
- 64.—GREGORY, F. G. and RICHARD, F. J. (1929). *Ann. Bot. (London)*, 43, 119-161.
- 65.—GREGORY, F. G. and SEN, P. K. (1937). *Ann. Bot. (London) (N. S.)*, 1, 521-61.
- 66.—GRUWALD, C. (1966). *Physiol. Plantarum*, 19, 335-47.
- 67.—HANSON, J. B. (1960). *Plant Physiol.*, 35, 372-79.
- 68.—HANSTEEN, B. (1910). *Jhrb. wiss. Botan.*, 47, 289-376.
- 69.—HARTT, C. E. (1934). *Plant Physiol.*, 9, 453-90.

- 70.—HARTT, C. E. (1969). *Plant Physiol.*, 44, 1461-1469.
- 71.—HEWITT, E.
Report 1. Long Ashton Research Sta
- 72.—HEWITT, E. J. (1945). Experiments in mineral nutrition. Progress Report 2. Long Ashton Research Sta. Rept., 1944, 50-60.
- 73.—HEWITT, E. J. (1946). Experiments in mineral nutrition. Progress Report 3. Long Ashton Research Sta. Rept. 1945, 44-50.
- 74.—HEWITT, E. J. (1963).
omic Press, New York, 3, 15
- 75.—HEWITT, E. J. and MILES, P. (1954). *J. Hort. Sci.*, 29, 237-44.
- 76.—HIATT, A. J. and EVANS, H. J. (1960). *Plan Physiol.*, 35, 673-677.
- 77.—HOAGLAND, D. R. and ARNON, D. I. (1950). The Water--culture method of growing plants without soil. *Univ. Calif., Berkeley, Coll. Agr. Crit.*, 347.
- 78.—HSIAO, T. C., HAGEMAN, R. H. and TYNER, E. H. (1970). *Crop. Sci.*, 10, 78-82.
- 79.—HUMBERT, R. P. (1958). Proc. 5th Potassium Symposium. Madrid. Intern. Potash Instt
- 80.—HUMBERT, R. P. (1962). The growing of sugarcane. Elsevier Publ. Co., Amsterdam.
- 81.—HUMBLE, G. D. and HSIAO, T. C. (1970). *Plant Physiol.*, 46, 483-487.
- 82.—HUMBLE, G. D. and RASCHKE, K. (1971). (Citado por Epstein (1972).
- 83.—HYDE, B. B. and PALIWAL, R. L. (1958). *Amer. J. Bot.*, 45, 443-438.
- 84.—IMANISHI, A. (1966). *J. Biochem. (Tokyo)*, 60, 381-390.
- 85.—JACOB, A. (1918). Magnesium, the fifth major plant nutrient. (Transln. N. Walker) Staples, London.
- 86.—JACOBSON, L., MANNAPEL, R. J., MOORE, D. R. and SHAEDLE, M. (1961). *Plant Physiol.*, 36, 58-61.
- 87.—JACOBSON, L., MOORE, D. R. and HANNAPEL, R. J. (1963). *Plant Physiol.*, 35, 352-58.
- 88.—JAGENDORF, A. T. and SMITH, M. (1962). *Plant Physiol.*, 37, 135-141.
- 89.—JONES, R. G. W. and LUNG, O. R. (1967). *Bot. Rev.*, 33, 407-426.
- 90.—JONES, R. J. and MANSFIELD, T. A. (1970). *J. Exp. Bot.*, 21, 714-19.
- 91.—KEAY, L. and CROOK, E. M. (1965). *Arch. Biochem. Biophys.*, 111, 626-634
- 92.—KIRBY, K. S. (1957). *Biochem. J.*, 66, 495-504.
- 93.—LARKUM, A. W. D. (1968). *Nature*, 218, 447-449.
- 94.—LAUHLI
- 95.—LETHAM, D. S. (1958). *Nature*, 181, 135-136
- 96.—LINDBLAD, K. L. (1959). *Physiol. Plantarum*, 12, 400-411.
- 97.—LONERAGAN, J. F. and SNOWBALL, K. (1969a). *Austral. J. Agr. Res.*, 20, 465-478.
- 98.—LYON, C. y GARCIA, C. R. (1944). *Botan. Gaz.*, 105, 441-456.
- 99.—MASS, E. V. and LEGGETT, J. E. (1968). *Plant Physiol.*, 43, 2054-2056.
- 100.—MANGIN, L. (1892). *J. Bot.*, 6, 12-19.
- 101.—MANSFIELD, T. A. and JONES, R. J. (1971). *Planta*, 101, 147-58.
- 102.—MARINOS, N. G. (1962). *Am. J. Bot.*, 49, 834-841.
- 103.—MARINOS, N. G. (1963). *Am. J. Bot.*, 50, 998-1005.

- 104.—MARQUET, M. (1964). *Compt. Rend. Acad. Sci.*, 259 (18), 3128-3131.
- 105.—MARSCHNER, H., HALNADLEY, R. and OVERSTREET, R. (1966). *Plant Physiol.*, 41, 1725-1735.
- 106.—MARYYAMA, K. and ISHIKAWA-KATSUKI, Y. (1966). *J. Biochem. (Tokyo)*, 59, 310-312.
- 107.—McbRIEN, D. C. H. and HASSAL, K. A. (1965). *Physiol. Plantarum*, 18, 1059-1065.
- 108.—McELROY, W. D. and NASON, A. (1954). *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 5, 1-30.
- 109.—McMURTRY, J. E. Jr. (1941). In "Hunger signs in Crops". (Ed. G. Hambridge). *Am. Soc. Agr. and Nat. Fert. Soc.*, Washington, D.C., 15-24.
- 110.—MILLIKAN, C. R. (1953). *Dep*
- 111.—MITTELHEUSER, C. J. and VAN STEVENINCK, R. F. M. (1969). *Nature*, 221, 281-82.
- 112.—NASON, A. and McELROY, W. D. (1963). In "Plant Physiology". (Ed. F. C. Steward). *Academic Press, New York*, 3, 451-536.
- 113.—NICHOLAS, D. J. D. (1961). *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 13, 63-90.
- 114.—NICHOLAS, D. J. D. (1963). *Plant Physiol.* (Ed. F. C. Steward). *Academic Press, New York*, 3, 402-408.
- 115.—NG, E. K. and CARR, D. J. (1959). *Physiol. Plantarum*, 12, 275-287.
- 116.—NIGTHINGALE, G. T., SCHERMERHORN, L. G. and ROBLINS, W. R. (1930). *Egr. Exp. Sta. Bull. (New Jersey)*, 449.
- 117.—NOLANÚ, C. N. (1962). *The citrus Industry*, 28 pp.
- 118.—PALLAGHY, C. K. (1970). *Pflanzenphysiol.*, 62, 58-63.
- 119.—PENSTOON, N. L. (1931). *Ann. Bot. (London)*, 45, 673-692.
- 120.—PAHRIS, R. P., BARNES, R. L. and NAYLOR, A. W. (1964). *Physiol. Plantarum*, 17, 560-572
- 121.—RAINS, D. W., SCHMID, W. E. and EPSTEIN, E. (1964). *Plant Physiol.* 39, 274-78.
- 122.—RASMUSSEN, H. D. (1966). *Frontiers of plant Science, Conn. Agr. Exp. Sat. (New Haven)*, 18 (2), 4-5.
- 123.—REED, H. S. (1907). *Ann. Botany (London)*, 21, 501-543.
- 124.—RICHARDS, F. J. and BERNER, E. Jr. (1954). *Ann. Botany New Series*, 18, 15-33.
- 125.—RICHARDS, F. J. and COLFMAN, R. G. (1952). *Nature*, 170, 460.
- 126.—RICHARDS, F. J. and TEMPLEMAN, W. G. (1936). *Ann. Botany (London)*, 50, 367-402.
- 127.—RIGGS, T. R., WALKER, L. M. and CHRISTENSEN, H. N. (1958). *J. Biol. Chem.*, 233, 1479-1484.
- 128.—RUESINK, A. N. and THIMANN, K. V. (1965). *Proc. Nat. Acad. Sci., Washington*, 54, 56-64.
- 129.—SALISBURY, F. B. and CLEON, R. (1969). In "plant physiology". (Ed. Wadsworth Publishing Company, Inc.) Belmont, California, 209-235.
- 130.—SALTMAN, P., FORTE, J. G. (1963). *Exp. Cell*
- 131.—SAWHNEY, B. L. and ZELICH, I. (1969). *Plant Physiol.*, 44, 1350-1354.
- 132.—SIDERIS, C. P. and YOUNG, H. Y. (1945). *Plant Physiol.*, 20, 649-70.
- 133.—SIDERIS, C. P. and YOUNG, H. Y. (1946). *Plant Physiol.*, 21, 218-232.
- 134.—SKOU, J. C. (1965). *Physiol. Rev.*, 45, 596-617.

- 135.—SOMMER, A. L. and SOROKIN, H. (1928). *Plant Physiol.*, 3, 237-261.
- 136.—SOROKIN, H. and SOMMER, A. L. (1929). *Am. J. Bot.*, 16, 23-29.
- 137.—SPURR, A. R. (1959) *Hilgardia*, 28, 269-295.
- 138.—STEFFENSEN, D. (1958). *Nature*, 182, 1750-1751.
- 139.—STEINBERG, R. A., BOWLING, J. D. and McMURTEY, J. E. Jr. (1956). *Plant Physiol.*, 25, 279-88.
- 140.—STOCKING, C. R. and ONGUN, A. (1962). *Am. J. Bot.*, 49, 284-289.
- 141.—TAGAWA, T. and BONNER, J. (1957). *Plant Physiol.*, 32, 207-212.
- 142.—TAKAGI, T. and ISEMURA, T. (1965). *A. J. Biochem.* (Tokyo), 57, 89-95.
- 143.—TANADA, T. (19
- 144.—TANADA, T. (1956). *Plant Physiol.*, 31, 403-406.
- 145.—TANADA, T. (1956). *Plant Physiol.*, 31, 251-253.
- 146.—TANADA, T. (1962). *Am. J. Bot.*, 49, 1068-1072.
- 147.—TAYLOR, H. F. and WAIN, R. L. (-966). *Ann. Apl. Biol.*, 57, 301-309.
- 148.—THONSON, W. W. and WEIR, T. E. (1962). *Am. J. Bot.*, 49, 1047-1055.
- 149.—TISDALE, S. L. and NELSON, W. L. (1966). *Soil Fertility and Fertilizers* (MacMillan, New York and London), 8 pp.
- 150.—TRUE, R. H. (1914). *Am. J. Bot.*, 1, 255-273.
- 151.—TRUE, R. H. (1922). *Science*, 56, 1-6.
- 152.—T'So, P. O. P. ((1958). In "Microsomal particles and protein synthesis" (ed. R. B. Roberts), Pergamon, Cambridge, Massachusetts, 156-168.
- 153.—TS'o, P. O. P., BONNER, J. and VINOGRAD, J. (1957). *Plant Physiol. Suppl.* 32, XII.
- 154.—TURK, E. E. de (1941). In "Hunger Signs in Crops". (Ed. G. Hambidge), Amer. Soc. Agr. and Nat. Fert. Soc., Washington, D.C., 241-266.
- 155.—ULRICH, A. and OHKI, K. (1966). 24. In "Diagnostic criterio for plants and soils". (Ed. H. D. Chapman). *Div. Agr. Sci. Univ. California, Berkeley*, 362-393.
- 156.—VESK,
14, 1-18.
- 157.—WACKER, W. E. C. (1969). *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 162, 717.
- 158.—WALL, M. E. (1940). *Soil Sci.*, 49, 315-31.
- 159.—WALACE, A., FROLICH, E. and LUNT, O. R. (1966). *Nature*, 309, 634.
- 160.—WALACE, T. (1928) *J. Pomol. Hart. Sci.*, 6, 243-281.
- 161.—WALACE, T. (1928). *J. Pomol. Hort. Sci.*, 7, 1-31.
- 162.—WALACE, T. (1930). *Ann. Appl. Biol.*, 17, 649-657.
- 163.—WALACE, T. (1961). *The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual sumptoms.* 3rd. Ed. H. M. Stationery Office. London.
- 164.—WARD, G. M. (1960). *Can. J. Plant. Sci.*, 40, 729-735.
- 165.—WHITE, P. R. (1943). *Growth*, 7, 53-65.
- 166.—WILLMER, C. M. and MANSFIELD, T. A. (1969). *New Phytol.*, 68-363.
- 167.—WRIGHT, S. T. C. (1969). *Planta*, 86, 10-20.
- 168.—WRIGHT, S. T. C. and HIRON, R. W. P. (1969). *Nature*, 224, 719-20.