

MORFOLOGIA DO SISTEMA RADICULAR E CINÉTICA DA ABSORÇÃO DE FÓSFORO EM CULTIVARES DE SOJA AFETADOS PELA INTERAÇÃO ALUMÍNIO-FÓSFORO ⁽¹⁾

L. VILELA ⁽²⁾ & I. ANGHINONI ⁽³⁾



RESUMO

As diferenças entre espécies e cultivares em tolerar condições adversas de fertilidade de solo podem ser explicadas através de variações morfológicas e fisiológicas da planta. A fim de caracterizar dois cultivares de soja (IAC-2 e Bragg) quanto à eficiência de absorção de fósforo e quantificar os efeitos do alumínio nos parâmetros morfológicos de raiz (comprimento, raio médio e volume) e cinéticos (V_{max} , K_m e C_{min}) de absorção de fósforo, conduziu-se um experimento em solução nutritiva em câmara de crescimento. Uma parte das raízes ($\pm 50\%$) se desenvolveu em solução nutritiva completa e a outra parte foi submetida a tratamentos de alumínio (0 e 2,0 ppm) e fósforo (0,1 e 2,0 ppm). A presença do alumínio ou a baixa concentração de fósforo provocou diminuição no comprimento do sistema radicular, engrossamento das raízes e aumento dos valores de K_m em ambos os cultivares. A taxa de absorção de fósforo por unidade de raiz aumentou com a diminuição do sistema radicular devido ao aumento no V_{max} ; no entanto, a absorção de fósforo pela planta diminuiu nessas circunstâncias. A conjugação dos efeitos dos tratamentos nos parâmetros morfofisiológicos indicou ser o cultivar IAC-2 mais tolerante à toxicidade de alumínio e mais eficiente em absorver fósforo tanto na ausência como na presença de alumínio.

SUMMARY: ROOT MORFOLOGY AND PHOSPHATE UPTAKE KINETICS IN SOYBEAN CULTIVARS AFFECTED BY ALUMINUM-PHOSPHATE INTERACTION

Plant morphological and physiological characteristics are useful to explain tolerance differences to mineral stress problems among species and cultivars. To characterize the efficiency of P absorption and to evaluate the effect of aluminum on morphological (root length, diameter, and volume) and phosphorus uptake parameters (V_{max} , K_m and C_{min}) of two soybean cultivars (IAC-2 and Bragg) a split-root nutrient solution study was conducted in a growth chamber. Half of the roots were developed in complete (standard) solution culture, and half developed in aluminum (0 and 2.0ppm) and phosphorus (0.1 and 2.0ppm) treatments. The presence of aluminum or low phosphate availability determined smaller and coarser root and increased K_m values in both cultivars. Phosphorus uptake rates per unit of root increased with the decrease of root system due to increase of V_{max} values; however, total phosphorus uptake by plant decreased. Morphologic and phosphorus kinetic parameters indicated IAC-2 cultivar as more tolerant to aluminum toxicity and more efficient in phosphorus absorption than Bragg cultivar.

- ¹⁾ Parte do trabalho de tese do primeiro autor no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração - Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Realizado com recursos financeiros da UFRGS e FINEP. Recebido para publicação em julho de 1983 e aprovado em dezembro de 1983.
- ²⁾ Engenheiro-Agrônomo da EMBRAPA/CPACerrados, Caixa Postal 70.0023, CEP 73.300 - Planaltina (DF).
- ³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 776.

VILELA, L. & ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo em cultivares de soja afetadas pela interação alumínio-fósforo. Rev. Bras. Ci. Solo, 8:91-96, 1984.

Solo 8:91-96, 1984

Ao término da coleta das soluções, colheram-se as plantas e a parte aérea foi colocada em estufa a 60°C por 48 horas. Os valores de Vmax, Km e Cmin foram determinados graficamente a partir das curvas de exaustão de P pelas raízes de soja versus o tempo (Claassen & Barber, 1974), conforme descrito por Canal & Mielniczuk (1983). O Vmax corresponde à faixa de maior inclinação da curva, o Km à concentração de nutriente na solução onde ocorre a metade do Vmax, e o Cmin à concentração onde a absorção cessa. O comprimento de raízes foi avaliado pelo método da interceptação de raízes em uma grade de 2cm de lado, proposto por Tennant (1975). O raio médio foi calculado pela seguinte fórmula (Shenk & Barber, 1979): $r = (\mu/\pi L)^{1/2}$, onde μ é a massa úmida e L, o comprimento das raízes. Essa fórmula pressupõe a forma cilíndrica das raízes com a densidade de 1,0g/cm³.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como a subdivisão do sistema radicular em duas partes não afetou o rendimento de matéria seca da parte aérea da soja (Quadro 1), pode-se concluir que, a exemplo do que aconteceu com o milho (Anghinoni & Barber, 1980), apenas 50% das raízes se desenvolvendo em um meio adequado em fósforo foi suficiente para atender às necessidades deste nutriente, para os dois cultivares utilizados. No presente trabalho, a presença de Al (2,0ppm) e/ou uma concentração de P na solução abaixo do Km, em 50% das raízes iniciais das plantas de soja, não foram suficientes para afetar o crescimento da parte aérea.

Quadro 1. Matéria seca da parte aérea de dois cultivares de soja com cerca de 50% do sistema radicular submetido a diferentes concentrações de Al e P⁽¹⁾ aos 21 dias de idade

Tratamentos		Matéria seca ⁽²⁾	
Al	P	IAC-2	Bragg
— ppm —		g/planta —	
0	0,1	0,55	0,45
	2,0	0,49	0,43
2	0,1	0,48	0,51
	2,0	0,47	0,49

(1) A outra parte do sistema radicular, em todos os tratamentos, era submetida a um tratamento sem Al com 2,0 ppm de P. As doses dos demais nutrientes eram adequadas e iguais nas duas partes do sistema radicular.

(2) A diferença entre IAC-2 e Bragg não foi significativa ao nível de 5% pelo teste da Diferença Mínima Significativa (DMS).

Efeitos na morfologia de raízes

Os efeitos dos tratamentos de alumínio e fósforo sobre a morfologia do sistema radicular foram avaliados através de modificações no comprimento e volume de raízes. Assim: a) não foi detectado, ao nível de significância adotado, efeito isolado do alumínio nas características morfológicas das raízes; b) um sistema radicular mais

longo, constituído de raízes mais finas, foi obtido na concentração mais elevada de fósforo (2,0 ppm), e c) o cultivar IAC-2 desenvolveu um sistema mais amplo do que o Bragg (Quadro 2). Raízes mais longas e finas são mais eficientes na absorção de nutrientes do solo, pois desenvolvem maior superfície de absorção por unidade de volume de raiz e exploram maior volume de solo devido à característica do fluxo radial dos nutrientes em torno da raiz.

Quadro 2. Comprimento, raio médio e volume radicular de dois cultivares de soja, cultivados em solução nutritiva aos 21 dias de idade, em função dos tratamentos de alumínio e fósforo

Tratamentos		Cultivares		Médias ⁽²⁾	
Al	P	IAC-2	Bragg	Al	P
— ppm —					
Comprimento radicular (m/vaso)					
0	0,1	4,7	8,0	16,0a	8,7b
	2,0	28,8	22,3		
2	0,1	18,8	3,4	12,2a	19,4a
	2,0	22,0	4,6		
Médias ⁽²⁾		18,6a	9,6b		
C.V. = 35%					
Raio médio (cm × 10 ⁻²)					
0	0,1	1,64	1,39	1,31a	1,55a
	2,0	1,11	1,10		
2	0,1	1,32	1,83	1,41a	1,20b
	2,0	1,13	1,45		
Médias ⁽²⁾		1,30a	1,44a		
C.V. = 10%					
Volume radicular (cm ³ /vaso)					
0	0,1	0,40	0,58	0,77a	0,54a
	2,0	1,22	0,86		
2	0,1	0,89	0,30	0,60a	0,82a
	2,0	0,89	0,30		
Médias ⁽²⁾		0,85a	0,51b		
C.V. = 28%					

(1) A outra parte do sistema radicular, em todos os tratamentos, foi submetida a uma solução sem alumínio, com 2,0 ppm de P. A concentração dos demais nutrientes era a mesma em ambas as partes do sistema radicular.

(2) Números seguidos de letras iguais não diferem pelo DMS (P < 0,05).

A obtenção de raízes mais finas pelo maior suprimento de fósforo (Quadro 2) contrasta com os resultados de experimento com milho em solo apresentados por Shenk & Barber (1979), que verificaram uma redução no raio médio da raiz com a diminuição do teor de P. Segundo os autores, este seria um mecanismo utilizado pelas plantas para aumentar a superfície específica e, em consequência, a absorção de fósforo. Como no presente trabalho os outros 50% do sistema radicular estavam bem supridos com fósforo, não haveria necessidade de as plantas se utilizarem de tal mecanismo.

INTRODUÇÃO

A deficiência de fósforo (P) e a toxicidade de alumínio (Al) são características que geralmente ocorrem juntas em uma área significativa de solos ácidos do Brasil, incluindo os do cerrado. A separação dos efeitos da baixa disponibilidade de P e da toxicidade de Al nas plantas é dificultada pela afinidade química entre esses elementos (Kamprath & Foý, 1971). Conseqüentemente, o efeito da interação Al-P deve ser considerado na caracterização de plantas que respondem diferentemente a condições de fertilidade de solo.

A caracterização de espécies e cultivares tolerantes ao alumínio tem sido feita principalmente com base na morfologia da raiz. Embora se saiba que a absorção e utilização de nutrientes são afetadas pelo Al (Canal & Mielniczuk, 1983), pouca ênfase é dada na quantificação dos seus efeitos nos parâmetros que descrevem sua absorção.

Devido à similaridade entre a taxa de absorção de íons pelas raízes das plantas em função de sua concentração na solução com as reações das enzimas com seus substratos, Epstein & Hagen (1952) propuseram a utilização da equação de Michaelis-Menten para descrever a cinética de absorção: $v = V_{max} \cdot C / (K_m + C)$, onde V_{max} é a taxa máxima de absorção, C a concentração do íon na solução e K_m a constante de Michaelis-Menten, que é igual à concentração do íon em que ocorre a metade do V_{max} . A partir desta proposição, Claassen & Barber (1974) propuseram um método para caracterizar a absorção de nutrientes por plantas intactas crescendo em solução nutritiva, utilizando a técnica da exaustão do nutriente no tempo (curva de depleção). A partir dos resultados obtidos, introduziram um novo termo na equação de Michaelis-Menten: $v = (V_{max} \cdot C / (K_m + C)) - E$, onde E é o efluxo (fluxo de dentro para fora da raiz), pois a concentração dos nutrientes não era zero, mesmo após longos períodos de absorção. Assim, existe uma concentração mínima do nutriente na solução (C_{min}) a partir da qual o fluxo para dentro da raiz passa a ser positivo.

O conhecimento dos parâmetros de absorção de íons e dos caracteres morfológicos das raízes, que são herdáveis (Gorsline et alii, 1961), podem fornecer subsídios para programas de melhoramento que visem à obtenção de cultivares tolerantes à baixa disponibilidade de nutrientes em presença ou ausência de elementos tóxicos. Assim, o presente estudo foi conduzido para caracterizar dois cultivares de soja de diferentes tolerâncias às condições de fertilidade de solo, quanto à eficiência de absorção de fósforo, e avaliar os efeitos do alumínio nos parâmetros morfológicos de raiz e cinéticos de absorção de fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em câmara de crescimento mantida nas seguintes condições: fotoperíodo de 12 horas, temperatura diurna de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e noturna de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa do ar variando de 60% (dia) a 70% (noite) e intensidade luminosa de $1,0 \times 10^{-4}$ cal $\text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$.

Sementes de dois cultivares de soja (IAC-2 e Bragg) foram tratadas com HgCl_2 1:1.000, envolvidas em papel filtro, formando cartuchos cujas extremidades opostas às sementes foram colocadas em recipientes contendo solução de 0,67mM de Ca na forma de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Após quatro dias, cortou-se a raiz principal a aproximadamente 3cm da base do hipocótilo com a finalidade de forçar a ramificação do sistema radicular e, assim, facilitar a divisão das raízes. Ao término desta operação, as plântulas foram recolocadas nos cartuchos, onde permaneceram por mais quatro dias, após o que foram transplantadas para conjuntos de vasos (quatro plantas por conjunto). O sistema radicular foi dividido em duas partes, o mais uniforme possível.

As plântulas de soja foram então submetidas a tratamentos formados a partir da combinação de concentrações de alumínio (0 e 2,0 ppm) e de fósforo (0,1 e 2,0 ppm), num experimento em solução nutritiva, utilizando-se da técnica da subdivisão das raízes (mais ou menos 50% em cada vaso de 500ml de capacidade em um conjunto de dois vasos retangulares justapostos). De um lado do conjunto, circulava uma solução com os tratamentos (vasos tratamentos) e concentrações suficientemente altas dos demais nutrientes para o crescimento normal das plantas, enquanto, no outro lado, circulava a mesma solução nutritiva, sem alumínio e com fósforo, na concentração de 2,0 ppm (vaso de manutenção). O experimento constou de um fatorial completo $2 \times 2 \times 2$ (dois cultivares de soja, duas concentrações de alumínio e duas concentrações de fósforo) arranjado em blocos ao acaso com duas repetições.

A concentração de alumínio (2,0 ppm), adicionado como $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, foi escolhida a partir de testes preliminares, onde plantas de soja foram submetidas a teores crescentes de alumínio na solução nutritiva. As concentrações de fósforo utilizadas, 0,1 e 2,0 ppm, correspondem respectivamente à faixa de ocorrência do $K_m (\pm 3\mu\text{M})$ e $V_{max} (\pm 60\mu\text{M})$ para plantas jovens de soja (Edwards & Barber, (1976).

As concentrações dos nutrientes na solução nutritiva foram: 2,0mM de N (0,66mM como NH_4^+ e 1,34mM como NO_3^-), 0,5mM de K, 1,0mM de Ca, 0,67mM de Mg, 0,92mM de S-SO_4^{2-} , 53 μM de Fe (FeEDTA), 15,7 μM de B, 3,6 μM de Mn, 3,1 μM de Cu, 1,0 μM de Zn e 0,7 μM de Mo. O sistema foi instalado com renovação constante de solução nutritiva por injeção de ar comprimido, conforme descrito por Canal & Mielniczuk (1983). A solução era constantemente arejada e renovada semanalmente, e o seu pH ajustado a 4,5 com HCl ou NaOH a intervalos de três dias.

A caracterização da cinética de absorção de fósforo pelas plantas foi efetuada aos vinte dias de idade, a partir da curva de depleção, de acordo com o método de Claassen & Barber (1974). Dois dias antes da obtenção das curvas de depleção, interrompeu-se a circulação da solução nutritiva e determinou-se a quantidade de fósforo absorvida pelas plantas por vaso, num período suficiente para a obtenção das curvas. No dia da coleta, as plantas foram submetidas a uma solução sem alumínio e 0,7 ppm de P (22 μM de P) e, os demais nutrientes, na metade da concentração anteriormente utilizada. Após 30 minutos da adição de P, iniciou-se a coleta de alíquotas de 5ml de solução a intervalos de 60 minutos nos vasos em que o alumínio era tratamento e de 30 minutos nos vasos onde não havia alumínio, com a finalidade de obter as curvas de depleção de fósforo, por um período de oito horas. Vinte e quatro horas após o início das coletas, realizou-se a última amostragem para determinar o C_{min} . As concentrações de P das alíquotas foram determinadas pelo método descrito por Murphy & Riley (1962).

Não foi detectado efeito isolado de alumínio sobre o comprimento radicular na média dos cultivares utilizados. O não aparecimento deste efeito neste trabalho se deve mais ao fato de os cultivares reagirem diferentemente à ação do alumínio, embora a ocorrência de um alto coeficiente de variação e o baixo número de repetições utilizadas (Quadro 2).

Enquanto o 'Bragg' apresentou redução no sistema radicular na presença de alumínio, o 'IAC-2' não foi afetado. Linhagens de soja sensíveis ao alumínio apresentaram menores taxas de crescimento de raiz quando na presença deste elemento (Hanson & Kamprath, 1979). O crescimento diferencial do sistema radicular de cultivares de trigo e cevada também foi associado à maior ou menor capacidade de tolerar a presença de alumínio (Foy et alii, 1967).

O raio médio de raízes foi aumentado em consequência da ação tóxica do alumínio no cultivar Bragg, o que não ocorreu no IAC-2. Em trabalhos realizados com milho, Clark (1977) e Canal & Mielniczuk (1983) também verificaram o engrossamento das raízes tratadas com alumínio. Portanto, uma vez que o efeito do alumínio normalmente se manifesta através do engrossamento da raiz, o raio médio pode ser utilizado na classificação de cultivares quanto à tolerância ao alumínio.

O comprimento total de raízes no vaso tratamento também foi afetado pela interação entre alumínio e fósforo (Figura 1). Enquanto na ausência de Al, independentemente do cultivar, o comprimento total de raízes aumentou com o aumento do nível de P na solução, na presença de Al este parâmetro não foi afetado (pelo aumento de P). Isto pode, ao menos em parte, ser explicado pela redução da solubilidade de fósforo pelo excesso de alumínio, afetando, conseqüentemente a sua absorção e transporte na planta (Kamprath & Foy, 1971), o que limitaria a combinação de fósforo com os fotossintatos, necessá-

rios a um crescimento adicional das raízes (Anghinoni & Barber, 1980).

Efeitos nos parâmetros cinéticos de absorção de P

Tanto a presença do alumínio como o menor suprimento de fósforo aumentaram consideravelmente os valores de Km (menor afinidade do íon fosfato com seu carregador, a nível celular), afetando mais o cultivar Bragg do que o IAC-2. Diminuição no valor de Cmin ocorreu somente no cultivar Bragg na condição de menor suprimento de P (0,1ppm), com um aumento do valor de Cmin no IAC-2 quando em presença do Al (Quadro 3). Pesquisas visando estudar os efeitos do alumínio na cinética de absorção de nutrientes não são comuns na literatura. O fato de o alumínio diminuir a concentração de P na solução (efeito na disponibilidade de P), indica um efeito negativo no suprimento deste nutriente para a planta. No entanto, o fato de adicionar P à solução (em presença de Al) não corrigir sintomas de deficiência de P na planta (Foy, 1974, em revisão de literatura), indica a existência de um efeito fisiológico do alumínio, afetando negativamente a absorção de fósforo. Combinações de Al com P na superfície radicular, paredes celulares e no espaço livre das raízes, tornam o P menos disponível dentro das células; o Al absorvido pela planta interfere no processo de divisão celular, síntese do DNA e fosforilação dos açúcares, diminuindo a taxa de absorção de P pelas plantas (Foy, 1974). Efeito negativo do alumínio na cinética de absorção do P pode ser melhor visualizado quando as raízes se desenvolveram em baixa concentração de fósforo na solução (tratamento de 2ppm de Al e 0,1ppm de P), uma vez que a baixa absorção de P durante a realização da curva de depleção (8-10 horas) não permitiu a obtenção do Km para os dois cultivares (Quadro 3).

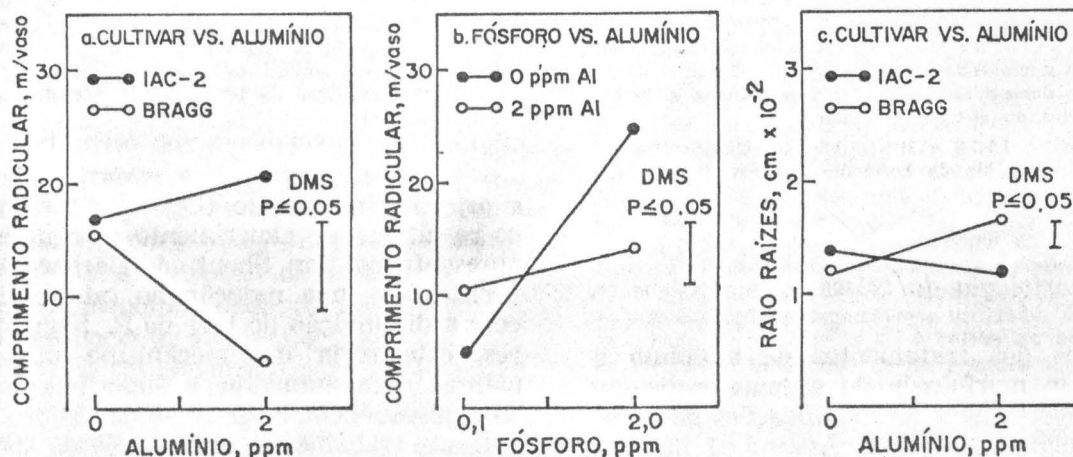


Figura 1. Interação dupla dos tratamentos alumínio, fósforo e cultivar no comprimento (a e b) e raio médio (c) de raízes de soja cultivada em solução nutritiva, aos 21 dias de idade.

Quadro 3. Valores de Vmax, Km e Cmin de P em cultivares de soja com cerca de 50% do sistema radicular submetido a diferentes doses de Al e P⁽¹⁾, aos 21 dias de idade

Tratamentos		IAC-2			Bragg		
Al	P	Vmax	Km	Cmin	Vmax	Km	Cmin
ppm		pmoles.cm ⁻² .s ⁻¹	μM		pmoles.cm ⁻² .s ⁻¹	μM	
0	0,1	3,7	4,1	0,4	3,8	5,2	0,8
0	2,0	3,0	3,5	0,7	2,5	3,3	0,8
2,0	0,1	1,2	... ⁽²⁾	0,7	4,7	... ⁽²⁾	1,4
2,0	2,0	3,5	5,4	0,6	4,7	6,6	1,9

(1) A outra parte do sistema radicular, em todos os tratamentos, foi submetida a uma solução sem alumínio com 2,0 ppm de P. A concentração dos demais nutrientes era a mesma em ambas as partes do sistema radicular.

(2) Não determinado pela baixa absorção de P pelas plantas no período utilizado para a obtenção da curva de depleção.

Segundo Cartwright (1972), o efeito mais importante da deficiência de fósforo na cinética de absorção de P é um decréscimo na constante de dissociação (Km) do complexo ion-carregador, provendo, em consequência, maiores sítios de absorção. Isso, no entanto, a exemplo do encontrado por Anghinoni & Barber (1980), não ocorreu no presente trabalho. Aumentos na afinidade da raiz por P somente se verificaram em condições de carência de P pela planta. Neste e no experimento referido anteriormente, a traslocação, via parte aérea, do P absorvido pela fração do sistema radicular em ambiente bem suprido de P não deve ter caracterizado um estado de alta demanda das raízes por P. Qualquer aumento nos valores de Km e Cmin significa redução na eficiência de absorção de nutrientes (Nielsen & Barber, 1978). Com base nas variações apresentadas por esses dois parâmetros neste trabalho, conclui-se que o cultivar IAC-2 é mais eficiente em absorver fósforo do que o Bragg em condições adversas de fertilidade.

O Vmax aumentou toda vez que o sistema radicular foi reduzido (Quadro 3), quer pelo baixo suprimento de fósforo, quer pela toxicidade de alumínio, exceto para IAC-2 no tratamento com alumínio e baixo fósforo, onde este parâmetro foi reduzido. Essa relação negativa entre comprimento de raiz e Vmax também foi verificada em cultivares de milho por Nielsen & Barber (1978). O suprimento de fósforo a uma parte do sistema radicular de soja também provocou aumento no Vmax das raízes supridas por esse nutriente (Edwards & Barber, 1976). Quando a demanda da planta por nutrientes não é modificada (parte aérea igual em todos os tratamentos) e o sistema radicular é reduzido, parece que a planta se utiliza de algum mecanismo de compensação para suprir a suas necessidades (Cram, 1976). Isso poderia explicar o aumento do Vmax quando parte do sistema radicular foi afetado por baixo fósforo ou presença de alumínio.

Embora os valores de Km e Cmin tenham aumentado na presença de alumínio e/ou baixa

disponibilidade de fósforo, a taxa de absorção por unidade de raiz aumentou (Figura 2). Isto se deve, principalmente, ao fato de que mudanças no Vmax têm maior efeito na taxa de absorção por unidade de raiz do que mudanças no Km. Os resultados da figura 2 indicam que, para a mesma taxa de absorção, os cultivares, quando afetados por alumínio ou baixa disponibilidade de fósforo, seriam mais eficientes em absorver fósforo. Isso, no entanto, não é verdadeiro, pois normalmente a absorção de fósforo é reduzida pela ação tóxica do alumínio (Foy, 1974). O maior aumento na taxa de absorção por unidade de raiz no cultivar IAC-2, devido ao baixo suprimento de fósforo, e no Bragg, devido à presença de alumínio, pode ser decorrente do maior efeito desses fatores na redução do sistema radicular. O aumento na taxa de absorção por unidade de raiz pode ser um mecanismo de compensação utilizado pela planta na tentativa de atender à demanda por nutrientes, o que pode ser verificado através da taxa de absorção por vaso (Figura 3). Esta foi calculada através da substituição da taxa máxima de absorção por unidade de raiz (Vmax em pmoles.cm⁻².s⁻¹) na equação de Michaelis-Menten pela taxa máxima de absorção por vaso (Vmax, em pmoles.s⁻¹). Neste caso, verifica-se uma inversão em relação ao que foi mostrado na figura 2. Para uma mesma taxa de absorção, os cultivares, quando afetados por alumínio e baixa disponibilidade de fósforo, necessitam de maior teor de fósforo na solução de solo.

Maior eficiência de absorção de fósforo do solo é obtida por um maior comprimento de raiz por grama de planta, alto Vmax, baixo Km e baixo Cmin (Nielsen & Barber, 1978). Portanto, quando o sistema radicular é afetado, a taxa de absorção por vaso ou planta é o melhor parâmetro para avaliar a eficiência de absorção de fósforo. Isso porque essa taxa resulta da combinação de todos aqueles parâmetros importantes no processo de absorção. Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que o cultivar IAC-2 foi mais eficiente em absorver P na presença de alumínio do que o Bragg.

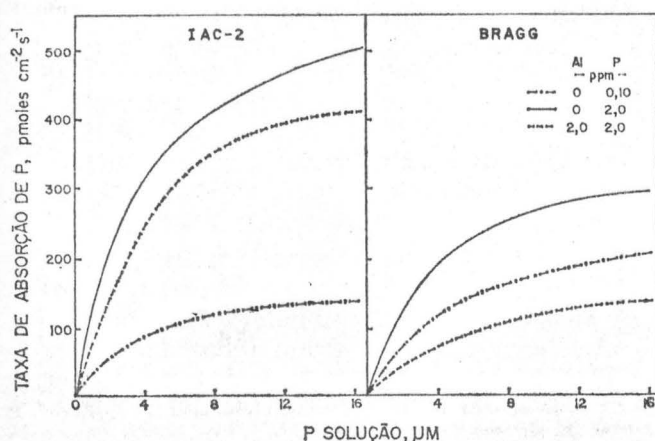


Figura 2. Taxa de absorção de fósforo por unidade de superfície de raiz de cultivares de soja em função da sua concentração na solução e tratamentos de alumínio e fósforo.

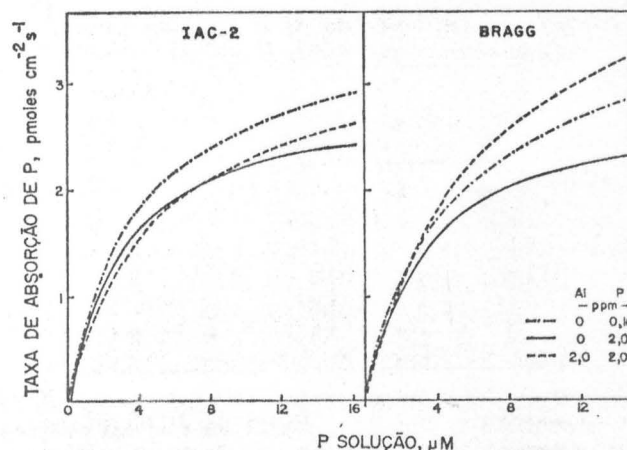


Figura 3. Taxa de absorção de fósforo por vaso cultivares de soja em função de sua concentração solução e tratamentos de alumínio e fósforo.

LITERATURA CITADA

- ANGHINONI, I. & BARBER, S. A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. *Agron. J.*, Madison, 72: 685-688, 1980.
- CANAL, I. N. & MIELNICZUK, J. Parâmetros de absorção de potássio em milho (*Zea mays* L.) afetados pela interação alumínio-cálcio. *Ci. Cult.*, São Paulo, 35:336-340, 1983.
- CARTWRIGTH, B. The effect of phosphate deficiency on the kinetics of phosphate absorption by sterile excised barley roots and some factors affecting the ion uptake efficiency of roots. *Comm. Soil Sci.*, Pl. Anal., New York, 3:313-322, 1972.
- CLAASSEN, N. & BARBER, S. A. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. *Pl. Physiol.*, Lancaster, 54:564-568, 1974.
- CLARK, R. B. Effect of aluminum on growth and mineral elements of Al-tolerant and Al-intolerant corn. *Pl. Soil.*, Hague, 47:653-662, 1977.
- CRAM, W. J. The regulation of nutrient uptake by cells and roots. In: WOULDHAM, I. F. & PASSIOURA, J. B., ed. Transport and transfer processes in plants. New York, Academic Press, 1976. p. 113-124.
- EDWARDS, J. H. & BARBER, S. A. Phosphorus uptake rate of soybean roots as influenced by plant age, root trimming and solution P concentration. *Agron. J.*, Madison, 68:973-975, 1976.
- EPSTEIN, E. & HAGEN, C. E. A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots. *Pl. Physiol.*, Lancaster, 27:457-474, 1952.
- FOY, C. D. Effects of aluminum on plant growth. CARSON, E. W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville University Press of Virginia, 1974. p. 601-642.
- FOY, C. D.; FLEMING, A. L.; BURNS, G. R.; ARGER, W. H. Characterization of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, 31:513-521, 1967.
- GORSLINE, G. W.; RAGLAND, J. L.; THOMAS, W. Evidence for inheritance of differential accumulation of calcium, magnesium, and potassium by maize. *Crop Sci.*, Madison, 1:155-156, 1961.
- HANSON, W. D. & KAMPRATH, E. J. Selection for aluminum tolerance in soybeans based on seedling root growth. *Agron. J.*, Madison, 71:581-586, 1979.
- KAMPRATH, E. J. & FOY, C. D. Lime-fertilizer-plant in acid soils. In: OLSON, R. A.; ARMY, T. J.; HAWAY, J. J.; KILMER, V. J., eds. Fertilizer technology and use. Wisconsin, Soil Science Society of America, 1971. p. 105-151.
- MURPHY, J. & RILEY, J. P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. chim. Acta.*, 27:31-36, 1962.
- NIELSEN, M. E. & BARBER, S. A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. *Agron. J.*, Madison, 70:695-698, 1978.
- SHENK, M. K. & BARBER, S. A. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. *Agron. J.*, Madison, 71:921-924, 1979.
- TENNANT, D. A test of modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.*, Londres, 63:995-1000, 1975.