

Relações entre caracteres de cenoura para sistemas de cultivo orgânico e convencional.

Giovani O da Silva¹; Jairo V Vieira¹; Aginaldo D F de Carvalho¹

¹Embrapa Hortaliças, Rodovia Brasília/Anápolis, Br 060, Km 09, Caixa Postal 218, CEP: 70359-970, Gama, DF, Brasil, olegario@cnpb.embrapa.br; jairo@cnpb.embrapa.br; aginaldo@cnpb.embrapa.br

RESUMO

O objetivo do trabalho foi verificar a estabilidade das relações entre caracteres fenotípicos a partir de populações de cenoura cultivadas em sistemas de produção orgânico e convencional, buscando verificar se o comportamento dos caracteres é semelhante nos dois sistemas. Os experimentos foram conduzidos na Embrapa Hortaliças, DF. Duas populações de cenoura em fase de melhoramento e quatro cultivares comerciais, foram semeadas em 2008 a campo nos dois sistemas de produção, com delineamento de blocos casualizados com quatro repetições e parcelas de 1m². Aos 90 dias após o semeio, vinte raízes por parcela foram colhidas e avaliadas para caracteres fenotípicos. Foi realizada análise de variância com determinação da interação entre tratamentos e sistemas de produção, correlações fenotípicas e análise de trilha. Maior massa de raiz é determinada principalmente por seu maior comprimento. A cor a* do xilema é correlacionada negativamente com caracteres de diâmetro. Dada a similaridade observada nos materiais de ambos os sistemas de cultivo, a seleção pode ser realizada em qualquer sistema.

Palavras-chave: *Daucus carota* L., melhoramento, correlação, análise de trilha.

ABSTRACT

Relation between carrot characters in organic and conventional cultivation systems

The aim of this work was to verify the stability of the relations between phenotypic characters from carrot populations cultivated in organic and conventional production systems and to verify the similarity of the characters in both systems. The experiments were conducted at Embrapa Vegetables, DF. Two breeding lines and four commercial cultivars were sowed in 2008 in both production systems, with a randomized block design with four replications and plots of 1m². Ninety days after planting, twenty roots per plot were harvested and evaluated for phenotypic characters. The analysis of variance was performed to determine the interaction between treatments and production systems, phenotypic correlations and path analysis. Larger root mass is determined mainly by larger root length. The color a* of xylem is negatively correlated with diameter characters. The selection doesn't need to be accomplished in both organic and conventional cultivation due to the similarity observed in both production systems.

Keywords: *Daucus carota* L., breeding, correlation, path analysis.

A existência de associações entre caracteres determina que quando a seleção é praticada em determinado caráter, pode ocasionar alterações em outros, cujo sentido pode ou não ser de interesse para o melhoramento. Desta forma, o conhecimento das relações

entre caracteres é muito importante, podendo-se construir uma estratégia de seleção visando um caráter de interesse, baseando-se em outros com alta correlação genética, maiores herdabilidades e de mais fácil medição ou identificação (Cruz & Regazzi, 2001, Silva *et al.*, 2006). A utilização da análise de trilha permite desdobrar os coeficientes de correlação simples em seus efeitos diretos e indiretos, melhorando o entendimento das relações de causa e efeito entre as variáveis estudadas (Carvalho *et al.*, 2004).

Michalik *et al.* (1985) mostraram a associação entre a pigmentação mais intensa das raízes, especialmente de sua parte interna, com maior conteúdo de caroteno. Da mesma forma, estudos recentes realizados por Pereira (2002), concluíram que o uso de medidas de cor do sistema Hunter e do sistema CIELAB podem perfeitamente substituir os métodos laboratoriais “espectrofotométricos e cromatográficos” que são utilizados para determinação de carotenóides em cenoura.

Atualmente, é crescente junto aos consumidores um aumento da demanda por melhor qualidade das raízes de cenoura associado à utilização de cultivares com boa sustentabilidade de cultivo, em especial pelo interesse em produtos com baixo nível de resíduos de agrotóxicos e produção menos agressiva ao meio ambiente, por isso, a agricultura agroecológica e suas derivações tem tido um crescimento acelerado em todo o mundo (Ormond *et al.*, 2002).

Segundo Lammerts Van Bueren *et al.* (1999) as principais diferenças que devem ser observadas no processo de melhoramento para sistemas de cultivo orgânico e convencional, estão relacionadas à forma de manejo do solo, manejo de doenças (com agentes químicos) e também às práticas de rotação de culturas, e se esses fatores não forem considerados durante o processo de melhoramento em sistemas convencionais visando uma possível utilização das cultivares resultantes em sistemas orgânicos, podem proporcionar diferenças no fenótipo (desempenho) dessas cultivares, uma vez que estas cultivares serão desenvolvidas utilizando-se de práticas divergentes, o que dificulta a manifestação de todo potencial genético destas sob condições de cultivo orgânico. Segundo Wolfe (2003), entre as características que apresentam desempenho inferior, quando cultivares desenvolvidas para sistema de cultivo convencional são utilizadas no sistema orgânico, estão aquelas relacionadas à nutrição da planta.

No Brasil, o melhoramento genético visando o desenvolvimento de cultivares de cenoura adaptados para cultivo em sistemas agroecológicos é incipiente. A grande maioria dos trabalhos de pesquisa até agora realizados estão direcionados para a validação de cultivares desenvolvidas primariamente para sistemas convencionais, em condições de cultivo orgânico (Saminez *et al.*, 2002; Resende *et al.*, 2005).

O objetivo do trabalho foi verificar a estabilidade das relações entre caracteres fenotípicos a partir de populações de cenoura cultivadas em sistema orgânico e convencional de produção, buscando verificar se o comportamento dos caracteres é semelhante nos dois sistemas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos no campo experimental da Embrapa Hortaliças no Distrito Federal em sistema convencional (utilizado no programa de melhoramento de cenoura) e em sistema orgânico de produção (implantado na Embrapa Hortaliças desde 2001). Seis

populações de cenoura, duas em fase de melhoramento (derivadas da cultivar Brasília) e quatro cultivares comerciais: Brasília, Alvorada, Esplanada e Carandaí, foram cultivadas no verão de 2008 a campo nos dois sistemas de produção, com delineamento de blocos casualizados com quatro repetições e parcelas de 1m^2 . O desbaste foi realizado 30 dias após semeio, de modo que os espaçamentos entre plantas foi de 2cm e entre linhas de 20cm.

Aos 90 dias após semeio, foram colhidas 20 raízes por parcela e avaliadas individualmente para os caracteres comprimento de raiz (cm); diâmetro da raiz, do xilema da raiz e do floema da raiz (cm) avaliados no terço superior do comprimento da mesma; comprimento da extensão do ombro verde da raiz (cm); massa da raiz (g); presença de halo (critério de notas: 1- ausência, 2 – presença); formato de ponta da raiz (critério de notas: 1- arredondada, 2- levemente afilada, 3- afilada); formato de ombro da raiz (critério de notas: 1- cônico, 2- arredondado, 3- plano, 4- côncavo); e por leitura colorimétrica direta, determinou-se a cor a^* para os tecidos xilema e floema de cada raiz, utilizando-se o analisador de cor de tristimulus compacto Minolta CR-200b (Minolta Corporation Instrument System Division). Segundo Pereira (2002) com a utilização da medição a^* pode-se determinar o teor de β -caroteno das raízes de cenoura com segurança.

Os dados foram submetidos à análise homogeneidade de variância (teste de Bartlett) e de normalidade (Lilliefors). Foi realizada análise de variância para cada sistema e conjunta com informação entre e dentro de população, determinação da significância de interação entre os sistemas de produção para os diferentes caracteres (Cruz & Regazzi, 2001). Foram verificadas as correlações entre os caracteres e após diagnóstico de multicolinearidade foi realizado análise de trilha, de modo a identificar a magnitude dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres influenciando na massa de raízes.

Todas as operações estatísticas foram realizadas utilizando-se o aplicativo computacional Genes (Cruz, 1997).

As magnitudes dos coeficientes de correlação foram classificadas conforme Carvalho *et al.* (2004): $r = 0$ (nula); $0 < |r| \leq 0,30$ (fraca); $0,30 < |r| \leq 0,60$ (média); $0,60 < |r| \leq 0,90$ (forte); $0,90 < |r| \leq 1$ (fortíssima) e $|r| = 1$ (perfeita).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os caracteres formato de ponta (FPO) e de ombro (FOM), comprimento da extensão do ombro verde (COV) e presença de halo (PHA), não apresentaram normalidade de distribuição, que é uma das pressuposições da análise de variância, mesmo com transformação dos dados, porém foram mantidos na análise apenas para se verificar se a seleção através de outros caracteres proporcionaria ganhos indiretos nestes caracteres.

Pela análise de variância conjunta para os caracteres que apresentaram normalidade de distribuição (dados não mostrados), pôde-se verificar que todos os caracteres foram significativos na diferenciação das populações, indicando que o desempenho de pelo menos uma das populações foi diferente das demais para cada caráter. Os caracteres a^* do xilema, e os diâmetros de raiz, de xilema e de floema, apresentaram interação com os sistemas de cultivo, de forma que as populações apresentaram comportamento diferenciado nos sistemas orgânico e convencional de cultivo. No entanto para os caracteres massa, comprimento de

raiz, a^* do floema, não seria necessária a implantação de experimentos nos dois sistemas de produção estudados. Indicando que para estes caracteres, o desempenho das populações foi semelhante nos dois sistemas de cultivo, e que o melhoramento poderia ser feito apenas no sistema convencional com validação das melhores populações em sistema orgânico. Além disso, a não significância da interação possibilita ganhos maiores durante o processo de melhoramento e o desenvolvimento de cultivares com ampla estabilidade (Cruz & Regazzi, 2001).

Em trabalho desenvolvido com uma população basicamente com a mesma derivação (Brasília), realizado por Vilela (2008), utilizando-se de cultivo com diretrizes de Agricultura Natural e Agricultura Orgânica, no Distrito Federal, e avaliando com base na média de parcelas os caracteres COM, DRA, MAS, DXR, DRA relação entre DXR/DRA, FPO, FOM, A^*X e A^*F . Apesar de os caracteres COM, A^*X , A^*F , FPO e FOM terem apresentado interação significativa entre os dois sistemas de produção estudados, concluiu-se que, como os caracteres DRA, MAS, DXR e DXR/DRA que são muito importantes por serem relacionados com o rendimento de raiz, não apresentaram interação significativa entre os dois sistemas de produção agroecológicos, o melhoramento poderia ser efetuado em apenas um local. Estes resultados discordam das afirmações de Lammerts Van Bueren (1999) preconiza que “o melhoramento genético para cultivo orgânico deve ser feito para cada local ou região, em função de sistemas de produção muito diversos”, sem considerar os aspectos de interação entre ambiente e/ou sistemas.

Além da verificação do comportamento das populações frente os diferentes ambientes, neste estudo foi também pesquisada a estabilidade do comportamento da relação dos caracteres em relação aos demais à que estes são correlacionados.

Na diagonal inferior da Tabela 1 estão discriminadas as correlações para o sistema orgânico, e na diagonal superior para o sistema convencional. Observa-se que a quase totalidade das correlações medianas acima de 0,30, foram repetidas nos dois sistemas, indicando que os sistemas foram muito semelhantes também na expressão da relação entre os caracteres.

Correlações positivas e medianas com o caráter massa de raiz, foram verificadas para os caracteres, comprimento de raiz e para os diâmetros de raiz, de xilema e de floema. Indicando que com a seleção nestes caracteres correlacionados, ganhos poderiam ser obtidos em raízes com maior massa. A indicação de que maior diâmetro de raiz determina maior rendimento, concorda com Natarajam & Arumagan (1980) e com McCollum (1971) que encontrou valor de 0,87, e com Alves *et al.* (2006) que citaram valor de 0,54.

O diâmetro total de raízes correlacionou-se medianamente com os diâmetros de xilema e de floema, porém o diâmetro de xilema mostrou maior influência no diâmetro total. Isto indica que quanto maior o diâmetro principalmente do xilema, maior o diâmetro da raiz. Correlações entre rendimento com diâmetro de xilema (0,51) e correlação entre diâmetro de xilema e floema (0,35), foram verificadas também por (Alves *et al.*, 2006).

A cor a^* do xilema além de correlacionar-se positivamente com a^* do floema, correlacionou-se medianamente e negativamente com os diâmetros de raiz e de xilema, e ainda com frequência de halo. Indicando que raízes mais grossas e com mais halo branco (câmbio) são mais claras, e, portanto com menor concentração de β -caroteno. Além disso, correlações negativas e mais fracas, porém próximas de 0,30 foram verificadas também

entre a^* do xilema com massa de raiz. Isto pode ter ocorrido devido aos carotenóides serem produzidos até certa fase de desenvolvimento das raízes, enquanto a matéria seca continua sendo acumulada, no período em que as folhas produzem fotossíntese, e a acumulação de massa e volume total serem maiores nas raízes mais grossas, de forma que os carotenóides estariam diluídos por toda a raiz (Pereira, 2002). Estes resultados indicam que na seleção para maior teor de carotenóides não pode ser efetuada em separado dos caracteres de diâmetro de raiz, que são importantes componentes do rendimento.

A relação entre os caracteres com massa de raiz é mais bem entendida com a utilização de análise de trilha (Tabela 2). Pelos ganhos diretos, comprimento de raiz foi confirmado como o caráter de maior influência em massa de raiz. Ambos os diâmetros de raiz, de xilema e de floema, também, apesar de que com magnitude inferior da correlação fenotípica, mantiveram efeito direto em massa de raiz. No entanto, a^* de xilema não manteve a correlação com massa; e pelos efeitos indiretos e negativos dos caracteres de diâmetro, verifica-se que a^* de xilema não é correlacionado diretamente com massa, e sim apenas indiretamente, através dos caracteres de diâmetro. Isso ressalta a importância da análise de trilha na verificação da relação entre caracteres, de forma a indicar estratégias de seleção para caracteres que são associados.

Desta forma, há a indicação de que o melhoramento não precisa ser realizado em ambas as áreas de cultivo orgânico e convencional. Esta informação é muito importante, dada à pequena porcentagem da área de cenoura que é produzida em sistemas agroecológicos, e à dificuldade de seleção para queima-das-folhas em cultivo orgânico devido à pequena pressão de inóculo e a impossibilidade de inoculação de patógenos nessas áreas para seleção. Possibilitando diminuição de recursos financeiros e de mão-de-obra empregados no melhoramento.

REFERÊNCIAS

ALVES JC DA S; PEIXOTO JR; VIEIRA J; BOITEUX LS. 2006. Herdabilidade e correlações genotípicas entre caracteres de folhagem e sistema radicular em famílias de cenoura, cultivar Brasília. *Horticultura Brasileira* 24: 363-366.

CARVALHO FIF DE; LORENCETTI C; BENIN G. 2004. *Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal*. Ed. Universitária da UFPel, Pelotas. 142p.

CRUZ CD. 1997. *Programa Genes: aplicativo computacional em genética e estatística*. Editora UFV, Viçosa. 442p.

CRUZ CD; REGAZZI AJ. 2001. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Editora UFV, Viçosa. 390p.

LAMMERTS VAN BUEREN ET; HULSCHER M; HARING M; JONGERDEN J; VAN MANSVELT JD; DEN NIJS APM; RUIVENKAMP GTP. 1999. *Sustainable organic plant breeding. Final report: a vision, choices, consequences and steps*. Louis Bolk Institut, Driebergen. 60p.

MCCOLLUM GD. 1971. Greening of carrot roots (*Daucus carota* L.): Estimates of heritability and correlation. *Euphytica* 20: 549-560.

MICHALIK B; ZABAGALO A; ZUKOWSKA E. 1985. Investigation of the interdependence of root color and carotene content in carrot variety Selecta. *Plant Breeding Abstract* 55: 316.

MINOLTA. 1994. *Precise color communication: color control from feeling to instrumentation*. Japão. 49p.

NATARAJAM S; ARUMAGAN R. 1980. Association analysis of yield and its components in carrot (*Daucus carota* L.). *Madras Agriculture Journal* 9: 594-597.

ORMOND JGP; PAULA SRL de; FILHO PF; ROCHA LTM da. 2002. *Agricultura orgânica: quando o passado é futuro*. BNDES Setorial 15: 3-34.

PEREIRA AS. 2002. *Teores de carotenóides totais em cenoura (Daucus carota L.) e sua relação com a coloração das raízes*. Tese de Doutorado. Universidade federal de Viçosa, Viçosa, 128p.

RESENDE FV; VIEIRA JV; VIDAL MC. 2005. Avaliação de populações de cenoura do programa de melhoramento da Embrapa Hortaliças em sistema orgânico de produção. In: 45° Congresso Brasileiro de Olericultura, Brasília. Anais, *Horticultura Brasileira*. CD-ROM.

SAMINEZ TCO; RESENDE FV; VIEIRA JV; COUTO JR; PAULA WS; LIMA D de B. 2002. Desempenho de cultivares e populações de cenoura em cultivo orgânico no verão do Distrito Federal. In: 42° Congresso Brasileiro de Olericultura, Brasília. Anais, *Horticultura Brasileira*. CD-ROM.

SILVA GO da; SOUZA VQ de; PEREIRA A da S; CARVALHO FIF de; FRITSCHÉ RN. 2006. Early generation selection for tuber appearance affects potato yield components. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 6: 73-78.

SOUZA JL de. 2006. *Manual de horticultura orgânica*. 2.ed. atualizado e ampliado. Aprenda fácil, Viçosa. 843p.

VILELA MS. 2008. *Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres de cenoura em sistemas de cultivo agroecológico*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Brasília, Brasília, 68p.

WOLFE MS. 2003. Plant breeding, ecology and modern organic agriculture. In: Proceedings of ECO-PB 1st International symposium on organic seed production and plant breeding, Berlin. Anais, European Consortium of Organic Plant Breeding (ECO-PB). p. 21-22.

Guarapari - ES

Tabela 1. Correlações fenotípicas entre caracteres avaliados em seis populações, duas em fase de melhoramento e quatro cultivares comerciais (Brasília, Alvorada, Esplanada e Carandaí) fontes de variabilidade para utilização no desenvolvimento de novas cultivares, avaliadas em sistemas de produção convencional¹ e orgânico² de produção no Distrito Federal. (Phenotypic correlations between traits evaluated in six populations, two in breeding phase and four commercial cultivars (Brasilia, Alvorada, Esplanada and Carandaí) sources of variability for use in the development of new cultivars, evaluated in conventional¹ and organic² production systems in the Federal District). Embrapa, Brasília, 2008.

	FPO ¹	FOM	MAS	COM	COV	PHA	DRA	DXR	DFR	A*X	A*F
FPO ²		0,09	-0,13	0,21	-0,12	-0,07	-0,20	-0,11	-0,23	0,26	0,17
FOM	0,05		-0,31	-0,18	0,04	0,00	-0,30	-0,22	-0,25	-0,01	-0,05
MAS	-0,12*	-0,23		0,51	0,00	0,09	0,65	0,59	0,38	-0,24	0,05
COM	0,18	-0,15	0,63		-0,04	-0,19	0,28	0,27	0,13	0,12	0,22
COV	-0,11	0,12	0,06	0,08		-0,02	0,07	0,08	0,01	-0,15	-0,04
PHA	-0,14	-0,02	0,22	-0,09	0,08		0,27	0,37	-0,04	-0,54	-0,05
DRA	-0,22	-0,15	0,78	0,27	0,07	0,32		0,86	0,65	-0,35	0,24
DXR	-0,19	-0,13	0,72	0,28	0,09	0,38	0,87		0,18	-0,52	0,22
DFR	-0,16	-0,11	0,46	0,11	0,01	0,05	0,67	0,22		0,09	0,13
A*X	0,21	-0,07	-0,29	0,09	-0,16	-0,54	-0,42	-0,53	-0,03		0,35
A*F	0,08	-0,14	0,21	0,18	-0,10	0,00	0,18	0,14	0,14	0,29	

FPO: formato da ponta; FOM: formato do ombro; MAS: massa; COM: comprimento; COV: comprimento do ombro verde; PHA: presença de halo branco; DRA: diâmetro da raiz; DXR: diâmetro do xilema; DFR: diâmetro do floema; A*X: cor A* do xilema; A*F: cor A* do floema. *correlações acima de 0,10 foram significativas a 5% de probabilidade pelo teste T (FPO: tip format; FOM: shoulder format; MAS: mass; COM: length; COV: green shoulder; PHA: presence of white halo; DRA: root diameter; DXR: xylem diameter; DFR: phloem diameter; A*X: xylem A* parameter; A*F: phloem A* parameter. *correlations above 0.10 were significant at 5% of probability by T test).



Tabela 2. Análise de trilha para massa de raiz com caracteres avaliados em seis populações, duas em fase de melhoramento e quatro cultivares comerciais (Brasília, Alvorada, Esplanada e Carandaí) fontes de variabilidade para utilização no desenvolvimento de novas cultivares, avaliadas em sistemas de produção convencional e orgânico de produção no Distrito Federal, demonstrando os efeitos diretos¹ dos caracteres da coluna² e os efeitos indiretos dos caracteres da linha³ em massa de raiz. (Path analysis to root mass with traits evaluated in six populations, two in breeding phase and four commercial cultivars (Brasília, Alvorada, Esplanada and Carandaí) sources of variability for use in the development of new cultivars, evaluated in conventional¹ and organic² production systems in the Federal District, showing the direct effects¹ of the characters on the column² and the indirect effects of the characters on the line³ in root mass). Embrapa, Brasília, 2008.

	Convencional									
	FPO ²	FOM	COM	COV	PHA	DRA	DXR	DFR	A*X	A*F
FPO ³		-0,01	-0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	-0,02	-0,01
FOM	-0,01		0,02	0,00	0,00	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00
COM	0,08	-0,07		-0,02	-0,07	0,10	0,10	0,05	0,05	0,08
COV	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
PHA	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	-0,01	0,00	0,01	0,00
DRA	-0,05	-0,07	0,07	0,02	0,06		0,21	0,16	-0,08	0,06
DXR	-0,03	-0,05	0,07	0,02	0,09	0,20		0,04	-0,12	0,05
DFR	-0,02	-0,03	0,01	0,00	0,00	0,07	0,02		0,01	0,01
A*X	-0,01	0,00	-0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00		-0,01
A*F	-0,02	0,01	-0,03	0,01	0,01	-0,03	-0,03	-0,02	-0,04	
ED*	-0,08 ¹	-0,09	0,38	-0,03	-0,02	0,24	0,24	0,11	-0,04	-0,13
	Orgânico									
	FPO	FOM	COM	COV	PHA	DRA	DXR	DFR	A*X	A*F
FPO		0,00	-0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-0,01	0,00
FOM	0,00		0,01	-0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
COM	0,08	-0,07		0,04	-0,04	0,12	0,13	0,05	0,04	0,08
COV	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PHA	0,00	0,00	0,00	0,00		0,01	0,01	0,00	-0,02	0,00
DRA	-0,06	-0,04	0,07	0,02	0,08		0,23	0,18	-0,11	0,05
DXR	-0,05	-0,03	0,07	0,02	0,10	0,22		0,06	-0,13	0,04
DFR	-0,02	-0,01	0,02	0,00	0,01	0,09	0,03		0,00	0,02
A*X	-0,01	0,00	-0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,00		-0,02
A*F	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	
ED	-0,06	-0,06	0,46	-0,03	0,03	0,26	0,25	0,14	-0,06	0,03

FPO: formato da ponta; FOM: formato do ombro; COM: comprimento; COV: comprimento do ombro verde; PHA: presença de halo branco; DRA: diâmetro da raiz; DXR: diâmetro do xilema; DFR: diâmetro do floema; A*X: cor A* do xilema; A*F: cor A* do floema. *ED: efeito direto. (FPO: tip format; FOM: shoulder format; COM: length; COV: green shoulder; PHA: presence of white halo; DRA: root diameter; DXR: xylem diameter; DFR: phloem diameter; A*X: xylem A* parameter; A*F: phloem A* parameter. *ED: direct effect).