

EFEITO DOS ÁCIDOS ACÉTICO E BUTÍRICO SOBRE O CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE ARROZ¹

FLÁVIO A. DE O. CAMARGO², GABRIEL DE A. SANTOS e ROBERTO O. P. ROSSIELLO³

RESUMO – Este estudo teve por objetivo avaliar a fitotoxicidade dos ácidos acético e butírico sobre o crescimento de plântulas de arroz (*Oryza sativa* L. – cv. BR IRGA 409) cultivadas em solução nutritiva. Os tratamentos constaram da adição de ácido acético e butírico a quatro concentrações (0,0, 0,1, 1,0 e 10 mM), em tubos contendo a solução Hoagland (Nº 2) e ajustadas a três níveis de pH (4,0, 5,0 e 6,0). As plântulas cresceram durante dez dias em câmara de crescimento a $26 \pm 2^\circ\text{C}$ sob uma intensidade luminosa de 6 Klux, durante doze horas. Independentemente de pH e concentração, o ácido butírico resultou mais fitotóxico que o acético, que reduziu a expansão da área radicular em 55%, enquanto o butírico, em 78%. Observou-se que 1,0 mM de ácido acético não teve efeito sobre o peso seco radicular, enquanto o butírico, em igual concentração, provocou redução de 78%. A 10 mM, os dois ácidos tiveram igual efeito inibitório sobre o crescimento radicular e da parte aérea. A elevação de pH, de 4,0 para 6,0, propiciou uma atenuação da toxidez, estimulando linearmente o crescimento de raízes e parte aérea.

Termos para indexação: fitotoxicidade, *Oryza sativa*, cultivar, crescimento, solução nutritiva.

EFFECTS OF ACETIC AND BUTYRIC ACIDS ON GROWTH OF RICE SEEDLINGS.

ABSTRACT – This study had the objective of appreciate the phytotoxic effects of acetic and butyric acids on growth of rice *Oryza sativa* L. cv. BR IRGA 409) seedlings cultivated in nutrient solution. The treatments consisted of addition of acetic and butyric acids to the nutrient media to make 0.0, 0.1, 1.0 and 10 mM concentrations at three pH levels (4.0, 5.0 and 6.0). Seedlings were grown in growth chamber at $26 \pm 2^\circ\text{C}$ and 6 Klux light intensity with twelve hours of light and dark periods. Butyric acid was more toxic to plants than acetic acid irrespectively of acid concentration and pH. Acetic acid reduced root area expansion by 55%, and butyric acid reduced it by 78%. At 1.0 mM, acetic acid had no effect on the dry weight of roots, whereas at the same concentration butyric acid reduced root dry weight by 78%. At 10 mM, both acetic and butyric acid had the same effects in reducing the growth at root and shoots. Increasing pH from 4.0 to 6.0 alleviated the toxic effects of the acids, and linearly stimulated growth of roots and shoots.

Index terms: phytotoxicity, *Oryza sativa*, cultivar, growing, nutrient solution.

INTRODUÇÃO

A incorporação de resíduos culturais ao solo antes de um novo plantio sofre potencialmente a desvantagem de que produtos fitotóxicos, oriundos do metabolismo da matéria orgânica incorporada, possam exercer efeitos negativos, limitando a germinação e o estabelecimento das plântulas

(Scott Russell 1977, Harper & Lynch 1981). A necessidade de estudos a esse respeito é verificada pela deficiente bibliografia existente, principalmente nos estudos com relacionados com a decomposição da matéria orgânica em solos inundados.

Em condições anaeróbicas, o problema é mais agravante, dada a baixa eficiência metabólica microbiana na conversão do carbono adicionado, levando à acumulação de compostos que afetam de forma irreversível a produtividade final, principalmente em arroz (Gomes et al. 1985). Tais condições são encontradas na região norte-fluminense do Estado do Rio de Janeiro, onde tradição-

¹ Aceito para publicação em 22 de fevereiro de 1993.

² No curso de Doutorado em Agronomia da UFRGS, Lab. de Análise de Solo. Av. Bento Gonçalves, 7712 - Porto Alegre, RS. CEP 91540-000.

³ Eng. Agr. Prof.-Adjunto, Dep. de Solos da UFRRJ, Km 47, Antiga Rodovia Rio-São Paulo, Seropédica, RJ. CEP 23851-970.

nalmente cultivava-se o arroz irrigado. Não obstante, a falta de informações a respeito e o total desconhecimento do manejo dos solos de várzea justificam o estudo do comportamento dos produtos da decomposição anaeróbica da matéria orgânica.

Dos numerosos compostos formados pelo metabolismo anaeróbico, destacam-se os ácidos orgânicos, especialmente os ácidos alifáticos de cadeia curta, como o fórmico, o acético, o propiônico, o butírico e o valérico (Stevenson 1967). Estes metabólicos ocorrem, usualmente, na faixa de concentração de 0,1 a 10 mM. Dada sua volatibilidade, possuem curta vida média na solução, porém são produzidos de forma contínua pela reciclagem microbiana (Sposito 1989). Em arrozais inundados, as concentrações de ácido acético podem atingir 5 mM em pH 6,5, e as de butírico, entre 0,1 e 10 mM (Stevenson 1967, Lynch 1978), dependendo da quantidade e qualidade do resíduo orgânico incorporado.

A fitotoxidez dos ácidos orgânicos é dependente do pH. Em solos alagados, o pH tende à neutralidade após as primeiras semanas de submersão (Ponnamperuma 1972, Moraes & Dynia 1992), e, dado que o pK dos ácidos situa-se entre 3 e 5, em tais solos deve predominar a forma não-dissociada deles, a qual é considerada inofensiva às plantas (Harper & Lynch 1981). Este raciocínio está correto em relação à massa global do solo livre de raízes, porém negligencia a situação real na rizosfera radicular. Com efeito, sendo NH_4^+ a forma de N predominante nesses solos, a sua absorção radicular causa um desbalanço de cátions em relação aos ânions absorvidos, o que é compensado pela extrusão ativa de H^+ , causando gradientes marcantes de acidez entre a rizosfera e a massa do solo livre das raízes (Luisi et al. 1983), tal como mostrado em arroz, milho e outras culturas (Fernandes et al. 1981, Fernandes & Rossiello 1986). Desta forma, o valor do pH no espaço livre radicular pode ser 1 a 2 unidades menor do que na massa do solo (Harper & Lynch 1981, Fernandes & Rossiello 1986). Esta variação de pH pode ser responsável pela ocorrência de fitotoxidez decorrente da presença de ácidos orgânicos em solos com pH neutro, cultivados com arroz (Chandrasekaran & Yoshida 1973).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos fitotóxicos dos ácidos butírico e acético, sobre plântulas de arroz cultivadas em solução nutritiva em três faixas de pH representativas de solos ácidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de arroz (cv. BR IRGA 409) previamente descascadas, foram esterilizadas com hipoclorito de sódio (5%) e colocadas para germinar durante quatro dias, em câmara de incubação.

Em uma capela de fluxo laminar, foi realizada a transferência das sementes germinadas para tubos (22 cm comp/2,5 cm diam.) contendo 50 ml de solução Hoagland nº 2 (Hoagland & Arnon 1950) e ágar, ajustado em quantidade suficiente para manutenção do meio de cultura em consistência semi-sólida. Ao meio foi adicionado ácido acético e butírico, ambos nas concentrações de 0,0, 0,1, 1,0 e 10 mM e ajustados a três valores de pH (4,0, 5,0 e 6,0), pela adição de HCl ou NaOH 0,1N. Os tubos foram autoclavados a 0,103 MPa durante 20 minutos para completa esterilização antes do transplante. A variação do pH foi acompanhada durante o experimento com a utilização de duas repetições descartadas, e oscilou $\pm 0,3$ unidades de pH.

Após o transplante, os tubos, cada um contendo uma semente pré-germinada, foram colocados em câmara de crescimento com intensidade luminosa de 6,0 Klux e fotoperíodo de doze horas, a uma temperatura de $26 \pm 2^\circ\text{C}$.

Aos dez dias crescendo na mesma solução, as plântulas foram coletadas e pesadas. Foi determinado o comprimento radicular e da parte aérea por medição direta com régua milimétrica, e a área da raiz, com um medidor fotoeletrônico de área (Li -300, Licor Ins. Inc. Nebraska). A matéria seca foi obtida após secagem até peso constante, numa estufa com circulação forçada de ar.

Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado com 21 tratamentos (três níveis de ácido acético, três níveis de ácido butírico, ambos em três níveis de pH e três controles absolutos), repetidos três vezes. As análises de variância obedeceram a um esquema fatorial incompleto (ácidos x concentração x pH) e as médias das interações comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Independentemente de sua configuração química, o efeito global da adição de ácidos orgânicos ao meio, através de níveis de pH e concentração, causou um decréscimo significativo em todos os parâmetros de crescimento avaliados (Tabela 1). Em termos de redução relativa, o comprimento e a área radicular foram os parâmetros mais afetados (60 e 66%, respectivamente). O alongamento da parte aérea e o acúmulo de matéria seca

foram reduzidos em 53 e 56%, respectivamente, enquanto o acúmulo de matéria seca radicular mostrou um efeito depressivo menor (48%) (Tabela 1). Embora resulte notória a maior fitotoxicidade do ácido butírico (Tabela 2), com exceção da área e do peso radicular, não houve significação estatística entre ácidos para os demais parâmetros estudados. Assim, na média das concentrações aplicadas (Tabela 3), o ácido acético reduziu o comprimento radicular em 51%, e o butírico, em 68%. Quanto ao peso seco e à área radi-

TABELA 1. Efeito da aplicação de ácidos orgânicos sobre o crescimento e acúmulo de matéria seca em plântulas de arroz cultivadas em solução nutritiva. Valores médios de 3 níveis de pH e 3 concentrações.

Tratamento	Comp.raiz		Peso raiz		Área raiz	
	cm		mg		cm ²	
Controle	7,25 a	17,0 a	1,76 a	10,70 a	5,10 a	
Ácidos	2,93 b	8,01 b	0,91 b	4,75 b	1,72 b	
Tukey (5%):	1,81	3,02	0,41	1,98	0,90	
C.V.:	34,3	23,4	29,0	20,5	20,9	

TABELA 2. Efeito da aplicação dos ácidos acético e butírico sobre o crescimento e acúmulo de matéria seca em plântulas de arroz cultivadas em solução nutritiva. Valores médios de 3 níveis de pH e 3 concentrações.

Tratamento	Comp.raiz		Peso raiz		Área raiz	
	cm		mg		cm ²	
Controle	7,25 a	17,0 a	1,76 a	10,70 a	5,10 a	
Acético	3,55 b	9,90 b	1,14 b	5,60 b	2,30 b	
Butírico	2,31 b	6,11 b	0,68 c	3,90 b	1,14 c	
Tukey (5%):	2,44	4,06	0,42	2,03	0,93	
C.V.:	31,5	18,7	24,2	19,7	21,3	

TABELA 3. Efeito da aplicação dos ácidos acético e butírico a 4 concentrações sobre o acúmulo da matéria seca e área radicular em plântulas de arroz cultivadas em solução nutritiva. Valores médios de 3 níveis de pH.

Com. ácido	Peso MS.raiz (mg)				Peso MS pl.a. (mg)				Peso raiz (cm ²)			
	pH				pH				pH			
	0,0	0,1	1,0	10	0,0	0,1	1,0	10	0,0	0,1	1,0	10
Acético	1,76a	1,61a	1,64a	0,2b	10,70	7,83	6,72	2,26	5,10a	3,22b	2,70b	0,97c
Butírico	1,76a	1,39b	0,38c	0,27c	10,70	6,81	4,58	0,30	5,10a	2,21b	0,78c	0,44c
Médias					10,70a	7,32b	5,65b	1,28c				
Tukey (5%):		0,30				1,87				1,04		
C.V.:		15,2				14,4				19,4		

cular, as diferenças foram comparativamente mais drásticas. Os percentuais de inibição em expansão de área radicular foram de 55 e 78%, para os ácidos acético e butírico, respectivamente. Este resultado sugere que a expansão em área radicular (iniciação de laterais primárias, a partir de eixos seminais) foi mais inibida que a extensão radicular, por aplicação de ácido butírico, enquanto o acético produz efeitos similares sobre ambos os processos. Quanto ao acúmulo de peso seco nas raízes, a presença de ácido acético no meio teve um efeito inibidor de 35%, ao passo que a adição do ácido butírico praticamente duplicou esse percentual (Tabela 2).

Como esperado, neste experimento a intensidade dos efeitos dos ácidos foi dependente da concentração aplicada (Tabela 3 e Fig. 1). Quando se desdobra o efeito da concentração (Tabela 3), há uma diminuição da variabilidade experimental. A

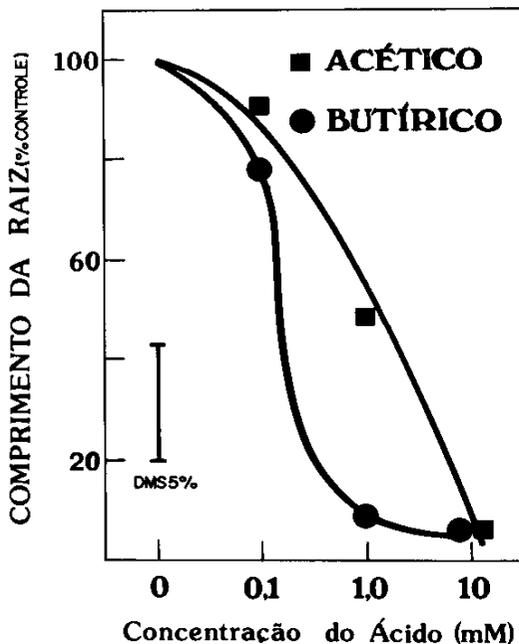


FIG. 1. Efeito da aplicação de ácidos acético e butírico sobre o crescimento de plântulas de arroz cultivadas em solução nutritiva. Valores expressos com % do controle: a) Comprimento máximo da raiz seminal; b) Comprimento da parte aérea.

aplicação de ácido acético não teve efeito significativo sobre o peso seco radicular até o nível de 1,0 mM, ao passo que nesse nível a aplicação de ácido butírico resultou em redução drástica (78%) de peso seco. O nível de 10 mM resultou no mesmo grau de inibição para os dois ácidos (Tabela 3). Não houve efeito diferencial do tipo de ácido sobre o peso seco da parte aérea, sendo que as médias entre ácidos declinam exponencialmente com o aumento da concentração ($r=-0,98$). Na aplicação de 1,0 mM, a área radicular foi reduzida em 47 e 85% por aplicação de ácido acético e butírico, respectivamente. Já a aplicação de 10 mM foi altamente fitotóxica para ambos os ácidos, particularmente para o butírico (91% de inibição, Tabela 3). O efeito mais pronunciado da concentração é verificado no alongamento radicular e da parte aérea (Fig. 1 e 2).

Diferenças pronunciadas em inibição são aparentes ao nível de 1,0 mM. Ao nível de 10 mM, ambos os ácidos resultaram altamente fitotóxicos (Fig. 1 e 2).

Como mencionado acima, a fitotoxidez dos

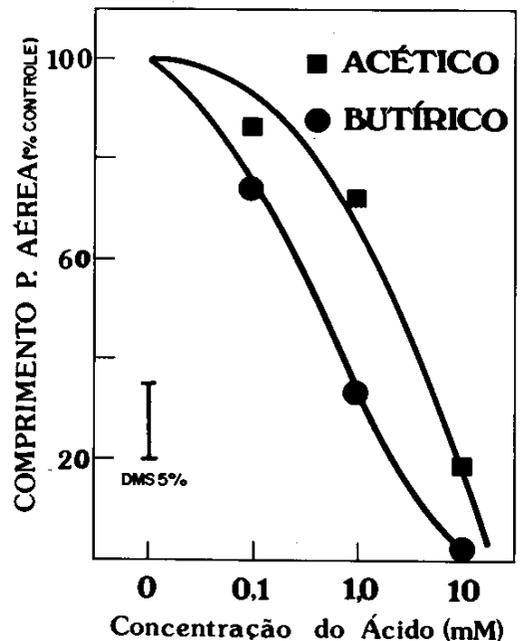


FIG. 2. Fitotoxidez do ácido butírico.

ácidos é dependente do pH. Considerando-se a constante de dissociação (pK) do ácido acético, verifica-se que o pH 4,0, sua não-dissociação é de 85%, enquanto que o pH 6,0, 95% do mesmo encontra-se como acetato (Lynch 1980). Portanto, o decréscimo do pH, levando ao aumento da forma não-dissociada, determina um aumento da lipossolubilidade dos ácidos, nos componentes lipídicos da membrana, aumentando nela a permeabilidade, ou, de outra forma, diminuindo o seu coeficiente de reflexão (Tanaka & Navasero 1967). Poderia ser esperado, por essas razões, que um valor baixo de pH resultasse mais fitotóxico. Como mostra a Tabela 4, houve interação significativa entre pH e tratamentos para os valores de acúmulo de matéria seca em raízes e parte aérea. Como tendência, verifica-se um efeito estimulante do aumento do pH no tratamento controle, que, em média, produziu mais matéria seca que os ácidos acético e butírico, os quais não diferiram entre si, embora o butírico tenha tido consistentemente um efeito mais depressivo sobre a produção de matéria seca, em toda a faixa de pH estudada. Moloney et al. (1981) estudaram a resposta de segmentos apicais de raízes de milho em termos de % de extensão, quando expostas a soluções-tampão (Fosfato/Citrato, 10^{-3} M) ajustadas a valores de pH entre 3 e 8. Observaram, estes autores, que houve estimulação máxima entre pH 4 e 5,

com a percentagem de extensão caindo rapidamente fora desses limites. No presente caso, tal tendência não se verifica, tanto para área como para comprimento radicular, que, independentemente de tratamentos, mostraram valores máximos a pH 6,0 (Tabela 4 e Fig. 3). Há uma relação linear claramente expressa entre comprimento de raiz e pH (Fig. 3). O mesmo tipo de relação foi obtida ao se considerar o comprimento da parte aérea.

Conquanto os problemas de variabilidade possam ter acarretado uma subestimação dos efeitos tóxicos dos ácidos individualmente, os presentes resultados são concordantes com os apresentados por Rao & Mikkelsen (1977) e Lynch (1980). Estes autores verificaram que o alongamento radicular era o principal indicador dos efeitos inibidores provocados pelos ácidos orgânicos, que aumentam a sua fitotoxidez conforme aumenta o comprimento da cadeia de carbono. Observaram, ainda, que a redução do tamanho do sistema radicular foi acompanhada pela inibição da iniciação de novas raízes. Os efeitos observados aqui, do ácido butírico sobre a área radicular total, permitem supor que este parâmetro seja da maior relevância para avaliação da fitotoxidez de ácidos de maior comprimento de cadeia.

Estes efeitos podem ser o resultado de lesões causadas ao tecido meristemático da radícula

TABELA 4. Efeito de 3 níveis de pH e de ácidos orgânicos sobre o acúmulo de matéria seca e área radicular em plântulas de arroz cultivadas em solução nutritiva. Valores médios de 3 níveis de concentração.

Tratamento	Peso MS.raiz (mg)			Peso MS pl.a. (mg)			Peso raiz (cm ²)				
	pH			pH			pH				
	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0		
Controle	1,50	1,63	2,15	1,76A	8,20	10,72	12,87	10,60A	3,49A	4,15A	7,43Aa
Acético	0,90	1,12	1,45	1,16B	4,10	5,9B	6,92	5,67B	1,75Aa	2,31Ba	2,81Ba
Butírico	0,38	0,69	1,03	0,70B	2,73	4,02	5,11	3,95B	0,80Ba	0,88Ba	1,73Ba
Médias	0,93b	1,15a	1,54a	5,01b	6,91a	8,30a					
Tukey (5%): (Tratamentos)	0,57			1,88			1,83				
Tukey (5%): (nível pH)	0,46			2,03			1,51				
C.V.:	17,5			18,8			17,7				

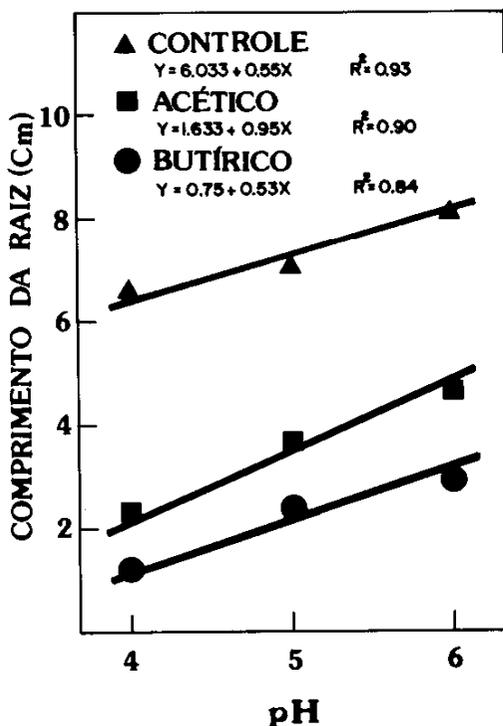


FIG. 3. Efeito de três níveis de pH sobre o comprimento máximo de raízes de plântulas de arroz cultivadas em solução nutritiva, na presença dos ácidos acético e butírico. Cada ponto representa a média de quatro níveis de aplicação (0.0; 0.1; 1.0 e 10 mM). As equações e os respectivos valores de r^2 mostrados na figura, foram calculados usando-se $n=9$ observações (3 repetições por nível de pH).

(Chou & Patrik 1976), o que deve resultar em inibição da divisão celular. Por outro lado, essas fitotoxinas são inibidores marcantes de funções mitocondriais, incluindo o desacoplamento da fosforilação oxidativa, assim como do transporte de metabólitos e de enzimas glicolíticas solúveis no citosol, e as ligadas a endomembranas, como as responsáveis pela síntese de polissacarídeos e a ATPase (Radamoss et al. 1976, Wojtczak 1976,

Morré & Mollenhauer 1976, Chan & Higgins 1978). Lee (1977) verificou que ácidos orgânicos causaram o efluxo de íons inorgânicos e material orgânico para o meio externo, o que implica a danificação da integridade da plasmalema. O efeito combinado destes processos inibitórios deve conduzir a uma marcada redução do acúmulo vacuolar de solutos necessários ao influxo osmótico de água, responsável pela manutenção de turgência positiva nas células. Geração de energia metabólica e funcionalidade da ATPase ligada à membrana celular são pré-requisitos para esse processo (Fernandes & Rossiello 1986). A perda de turgência subsequente interrompe, então, o estímulo básico à extensão da parede celular, e bloqueia os mecanismos de biossíntese responsáveis pela deposição de novo material estrutural na parede (Taiz 1984). É interessante notar que outro tipo de estresse – a presença de Al^{+3} no meio radicular – produz manifestações de toxidez muito similares às descritas para os ácidos orgânicos (Mendonça 1991). Em um exame de 50 genótipos de arroz, foi verificado que o comprimento radicular não foi o parâmetro radicular mais adequado para caracterizar o grau de tolerância dos genótipos, sendo que, dependendo da concentração de Al no meio, a área radicular mostrou-se mais eficiente (Mendonça 1991). Ainda com relação a este aspecto, deve ser notado que, enquanto H^+ ou K^+ estimulam a extensão da parede celular, cátions polivalentes como Al^{+3} , La^{+3} , Sr^{+2} , Ca^{+2} e Ba^{+2} , são antagonistas mais ou menos potentes do crescimento ácido (Taiz 1984). A inclusão de Etileno – Diamino – Tetra-acetato (EDTA) ao meio reverte, em certos casos, essa inibição, e induz a extensibilidade da parede celular (Taiz 1984). Nesses casos, obviamente, a presença externa de ácidos orgânicos deve desempenhar um papel benéfico ao crescimento radicular. Akeson & Munns (1990) observaram que a absorção de Al – Citrato⁻¹ não resultou em fitotoxidez. O acúmulo intracelular de ácidos orgânicos, como citrato, oxalato e oxaloacetato (dissociados do pH fisiológico) não é prejudicial à funcionalidade celular, sendo, em muitos casos, essencial à neutralização de quantidades nocivas de Al^{+3} e NH_4^+ no meio intracelular (Fernandes & Rossiello 1986, Mendonça 1991).

CONCLUSÕES

1. Para as condições experimentais, os efeitos dos ácidos acético e butírico foram mais pronunciados com o aumento da concentração.

2. A 10 mM, o alongamento radicular foi totalmente inibido.

3. O efeito isolado de cada ácido revelou que o ácido butírico determinou variações mais acentuadas que o acético, em todos os parâmetros observados.

4. Quanto mais elevado o valor do pH, menores são os efeitos dos ácidos sob todos os parâmetros.

REFERÊNCIAS

- AKESON, M.; MUNNS, D. N. Uptake of aluminum into root cytoplasm: predicted rates for important solution complexes. *Journal Plant Nutrition*, v. 13, p.467-484, 1990.
- CHANDRASEKARAN, S.; YOSHIDA, T. Effect of organic acid transformation in submerged soil on growth of the rice plant. *Soil Science Plant Nutrition*, v.19, p.39-45, 1973.
- CHAN, S. H. P.; HIGGINS, E. Uncoupling activity of endogenous free fatty acids in rat liver mitochondria. *Canadian Journal of Biochemistry*, v.56, p.111-116, 1978.
- CHOU, C. H.; PATRICK, Z. A. Identification and phytotoxic activity of compounds produced during decomposition of corn and rye residues in soil. *Journal of Chemistry and Ecology*, v.2, p.369-387, 1976.
- FERNANDES, M. S.; DIDONET, H. R.; ROSSIELLO, R. O. P. Respostas de quatro cultivares de arroz à aplicação de nitrogênio amoniacal com um inibidor de nitrificação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.16, n.3, p.303-311, 1981.
- FERNANDES, M. S.; ROSSIELLO, R. O. P. Aspectos do metabolismo e utilização do nitrogênio em gramíneas tropicais. In: MATTOS, H. B.; WERNER, I. C.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. (Eds.) *Calagem e adubação de pastagens*. [S.l.]: Assoc. Bras. Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p.93-123.
- GOMES, A. S.; VAHL, L. C.; PAULETTO, E. A.; PORTO, V. H. F.; GONZALES, B. D. Manejo de água em arroz irrigado. In: EMBRAPA. *Fundamentos para a cultura do arroz irrigado*. [S.l.]: Fundação Cargill, 1985. p.251-276.
- HARPER, S. H. T.; LYNCH, J. M. The chemical components and decomposition of wheat straw leaves, internodes and nodes. *Journal of Science of Food and Agriculture*, v.32, p.1057-1062, 1981.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, O. I. *The water culture method for growing plants without soil*. Berkeley: Calif. Agr. Exp. Station, 1950. 32p. (circular, 37).
- LEE, R. B. Effects of organic acids on the loss of ions from barley roots. *Journal of Experimental Botany*, v.28, p.578-587, 1977.
- LUISI, M. V. V.; ROSSIELLO, R. O. P.; FERNANDES, M. S. Acidificação do rizocilindro de milho em resposta à absorção de nutrientes e sua relação com o crescimento radicular. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.7, p.69-74, 1983.
- LYNCH, J. M. Effects of organic acids on the germination of seeds and growth of seedling. *Plant Cell and Environment*, v.3, p.255-59, 1980.
- LYNCH, J. M. Production and phytotoxicity of acetic acid in anaerobic soils containing plant residues. *Soil Biology & Biochemistry*, v.10, p.133-135, 1978.
- MENDONÇA, M. L. *Estudo dos mecanismos de tolerância ao alumínio e sua variabilidade genotípica em arroz (Oryza sativa L.)*. Itaguaí, RJ: UFRRJ, 1991. 176p. Tese de Mestrado.
- MOLONEY, M. M.; ELLIOT, M. C.; CLELAND, R. E. Acid growth effects in maize roots: evidence for a link between auxin-economy and proton extrusion in the control of root growth. *Planta*, v.152, p.285-291, 1981.
- MORAES, J. F. V.; DYNIA, J. F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo gley pouco húmico sob inundação e após drenagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.27, n.2, p.223-235, 1992.
- MORRÉ, D. I.; MOLLENHAUER, H. H. Interactions among cytoplasm, endomembranes and the cell surface. In: STOCKING, C. R.; HEBER, U. (Eds.). *Encyclopedia of Plant Physiology New Series*. Transport in Plants, 3. Springer: Verlag Berlin-Heidelberg, 1976. v.3, p.288-344.

- PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, v.24, p.29-96, 1972.
- RADAMOSS, C. S.; UYEDA, K.; JOHNSTON, J. M. Studies on the fatty acid inactivation of phosphofrutokinase. **Journal of Biology Chemistry**, v.251, n.1, p.98-107, 1976.
- RAO, D. N.; MIKKELSEN, D. S. Effect of acetic, propionic, and butyric acids on young rice seedlings growth. **Agronomy Journal**, v.69, p.145-153, 1977.
- SCOTT RUSSELL, R. **Plant root systems: their function and interaction with the soil.** [S.1]: Mc Graw-Hill Book Company Limited, 1977. 298p.
- SPOSITO, G. **The chemistry of soils.** [S.1]: Oxford University Press., 1989. 222p.
- STEVENSON, F. I. Organic Acids in Soil. In: McLAREN, A. D.; PETERSON, G. H. (Eds.). **Soil biochemistry.** Arnold: [s.n.], 1967. p.119-146.
- TAIZ, L. Plant cell expansion: regulation of cell wall mechanical properties. **Annual Review of Plant Physiology**, v.35, p.585-657, 1984.
- TANAKA, A.; NAVASERO, S. A. Carbon dioxide and organic acids in relation to the growth of rice. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.13, p.25-30, 1967.
- WOJTCZAK, L. Effect of long-chain fatty acids and Acyl-CoA on mitochondrial permeability, transport, and energy-coupling processes. **Journal and Bioenergetics of Biomenbranes**, v.8, p.293-311, 1976.