

Comprimento e arquitetura de raízes de genótipos de arroz irrigado por inundação em solução nutritiva e sua relação com absorção de nutrientes e produção de matéria seca¹

André Dabdab Abichequer², Humberto Bohnen³

Resumo - A obtenção de maior rendimento de grãos na cultura do arroz irrigado por inundação (*Oryza sativa* L.) é necessária, para que a cultura seja viável economicamente e cause menor impacto ambiental, pela menor demanda de área de cultivo. Uma das formas de aumentar o rendimento do arroz é o desenvolvimento de genótipos mais eficientes na absorção de nutrientes, o que pode estar relacionado com a morfologia, arquitetura e distribuição do sistema radicular no solo. Conduziu-se um experimento em solução nutritiva, em casa-de-vegetação, comparando os genótipos IRGA 417 e IRGA 419 (modernos), EEA 406 (tradicional), Avaxi (híbrido, RiceTec) e Bluebelle (americano) quanto ao comprimento e arquitetura das raízes, absorção de nutrientes (P e K) e produção de matéria seca, no estágio V 8 a V 10. A variedade IRGA 417 desenvolveu raízes mais compridas, enquanto IRGA 419 e Bluebelle apresentaram menor comprimento. O híbrido Avaxi desenvolveu raízes de distribuição mais superficial, enquanto EEA 406 e Bluebelle apresentaram raízes mais profundas. O híbrido Avaxi, com raízes de comprimento semelhante à IRGA 417, apresentou maior absorção de P e K e maior produção de matéria seca da parte aérea e total. O comprimento das raízes relacionou-se com a absorção de P e K e a produção de matéria seca, com vantagem para plantas com raízes mais compridas.

Termos de indexação: morfologia de raízes, nutrição vegetal, *Oryza sativa* L.

Root length and architecture of paddy rice genotypes in nutrient solution and their relationship with nutrient uptake and dry matter yield

Abstract - The obtaining of higher grain yield in paddy rice (*Oryza sativa* L.) is necessary to increase economic gain and to reduce environmental impact, due to lower area demand. Yield increases can be obtained with the development of more efficient genotypes in nutrient uptake, that can be related to root morphology, architecture and distribution in soil. A greenhouse experiment was conducted, in nutrient solution, to compare genotypes IRGA 417 and IRGA 419 (modern), EEA 406 (traditional), Avaxi (hybrid, RiceTec) and Bluebelle (american) in relation to root length and architecture, nutrient uptake (P and K) and dry matter yield, in growth stage V 8 to V 10. IRGA 417 developed longer roots, while IRGA 419 and Bluebelle had shorter roots. Avaxi developed more superficial roots, while EEA 406 and Bluebelle developed deeper roots. Avaxi, with root length similar to IRGA 417, had greater P and K uptake and greater shoot and total dry matter yield. There was relationship between root length and nutrient uptake and dry matter yield, with advantage to plants with longer roots.

Index terms: root morphology, plant nutrition, *Oryza sativa* L.

¹ Parte do trabalho de tese do primeiro autor, para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo na Faculdade de Agronomia da UFRGS. Recebido para publicação em

² Eng. Agr., Dr., Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO). Rua Gonçalves Dias 570, CEP 90130-060, Porto Alegre (RS). E-mail : andre-abichequer@fepagro.rs.gov.br

³ Eng. Agr., PhD., Colaborador Convocado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970, Porto Alegre (RS).
Recebido para publicação em 03/10/2006

Introdução

A cultura do arroz irrigado por inundação é uma das mais importantes no Rio Grande do Sul, abrangendo na safra 2004/2005 uma área de aproximadamente 1 000 000 ha. São colhidos no Estado cerca de 50% da produção nacional de arroz, com rendimento médio em torno de 6000 kg/ha. Sendo uma cultura irrigada, com grande utilização de insumos e mecanização agrícola, o arroz apresenta alto custo de produção. Assim, é necessário que a pesquisa e os produtores busquem o aumento do rendimento de grãos, para haver uma relação custo-benefício positiva no empreendimento. Além disto, a elevação do rendimento da cultura reduz seu impacto ambiental, ao diminuir a demanda por ampliação de área de cultivo. O rendimento médio obtido atualmente no Estado é bastante inferior ao potencial da cultura, que é de 12 000 kg/ha, segundo IRGA (2004).

Com relação à nutrição do arroz, aumentos de rendimento podem ser obtidos pelo manejo adequado da adubação e/ou pelo desenvolvimento de genótipos mais eficientes na absorção e utilização dos nutrientes. O aumento de rendimento provoca uma maior demanda nutricional, sendo necessário o desenvolvimento de plantas eficientes na absorção de nutrientes.

As diferenças entre espécies e variedades de plantas quanto à capacidade de absorver nutrientes são decorrentes da variação na magnitude e morfologia do sistema radicular e/ou na cinética de absorção de nutrientes (ANGHINONI et al., 1989). No campo, além desses aspectos, a distribuição das raízes ao longo do perfil do solo também é muito importante para a determinação da quantidade de nutrientes absorvidos pelo arroz. A arquitetura das raízes, definida como o arranjo espacial das mesmas, determina a tendência do sistema radicular atingir camadas mais profundas do solo ou localizar-se superficialmente. O uso de altas densidades de semeadura pode causar esgotamento de nutrientes pela competição entre raízes adjacentes, podendo ser vantajosa uma maior exploração de solo pelas raízes, atingindo camadas mais profundas. Segundo Morita e Yamazaki (1993), altos rendimentos de grãos de arroz estão relacionados com a dimensão e o padrão de distribuição do sistema radicular no solo, sendo vantajosa a distribuição das raízes em camadas mais profundas.

O crescimento das raízes é determinado pelo patrimônio genético da planta e pelas condições do solo. Maior absorção de nutrientes pode ser obtida pela seleção de genótipos com maior comprimento e maior área superficial de raízes. Segundo Teo e Beyrouy (1991), citados por Teo et al. (1995), a absorção de nutrientes distinguiu-se entre variedades de arroz irrigado devido à variação do comprimento das raízes das plantas, em casa-de-vegetação. Porém, no trabalho de Teo et al. (1995) não houve relação entre a morfologia radicular de três variedades de arroz e a absorção de N, P e K em experimento de campo. A variação de absorção observada foi atribuída a diferenças nos parâmetros cinéticos de absorção, determinados

em trabalho anterior (TEO et al., 1992). Em cultivo em solução nutritiva, Muhammad-Sabir et al. (2003) e Gill et al. (2002) observaram correlação positiva entre a matéria seca das raízes de genótipos de arroz e a absorção de K e P. No entanto, no trabalho de Samejima et al. (2005), linhagens de arroz de maior matéria seca e comprimento das raízes não apresentaram maior absorção de N do que a variedade IR 72, em experimento de campo. Anghinoni et al. (1989) avaliaram a morfologia radicular e a cinética de absorção de P, K, Ca e Mg de quatro variedades de arroz, em solução nutritiva. O arroz de sequeiro desenvolveu raízes de maior área superficial, seguido pelas variedades de cultivo irrigado BR-IRGA 409 (moderna) e EEA 406 (tradicional), com área superficial semelhante, e Bluebelle (americana), com sistema radicular de menor área. No entanto, a variedade Bluebelle apresentou parâmetros cinéticos mais favoráveis para a absorção de nutrientes do que as demais, compensando o menor desenvolvimento radicular.

O objetivo deste trabalho foi estudar a morfologia (comprimento das raízes) e a arquitetura das raízes de genótipos de arroz irrigado e a relação da morfologia das raízes com a absorção de nutrientes e a produção de matéria seca, como índice de rendimento das plantas.

Material e métodos

Realizou-se um experimento em solução nutritiva comparando cinco genótipos de arroz, tendo como suporte para as plantas poliestireno granulado. O trabalho foi realizado em solução nutritiva, meio de cultivo em que não há restrições ao crescimento radicular, com o propósito de avaliar a expressão genética do desenvolvimento das raízes dos genótipos. Foram utilizados os genótipos IRGA 417 e IRGA 419 (modernos, de porte baixo), EEA 406 (tradicional, de porte alto), Avaxi (híbrido, RiceTec, com tipo de planta semelhante ao moderno) e Bluebelle (americano), procurando abranger os diferentes tipos de cultivares.

Foram utilizados vasos de plástico com sete litros de capacidade, que foram preenchidos com poliestireno cristal granulado (Styron polystyrene, produzido por EDN Poliestireno do Sul Ltda.), material inerte e de densidade maior do que a da água, para criar um meio poroso de suporte para as raízes (Figura 1). Assim, considerou-se que as raízes desenvolveram-se com uma arquitetura mais próxima da que ocorre no solo. As sementes foram germinadas por dois dias em papel absorvente, a temperatura ambiente. Foi transplantada uma plântula com seis dias de idade para cada um dos 20 vasos utilizados, sendo a mesma fixada no próprio poliestireno. A composição da solução nutritiva foi idêntica à utilizada por Vahl et al. (1993), com as seguintes concentrações, em mmol/L: N-NH₄, 700; N-NO₃, 750; P, 96; K, 768; Ca, 1.000; Mg, 615; S, 993; Fe, 28; Mn, 1,2; Cu, 0,6; Zn, 0,5; Mo, 0,08; B, 29, e Cl, 1.922. A solução apresentou pH em torno de 5,3. Durante o cultivo, o volume de água perdido por transpiração foi repostado com água destilada a cada dois dias e a solução foi renovada semanalmente. Foi mantida uma lâmina de solução nutritiva de 1,5 a 3 centímetros

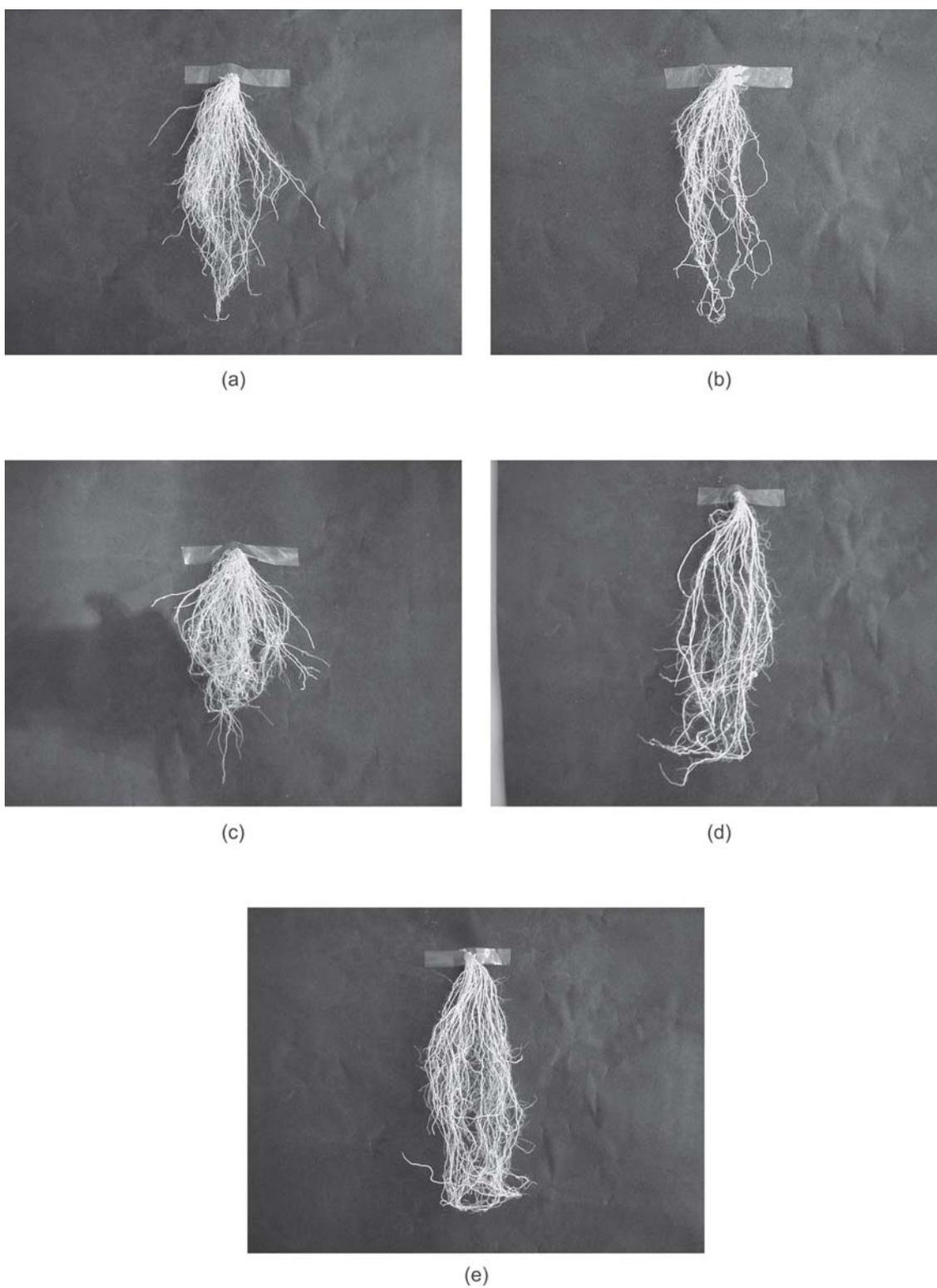


FIGURA 2 - Arquitetura de raízes de genótipos de arroz irrigado cultivados em solução nutritiva: IRGA 417 (a), IRGA 419 (b), Avaxi (c), Bluebelle (d) e EEA 406 (e)

acima do nível do poliestireno. Utilizou-se o delineamento completamente casualizado, com quatro repetições. O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre – RS), nos meses de fevereiro e março de 2002.

As plantas foram cultivadas por 18 dias após o transplante. No momento da colheita, os genótipos IRGA 417 e Avaxi estavam no estágio de 10 folhas (V 10), segundo Counce et al. (2000), e os demais no estágio de 8 folhas (V 8). Na colheita retirou-se a parte aérea e os vasos com as raízes foram colocados em uma estufa a 60° C, com o objetivo de que as raízes secas mantivessem a arquitetura com que se desenvolveram. A seguir separou-se o poliestireno das raízes, que foram então fotografadas. As imagens obtidas foram usadas para a medição dos ângulos internos formados pelas raízes, para avaliação da arquitetura radicular. A arquitetura também foi avaliada pela medição da distância entre o ponto de inserção das raízes mais superficiais e a extremidade da raiz mais profunda, na posição em que se encontrava no vaso, como forma de avaliar o aprofundamento no vaso. A parte aérea e as raízes foram secadas em estufa a 60°C até peso constante, para a determinação da matéria seca. As raízes foram coloridas com corante rosa bengala e o seu comprimento foi avaliado pelo método de Tennant (1975). Foram determinados os teores de P e K na parte aérea, conforme Tedesco et al. (1995), como índices da capacidade das raízes em absorver estes nutrientes, que apresentam menor mobilidade no solo e são transportados por difusão, sendo sua absorção mais afetada pela morfologia e distribuição das raízes (BARBER, 1984).

Os resultados foram submetidos a análise da variância ($P < 0,05$), com a comparação entre médias dos tratamentos pelo teste de Duncan ($P < 0,05$). Também foram determinados os coeficientes de correlação entre o comprimento das raízes e a absorção de nutrientes e a produção de matéria seca.



FIGURA 1 - Poliestireno granulado utilizado como suporte para as plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva.

Resultados e discussão

Morfologia e arquitetura das raízes

A variedade IRGA 417 apresentou maior comprimento das raízes do que a IRGA 419 e a Bluebelle. O híbrido Avaxi e a variedade EEA 406 apresentaram comportamento intermediário, não se diferenciando estatisticamente da IRGA 417, mas não desenvolvendo raízes mais compridas do que a IRGA 419 e a Bluebelle (Tabela 1). No trabalho de Anghinoni et al. (1989) foram obtidos resultados semelhantes, em que a variedade moderna BR-IRGA 409 e a tradicional EEA 406 apresentaram maior comprimento e área superficial das raízes do que a Bluebelle, não se diferenciando entre si, sendo que a Bluebelle foi a variedade de sistema radicular de menor dimensão, das quatro testadas.

TABELA 1 - Comprimento, ângulo interno e aprofundamento das raízes de genótipos de arroz irrigado cultivados em solução nutritiva.

Genótipos	Comprimento	Ângulo	Aprofundamento
	cm/planta	°	cm
IRGA 417	4436 a	67 b	17,1 c
Avaxi	4142 ab	90 a	12,7 e
EEA 406	4126 ab	61 c	21,4 a
IRGA 419	3173 b	58 d	16,7 d
Bluebelle	3144 b	56 e	20,4 b

Médias de genótipos seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

Obs.: Aprofundamento das raízes = distância entre o ponto de inserção das raízes mais superficiais e a extremidade da raiz mais profunda.

Todos os genótipos diferenciaram-se quanto à avaliação da arquitetura das raízes (Tabela 1 e Figura 2). O ângulo interno formado pelas raízes decresceu na seguinte ordem: Avaxi, IRGA 417, EEA 406, IRGA 419 e Bluebelle. Um maior ângulo interno indica a tendência da planta desenvolver raízes mais superficiais. Desta forma, analisando os extremos, o híbrido Avaxi apresentou a característica de desenvolver um sistema radicular mais superficial, enquanto a Bluebelle tendeu a aprofundar mais as raízes no solo. A distância da inserção das raízes até a extremidade da raiz mais profunda (aprofundamento) confirma, em termos gerais, os resultados do ângulo interno. O híbrido Avaxi desenvolveu raízes mais superficiais, enquanto a EEA 406 e a Bluebelle aprofundaram mais as raízes no vaso. Isto concorda com a observação de Yoshida et al. (1982), de que variedades de porte alto e com menor perfilhamento, como a EEA 406, tendem a desenvolver raízes mais profundas. O ângulo interno e o aprofundamento correlacionaram-se negativamente ($r = -0,696$, significativo a 1%), mostrando que o ângulo interno foi bom indicador da profundidade das raízes no vaso.

Absorção de nutrientes

A absorção de nutrientes foi avaliada pelo conteúdo de P e K presente na parte aérea das plantas (Tabela 2). Para ambos os nutrientes, o híbrido Avaxi apresentou maior conteúdo do que as outras variedades, que não se distinguiram entre si. O Avaxi apresentou o segundo maior comprimento das raízes em valores absolutos, não se diferenciando estatisticamente da IRGA 417 (Quadro 1), o que pode indicar uma relação entre comprimento das raízes e conteúdo de nutrientes na parte aérea. Isto é confirmado pela análise da correlação entre comprimento das raízes e conteúdo na parte aérea, cujos coeficientes foram $r = 0,676$ para o P e $r = 0,634$ para o K, ambos significativos a 1%. Teo e Beyrouy (1991), citados por Teo et al. (1995), também explicaram diferenças de absorção de nutrientes entre variedades de arroz irrigado pela variação do comprimento das raízes das plantas, em casa-de-vegetação. No entanto, Teo et al. (1995) não encontraram relação entre a morfologia radicular de três variedades de arroz e a absorção de N, P e K, avaliada pelo conteúdo dos nutrientes na parte aérea, em experimento de campo. Muhammad-Sabir et al. (2003) e Gill et al. (2002) observaram correlação positiva entre a matéria seca das raízes de genótipos de arroz e a absorção de K e P, em solução nutritiva.

TABELA 2 - Conteúdo de P e K na parte aérea de genótipos de arroz irrigado cultivados em solução nutritiva.

Genótipos	P	K
	----- mg/planta -----	
Avaxi	6,14 a	35,6 a
EEA 406	4,60 b	25,0 b
IRGA 417	4,50 b	25,1 b
IRGA 419	4,30 b	24,9 b
Bluebelle	4,08 b	18,9 b

Médias de genótipos seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

A avaliação da absorção de nutrientes nas condições deste trabalho é mais próxima da situação que ocorre no campo. As partículas de poliestireno, embora não interagindo com os íons presentes na solução, proporcionam um trajeto mais tortuoso para o movimento de água e íons em direção às raízes, semelhante ao que ocorre nos poros do solo. Além disto, como o arroz transporta oxigênio da parte aérea para as raízes através do aerênquima, não foi necessário utilizar aeração da solução nutritiva. A agitação da solução provocada pela aeração transporta os nutrientes até a superfície das raízes, diminuindo a importância da difusão (GERLOFF e GABELMAN, 1983). Contudo, é importante realizar a avaliação da absorção de nutrientes pelos genótipos de arroz em experimento em solo. No solo diversos fatores podem alterar a resposta dos genótipos quanto à absorção de nutrientes. Um deles é a interação dos íons com os colóides do solo (argila e matéria orgânica), que podem atuar tanto dificultando o suprimento

dos nutrientes, pela retenção dos mesmos, como sendo fonte de nutrientes e originando o poder tampão do solo, repondo os íons absorvidos à solução do solo. A possível presença de substâncias tóxicas (como Fe e H_2S) no solo anaeróbico prejudica a absorção de nutrientes e o desenvolvimento radicular. Outros fatores são a atividade de microrganismos, que participam da decomposição da matéria orgânica e de reações de oxirredução de nutrientes, e impedimentos ao crescimento radicular (por exemplo, a existência de camadas compactadas). Além disto, no cultivo em solo ocorre exsudação de compostos orgânicos pelas raízes, como resposta à resistência à penetração oferecida pelo solo (MARSCHNER, 1986). Essa exsudação estimula a atividade microbiológica, que, por sua vez, afeta a disponibilidade dos nutrientes.

Produção de matéria seca

Os genótipos diferenciaram-se quanto à produção de matéria seca da parte aérea e matéria seca total, não havendo diferenças na produção de matéria seca das raízes (Tabela 3). O híbrido Avaxi apresentou maior produção de matéria seca da parte aérea e a variedade Bluebelle menor produção, com as demais em posição intermediária. Quanto à matéria seca total, o Avaxi produziu maior quantidade, com os demais genótipos não se diferenciando estatisticamente. O Avaxi, com um sistema radicular de maior comprimento (similar ao da IRGA 417), produziu maior quantidade de matéria seca. Já a Bluebelle desenvolveu raízes de menor comprimento em valores absolutos, inferior estatisticamente ao da IRGA 417, e apresentou a menor produção de matéria seca da parte aérea, sendo também inferior ao Avaxi quanto à produção de matéria seca total. A análise da correlação confirma a existência de relação entre comprimento das raízes e matéria seca da parte aérea ($r = 0,697$, significativo a 1%) e entre comprimento das raízes e matéria seca total ($r = 0,725$, significativo a 1%). Teo et al. (1995) não observaram diferenças quanto ao comprimento das raízes de três variedades de arroz e também não encontraram diferenças na produção de matéria seca da parte aérea e total.

As variedades Avaxi e IRGA 419 apresentaram maior relação parte aérea/raiz (Tabela 3). A EEA 406 e a Bluebelle tiveram os menores valores dessa relação, mostrando a maior alocação de recursos da planta para o crescimento radicular por estas variedades. Segundo Morita e Yamazaki (1993), ocorre correlação positiva entre o desenvolvimento das raízes e da parte aérea do arroz.

TABELA 3 - Matéria seca (MS) produzida e relação parte aérea/raiz de genótipos de arroz irrigado cultivados em solução nutritiva.

Genótipos	M S parte aérea	M S raízes	M S total	Parte aérea/raiz
	----- g/planta -----			
Avaxi	0,95 a	0,22 a	1,16 a	4,44 a
IRGA 417	0,73 b	0,19 a	0,92 b	3,84 ab
EEA 406	0,67 b	0,20 a	0,87 b	3,41 b
IRGA 419	0,67 b	0,16 a	0,83 b	4,23 a
Bluebelle	0,49 c	0,21 a	0,70 b	2,49 c

Médias de genótipos seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

Pelos resultados obtidos, pode-se especular que a obtenção de genótipos de arroz com sistema radicular mais desenvolvido resulte em aumento da absorção de nutrientes e do rendimento da cultura, o que melhoraria o desempenho econômico e ambiental do arroz. No entanto, estes resultados necessitam de confirmação em trabalho de campo, onde diversos fatores não presentes na solução nutritiva podem alterar o comportamento dos genótipos de arroz.

Conclusões

1. Os genótipos de arroz irrigado diferenciam-se quanto à morfologia e à arquitetura das raízes. Em termos gerais, os genótipos modernos (Avaxi, IRGA 417 e IRGA 419) apresentam arquitetura das raízes mais superficial e os antigos (EEA 406 e Bluebelle) arquitetura mais profunda. Quanto à morfologia das raízes, não foi observada relação do comprimento das raízes com o tipo de cultivar.

2. O trabalho indica a existência de relação da morfologia das raízes com a absorção de nutrientes e a produção de matéria seca pelos genótipos de arroz irrigado. Os resultados indicam que plantas com sistema radicular de maior comprimento podem absorver maior quantidade de nutrientes e produzir maior quantidade de matéria seca.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela estrutura disponibilizada para a realização do trabalho. Também agradecem ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) e à empresa RiceTec Ltda., pelo fornecimento das sementes dos genótipos de arroz.

Referências

- ANGHINONI, I.; VOLKART, C. R.; FATTORE, N.; ERNANI, P. R. Morfologia de Raízes e Cinética de Absorção de Nutrientes em Diversas Espécies e Genótipos de Plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 3, p. 355-361, 1989.
- BARBER, S. A. **Soil Nutrient Bioavailability**. New York: John Wiley and Sons, 1984. 398 p.
- COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A Uniform, Objective, and Adaptive System for Expressing Rice Development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.
- GERLOFF, G. C.; GABELMAN, W. H. Genetic Basis of Inorganic Plant Nutrition. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R.L. (Eds.). **Inorganic Plant Nutrition**. New York: Springer-Verlag, 1983. p. 453-480.
- GILL, M. A.; SAJJAD-MANSOOR; TARIQ-AZIZ; RAHMATULLAH; AKHTAR, M.S. Differential Growth Response and Phosphorus Utilization Efficiency of Rice Genotypes. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, Faisalabad, v. 39, n. 2, p. 83-87, 2002.
- INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. Informações Institucionais, Técnicas, Notícias, Projetos, Publicações e Serviços. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br>>. Acesso em: 1 jun. 2004.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 1986. 674 p.
- MORITA, S.; YAMAZAKI, K. Root System. In: MATSUO, T.; HOSHIKAWA, K. (Eds.). **Science of the Rice Plant**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1993. v.1. Morphology, p. 161-186.
- MUHAMMAD-SABIR; GILL, M. A.; RAHMATULLAH; TARIQ-AZIZ; MAQSOOD, M. A. Differences Among Rice Cultivars in Potassium Uptake and its Utilization. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, Faisalabad, v. 40, n. 3/4, p. 119-121, 2003.
- SAMEJIMA, H.; KONDO, M.; ITO, O.; NOZOE, T.; SHINANO, T.; OSAKI, M. Characterization of Root Systems with Respect to Morphological Traits and Nitrogen-absorbing Ability in the new Plant Type of Tropical Rice Lines. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 28, n. 5, p. 835-850, 2005.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de Solo, Planta e outros Materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. Boletim técnico, 5.
- TENNANT, D. A Test of a Modified Line Intersect Method of Estimating Root Length. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 63, p. 995-1000, 1975.
- TEO, Y. H.; BEYROUTY, C. A.; GBUR, E. E. Nitrogen, Phosphorus and Potassium Influx Kinetic Parameters of three Rice Cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 15, n. 4, p. 435-444, 1992.
- _____; _____. NORMAN, R. J.; GBUR, E. E. Nutrient Uptake Relationship to Root Characteristics of Rice. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 171, n. 2, p. 297-302, 1995.
- VAHL, L. C.; ANGHINONI, I.; VOLKWEISS, S. J. Cinética de Absorção de Potássio Afetada por Ferro, Cálcio e Magnésio em Genótipos de Arroz de Diferentes Sensibilidades à Toxicidade de Ferro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 269-273, 1993.
- YOSHIDA, Y.; BHATTARHACHARJEE, D. P.; CABUSLAY, G. S. Relationship between Plant Type and Root Growth in Rice. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 28, n. 4, p. 473-482, 1982.