

Substituição de potássio por sódio na nutrição de alface (*Lactuca sativa* L.)* ————— JOSE R. PEREIRA**, R. L. WESTERMAN***

ABSTRACT

The effect of different levels of sodium and potassium and their interaction on yield and chemical composition of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cv 'Vanguard' were investigated. Plants were grown in nutrient solution, with the following levels of sodium and potassium: 0, 2,5, 5,0, and 10,0 me/l, individually and in combination. The harvesting of the plants was 45 days after germination. Shoots and roots were separated to obtain fresh and dry weight.

Sodium functioned as a partial substitute for potassium in the nutrition of lettuce. A negative interaction on yield was observed in plants grown in high concentrations of sodium and potassium. Sodium increased the yield over the control, however the increase was only 50 per cent of the yield obtained with potassium.

The treatments influenced greatly the uptake and accumulation of sodium and potassium by shoots and roots. A decrease was observed in potassium content in shoots and roots when sodium was present in the nutrient solution. In a reciprocal way, but to a greater extent, potassium also was effective in decreasing the absorption of sodium by plants. Calcium and magnesium contents and percentages of total nitrogen, nitrate nitrogen, and organic nitrogen plus ammonium in shoots and roots were influenced to a certain extent by the treatments. Varying levels of sodium and/or potassium had no effect on total phosphorus in roots and shoots.

Introdução

O sódio apesar de não ser essencial para as plantas tem sido objeto de intensiva pesquisa devido ao seu efeito sobre as propriedades físicas do solo e a nutrição de plantas. Em alguns casos, este elemento pode agir como um substituto parcial do potássio, exercendo parte das funções deste nutriente no metabolismo das plantas ou complementando-o. Além disso, o sódio pode-se tornar tóxico para as plantas, quando presente no substrato em grande quantidade (3, 4, 5, 9, 13, 15, 22).

Tem sido observado que o sódio pode ser benéfico para algumas plantas, mesmo quando cultivadas em um meio com alto teor de potássio, em contraste, outras plantas não respondem a aplicação de sódio, mesmo em ausência de potássio (9, 14, 22, 24).

A resposta das plantas ao sódio difere grandemente entre as espécies vegetais (3, 7). De acordo com diversos investigadores a absorção genética, idade da planta e a concentração relativa deste elemento do potássio no substrato (5, 10, 16, 22). Contudo o teor e a distribuição do sódio dentro da planta diferem grandemente entre as espécies, mesmo se elas são cultivadas em meio com idêntica concentração de sódio (1, 2, 3, 10, 13, 17). A acumulação de sódio na parte aérea das plantas está estreitamente relacionada com a tolerância destas a este elemento e conseqüentemente ao desenvolvimento vegetativo e

* Recebido para publicação em 10 janeiro 1978.

** Eng. Agr., M. S., Chefe do Laboratório de Solos e Água, DREN/SUDENE. Atualmente pesquisador do Centro de Pesquisas Agropecuária do Trópico Semi-Árido-EMBRAPA, Caixa Postal 23, Petrolina, Pernambuco, Brasil.

*** Prof. Assistente Department of Soil and Water and Engineering, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, U.S.A.

produção. Em feijão, por exemplo, o sódio é assimilado, mas fica retido nas raízes, entretanto, aumentando-se a sua concentração e diminuído a de potássio no meio, o sódio se transloca das raízes para a parte aérea, causando toxidez (1, 2, 10, 17, 19, 23).

Diferentes respostas também têm sido observadas em relação ao efeito do sódio sobre a composição química das plantas (13, 15, 17, 20).

Tendo em vista a importância do sódio e sua relação com o potássio na nutrição das plantas, foi realizado este experimento, visando determinar os efeitos de diferentes níveis de sódio e potássio e a interação desses dois elementos na produção e composição química da alface (*Lactuca sativa* L.) cultivar 'Vanguard'.

Materiais e métodos

Este experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se a solução nutritiva de Hoagland como substrato, variando entretanto os níveis de potássio.

Os tratamentos foram constituídos de quatro níveis de sódio e quatro de potássio, na forma de cloreto, correspondentes a 0, 2,5, 5,0 e 10,0 me/l de cada elemento na solução nutritiva, dispostos em um arranjo fatorial 4×4 com três repetições. Os crescentes níveis de sódio e potássio estão representados pelos símbolos: Na_0 , Na_1 , Na_2 e Na_3 para o sódio e K_0 , K_1 , K_2 e K_3 para o potássio. O nitrogênio foi usado na forma de nitrato, com a finalidade de avaliar o efeito das diferentes concentrações de sódio e potássio sobre o metabolismo do nitrogênio na planta.

A solução nutritiva foi preparada com água desmineralizada, isto para minimizar os efeitos de sódio e potássio extras. O pH das soluções de todos os tratamentos foi mantido em torno de 6, ajustando-se com solução de $Ca(OH)_2$, 0,15%.

As sementes de alface foram colocadas para germinar em vermiculita. Após a germinação, as plantas foram transferidas para vasos plásticos contendo solução nutritiva permanecendo aí durante 10 dias. Após este período foram colocadas duas plantas em cada vaso contendo as soluções testes, totalizando seis plantas para cada tratamento. As soluções nutritivas nos vasos ocupavam um volume de dois litros, e eram renovadas a cada oito dias. Diariamente adicionava-se água desmineralizada para completar o volume fixado. A aeração foi feita fazendo-se passar ar artificialmente através das soluções (8).

As plantas permaneceram nas soluções testes durante 27 dias. Após este período raízes e parte aérea de cada repetição foram colhidas, mantidas separadamente, pesadas, secas a $60^\circ C$ e novamente pesadas. As raízes depois de removidas da solução foram lavadas com água desmineralizada para eliminar os nutrientes adsorvidos na superfície das mesmas. O material seco foi passado através de um moíno para fins de análise.

Matéria seca, cálcio, magnésio, potássio, sódio, nitrogênio total, nitrogênio nítrico e fósforo total fo-

ram determinados separadamente na parte aérea e raízes.

O extrato para as determinações de potássio, sódio, cálcio, magnésio e fósforo total, foi obtido através da pré-digestão do material seco com ácido nítrico concentrado e digestão final com água oxigenada a 30 por cento. O sódio e o potássio foram determinados por fotometria de chama, enquanto que o cálcio e o magnésio foram determinados por absorção atômica. A determinação do fósforo foi feita colorimetricamente usando-se o ácido ascórbico como redutor.

O nitrogênio total foi determinado pelo método de Kjeldahl e o nitrogênio nítrico pelo método do ácido fenoldissulfônico (11). O nitrogênio orgânico mais amoniacal foi obtido pela diferença entre o nitrogênio total e o nitrogênio nítrico.

Resultados e discussão

Produção e percentagem de matéria seca

Os dados de produção e percentagem de matéria seca da parte aérea e das raízes estão contidas na Fig 1. Uma grande diferença em peso da parte aérea e das raízes foi observado entre os tratamentos más

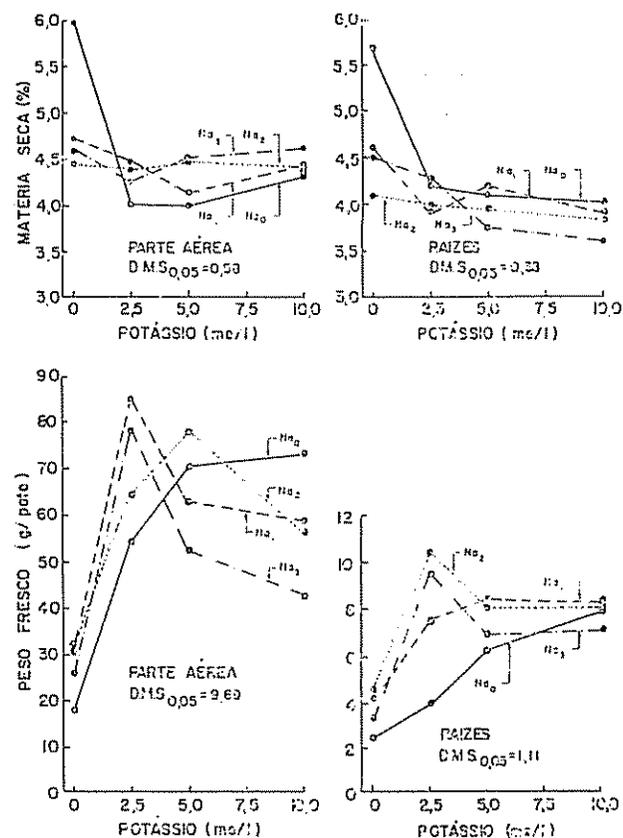


Fig 1.—Matéria verde e percentagem de matéria seca da parte aérea e raízes de alface em função de diferentes níveis de potássio e sódio.

percentagem, de matéria seca permanecem relativamente constante. A produção, tanto da parte aérea como das raízes, aumentou significativamente em relação à testemunha a proporção que os níveis de potássio aumentavam no meio. Contudo a diferença entre o peso da matéria verde da parte aérea dos tratamentos Na_0K_3 e NaK_2 não foi significativo.

Nos tratamentos com sódio em ausência de potássio foi observado um aumento de produção em cerca de 75 por cento em relação à testemunha para a parte 62 por cento para as raízes. A proporção que os níveis de sódio aumentavam foi observado um pequeno decréscimo no peso de matéria verde da parte aérea, mas as diferenças não foram significativas. Com relação às raízes o nível mais alto de sódio provocou um acentuado decréscimo no peso do material fresco em relação aos níveis Na_0K_1 e Na_0K_2 .

Comparando-se o efeito do sódio e potássio, isoladamente, no incremento do peso de material fresco foi observado que, para a parte aérea, os aumentos devidos aos níveis Na_1 , Na_2 e Na_3 de sódio corresponderam a 59, 43 e 34 por cento, dos aumentos correspondentes aos níveis K_1 , K_2 , e K_3 de potássio respectivamente. Para o caso das raízes, os mesmos níveis de sódio provocaram aumentos equivalentes a 105, 73 e 43 por cento daqueles obtidos nos tratamentos com potássio.

Os dados da Fig. 1 revelam que houve uma interação entre o sódio e o potássio afetando o crescimento, positiva e negativamente. Uma interação positiva foi observada sempre que o sódio, independente da concentração estava presente na solução nutritiva em combinação com o nível K_1 de potássio. Um significativo decréscimo, em produção da parte aérea, foi observado nos tratamentos em que o sódio estava combinado com o nível mais alto de potássio, o mesmo ocorre com o resultado do tratamento Na_3K_2 . Com relação ao peso fresco das raízes para os demais tratamentos as diferenças provocadas pela combinação dos diferentes níveis de sódio e potássio nem sempre foram significativas.

O aumento da produção de matéria verde devido ao sódio, em ausência de potássio e quando este elemento estava presente em pequena quantidade na solução nutritiva, sugere que o sódio funcionou como um substituto parcial para o potássio na nutrição da alface. Entretanto, quando o sódio estava combinado com o nível mais alto de potássio houve um efeito depressivo na produção. Nos tratamentos em que o sódio se encontrava combinado com o nível K_2 de potássio que correspondia a concentração deste nutriente na solução nutritiva de Hoagland (8), ocorreu um decréscimo na produção de matéria verde da parte aérea quando comparado com a produção obtida no tratamento Na_0K_2 , se bem que, as diferenças não foram significativas com exceção do tratamento em que o sódio se encontrava no nível mais alto (10 me/l).

A percentagem de matéria seca da parte aérea e das raízes foi mais alta no controle do que nos tratamentos com sódio e potássio, mas não houve diferença significativa quando potássio e/ou sódio estavam presentes no substrato em qualquer concentra-

ção. Idêntica resposta foi obtida por Leonard e Bear (14) Dundas (6) Lunt e Nelson (15) acharam que plantas cultivadas em um substrato alto em sódio e potássio eram mais suculentas do que plantas cultivadas em um meio baixo em potássio, entretanto Kramer (12) informa que uma maior turgescência é observada sempre que o cloro esteja presente no substrato. Neste experimento a quantidade de potássio e sódio, isoladamente e em combinação, não afetou a turgidez das plantas, o aumento observado foi devido provavelmente à presença de cloro na solução nutritiva.

Composição química

Os teores de cálcio e magnésio na parte aérea e raízes estão contidos na Fig. 2. De acordo com os dados obtidos a concentração de cálcio na parte aérea foi influenciada pelo sódio presente no substrato nutritivo, isoladamente ou em combinação com o potássio, assim em todos os tratamentos em que o sódio estava presente houve um decréscimo significativo no teor de cálcio, embora no tratamento Na_1K_0 , a diferença não tenha sido significativa. Também o potássio no nível K_3 isoladamente, provocou uma diminuição no teor de cálcio da parte aérea. Nas raízes, a acumulação de cálcio não foi afetada de maneira significativa, pelos diversos tratamentos, apesar das variações observadas entre os resultados obtidos. O teor de magnésio na parte aérea diminuiu a níveis mais baixos do que o observado na testemunha, exceto no tratamento Na_1K_0 . Os resultados obtidos nos três níveis de potássio

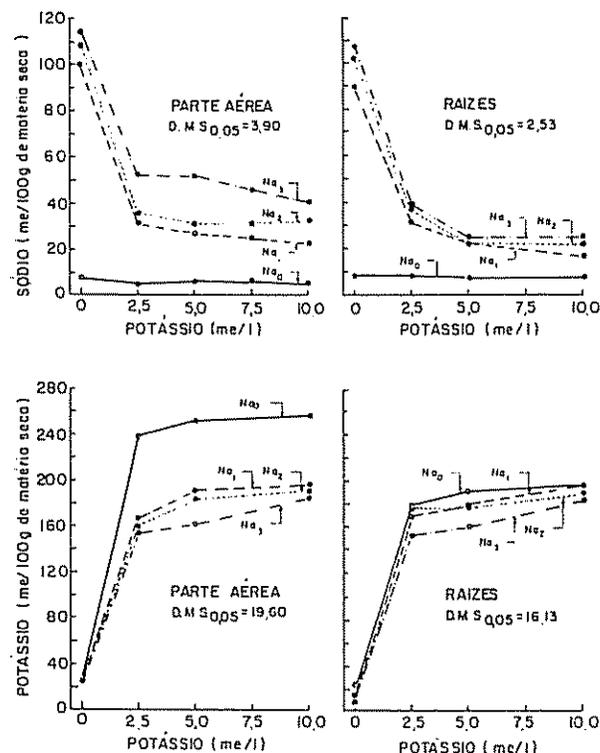


Fig. 2—Cálcio e magnésio na parte aérea e raízes de alface em função de diferentes níveis de potássio e sódio.

em ausência de sódio foram estatisticamente iguais. O sódio isoladamente estimulou a absorção de magnésio, contudo nos tratamentos onde este elemento e o potássio estavam presentes, o sódio não exerceu nenhum efeito nestes processos. Harmer e Benne (7) encontraram a mesma resposta para beterraba e cevada. Com alguma exceção, o magnésio contido nas raízes seguiu uma idêntica seqüência daquele observado na parte aérea.

A Fig. 3 mostra os dados relativos a concentração de sódio e potássio na parte aérea e raízes. A quantidade de potássio na parte aérea decresceu à proporção que a quantidade de sódio aumentava na solução nutritiva. Nos níveis Na_1 e Na_2 houve um aumento de potássio na parte aérea quando a concentração deste elemento na solução nutritiva aumentou do nível K_1 para o K_2 , entretanto nenhuma diferença foi observada entre os níveis K_2 e K_3 em combinação com sódio, exceto no nível Na_3 . Nas raízes, o sódio não exerceu nenhum efeito na acumulação de potássio.

As plantas acumularam grande quantidade de sódio (Fig. 3) quando somente este elemento constituiu os tratamentos, mas em presença de diferentes níveis de potássio, houve um significativo decréscimo na concentração de sódio em ambas as partes da planta. Nas condições deste experimento, a alface teve um papel seletivo com relação a absorção do sódio e potássio. Na ausência de potássio, a quantidade de sódio absorvida por unidade de matéria seca foi muito mais baixa do que o total de potássio absorvido em ausência de sódio. Resultados similares foram observados em outras plantas por Montasir, Sharoubeem e Sidrak (18). A presença de sódio nas plantas cultivadas em ausência deste elemento, deve ter sido devida ao fato de que as sementes germinaram em vermiculita e também ao sódio contido na água desmineralizada utilizada no preparo das soluções.

Os teores de fósforo total, nitrogênio total, nitrogênio nítrico e nitrogênio orgânico mais amoniacal constam no Quadro 1. A percentagem de fósforo total na matéria seca, tanto nas raízes como parte aérea, não foi influenciada pelos diferentes tratamentos, entretanto a quantidade de fósforo encontrado nas raízes foi aproximadamente duas vezes a encontrada na parte aérea. Quando o potássio foi omitido dos tratamentos, a percentagem de nitrogênio total da parte aérea foi mais baixa do que nos demais tratamentos. Entretanto nenhuma diferença entre o nitrogênio total foi observado nas raízes e partes aéreas quando ambos, potássio e sódio, estavam presentes no meio.

Como previamente estabelecido, o nitrogênio foi usado na forma de nitrato visando-se com isso avaliar os efeitos do sódio e do potássio, isoladamente, em combinação, sobre o crescimento e metabolismo do nitrogênio na alface. As plantas mantidas em ausência de potássio, a quantidade de nitrogênio nítrico, tanto nas raízes como na parte aérea, foi muito menor do que quando o potássio estava presente no meio nutritivo. No nível K_3 em presença de sódio, os teores de nitrato na parte aérea foram significati-

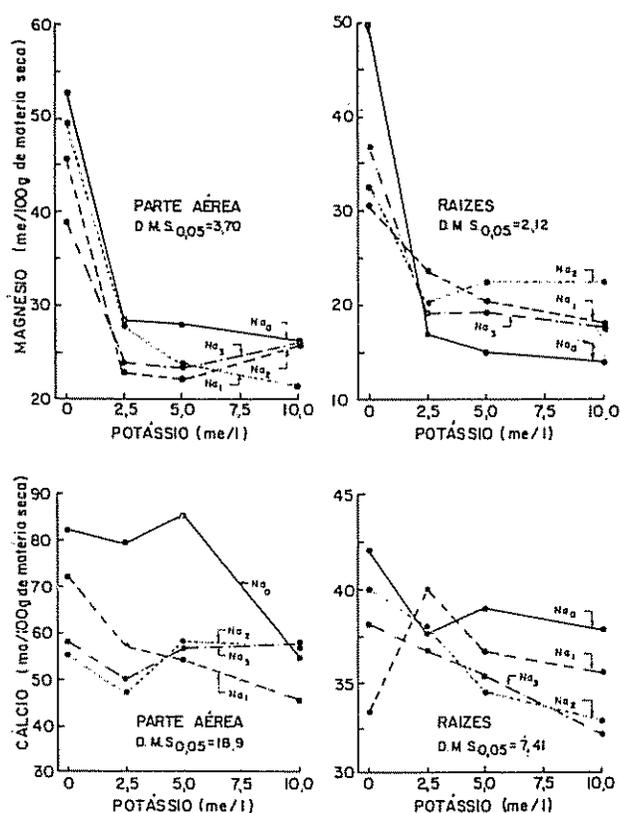


Fig. 3.—Sódio e potássio na parte aérea e raízes de alface em função de diferentes níveis de potássio e sódio.

vamente mais baixos comparados com os níveis K_2 e K_1 combinado com os diversos níveis de sódio. O sódio isoladamente provocou um aumento no nível de nitrato em relação ao controle, entretanto o efeito foi menor do que o observado em relação ao potássio. Estes dados estão de acordo com observações feitas por Shear Crane e Myers (21), segundo as quais, quando a fonte de nitrogênio para as plantas está na forma nítrica, ocorre uma acumulação de nitrato nas folhas que será utilizado no crescimento e outras atividades. A acumulação será evitada quando as condições não são favoráveis para utilização desse nitrato. Nas raízes o teor de nitrato não foi influenciado pelos tratamentos em que o sódio e o potássio estavam presentes. A parte aérea acumulou mais nitrato do que as raízes, sendo que em ausência de potássio as diferenças foram bem mais pronunciadas.

O nitrogênio total e na forma nítrica foram determinados e o nitrogênio orgânico mais amoniacal foram obtidos por diferença. O mais alto valor para o nitrogênio orgânico mais amoniacal, na parte aérea e nas raízes foram observados na testemunha e nos tratamentos onde somente sódio estava presente na solução nutritiva. A percentagem encontrada na parte aérea foi mais baixa do que nas raízes, isto sugere que a redução do nitrato em alface ocorre nas raízes,

Quadro 1.—Fósforo total, nitrogênio total, nitrogênio nítrico e nitrogênio orgânico mais amoniacal na parte aérea e raízes em função de diferentes níveis de sódio e potássio.

Trat	Parte aérea				Raízes			
	P %	N %	N-NO ₃ %	N-Org+NH ₄ %	P %	N %	N-NO ₃ %	N-Org+NH ₄ %
Na ₀ K ₀	0,70	2,98	0,67	2,31	1,46	3,36	0,22	3,15
Na ₀ K ₁	0,64	3,33	1,73	1,60	1,32	3,81	1,09	2,75
Na ₀ K ₂	0,69	3,50	1,76	1,75	1,25	3,89	1,28	2,62
Na ₀ K ₃	0,68	3,52	1,68	1,81	1,34	3,86	1,15	2,71
Na ₁ K ₀	0,70	3,18	0,95	2,23	1,40	3,44	0,40	3,04
Na ₁ K ₁	0,74	3,54	1,75	1,79	1,37	3,73	1,43	2,30
Na ₁ K ₂	0,72	3,58	1,75	1,83	1,57	3,58	1,15	2,43
Na ₁ K ₃	0,67	3,61	1,51	2,10	1,26	3,60	1,14	2,46
Na ₂ K ₀	0,68	3,29	0,95	2,34	1,40	3,60	0,48	3,21
Na ₂ K ₁	0,64	3,65	1,67	1,97	1,42	3,96	1,34	2,82
Na ₂ K ₂	0,70	3,68	1,61	2,07	1,36	3,72	1,09	2,63
Na ₂ K ₃	0,67	3,54	1,45	2,09	1,19	3,79	1,22	2,57
Na ₃ K ₀	0,70	3,21	0,96	2,24	1,54	3,56	0,45	3,11
Na ₃ K ₁	0,70	3,64	1,62	2,02	1,69	3,66	1,10	2,56
Na ₃ K ₂	0,72	3,59	1,59	2,00	1,36	3,73	1,08	2,65
Na ₃ K ₃	0,72	3,67	1,46	2,22	1,11	3,81	1,07	2,75
d.m.s. (0,05)	0,08	0,18	0,11	0,16	0,29	0,25	0,21	0,37

sendo influenciado pela ausência de potássio. Diferentes quantidades de sódio e potássio em combinação não afetaram a acumulação do nitrogênio orgânico mais amoniacal.

Conclusões

O efeito do sódio e do potássio sobre a produção e composição química da alface variou com a concentração destes dois elementos no substrato. O sódio incrementou a produção não somente em ausência do potássio mas também quando o potássio estava presente na solução nutritiva em baixa concentração. Entretanto, o aumento em produção devido ao sódio isoladamente, foi significativamente mais baixa do que o aumento observado em relação ao potássio. No nível K₁ as plantas utilizaram sódio para seu crescimento e, neste caso, o sódio funcionou como um substituto parcial para o potássio. Quando as plantas foram cultivadas ao nível K₂, a presença do sódio na concentração mais baixa não afetou o crescimento, porém,

quando se adicionou mais sódio o desenvolvimento das plantas foi negativamente afetado. A concentração mais alta de potássio combinado com os dois últimos níveis de sódio provocou um acentuado decréscimo na produção. Nos tratamentos em que somente sódio, independentemente da concentração, constituiu os tratamentos não houve diferença nos resultados de material fresco da parte aérea. A percentagem de matéria seca da parte aérea e das raízes não foi afetado pelo sódio e potássio.

A absorção do sódio e potássio foi afetada pela concentração de ambos na solução nutritiva. O potássio provocou um maior decréscimo na absorção e acumulação do sódio pela parte aérea e raízes, do que o sódio com relação ao potássio. O sódio e o nível K₃ de potássio, acarretaram uma diminuição na acumulação de cálcio pela parte aérea. Em ausência de potássio houve um aumento na absorção de magnésio. A percentagem de nitrogênio total, em ambas as partes das plantas, foi mais baixa em ausência de potássio do que quando este nutriente estava presente no meio, en-

tretanto, as diferenças nem sempre foram significativas. A percentagem de nitrogênio nítrico na parte aérea foi mais baixa quando potássio foi mantido nos tratamentos.

Literatura citada

- 1 BERNSTEIN, I e PEARSON, G A. Influence of exchangeable sodium on yield and chemical composition of plants: I. Green beans, garden beets, clover, and alfafa. *Soil Science* 82: 247-248. 1956
- 2 BOWER, C. A e WADLEIGH, C H. Growth and cationic accumulation by four species of plants as influenced by various levels of exchangeable sodium. *Soil Science Society of America Proceedings* 13: 218-223. 1948
- 3 COLLANDER, RUNAR. Selective absorption of cations by higher plants. *Plant Physiology* 16: 691-720. 1948
- 4 COOPER, H P, PADEN, W R e PHILLIPPE, M M. Effects of application of sodium in fertilizer on yield and composition of the cotton plant. *Soil Science* 76: 19-28. 1953.
- 5 COPE, Jr, J T, BRADFIELD, R. e PECH, M. Effects of sodium fertilization on yield and cation content of some field crops. *Soil Science* 76: 65-74. 1953
- 6 DUNDAS, JAMES. Sodium and crop water relations. *World Crops* 3: 46-47. 1965
- 7 HARMER, P M. e BENNE, E. J. Sodium as a crop nutrient. *Soil Science* 60: 137-148. 1945.
- 8 HOAGLAND, D R. e ARNON, D I. The water-culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experimental Station Circular* 347. 1950
- 9 HOLT, M E. e VOLT, N J. Sodium as a plant nutrient and substitute for potassium. *Agronomy Journal* 37: 821-827. 1945
- 10 HUFFAKER, R. C. e WALLACE, A. Effect of potassium and sodium levels on sodium distribution in some plant species. *Soil Science* 88: 80-82. 1959.
- 11 JOHNSON, C M. e ULTRICH, A. Analytical methods for use in plant analysis. *California Agricultural Experimental Station Bulletin* 766: 26-78. 1959.
- 12 KRAMER, P J. *Plant and soil water relationships*. New York, McGraw-Hill Book Company. 1967. pp. 175-213
- 13 LARSON, W E. e PIERRE, W H. Interaction of sodium and potassium on yield and cation composition of selected crops. *Soil Science* 76: 51-64. 1953.
- 14 LEONARD, C D. e BEAR, F E. Sodium as a fertilizer for New Jersey soils. *New Jersey Agricultural Experimental Station Bulletin* 752. 1950.
- 15 LUNT, O R. e NELSON, W L. Studies on the value of sodium in the mineral nutrition of cotton. *Soil Science Society of America Proceedings* 15: 195-200. 1950
- 16 MARSHALL, J G. e STURGIS, M. B. Effects of sodium fertilizers on yield of cotton. *Soil Science* 76: 75-79. 1953
- 17 McLEAN, E O. Uptake of sodium and other cations by five crops species. *Soil Science* 82: 21-28. 1956.
- 18 MONTASSIR, A. H. SHAROUBEEM, H. H. e SIDRAK, G. H. Partial substitution of sodium for potassium in water cultures. *Plant and Soil* 25: 181-194. 1966.
- 19 PEARSON, G A. Absorption and translocation of sodium in beans and cotton. *Plant Physiology* 42: 1171-1175. 1967
- 20 PEARSON, G. A. e BERNSTEIN, I. Influence of exchangeable sodium on yield and chemical composition of plants II. Wheat, barley, oats, tall fescue, and wheatgrass. *Soil Science* 86: 254-261. 1958
- 21 SHEAR, C B, CRANE, H L. e MYERS, A T. Exploratory pot experiment balance: A fundamental concept in plant nutrition. *Proceedings of the American Society of Horticultural Science* 47: 239-248. 1958.
- 22 TROUG, E. BERGER, K C. e ATTOE, O J. Response of nine economic plants to fertilization with sodium. *Soil Science* 76: 41-50. 1953.
- 23 WALLACE, A, HEMAIDAN, N. e SUFI, S M. Sodium translocation in bush beans. *Soil Science* 100: 331-334. 1965.
- 24 WYBENGA, J M. e LEHR, J. J. Exploratory pot experiment on sensitiveness of different crops to sodium. *Plant and Soil* 9: 385-394. 1958