

Interações entre Plantas e Microrganismos

nódulos



Nódulos formados por Rizóbio

República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Luis Carlos Guedes Pinto
Presidente

Silvio Crestana
Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Ernesto Paterniani

Hélio Tollini

Marcelo Barbosa Saintive

Membros

Diretoria Executiva

Silvio Crestana
Diretor Presidente

Tatiana Deane de Abreu Sá

José Geraldo Eugênio de França

Kepler Euclides Filho

Diretores Executivos

Embrapa Agrobiologia

José Ivo Baldani
Chefe Geral

Eduardo Francia Carneiro Campello
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Rosângela Stralio
Chefe Adjunto Administrativo

VAN PEER, R.; NIEMANN, O. J.; SCHIPPERS, B. Induced resistance and phytoalexin accumulation in biological control of fusarium wilt of carrot by *Pseudomonas* sp. strain WCS417r. **Phytopathology**, St. Paul, v. 81, p. 728-734, 1999b.

VAN WEES, S. C. M.; SWART, DE E. A. M.; VAN PELT, J. A.; VAN LOON, L. C.; PIETERSE, C. M. J. Enhancement of induced disease resistance by simultaneous aditivation of salicylate- and jasmonate dependent defense pathways in *Arabidopsis thaliana*. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 97, p. 8711-8716, 2000.

VANDE BROEK, LAMBRECHT, M.; EGGERMONT, K.; VANDELEYDEN, J. Auxins upregulated expression on the indole-3-pyruvate decarboxylase gene in *Azospirillum brasilense*. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 181, p.1338-1342, 1999.

VOJNOV, A. A.; SLATER, H.; NEWMAN, M. A.; DANIELS, M. J.; DOW, J. M. Regulation of the synthesis of cyclic glucan in *Xanthomonas campestris* by a diffusible signal molecule. **Archives in Microbiology**, London, v. 176, p. 415–420, 2001.

WALKER, T. S.; BAIS, H. P.; GROTEWOLD, E.; VIVANCO, J. M.. Root exudation and rhizosphere biology. **Plant Physiology**, Rockville, v. 132, p. 44–51, 2003.

WANG, L. H.; HE, Y. W.; GAO, Y. F.; WU, J. E.; DONG, Y. H.; HE, C. Z.; WANG, S. X.; WENG, L. X.; XU, J. L.; TAY, L.; FANG, R. X.; ZHAN, G. L. H. A bacterial cell-cell communication signal with cross-kingdom structural analogues. **Molecular Microbiology**, Oxford, v. 51, p. 903–912, 2004.

WHITEHEAD, N. A.; BYERS, J. T.; COMMANDER, P.; CORBETT, M. J.; COULTHURST, S. J.; EVERSON, L.; HARRIS, A. K.; PEMBERTON, C. L.; SIMPSON, N. J.; SLATER, H.; SMITH, D. S.; WELCH, M.; WILLIAMSON, N.; SALMOND, G. P. The regulation of virulence in phytopathogenic *Erwinia* species: quorum sensing, antibiotics and ecological considerations. **Antonie van Leeuwenhoek**; International Journal of General and Molecular Microbiology, Dordrecht, v. 81, p. 223–231, 2002.



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 1517-8498

Maio/2005

Documentos 194

Interações entre Plantas e Microrganismos

Verônica Massena Reis

Seropédica – RJ
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridas na:

Embrapa Agrobiologia

BR465 – km 7

Caixa Postal 74505

23851-970 – Seropédica/RJ, Brasil

Telefone: (0xx21) 2682-1500

Fax: (0xx21) 2682-1230

Home page: www.cnpab.embrapa.br

e-mail: sac@cnpab.embrapa.br

Comitê Local de Publicações: Eduardo F. C. Campello (Presidente)
José Guilherme Marinho Guerra
Maria Cristina Prata Neves
Verônica Massena Reis
Robert Michael Boddey
Maria Elizabeth Fernandes Correia
Dorimar dos Santos Felix (Bibliotecária)

Expediente:

Revisores e/ou ad hoc: Francisco Adriano de Souza e Gustavo R. Xavier

Normalização Bibliográfica: Dorimar dos Santos Felix

Edição eletrônica: Marta Maria Gonçalves Bahia

1ª impressão (2005): 50 exemplares

R375i Reis, Verônica Massena.

Interações entre plantas e microrganismos. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 24 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 194).

ISSN 1517-8498

1. Microrganismo. 2. Planta. I. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Seropédica, RJ). II. Título. III. Série.

CDD 579

© Embrapa 2005

STANGHELLINI, M. E.; MILLER, R. M. Biosurfactants: Their identity and potential efficacy in the biological control of zoosporic plant pathogens. **Plant Disease**, St. Paul, v. 81, p. 4-12, 1997,

TEPLISKI, M.; ROBINSON, J. B.; BAUER, W. D. Plants secrete substances that mimic bacterial N-acyl homoserine lactone signal activities and affect population density dependent behaviors in associated bacteria. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, St. Paul, v. 13, p. 637-648, 2000.

THOMAS, L. S.; WELLER, D. M. Role of phenazine antibiotic from *Pseudomonas fluorescens* in biological control of *Gaeumannomyces graminis* var. tritice. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 170, p. 3499-3508, 1988.

THRANE, C.; NIELSEN, T. H.; NIELSEN, M. N.; TRENSSEN, J.; OLSSON, S. Viscosinamide-producing *Pseudomonas fluorescens* DR 54 exerts a biocontrol effect on *Pythium ultimum* in sugar beet rhizosphere. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdam, v. 33, p. 139-146, 2000.

TUKEY, H. B. Leaching of substances from plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 21, p. 305-324, 1970.

VAN BASTELAERE, E.; LAMBRECHT, M.; VERMEIREN, H.; VAN DOMMELEN, A.; KEIJERS, V.; PROOST, P.; VANDERLEYDEN, J. Characterization of a sugar binding protein from *Azospirillum brasilense* mediating chemotaxis to and uptake of sugars. **Molecular Microbiology**, Oxford, v. 32, p. 703-714, 1999.

VAN LOON, L. C.; BAKKER, P. A. H. M.; PIETERSE, C. M. J. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 36, p. 453-483, 1998.

VAN PEER, A.; LAMBRECHT, M.; EGGERMONT, K.; VANDERLEYDEN, J. Auxins unregulated expression of the indole-3-pyruvate decarboxylase gene in *Azospirillum brasilense*. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 181, p. 1338-1342, 1999a.

SCHNEIDER-KEEL, U.; SEEMATLET, A.; MAURHOFET, M.; BLUMER, C.; DUFFY, B.; GIGOT-BONNEFOY, C.; REIMMANN, C.; NOTZ, R.; DÉFAGO, O.; HAAS, D.; KEEL, C. Autoinduction of 2,4-diacetylphloroglucine biosynthesis in the biocontrol agent *Pseudomonas fluorescens* CHAO and repression by the bacterial metabolites salicylate and pyrroluteolin. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 182, p. 1215-1225, 2000.

SIMON, H. M.; SMILH, K. P.; DODSWORTH, I. A.; GUENLHNET, B.; HANDELSMAN, J.; GOODMAN, R. M. Influence of tomato genotype on growth of inoculated and indigenous bacteria in the spermosphere. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 67, p. 514-520, 2001.

SIRVAN, A.; CHET, I. The possible role of competition between *Trichoderma harzianum* and *Fusarium oxysporum* on rhizosphere colonization. **Phytopathology**, St. Paul, v. 79, p. 198-203, 1989.

SMITH, L. M.; TOLA, E.; DE BOER, P.; O'GARA, F. Signalling by the fungus *Pythium ultimum* represses expression of two ribosomal RNA operons with key roles in the rhizosphere ecology of *Pseudomonas fluorescens* FI 13. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 6, p. 495-502, 1999.

SMITH, S. E.; GIANNINAZZI-PEARSON, V. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. **Annual Review in Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 39, p. 221-244, 1988.

SPAINK, H. P.; KONDOROSI, A.; HOOYKAAS, P. J. J. (Ed.). **The Rhizobiaceae: molecular biology of model plant-associate bacteria**. Dordrecht: Kluwer, 1998.

STANFIELD, S. W.; IELPI, L.; O'BROCHTA, D.; HELINSKI, D. R.; DITTA, G. S. The *ndvA* gene product of *Rhizobium meliloti* is required for beta-(1-2)glucan production and has homology to the ATP-binding export protein HlyB. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 170, p. 3523-3530, 1988.

Autor

Verônica Massena Reis

Eng. Agrônomo, PhD em Ciência do Solo, Pesquisador da Embrapa Agrobiologia.

BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505, Cep 23851-970, Seropédica/RJ

e-mail: veronica@cnpab.embrapa.br

PARKE, D.; ORNSTON, L. N.; NESTER, E. W. Chemotaxis to plant phenolic inducers of virulence genes is constitutively expressed in the absence of the Ti-plasmid in *Agrobacterium tumefaciens*. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 169, p. 5336–5338, 1987.

PESCI, E. C.; MILBANLC, M. I.; PEARSON, J. P.; MEKNIGHT, S.; KENDE, A. S.; GREENBERG, E. P.; IGLEWSKI, B. H. Quinolone signaling in the cell-to-cell communication system of *Pseudomonas aeruginosa*. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 96, p. 11229-11234, 1999.

PIERSON, L. S.; GALJNEY, T.; LAM, S.; GONG, F. Molecular analysis of genes encoding phenazine biosynthesis in the biological control bacterium *Pseudomonas aureofaciens*. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v. 134, p. 299-307, 1995.

POPLAWSKY, A. R.; CHUN, W.; SLATER, H.; DANIELS, M. J.; DOW, M. Synthesis of extracellular polysaccharide, extracellular enzymes and xanthomonadin in *Xanthomonas campestris*: Evidence for the involvement of two intercellular regulatory signals. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, St. Paul, v. 11, p. 68-70, 1998.

ROBERTSON, J. L.; HOLLIDAY, T.; MATTHYSSE, A. G. Mapping of *Agrobacterium tumefaciens* chromosomal genes affecting cellulose synthesis and bacterial attachment to host cells. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 170, p. 1408–1411, 1988.

ROBINSON, J. B.; BAUER, W. D. Relationships between C-4 dicarboxylic acid transport and chemotaxis in *Rhizobium meliloti*. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 175, p. 2284-2291, 1993.

RUIZ-LOZANO, I. M.; BONFANTE, P. A *Burkholderia* strain living inside the arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita* possesses the vacB gene, when is involved in host cell colonization by bacteria. **Microbial Ecology**, New York, v. 39, p. 137-144, 2000.

MATTHYSSE, A. G.; KIJNE, J. W. Attachment of *Rhizobiaceae* to plant cells. In: SPAINK, H. P.; KONDOROSI, A.; HOOYKAAS, P. J. J. (Ed.). **The *Rhizobiaceae***. Dordrecht: Kluwer, 1998. p. 235-249.

MERCIER, J.; LINDOW, S. E. Role of leaf surface sugars in colonization of plants by bacterial epiphytes. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 66, p. 369–374, 2000.

MOULIN, L.; MUNIVE, A.; DREYFUS, B.; BOIVIN-MASSON, C. Nodulation of legumes by members of the beta-subclass of Proteobacteria. **Nature**, London, v. 411, p. 948–950, 2001.

M'PIGA, P. M.; BÉLANGER, R. R.; PAULITZ, T. E.; BENHAMOU, N. Increased resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. radicislycopersici in tomato plants treated with the endophytic bacterium *Pseudomonas fluorescens* strain 63-28. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 50, p. 301-320, 1997.

NATERA, S. H. A.; GUERREIRO, N.; DJORDJEVIC, M. A. Proteome analysis of differentially displayed proteins as a tool for the investigation of symbiosis. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, St. Paul, v. 13, p. 995-1009, 2000.

NEWMAN, E. I.; BOWEN, H. J. Patterns of distribution of bacteria on root surfaces. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 6, p. 205–209, 1974.

NIELSEN, T. I. L.; THTANE, C.; CHTISTOPHETSEN, C.; ANLHONI, U.; SORENSEN, J. Structure, production characteristics and fungal antagonism of tensin - a new antifungal cyclic lipopeptide from *Pseudomonas fluorescens* strain 96.578. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 89, p. 992-1001, 2000.

NOWAK-THOMPSON, B.; CHANEY, N.; WMG, J. S.; GOULD, S. J.; LOPET, J. E. Characterization of the pyoluteorin biosynthetic gene cluster of *Pseudomonas fluorescence* Pf-5. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 181, p. 2166-2174, 1999.

ORDENTLICH, A.; ELAD, Y.; CHET, I. Rhizosphere colonization by *Serratia marcescens* for the control of *Sclerotium Rolfsii*. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 747-751, 1987.

Apresentação

A preocupação crescente da sociedade com a preservação e a conservação ambiental tem resultado na busca pelo setor produtivo de tecnologias para a implantação de sistemas de produção agrícola com enfoques ecológicos, rentáveis e socialmente justos. O enfoque agroecológico do empreendimento agrícola se orienta para o uso responsável dos recursos naturais (solo, água, fauna, flora, energia e minerais).

Dentro desse cenário, a Embrapa Agrobiologia orienta sua programação de P&D para o avanço de conhecimento e desenvolvimento de soluções tecnológicas para uma agricultura sustentável.

A agricultura sustentável, produtiva e ambientalmente equilibrada apoia-se em práticas conservacionistas de preparo do solo, rotações de culturas e consórcios, no uso da adubação verde e de controle biológico de pragas, bem como no emprego eficiente dos recursos naturais. Infere-se daí que os processos biológicos que ocorrem no sistema solo/planta, efetivados por microrganismos e pequenos invertebrados, constituem a base sobre a qual a agricultura agroecológica se sustenta.

O documento 194/2005 aborda diversos aspectos da interação entre plantas e microrganismos os quais podem ser de caráter patogênico, saprofítico ou benéfico. O processo inicial de colonização envolve o reconhecimento da planta pelos microrganismos e ocorre através de interações físicas ou de sinais moleculares produzidos pela indução de genes específicos regulados por diversos fatores ambientais. O entendimento completo dessa complexa interação ainda é um desafio da pesquisa, conforme discutido no documento apresentado e, portanto, torna-se necessário entender as relações ecológicas entre as comunidades microbianas, as plantas e o ambiente, sendo este influenciado por fatores bióticos e abióticos.

José Ivo Baldani
Chefe Geral da Embrapa Agrobiologia

SUMÁRIO

1. Introdução	7
2. Considerações Básicas	8
3. Reconhecimento das Plantas pelos Microrganismos.....	9
4. Quimiotaxia por Exudados de Plantas	10
5. Patógenos de Plantas.....	11
6. Biofertilizantes.....	12
7. Agentes de Biocontrole e Biopesticidas.....	14
8. Considerações finais.....	15
9. Referências Bibliográficas	15

IELPI, L.; DYLAN, T.; DITTA, G. S.; HELINSKI, D. R.; STANFIELD, S. W. The *ndvB* locus of *Rhizobium meliloti* encodes a 319-kDa protein involved in the production of beta-(1-2)-glucan. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 265, p. 2843-2851, 1990.

KIRNER, S.; HAMMER, P. E.; HILL, D. S.; ALTMANN, A.; FISCHER, I.; WEISLO, L. I.; LANAHAN, M.; VAN PÉE, K. -H.; LIGON, I. M. Functions encoded by pyrrolnitrin biosynthesis genes from *Pseudomonas fluorescens*. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 180, p. 1939-1943, 1998.

LAM, E.; KALO, N.; LAWTON, M. Programmed cell death, mitochondria and the plant hypersensitive response. **Nature**, London, v. 411, p. 848-853, 2001.

LEE, S. -W.; COOKSEY, D. A. Genes expressed in *Pseudomonas purida* during colonization of a plant-pathogenic fungus. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 66, p. 2764-2772, 2000.

LINDOW, S. E. Control of epiphytic ice nucleation-active bacteria for management of plant frost injury. In: LEE, R. E.; WARREN, G. I.; GUSTA, L. V. (Ed.). **Biological and nucleation and its applications**. St. Paul: American Phytopathological Society, 1995. p. 239-256.

LUGTENBERG, B. J. J.; CHIN-A-WOENG, T. F. C.; BLOEMBERG, G. V. Microbe-plant interactions: principles and mechanisms. **Antonie van Leeuwenhoek**, Dordrecht, v. 81, p. 373-383, 2002.

LUGTENBERG, B. J. J.; DEKKERS, L.; BLOEMBERG, G. V. Molecular determinants of rhizosphere colonization by *Pseudomonas*. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 39, p. 461-490, 2001.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic, 1995.

MATTHYSSE, A. G. Role of bacterial cellulose fibrils in *Agrobacterium tumefaciens* infection. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 154, p. 906-915, 1983.

DE IANNINO, N. I.; UGALDE, R. A. Biochemical characterization of avirulent *Agrobacterium tumefaciens* ChvA mutants: synthesis and excretion of beta-(1-2)glucan. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 171, p. 2842-2849, 1989.

DELANY, I.; SHEEHAN, M. M.; FENTON, A.; BARDIN, S.; AARONS, S.; O'GARA, F. Regulation of production of the antifungal metabolite 2,4-diacetylphloroglucinol in *Pseudomonas fluorescens* F113: genetic analysis of phl as a transcriptional repressor. **Microbiology**, New York, v. 146, p. 537-546, 2000.

FELIX, G.; DURAN, I. D.; VOLKO, S.; BOLLER, T. Plants have a sensitive perception system for the most conserved domain of bacterial flagellin. **Plant Journal**, Oxford, v. 8, p. 265-276, 1999.

FUQUA, W. C.; WINANS, S. C.; GREENBERG, E. P. Quorum sensing in bacteria: the LuxR-LuxI family of cell density-responsive transcriptional regulators. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 176, p. 269-275, 1994.

GOOSEN-DE ROO, L.; DE MAAGD, R. A.; LUGTENBERG, B. J. J. Antigenic changes in lipopolysaccharide I of *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae in root nodules of *Vicia sativa* subsp. nigra occur during release from injection threads. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 173, p. 3177-3183, 1991.

HIRSCH, A. M. Role of lectins (and *rhizobial* exopolysaccharides) in legume nodulation. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 2, p. 320-326, 1999.

HOLDEN, M. T. G.; CHHABRA, S. R.; NYS, D. E. R.; STEAD, P.; BAINTON, N. J.; HILL, P. I.; MANFIELD, M.; KUMAR, N.; LABALTE, M.; ENGLAND, D.; RICE, S.; GIVSKOV, M.; SALMOND, G. P. C.; STEWART, G. S. A. B.; BYEMFT, B. W.; KEEL, C.; WTRTHNER, P. H.; OBERHANSLI, T. H.; VOISARD, C.; BURGER, D.; HAAS, D.; DEFAGO, G. Pseudomonads as antagonists of plant pathogens in the rhizosphere: role of the antibiotic 2,4-diacetylphloroglucinol in the suppression of black root rot of tobacco. **Symbiosis**, Rehovot, v. 9, p. 327-342, 1990.

Interações entre Plantas e Microrganismos

Verônica Massena Reis

1. Introdução

Um dos maiores desafios das próximas décadas para as ciências biológicas é o entendimento da natureza da ação dos microrganismos principalmente os que atuam no sistema solo-planta. Virtualmente, todas as plantas vivem em associação com microrganismos que podem colonizar a superfície (colonização epifítica) ou ocupar os espaços intercelulares (colonização endofítica) de tecidos vegetais. Mesmo em um ambiente dito hostil, como a superfície foliar, que é exposta a rápidas e freqüentes mudanças de temperatura, umidade, radiação UV, entre outras, uma diversa comunidade pode habitar este nicho como bactérias, fungos filamentosos, algas, e menos freqüente temos a presença de protozoários e nematóides (ANDREWS & HARRIS, 2000). Bactérias do gênero *Pantoea* (antiga *Erwinia*) e da espécie *Pseudomonas syringae* são os microrganismos colonizadores epifíticos de folhas mais abundantes. O maior determinante da abundância de microrganismos é a disponibilidade de fontes de carbono (ANDREWS & HARRIS, 2000). As fontes comumente encontradas nas folhas e colmos são: glicose, frutose e sacarose. Estas fontes simplesmente extravasam do interior das plantas, principalmente de áreas com injúrias ou saem a partir de tricomas granulares (TUKEY, 1970), que são os sítios mais populosos da superfície das plantas (ANDREWS & HARRIS, 2000, DAVIS & BRILANSKY, 1991; MERCIER & LINDOW, 2000)

O passo crucial tanto para patogênese como para efeitos benéficos é a colonização do tecido vegetal. As superfícies das plantas contem vários microrganismos que não são homogeneamente distribuídos. Existem áreas desertas e áreas com uma população elevada geralmente formando microcolônias ou biofilmes. Estas microcolônias são o lugar ideal para a comunicação entre bactérias. O sistema de comunicação entre microrganismos é sendo

conhecido como “quorum sensing” (QS) (LUGTENBERG et al., 2001).

Os microrganismos apresentam ampla diversidade taxonômica e estrutural, responsável pela ocupação de diferentes nichos ecológicos, até mesmo o mais hostil. No entanto, se as condições são mais favoráveis, eles vão crescer e multiplicar. Além disso, é necessário entender as relações ecológicas entre as comunidades microbianas, sua função e como este processo depende de fatores bióticos e abióticos.

2. Considerações básicas

Baseado nas interações dos microrganismos com as plantas, podemos classificá-los como patogênicos, saprófitos e benéficos. Os patógenos atacam tecidos vivos de folhas, colmos ou raízes; já os saprófitos vivem em tecidos mortos e são importantes na ciclagem de nutrientes. Os microrganismos ditos benéficos podem ser usados como inoculantes sendo classificados de acordo com a sua aplicação: biofertilizantes (como os rizóbios), fitoestimuladores (auxinas produzidas por *Azospirillum* sp.), rizoremediadores (ex: *Pseudomonas*) e biopesticidas (ex: *Bacillus thuringiensis*).

O interior das folhas é um ambiente mais favorável a colonização de microrganismos. A umidade é mais controlada já que a cutícula contém cera que minimiza as perdas de água. A epiderme das folhas contém pequenas aberturas chamadas de estômatos que permitem a troca gasosa e perda de água, embora possam fechar nos períodos mais secos. Quando estão abertos permitem a entrada aos espaços intercelulares das folhas (apoplasto) e servem como importante via de colonização interna (BEATTIE & LINDOW, 1995, 1999).

Uma colonização bem sucedida envolve várias etapas: boa defesa do interior das células, eficiente absorção de nutrientes em baixas concentrações e finalmente, o enfraquecimento ou mesmo a destruição dos organismos competidores. Poucos estudos tem sido realizados sobre a interação entre microrganismos na rizosfera. Temos alguns estudos sobre a interação bactéria-fungo (SMITH et

BLUMER, C.; HEEB, S.; PESSI, G.; HAAS, D. Global GacA-steered control of cyanide and exoprotease production in *Pseudomonas fluorescens* involves specific ribosome binding sites. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 96, p. 14073-14078, 1999.

BONFANTE, P.; PEROTTO, S. Strategies of arbuscular mycorrhizal fungi when infecting host plants. **New Phytologist**, Oxford, v. 130, p. 3-21, 1995.

BOTTON, H.; FREDRIKSON, J. K.; ELLIOT, L. E. Microbial ecology of the rhizosphere. In: MEETING JR., F. B. (Ed.). **Soil microbial ecology**. New York: Marcel Dekker, 1992. p. 27-63.

CANGELOSI, G. A.; ANKENBAUER, R. G.; NESTER, E. W. Sugars induce the *Agrobacterium* virulence genes through a periplasmic binding protein and a transmembrane signal protein. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 87, p. 6708-6712, 1990.

CANGELOSI, G. A.; MARTINETTI, G.; LEIGH, J. A.; LEE, C. C.; THEINES, C.; NESTER, E. W. Role of *Agrobacterium tumefaciens* ChvA protein in export of beta-1,2-glucan. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 171, p. 1609-1615, 1989.

CHIN-A-WOENG, T. F. C.; BLOEMBERG, A. V.; VAN DER BIJ, A. J.; VAN DER DRIFT, K. M. G. M.; SCHRIJPEMA, J.; KROON, B.; SCHEFFER, R. I.; KEEL, C.; BAKKER, P. A. H. M.; TICHY, H.; DE BRNIJN, F. J.; THOMAS-OATES, J. E. LUGTENBERG, B. Biocontrol by phenazine-l-carboxamide-producing *Pseudomonas chlororaphis* PCL1391 of tomato root rot caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. radicle-lycopersici. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, St. Paul, v. 11, p. 1069-1077, 1998.

CURL, E. A.; TRUELOVE, B. **The rhizosphere**. New York: Springer-Verlag, 1986.

DAVIS, C. L.; BRILANSKY, R. H. Use of immunogold labeling with scanning electron microscopy to identify phytopathogenic bacteria on leaf surfaces. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 57, p. 3052-3055, 1991.

BACON, C. W.; WHITE, J. F. Microbial endophytes. In: HORNBY, D. (Ed.). **Biological control of soil-borne plant pathogens**. New York: Marcel Dekker, 2000.

BANGERA, M. G.; THOMASHOW, L. S. Characterization of a genomic locus required for synthesis of the antibiotic 2,4 diacetylphloroglucinol by the biological control agent *Pseudomonas fluorescens* Q2-87. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, St. Paul, v. 9, p. 83-90, 1996.

BEATTIE, G. A.; LINDOW, S. E. The secret life of foliar bacterial pathogens on leaves. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 33, p. 145-172, 1995.

BEATTIE, G. A.; LINDOW, S. E. Bacterial colonization of leaves: a spectrum of strategies. **Phytopathology**, St. Paul, v. 89, p. 353-359, 1999.

BECARD, G.; KOSUTA, S.; TAMASLOUKHT, M.; SEJALON-DELMAS, N.; ROUX, C. Partner communication in the arbuscular mycorrhizal interaction. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 82, p. 1186-1197, 2004.

BERGMAN, K.; GULASHHOFFEE, M.; HOVESTADT, R. E.; LAROSILIERE, R. C.; RONCO, P. G.; SU, L. Physiology of behavioral mutants of *Rhizobium meliloti*-evidence for a dual chemotaxis pathway. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 170, p. 3249-3254, 1988.

BIANCOTTO, V.; LUMINI, E.; BONFANTE, P.; VANDAMME, P. 'Candidatus Glomeribacter gigasporarum' gen. nov., sp. nov. an endosymbiont of arbuscular mycorrhizal fungi. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, Reading, v. 53, p. 121-124, 2003.

BLOEMBERG, G. V.; O'TOOLE, G. A.; LUGTENBERG, B. J. J.; KOLTER, R. Green fluorescent protein as a marker for *Pseudomonas* spp. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 63, p. 4543-4551, 1997.

al., 1999; LEE & COOKSEY, 2000). A interação planta microrganismo também é influenciada pelo genótipo da planta como observado para bactérias diazotróficas e para *Bacillus cereus* inoculado em tomate (SMITH et al., 1999; SIMON et al., 2001).

As raízes e a rizosfera são colonizadas por uma grande variedade de microrganismos e especialmente a rizosfera oferece mais proteção que a filosfera contra a dessecação, temperatura e estresse luminoso. Também é mais abundante sob o ponto de vista de fonte de carbono e minerais (BOTTON et al., 1992; CURL & TRUELOVE, 1986; WALKER et al., 2003). Plantas exsudam mais de 20 % do carbono fixado para a rizosfera (MARSCHNER, 1995) mostrando a importância da manutenção dessa comunidade microbiana pela planta. Bactérias, fungos e nematóides podem viver na forma de vida livre ou aderidos à superfície das raízes colonizando-a de forma aparentemente desordenada (NEWMAN & BOWEN, 1974). Os sítios de exsudação como na junção das raízes secundárias são os mais populosos (BLOEMBERG et al., 1997; LUGTENBERG et al., 2001). Os microrganismos podem penetrar nas raízes através de aberturas na epiderme provocadas pela emergência das raízes laterais ou por feridas causadas por vários herbívoros (BACON & WHITE, 2000).

3. Reconhecimento das plantas pelos microrganismos

Reconhecimento é considerado como o estágio inicial para ocorrer uma resposta da planta a presença dos microrganismos. Este reconhecimento pode ocorrer através de interações físicas tais como adesinas, fibrilas, flagelo, sistema de secreção tipo III e IV ou pela sinalização de pequenas moléculas.

A comunicação entre bactérias da mesma espécie ou mesmo entre populações diferentes, pode ocorrer através da troca de substâncias solúveis tais como N-acyl homocerine lactones (AHLs). Estas substâncias podem ser dipeptídeos ou quinolonas como no caso de *Pseudomonas aureginosa* (HOLDEN et al., 1990; PESCI et al., 1999). Também há casos de substâncias ainda não identificadas e de baixo peso molecular como a produzida por *Xanthomonas campestris* (POPLAWSKY et al., 1998) ou substâncias voláteis do

grupo dos ácidos graxos. Interessante que todas as plantas excretam substâncias que imitam a atividade das AHL de bactérias (TEPLISKI et al., 2000).

A regulação da produção destas moléculas ligadas ao QS são extremamente complexas, bem como são afetadas pelo ambiente. Componentes ligados a regulação destas substâncias foram descritos por AARON et al., (2000); BLUMER et al., (1999). Um bom exemplo da interação de comunidades microbianas é o caso da produção de Phl (2,4 diacetyl fluoroglucinol), como da auxina de *Azospirillum* (VANDE BROEK et al., 1999) é sujeita a autoindução. Esta autoindução é controlada pelo metabólito salicilato excretado pela planta, pelo metabólito bacteriano pioluteorin e pelo ácido fusárico, uma toxina produzida pelo fungo patogêneo *Fusarium* (SCHNEIDER-KEEL et al., 2000).

O sistema QS é baseado na produção de sinais moleculares difusíveis referidos como autoindutores. Estas moléculas acumulam no ambiente e a resposta dos microrganismos ocorre quando a concentração destas moléculas excedem a uma concentração crítica (FUQUA et al., 1994). QS agem de forma organizada e só são expressos quando a população atinge uma certa densidade (FUQUA et al., 1994). Em bactérias Gram-negativas, o grupo mais estudado é o das N-acyl homoserine lactonas (AHLs). Outros sinais também são encontrados como em *Ralstonia solanacearum* onde o ácido 3-hidroxi-palmitico metil-éster (3-OH PAME) serve como autoindutor controlando a produção do fator EPS (exopolissacarídeo) de maior virulência. Em *Xanthomonas campestris*, exocoenzimas e a produção do EPS são reguladas pela densidade celular e pela presença de ácidos graxos α , β (cis-11-metil-2-dodecenoic acid) (VOJNOV et al., 2001; WANG et al., 2004). No caso de *Erwinia carotovora* ocorre a utilização do AHLs para iniciar o ataque patogênico apenas quando a população é capaz de dominar as defesas da planta (WHITEHEAD et al., 2002).

4. Quimiotaxia por exudatos de plantas

O evento inicial da interação planta-microrganismo, pelo menos nos ambientes saturados com água, envolve a quimiotaxia por exudatos

resultam no efeito aditivo no caso de indução de proteção em *Arabidopsis thaliana* contra *P. syringae* pv. tomato (VAN WEES et al., 2000).

8. Considerações finais

Diversas condições ambientais tais como pH, temperatura, osmolaridade e limitação de nitrogênio participam de forma importante na regulação dos genes envolvidos na interação planta-bactéria, e em vários casos o mecanismo de como estes sinais são detectados ainda é desconhecido. Quando se acha que um mecanismo é bem conhecido como o caso da interação rizóbio-leguminosa, outras espécies de bactérias pertencentes ao gênero *Burkholderia* (β -proteobacteria) são descobertas como formadoras de nódulos (MOULIN et al., 2001) e podem utilizar a mesma forma de simbiose. Outras interações como as de *Agrobacterium rizogenes* e *A. vitis* ainda estão sendo exploradas. Muito se tem para explorar e conhecer e outras proteínas estão sendo descritas como responsáveis na interação planta-microrganismo.

9. Referências Bibliográficas

- AARON, S.; ABBAS, A.; ADAMS, C.; FENTON, A.; O'GARA, F. A regulatory RNA (prfB RNA) nodulates expression of secondary metabolite genes in *Pseudomonas fluorescens* F113. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 182, p. 3913-3919, 2000.
- ALABOUVETTE, C. *Fusarium* wilt suppressive soils from the chateaufort region: review of a 10 year study. **Agronomie**, Paris, v. 6, p. 273-284, 1986.
- ANDREWS, J. H.; HARRIS, R. F. The ecology and biogeography of microorganisms on plant surfaces. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 38, p. 145-180, 2000.
- ASHBY, A. M.; WATSON, M. D.; LOAKE, G. J.; SHAW, C. H. Ti plasmid-specified chemotaxis of *Agrobacterium tumefaciens* C58C1 toward vir-inducing phenolic compounds and soluble factors from monocotyledonous and dicotyledonous plants. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 170, p. 4181-4187, 1988.

de FMA do gênero *Gigaspora* formam uma simbiose com bactérias diazotróficas classificadas como ‘Candidatus *Glomeribacter gigasporanum*’ (BIANCIOTTO et al., 2003). A espécie *Gigaspora margarita* possui uma população residente de 250.000 endosimbiontes do gênero *Burkholderia* no citoplasma de uma única célula (RUIZ-LOZANO & BONFANTE, 2000).

7. Agentes de biocontrole e biopesticidas

Existem hoje formulações para o biocontrole de plantas contra fungos. Em sua maioria fazem uso de bactérias como *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Streptomyces* e do fungo *Trichoderma*, *Gliocladium* e estirpes não patogênicas de *Fusarium*. Os mecanismos usados por estes agentes de biocontrole incluem: exclusão do nicho como por exemplo o dano causado pela colonização foliar de *Pseudomonas syringae* (LINDOW, 1995); competição por nutrientes como por exemplo por carbono por *Fusarium* (ALABOUVETTE, 1986) e por Fe⁺³ produzindo sideróforos como em *Pseudomonas pudica* estirpe WCS358 (BAKER et al., 1990); produção de quitinase por *Serratia marcescens* (ORDENTLICH et al., 1987) e por *Trycoderma* (SIRVAN & CHET, 1989); produção de AFMs (metabólitos antifungo) como PhI (2,4-diacetyl phloroglucinol) produzido por *Pseudomonas* (BANGERA & THOMASHOW, 1996), derivados de fenazina (THOMASHOW & WELLER, 1988; PIERSON et al., 1995, CHIN-A-WOENG et al., 1998; DELANY et al., 2000) pioluteolin (NOWAK-THOMPSON et al., 1999) e pirrolnitrina (KIRNER et al., 1998). Recentemente foi descoberto que alguns biosurfactantes agem como AFMs (STANGHELLINI & MILLER, 1997; NIELSEN et al., 2000; THRANE et al., 2000); IRS (“induced systematic resistance”) é observada por algumas *Pseudomonas* não patogênicas que tornam as plantas extremamente reativas contra patógenos, incluindo os foliares (VAN PEER et al., 1999; M’PIGA et al., 1997). O flagelo, LPS – lipopolissacarídeos - e sideróforos estão envolvidos como componentes bacterianos que causam IRS (VAN LOON et al., 1998).

ISR difere de SAR (“systematic acquire resistance”) que é induzida contra a infecção de patógenos. Ativação simultânea de SAR e IRS

de raízes. Substâncias tais como açúcares, aminoácidos, vários ácidos dicarboxílicos como succinato, malato, fumarato, e compostos aromáticos incluindo shiquimato, quinato, vanilato, catecol, luteolin entre outros atraem microrganismos diversos (ASHBY et al., 1988; BERGMAN et al., 1988; PARKE et al., 1987; ROBINSON & BAUER, 1993). A proteína envolvida é chamada de ChvE de *Agrobacterium tumefaciens* que codifica uma proteína de ligação localizada no espaço periplasmático (CANGELOSI et al., 1990). Esta mesma proteína é requerida para a atração por açúcares em *Azospirillum brasilense* (VAN BASTELAERE et al., 1999). No caso de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) sabe-se que o CO₂ e fatores radiculares ainda não caracterizados são necessários para a quimiotaxia (BECARD et al., 2004).

O estabelecimento da bactéria sobre o tecido vegetal é importante para o início de interações duradouras com o hospedeiro. Lecitinas são importantes moléculas no caso da interação rizóbio-leguminosa (HIRSCH, 1999). Este mecanismo de ligação tem duas fases na interação do rizóbio e de *Agrobacterium tumefaciens* (MATTHYSSE, 1983; MATTHYSSE & KIJNE, 1998). O primeiro passo é mais frágil e reversível e envolve uma variedade de polissacarídeos bacterianos. O produto dos genes *ndvA* e *ndvB* em *Sinorhizobium meliloti* e os homólogos *chvA* e *chvB* de *A. tumefaciens* estão envolvidos na síntese de glucanos cíclicos (CANGELOSI et al., 1989; DE IANNINO & UGALDE, 1989; IELPI et al., 1990; STANFIELD et al., 1988). O segundo passo requer a síntese de celulose bacteriana que causa uma ligação irreversível e a formação de agregados na superfície das plantas (MATTHYSSE, 1983; ROBERTSON et al., 1988).

5. Patógenos de plantas

Fungos são a classe mais importante de patógenos de plantas, seguido dos vírus e das bactérias. Naturalmente, as plantas não hospedeiras rejeitam os patógenos e normalmente não são colonizadas por eles. Este fenômeno é conhecido como “resistência básica” ou “incompatibilidade básica” no qual o parasitismo depende da combinação certa dos fatores patogênicos que permitem o

ataque de um particular patógeno. Compatibilidade básica é definida como um fenômeno altamente específico entre uma espécie de planta e o patógeno apropriado (LUGTENBERG et al., 2002).

Um elicitor é um sinal molecular que é reconhecido por um receptor na planta. Vários elicitores ocorrem em patógenos, saprófitas e simbioses. A subsequente tradução deste receptor pode resultar em uma resposta de defesa onde a planta por inibir o ataque do patógeno ou permitir que um organismo simbiote colonize seus tecidos. A maioria das moléculas de “flagellins” tais como em *Bacillus*, *Escherinckia* e *Pseudomonas* mas não em *Rhizobium* e *Agrobacterium* compartilham aproximadamente 20 aminoácidos na sua cadeia N terminal que age como um elicitor (FELIX et al., 1999). Outros elicitores são as β -glucanos, fragmentos de quitina e ergosterol. As plantas reconhecem estes elicitores com alta sensibilidade e especificidade.

Outra forma de defesa das plantas é a chamada de resposta hipersensível (“Hypersensitive response” – HS) ou “hypersensitive cell death”. A célula da planta agredida morre rapidamente causando uma necrose no tecido adjacente (LAM et al., 2001). Esta estratégia corta a ação do patógeno pela eliminação da fonte de nutrientes impedindo a sua dispersão e multiplicação causando sua morte por inanição. Bactérias patogênicas geralmente contem um cluster de genes conservados, o cluster *hrp* que é essencial para a indução da resposta hipersensitiva nas plantas não hospedeiras bem como da patogênese nas plantas susceptíveis. Estes mecanismos têm sido detectados em FMA quando colonizam plantas não hospedeiras.

6. Biofertilizantes

iofertilização representa aproximadamente 65% do suprimento de nitrogênio para as culturas no mundo (LUGTENBERG et al., 2002) sendo os mais conhecidos os de *Rhizobiaceae* e *Mycorrhizae*. Os uso de biofertilizantes a base de rizóbio tem como resultado a simbiose entre bactérias promotoras de nódulos e plantas principalmente da família das leguminosas. Como exemplo temos a

soja que é a planta que mais usa biofertilizante no mundo. Os de micorriza são utilizados na inoculação de mudas utilizadas em reflorestamentos, aumentando o efeito de absorção das raízes e a resistência de plantas a diversos estresses (BONFANTE & PEROTTO, 1995; SMITH & GIANNINAZZI-PEARSON, 1998). Biofertilizantes utilizando outras bactérias diazotróficas tais como o *Azospirillum* são utilizados em países como o México, o Egito e a Argentina.

As raízes das leguminosas excretam flavonóides que induzem a formação dos nódulos desde que respeitado a interação certa entre o hospedeiro e a bactéria. Alguns destes flavonóides são capazes de ativar as proteínas regulatórias NodD que resultam na ativação do operon *nod* que codifica a síntese dos metabólitos Nod que são específicos para cada hospedeiro (SPAINK et al., 2000). As bactérias entram na planta através do cordão de infecção (na maioria dos casos) e mudam para o estágio de bacteróide onde param de se dividir e inicia o processo de redução do nitrogênio atmosférico a amônia. Para uma troca justa a planta supre o bacteróide com ácidos dicarboxílicos. Componentes bacterianos que fazem parte do reconhecimento da planta hospedeira nos vários estágios do processo de nodulação incluem os fatores Nod, EPSs (exopolissacarídeos) LPSs (lipopolissacarídeos), antígenos K (que estruturalmente são muito diferentes dos lipopolissacarídeos) e os glucans cíclicos periplasmáticos (SPAINK et al., 2000). Algumas dessas moléculas são modificadas durante o processo de nodulação (GOOSEN-DE ROO et al., 1991).

NATERA et al. (2000) analisou diversos proteomas da simbiose entre *Sinorhizobium meliloti* estirpe 1021 e a leguminosa *Melilotus alba* no sentido de caracterizar diversas proteínas simbióticas. Eles observaram que centenas de proteínas estavam presentes em quantidades diferentes tanto na simbiose como em vida livre.

Micorrizas são a simbiose que ocorre em mais de 80% das espécies de plantas (BONFANTE & PEROTTO, 1995). São simbioses obrigatórios que colonizam o córtex das raízes para obtenção de fontes de carbono em troca da assimilação de nutrientes, predominantemente fósforo da solução do solo. Algumas espécies