

Maio e Junho de 1987

VOL. XXXIV

N.º 193

Viçosa — Minas Gerais

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

EFEITO DO ALUMÍNIO SOBRE A ABSORÇÃO DE CÁLCIO, CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO MINERAL DE CULTIVARES DE SOJA^{1/}

Alfredo Joaquim Castells^{2/}

Nairam Félix de Barros^{3/}

Renato Sant'Anna^{4/}

Roberto Ferreira de Novais^{3/}

Júlio César Lima Neves^{3/}

1. INTRODUÇÃO

A presença de elevados teores de alumínio trocável no solo tem sido um dos fatores que mais limitam o crescimento das culturas em solos de cerrado.

Em trabalho recente, CASTELLS *et alii* (9) discutem aspectos da influência do alumínio sobre a absorção de fósforo por genótipos de soja.

O excesso de alumínio pode, também, interferir na absorção, translocação e uso de cálcio, magnésio e outros elementos essenciais, além do fósforo, pelos vegetais (18, 28).

Dentre os efeitos adversos sobre o crescimento vegetal atribuídos ao alumínio está a inibição da absorção de cálcio, pois muitos dos sintomas de toxicidade do alumínio, particularmente os relativos ao crescimento radicular, são semelhantes aos sintomas de deficiência de cálcio (20), podendo também ocorrer a formação de

^{1/} Aceito para publicação em 4-11-1986.

^{2/} Fac. Ciências Agropecuárias. Univ. Nac. Córdoba, 5000 Córdoba, Argentina.

^{3/} Departamento de Solos da U.F.V. 36570 Viçosa, MG. Bolsistas do CNPq.

^{4/} Departamento de Biologia Geral da U.F.V. 36570 Viçosa, MG. Bolsista do CNPq.

folhas recurvadas e o colapso do pecíolo, como freqüentemente observado em soja (4). ANDREW *et alii* (3), estudando várias leguminosas forrageiras, encontraram que os tratamentos com alumínio reduziram a concentração de cálcio na parte aérea de todas as espécies. As concentrações de cálcio nas raízes foram consideravelmente menores que nas partes aéreas, embora as tendências de decréscimo tenham sido similares nas duas partes. Isso indica que o alumínio não apenas interfere na absorção de cálcio pelas raízes, diminuindo-a (24), como também reduz seu transporte para a parte aérea (14, 27).

Em cevada, o tratamento das plantas com alumínio provocou decréscimos aproximadamente constantes na absorção de cálcio no período de 3 a 34 h, o que sugere que o início da inibição dessa absorção é muito rápido. Essa inibição, em soluções com 25 e 50 μM de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, foi muito atenuada quando a concentração de cálcio no meio externo foi aumentada de 0,1 mM para 15 mM, não se detectando, então, o efeito negativo do alumínio na absorção de cálcio por peso unitário de raiz. Esse efeito do alumínio na absorção não é, provavelmente, restrito ao cálcio, aplicando-se também a outros cátions (14).

Para soja, resultados de pesquisa sugerem que o mecanismo de sua tolerância ao alumínio não está embasado no crescimento das raízes, mas, talvez, na nutrição dessa cultura (39).

Em razão da evidente interferência do alumínio na absorção de cálcio e de outros elementos, pode-se levantar a hipótese de que os diferentes graus de tolerância de genótipos de soja ao alumínio, comumente relatados, sejam consequência de uma absorção diferenciada de nutrientes, tais como o cálcio.

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito do alumínio sobre a absorção de cálcio por cultivares de soja, bem como sobre a sua composição mineral, com o propósito de selecioná-los quanto à tolerância ao alumínio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Obtenção do Material Vegetal

Sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) dos cultivares UFV-1, UFV-4, UFV-79-55^{1/}, UFV-80-65^{2/}, IAC-2 e Bragg foram colocadas para germinar em caixas de areia lavada. Esses genótipos foram escolhidos, de acordo com a literatura (15, 17, 36), com base na tolerância ao alumínio, sendo o Bragg indicado como sensível, o UFV-79-55 como medianamente tolerante e os demais como tolerantes ao elemento.

Após a emergência, quatro plântulas de cada genótipo foram transferidas para caixas com 25 litros da solução nutritiva de Andrew (3), modificada quanto a fonte e nível de nitrogênio (2,5 mM NH_4NO_3 para uma força) e ausência de NaCl, com a concentração de todos os nutrientes reduzida a meia força.

Dois dias após a transferência das plântulas, a concentração dos nutrientes na solução foi incrementada para uma força. Dois dias mais tarde, foi efetuada a tro-

^{1/} Variedade Sucupira.

^{2/} Variedade Rio Doce. (Prof. Carlos Siqueyuki Sediya (U.F.V.) — Comunicação pessoal).

ca da solução, e em dois terços das caixas a solução nutritiva recebeu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, de modo que se obtiveram 2 ppm de Al. O pH foi ajustado para 4,2 e corrigido diariamente, com HCl ou NaOH 0,1N. As soluções foram continuamente arejadas e as trocas efetuadas de quatro em quatro dias. Além disso, efetuou-se a monitoração e o ajuste dos níveis de P, Ca e Al, de dois em dois dias.

Para o estudo da absorção de cálcio, efetuado após 13 dias de crescimento das plântulas em solução nutritiva, na casa de vegetação, as plantas foram selecionadas pela uniformidade em tamanho. Duas de cada cultivar foram colocadas em vasos com um litro e meio de solução e levadas para a câmara de crescimento. As soluções dos vasos foram continuamente arejadas durante os ensaios. A câmara teve a temperatura controlada em torno de 25°C, intensidade luminosa de 7.500 lux à altura das folhas superiores, aproximadamente, e umidade relativa em torno de 50%. Nessas condições, as plantas permaneceram por 24 h na solução de crescimento, excluindo-se o alumínio da solução para a metade dos vasos que antes continham esse elemento. Dessa forma, foram constituídos três tratamentos: plantas crescidas em solução sem alumínio e absorção sem alumínio (tratamento 0); plantas crescidas em solução com alumínio e absorção com alumínio (tratamento 2); plantas crescidas em solução com alumínio e absorção sem alumínio (tratamento 2/0). Cada um desses tratamentos foi repetido duas vezes, e os 36 vasos (3 tratamentos x 6 cultivares x 2 repetições) foram distribuídos, na câmara de crescimento, em casualização completa.

2.2. Efeito do Alumínio na Solução Nutritiva sobre a Absorção de Cálcio

No dia seguinte ao traslado das plantas para a câmara de crescimento teve início o ensaio de absorção, com a troca da solução por outra de composição semelhante, mas sem cálcio, na qual as plantas permaneceram por 4 h. Em seguida, elas foram transferidas para vasos com solução que continha também o cálcio, que foi aplicado como $^{45}\text{CaCl}_2$, de modo que se obtivesse uma concentração de $142,5 \mu\text{M}$, o que levou a uma atividade de $11,84 \times 10^4 \text{ Bq/vaso}$.

As soluções foram amostradas, com intervalos de duas horas, a partir da quarta hora de luz até o final do período de luminosidade (16 h). A partir daí, as plantas permaneceram em solução por mais 12 h, quando foi feita uma última amostragem. O volume das alíquotas retiradas não foi repostado. Cada alíquota, de 1 ml, foi misturada com 10 ml do líquido de cintilação, constituído por PPO (5g/l) naftaleno (100 g/l) e dioxano q.s.p. 1 litro, e a sua atividade foi medida num espectrômetro beta de cintilação líquida Beckman, modelo LS 233. As contagens foram efetuadas com erro de contagem 2σ de 1,5%. Isso permitiu calcular o decréscimo da concentração desse íon na solução ao longo do período de amostragem.

Terminado o período de absorção, as plantas foram removidas dos vasos e separadas em parte aérea e raiz. As raízes correspondentes a cada vaso foram lavadas com água destilada, secadas com papel absorvente e pesadas. Tomando por base o peso do sistema radicular fresco, foi calculada a taxa de influxo de cálcio, em $\mu\text{mol.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$, para cada cultivar, tratamento e intervalo de tempo.

2.3. Determinação da Composição Mineral da Matéria Seca das Plantas

Simultaneamente aos ensaios de absorção de cálcio, foram amostradas plantas mantidas em casa de vegetação, submetidas aos mesmos tratamentos especificados anteriormente, isto é, tratamento 0, tratamento 2 e tratamento 2/0. Para cada cultivar e tratamento, foram tomadas duas amostras, de duas plantas cada

uma, separadas em parte aérea e sistema radicular. O peso da matéria seca foi obtido após 48 h de secagem em estufa de ventilação forçada, a 70°C.

O material seco foi moído e analisado quimicamente, para que se determinassem as concentrações de fósforo, cálcio, magnésio, potássio e alumínio. Na mineralização do material vegetal foi utilizada a mistura nítrico-perclórica (23). O cálcio e o magnésio foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, o potássio por fotometria de emissão de chama, o fósforo por colorimetria, após a redução do complexo fosfomolibdico pelo ácido ascórbico, segundo BRAGA e DEFELIPO (6), e o alumínio pelo método do aluminona, descrito por HSU (22), modificado pela utilização do ácido ascórbico como agente redutor^{1/}.

Os dados de concentrações de nutrientes na matéria seca foram submetidos à análise de variância. Procedeu-se à comparação das médias pelo teste de Tukey mesmo quando a interação não foi significativa pelo teste F, de acordo com as sugestões de CHEW (10).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O alumínio (tratamento 2) aumentou, de modo geral, o influxo de cálcio em todos os cultivares, à exceção do UFV-80-65, sendo esse aumento mais acentuado no primeiro período do experimento (Quadro 1). Observa-se que, para qualquer um dos tratamentos, houve uma diminuição do influxo com o transcurso do tempo.

O aumento da absorção de cálcio no período de 24h, na presença do alumínio (Quadro 1), contrasta com a redução encontrada em cevada por CLARKSON e SANDERSON (14), que trabalharam em condições semelhantes às deste trabalho. Esse aumento permitiria supor que o alumínio estaria estimulando a absorção de cálcio de forma semelhante ao «efeito Viets» (33).

A menor absorção de cálcio observada neste trabalho (Quadro 1), quando comparada à obtida por LONERAGAN e SNOWBALL (29) para várias leguminosas, pode ser atribuída ao efeito do H^+ na absorção desse elemento, já que o pH das soluções empregadas teve de ser mantido relativamente baixo para evitar a precipitação do alumínio. CROOKE (16) observou que a absorção de cálcio e magnésio diferiu entre cultivares de cevada e foi maior com o aumento do pH do solo de 4 para 6. Em milho, MAAS (30) observou que a absorção de cálcio foi marcadamente inibida pelo H^+ na faixa de pH entre 3 e 5, havendo pouco efeito inibitório acima de pH 5. Em várias leguminosas forrageiras tropicais e temperadas, ANDREW (1) e ANDREW e JOHNSON (2) encontraram aumento tanto da produção de matéria seca como da percentagem de cálcio nos tecidos das plantas quando o pH foi elevado de 4 para 6. Neste trabalho, as maiores taxas de absorção de cálcio e a conseqüente maior absorção total do elemento no tratamento com alumínio (tratamento 2) permitem supor que esse elemento estaria invertendo o efeito inibidor ou competitivo do H^+ , estimulando a absorção de cálcio («efeito Viets»). Este fato é confirmado pelas menores taxas de influxo do tratamento 2/0, comparativamente ao tratamento 2, visto que no tratamento 2/0 o alumínio foi excluído da solução nutritiva a partir das 24 horas anteriores ao estudo de absorção.

Na realidade, o mecanismo do efeito do alumínio sobre a absorção de cálcio não está bem esclarecido e há divergência entre autores. CLARKSON e SANDERSON (14) encontraram redução no peso das raízes pelo efeito do alumínio, mesmo

^{1/} Prof. José Mário Braga (U.F.V.) — Comunicação pessoal.

QUADRO 1 - Absorção de cálcio durante vários períodos, por plantas de seis cultivares de soja, aos 14 dias de idade, cultivadas em soluções nutritivas sem alumínio (0) ou com 2 ppm de alumínio, continuamente (2) ou com a exclusão deste (2/0) 24 horas antes do estudo de absorção^{1/}

Cultivar	Conc. Al	Período de absorção (horas)					
		0 - 6	6 - 12	12 - 24 ^{2/}	0 - 24	0 - 24	0 - 24
		$\mu\text{moles.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$			$\mu\text{moles.g}^{-1}$		
Bragg	0	0,299	0,140	0,124	0,176	0,176	4,22
	2	0,629	0,261	0,170	0,309	0,309	7,42
	2/0	0,288	0,131	0,082	0,149	0,149	3,58
IAC-2	0	0,298	0,093	0,080	0,140	0,140	3,36
	2	0,414	0,318	0,072	0,222	0,222	5,33
	2/0	0,230	0,218	0,061	0,146	0,146	3,50
UFV-1	0	0,268	0,197	0,047	0,143	0,143	3,43
	2	0,416	0,246	0,123	0,230	0,230	5,52
	2/0	0,306	0,231	0,098	0,187	0,187	4,49
UFV-4	0	0,288	0,063	0,171	0,175	0,175	4,20
	2	0,448	0,212	0,139	0,237	0,237	5,69
	2/0	0,324	0,164	0,104	0,176	0,176	4,22
UFV-79-55	0	0,257	0,196	0,097	0,164	0,164	3,94
	2	0,428	0,176	0,131	0,219	0,219	5,26
	2/0	0,281	0,126	0,091	0,148	0,148	3,55
UFV-80-65	0	0,381	0,230	0,050	0,180	0,180	4,32
	2	0,236	0,217	0,136	0,183	0,183	4,39
	2/0	0,409	0,093	0,120	0,188	0,188	4,51

^{1/} Média de duas repetições.

^{2/} Período escuro.

quando crescidas numa solução com alta concentração de CaCl_2 (15 mM). Nessas condições, 50 μM de alumínio reduziram a taxa de absorção de cálcio, comparativamente ao controle (0), mas 100 μM de alumínio produziram um incremento nessa taxa. Nessa mesma linha, CANAL e MIELNICZUK (8) indicaram a possibilidade de que o peso da matéria fresca das raízes subestime a área efetiva de absorção, contribuindo assim para o aumento da taxa de absorção de cálcio nos tratamentos com alumínio. Porém, para CLARKSON (13), CLARKSON e SANDERSON (14) e outros, a interferência do alumínio na absorção do cálcio parece ser consequência mais de reações superficiais do que de alterações no processo de transporte metabólico, pois o alumínio das raízes, neutralizando as cargas negativas existentes nos espaços livres, deslocaria outros cátions de menor afinidade já retidos ou controlaria a entrada de cátions no espaço livre. Nesse aspecto, JOHNSON e JACKSON (24) indicam que a redução na acumulação do cálcio causada pelo alumínio não pode ser explicada só pelo fenômeno de competição iônica pelos sítios no carregador ou pelos sítios de troca. Eles levantam a hipótese da ocorrência de mais de uma reação para a acumulação de cálcio nas raízes e de que o alumínio inativaria parte desse mecanismo, uma vez que o aumento da concentração desse elemento não causou posterior redução na taxa de absorção de cálcio nos experimentos por eles conduzidos. Por sua vez, BRAUNER e SARRUGE (7) verificaram que a absorção de cálcio em trigo se realiza através de dois mecanismos; um que opera na faixa de concentrações de cálcio de $5 \times 10^{-6}\text{M}$ a $8 \times 10^{-5}\text{M}$, na qual o alumínio inibe a absorção de cálcio, e outro na faixa de $1,6 \times 10^{-4}\text{M}$ a $2,56 \times 10^{-3}\text{M}$, na qual o alumínio inibe ou estimula a absorção de cálcio, dependendo do cultivar. KOTZE *et alii* (27), trabalhando com plântulas de maçã em solução nutritiva, encontraram que a presença de alumínio não diminuiu nem a absorção de cálcio pelas raízes, nem seu transporte para a parte aérea. Essa diminuição é variável, dependendo da forma de nitrogênio empregada (Hilyar, 1978, citado por ARRUDA *et alii* (5)).

No tratamento 2/0, obteve-se, para o cultivar UFV-1, uma taxa de influxo de cálcio consideravelmente maior que a do tratamento 0 (Quadro 1), o que sugere que o alumínio ainda poderia estar influenciando a absorção de cálcio. Nos demais cultivares, a taxa de influxo foi inferior ou igual à do tratamento 0.

Em suma, a análise dos valores do influxo de cálcio não permitiu a distinção entre cultivares tidos como tolerantes e sensíveis ao alumínio.

No que se refere ao crescimento, a adição de alumínio à solução nutritiva só teve efeito depressor sobre a produção de matéria seca da parte aérea das plantas do cultivar UFV-80-65 (Quadro 2). Para o cultivar IAC-2, o alumínio resultou, inclusive, em aumento no peso da matéria seca da parte aérea. Em diversos trabalhos (3, 11, 21) foram encontrados incrementos na produção de matéria seca de várias espécies tolerantes ao alumínio em consequência de adições de baixas concentrações do elemento à solução de crescimento ou de sua presença em baixos teores no solo (35). FERREIRA (17) não observou diferenças, para os mesmos cultivares de soja testados neste trabalho, no peso da parte aérea e das raízes de plantas crescidas em solução nutritiva com 3 ppm de alumínio, comparativamente ao tratamento sem alumínio, exceto para o Bragg. Porém, com 6 ppm de alumínio foi possível identificar os cultivares UFV-4 e UFV-80-65 como os mais tolerantes.

Nas plantas cultivadas com alumínio, os teores de cálcio da parte aérea foram menores que os das cultivadas sem o elemento, ao passo que nas raízes eles só diminuíram no UFV-4 e UFV-80-65 (Quadro 2). A diminuição da concentração do cálcio nas plantas, ante a presença do alumínio, confirma a interferência desse elemento na absorção de cálcio, conforme descrito nos trabalhos de McLEAN e

QUADRO 2 - Peso da matéria seca e concentração de elementos minerais, da parte aérea e das raízes de plantas de seis g cultivares de soja, aos 13 dias de idade, cultivadas em solução nutritiva sem alumínio (0) ou com 2 ppm de alumínio (2) ^{1/}

Cultivar	Conc. Al	Peso		P		Ca		Mg		K		Al	
		P. aérea	raiz	P. aérea	raiz	P. aérea	raiz	P. aérea	raiz	P. aérea	raiz	P. aérea	raiz
		g		g		g		g		g		ppm	
Bragg	0	1,09	0,33	0,80	0,57	1,08	0,29	0,61	0,18	4,56	3,09	2	695
	2	1,17	0,28	0,73	0,78	0,94	0,28	0,54	0,16	4,41	3,94	2	2019
IAC-2	0	0,99	0,36	0,82	0,82	1,13	0,24	0,68	0,21	4,28	5,12	3	328
	2	1,35	0,36	0,81	0,79	0,95	0,29	0,59	0,16	4,41	5,87	2	2031
UFV-1	0	1,18	0,31	0,73	0,63	1,03	0,34	0,56	0,20	4,16	3,53	4	949
	2	1,10	0,31	0,75	0,84	0,94	0,30	0,55	0,18	4,69	3,56	3	2082
UFV-4	0	1,44	0,39	0,81	0,62	1,20	0,33	0,61	0,20	4,19	3,62	2	1336
	2	1,24	0,35	0,91	0,91	1,03	0,25	0,56	0,16	4,59	4,09	4	1961
UFV-79-55	0	1,23	0,33	0,80	0,57	1,13	0,31	0,59	0,18	4,25	3,47	1	387
	2	1,31	0,30	0,84	0,72	0,97	0,30	0,56	0,16	4,53	3,41	1	2004
UFV-80-65	0	1,58	0,38	0,84	0,63	1,09	0,38	0,59	0,21	4,47	3,50	3	500
	2	1,29	0,41	0,87	0,94	0,94	0,25	0,58	0,17	4,69	4,31	2	2075
<hr/>													
DMS _{0,05} ^{2/} Conc. Al/Cult.		0,23	0,14	0,05	0,28	0,07	0,06	0,06	0,07	0,32	2,40	4	825
Cult./Conc.Al		0,56	0,22	0,08	0,43	0,10	0,09	0,09	0,10	0,49	3,69	7	1273

^{1/} Média de duas repetições.

^{2/} Diferença mínima significativa ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

CHIASSON (32), ANDREW *et alii* (3), KOTZE *et alii* (27) e KOTZE (26). FOY *et alii* (19) associaram a toxicidade do alumínio em soja à diminuição das concentrações de cálcio na parte aérea e nas raízes, sendo esse efeito maior no cultivo sensível.

A baixa concentração de alumínio na parte aérea das plantas, quando comparada com a das raízes (Quadro 2), corrobora o fato de que o alumínio é acumulado nas raízes, possivelmente retido pelos radicais carboxílicos livres dos ácidos poligalacturônicos na lamela média das paredes celulares (13), e muito pouco translocado para a parte aérea, tal como observado por outros pesquisadores (5, 21, 34, 40). Os relativamente altos teores de alumínio nas raízes de plantas cultivadas na sua ausência sugerem que esse elemento possivelmente já estava presente nos tecidos de reserva das sementes e, ou, que houve contaminação do material, durante o período de crescimento, por areia ou por impurezas dos sais empregados e da água.

Quanto ao fósforo, esperava-se que sua concentração fosse maior nas raízes das plantas cultivadas com 2 ppm de alumínio, devido a uma possível adsorção do fósforo pelo alumínio retido nas cargas negativas das paredes celulares (25) ou precipitado, como fosfato de alumínio, nos espaços livres e no protoplasma das células epidérmicas e, ou, corticais (12, 31, 37, 38). Esse aumento de concentração, contudo, só foi estatisticamente significativo nos cultivares UFV-4 e UFV-80-65, embora nos demais, com exceção do IAC-2, tenha sido observada a mesma tendência.

A possibilidade de ter o fósforo se precipitado com o alumínio na solução nutritiva, diminuindo, assim, a concentração e a toxicidade desse cátion, poderia explicar a inexistência de maiores diferenças entre os tratamentos com alumínio, quanto à produção de matéria seca. Porém, procurou-se manter as concentrações de fósforo e de cálcio e o valor do pH suficientemente baixos para minimizar esse efeito, controlando-se também a concentração do alumínio da solução, pois ANDREW *et alii* (3) encontraram uma redução de aproximadamente 20% na concentração de alumínio da solução, trabalhando em condições semelhantes.

Os dados deste trabalho indicam que, aparentemente, a dose de alumínio utilizada não foi suficiente para provocar reduções acentuadas na produção de matéria seca e na concentração dos elementos no tecido vegetal.

4. RESUMO

Foi conduzido um ensaio, em solução nutritiva, em condições de casa de vegetação e de câmara de crescimento, para avaliar a absorção de cálcio como critério de seleção de genótipos de soja quanto à tolerância ao alumínio. Os cultivares testados foram o Bragg, o IAC-2, o UFV-1, o UFV-4, o UFV-79-55 e o UFV-80-65, cultivados em solução nutritiva de Andrews, modificada, pH 4,2, na ausência e na presença do alumínio (2 ppm). Estudou-se também o efeito do alumínio sobre o crescimento e composição mineral da parte aérea de plantas desses genótipos.

Na presença do alumínio, exceto no UFV-80-65, as taxas de absorção de cálcio foram maiores do que na sua ausência, particularmente na fase inicial do estudo. Isso sugere que o alumínio estaria invertendo o efeito inibidor ou competitivo do H^+ , o que estimularia a absorção de cálcio, pelo «efeito Viets». Noutro tratamento, correspondente ao cultivo das plantas com 2 ppm de alumínio, no qual o elemento foi excluído a partir das 24 horas anteriores ao estudo de absorção, o cultivar UFV-1 apresentou uma taxa de influxo de cálcio maior que na ausência do alumínio (tratamento 0). Nos outros cultivares, a taxa de influxo foi inferior ou igual à do tratamento 0.

A análise dos valores de influxo de cálcio não permitiu discriminar cultivares tidos como tolerantes e cultivares sensíveis ao alumínio.

A presença do alumínio causou efeito depressor sobre a produção de matéria seca da parte aérea das plantas do cultivar UFV-80-65, apenas. No IAC-2, esse tratamento causou até mesmo um aumento de produção.

Foi observada baixa translocação do alumínio para a parte aérea das plantas e grande acúmulo nas raízes.

O alumínio praticamente não causou alterações nas concentrações de fósforo, magnésio e potássio na parte aérea das plantas, causando, entretanto, um decréscimo de cálcio na parte aérea de todos os cultivares.

Os resultados obtidos indicam que, aparentemente, o teor de alumínio testado não foi suficiente para causar reduções acentuadas na produção de matéria seca e na concentração dos elementos na planta.

5. SUMMARY

(EFFECT OF ALUMINUM ON CALCIUM INTAKE, GROWTH AND MINERAL COMPOSITION OF SOYBEAN CULTIVARS)

A nutrient solution experiment was carried out under greenhouse and growth chamber conditions to evaluate calcium (Ca) intake as a criterion of selection of soybean cultivars to aluminum (Al) tolerance. The cultivars tested were Bragg, IAC-2, UFV-1, UFV-4, UFV-79-55, and UFV-80-65. A modified Andrews nutrient solution, pH 4.2, with and without aluminum (2 ppm), was used.

The absorption study was conducted using three groups of plants: plants grown in the absence of Al and Ca absorption in the absence of Al (Treatment 0); plants grown in the presence of Al and Ca absorption in the presence of Al (Treatment 2); plants grown in the presence of Al and Ca absorption in the absence of Al (Treatment 2/0).

The effect of Al on shoot dry weight and mineral composition was also studied.

The Ca intake rate was greater in the presence than in the absence of Al, mainly in the initial part of the absorption study. The only exception was observed for UFV-80-65. This suggests that Al would be inverting the inhibitory or competitive effect of H^+ which would stimulate calcium intake by the «Viets effect». In treatment 2/0 the cv. UFV-1 presented a greater rate of Ca influx than in treatment 0. For the other genotypes, the rate of Ca influx was smaller than or equal to that of treatment 0. Aluminum caused also a negative effect on shoot growth of UFV-80-65, but an increase in the growth of the IAC-2. A small amount of Al was translocated to plant shoots and it accumulated in the roots. In general, the concentrations of P, Mg and K in the plants were not affected by the presence of Al in the nutrient solution. However, it caused a decrease in Ca concentration in all cultivars. The results indicate that, apparently, the Al concentration tested was not high enough to cause significative reductions in yield and concentration of nutrients in the plants. Calcium influx data did not allow cultivar discrimination with regard to Al tolerance.

6. LITERATURA CITADA

1. ANDREW, C.S. Effect of calcium, pH and nitrogen on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. I Nodulation and growth. *Aust J. Agric. Res.*, 27:611-623. 1976.

2. ANDREW, C.S. & JOHNSON, A.D. Effect of calcium, pH and nitrogen on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. II Chemical Composition (calcium, nitrogen, potassium, magnesium sodium and phosphorus). *Aust J. Agric. Res.*, 27:625-636. 1976.
3. ANDREW, C.S.; JOHNSON, A.D. & SANDLAND, R.L. Effect of aluminium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. *Aust. J. Agric. Res.*, 24:325-339. 1973.
4. ARMINGER, W.R.; FOY, C.D.; FLEMING, A.L. & CALDWELL, R. E. Differential tolerance of soybean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminium. *Agron. J.*, 60:67-70. 1968.
5. ARRUDA, M.L.R.; FERNANDEZ, M.S. & ROSSIELLO, R.O.P. Alumínio e nitrogênio, nas variações do pH e capacidade de troca catiônica em *Brachia-ria decumbens*. *Pesq. Agron. Bras.*, 18:1031-1036. 1983.
6. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Rev. Ceres*, 21:73-85. 1974.
7. BRAUNER, J L. & SARRUGE, J.R. Tolerância de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) ao alumínio e ao manganês. V. Influência do alumínio e do manganês e do grau de tolerância a cada elemento na absorção de cálcio. *An. Esc. Sup. Agric. «Luiz de Queiroz»*, 37:865-894. 1980.
8. CANAL, I.C. & MIELNICZUK, J. Parâmetros de absorção de potássio em milho (*Zea mays* L.), afetados pela interação alumínio-cálcio. *Ciência e Cultura*, 35:336-340. 1983.
9. CASTELLS, A.J.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; SANT'ANNA, R. & NEVES, J.C.L. Absorção de fósforo como critério de seleção de genótipos de soja quanto à tolerância ao alumínio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20:1163-1170. 1985.
10. CHEW, V. Comparing treatments means: a compendium. *HortScience*, 11:348-357. 1983.
11. CLARK, R.B. & BROWN, J.C. Differential phosphorus uptake by phosphorus-stressed corn inbreds. *Crop Science*, 14:505-508. 1974.
12. CLARKSON, D.T. Effect of aluminium on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiol.*, 41:165-172. 1966.
13. CLARKSON, D.T. Interactions between aluminium and phosphorus on root surface and cell wall material. *Plant and Soil*, 27:347-356. 1967.
14. CLARKSON, D.T. & SANDERSON, J. Inhibition of the uptake and long-distance transport of calcium by aluminium and other polyvalent cations. *J. Exp. Bot.*, 22:837-851. 1971.
15. COSTA, A. & BRAGA, J.M. Comportamento de variedades de soja a diferentes níveis de fósforo e saturação de alumínio. *Rev. Ceres*, 31:434-443. 1984.

16. CROOKE, W.M. Effect of soil pH and nitrogen fertilization on uptake and fractions of calcium and magnesium in two barley cultivars. *Commun. Soil Sci. Pl. Anal.*, 11:209-221. 1980.
17. FERREIRA, R.P. *Tolerância de cultivares de soja (Glycine max (L.) Merrill) ao alumínio em solução nutritiva*. Universidade Federal de Viçosa, 1983. 53 p. (Tese de M.S.).
18. FOY, C.D. Effects of aluminium on plant growth. In: Carson, E.W. (ed). *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. pp. 601-642.
19. FOY, C.D.; FLEMING, A.L. & ARMINGER, W.H. Aluminum tolerance of soybean varieties in relation to calcium nutrition. *Agron. J.*, 61:505-511. 1969.
20. HALLSWORTH, E.G.; GREENWOOD, E.A.N. & AUDEN, J. Some nutrient interactions affecting the growth of pasture legumes in acid soils. *J. Sci. Food Agric.*, 8:860-865. 1957.
21. HOWELER, R.H. & CADAVID, L.F. Screening of rice cultivars for tolerance for Al-toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. *Agron. J.*, 68:551-555. 1976.
22. HSU, P.H. Effect of initial pH, phosphate, and silicate on the determination of aluminum with aluminon. *Soil Sci.*, 96:230-238. 1963.
23. JOHNSON, C.M. & ULRICH, A. *Analytical methods for use in plant analysis*. Berkeley, Univ. of California, California Agric. Exp. Station, 1959. p. 26-78 (Bull.n.º 766).
24. JOHNSON, R.F. & JACKSON, W.A. Calcium uptake and transport by wheat seedlings as affected by aluminium. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 28:381-386. 1964.
25. KLIMASHEVSKII, E.L.; MARKOVA, Yu.A.; SEREGINA, M.L.; GRODZINSKII, D.M. & KOZARENZO, T.D. Specifics of the physiological activity of Pea plants in connection with unequal resistance of different varieties to mobile aluminum. *Soviet Plant Physiology*, 17:372-378. 1970.
26. KOTZE, W.A.G. Ionic interactions in the uptake and transport of calcium by apple seedling. *Commun. Soil Sci. Pl. Anal.*, 10:115-127. 1979.
27. KOTZE, W.A.G.; SHEAR, C.R. & FAUST, M. Effect of nitrogen source and the presence or absence of aluminium on the growth and calcium nutrition of apple seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 101:305-309. 1976.
28. LANCE, J.C. & PEARSON, R.W. Effect of low concentrations of aluminium on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33: 95-98. 1969.
29. LONERAGAN, J.F. & SNOWBALL, K. Rate of calcium absorption by plant roots and its relation to growth. *Aust. J. Agric. Res.*, 20:479-490. 1969.

30. MASS, E.V. Calcium uptake by excised maize roots and interactions with alkali cations. *Plant Physiol.*, 44:985-989. 1969.
31. McCORMICK, L.H. & BORDEN, F.Y. The occurrence of aluminium phosphate precipitate in plant roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 38:931-934. 1974.
32. McLEAN, A.A. & CHIASSON, T.C. Differential performance of two barley varieties to varying aluminum concentrations. *Can. J. Soil Sci.*, 46:147-153. 1966.
33. MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of Plant Nutrition*. Bern, Switzerland, International Potash Institute, 1978. 593 p.
34. MOSQUIN, P.R. *Influência do alumínio sobre o crescimento e o metabolismo em plantas de Stylosanthes humilis* H. B. R. Universidade Federal de Viçosa, 1978. 29 p. (Tese de M.S.).
35. MUCHOVEJ, R.C.M. *Efeitos de níveis de corretivo em diferentes relações Ca: Mg sobre o comportamento da soja (Glycine max (L.) Merrill)*. Universidade Federal de Viçosa, 1980. 38 p. (Tese de M.S.).
36. MUZILLI, O.; SANTOS, D.; PALHANO, J.B.; MANETTI, F.J.; LANTMANN, A.F.; GARCIA, A. & CAETANO, A. Tolerância de cultivares de soja e de trigo à acidez do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 2:34-40. 1978.
37. OTSUKA, K. Aluminium — and Manganese — toxicities for plants (Part 3). Effect of aluminium concentration on growth and phosphorus uptake of grafted tomatoes. *Soil Sci. and Plant Nutr.*, 15:130. 1968.
38. RORISON, I.H. The effect of aluminium on the uptake and incorporation of phosphate by excised sainfoin roots. *New Phytologist*, 64:23-27. 1965.
39. SILVA, J.B.C. *Seleção de genótipos de sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) e de soja (Glycine max (L.) Merrill) tolerantes à toxidez de alumínio*. Universidade Federal de Viçosa, 1983. 55 p. (Tese de M.S.).
40. WRIGHT, K.E. & DONAHUE, B.A. Aluminum toxicity studies with radioactive phosphorus. *Plant Physiol.*, 28:674-680. 1953.