Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão - CNPAF
Centro Nacional de Pesquisa de Soja - CNPSo

MICRORGANISMOS DE IMPORTÂNCIA AGRÍCOLA

Editores: Ricardo S. Araujo
Mariangela Hungria

EMBRAPA-SPI
Brasília, DF
1994

EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 44.

FIGURAS DA CAPA

À esquerda: esporocarpo de *Amanita* sp. (Basidiomycotina).

No centro: soja não-inoculada (frente) e inoculada (fundo), em área de primeiro ano de cultivo nos Cerrados.

À direita: corte de nódulos ativos de soja mostrando cor vermelha devida à leghemoglobina.

Comitê de Publicações

Pedro A. Arraes Pereira (CNPAF/Presidente)

Carlos Caio Machado (CNPSo/Presidente)

Editoração e Programação Visual

Danilo Estevão (CNPSo/Desenhos)

Hélvio B. Zemuner (CNPSo/Fotografias)

Lauro Pereira da Mota (CNPAF/Fotografias)

Lígia M. de O. Chueire (CNPSo/Revisão)

Reinaldo Paulino da Silva (CNPAF/Desenhos)

Sebastião Pereira de Araújo (CNPAF/Desenhos)

Sinábio de Sena Ferreira (CNPAF/Digitação)

Normatização Bibliográfica

Ademir Benedito A. de Lima (CNPSo/Coordenação)

Ana Lúcia D. de Faria (CNPAF/Catalogação na fonte)

Tiragem: 1000 exemplares.

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.

Microrganismos de importância agrícola / editores Ricardo S. Araújo, Mariangela Hungria ; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão ; Centro Nacional de Pesquisa de Soja. — Brasília : EMBRAPA-SPI, 1994.
236p. — (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 44)

ISSN 0101-9716

Conteúdo: Introdução / Ricardo S. Araújo, Mariangela Hungria — Fixação biológica do nitrogênio em soja / Mariangela Hungria... [et al.] — Fixação biológica do nitrogênio em feijão / Ricardo S. Araújo — Fixação biológica do nitrogênio em espécies arbóreas / Fatima M.S. Moreira — Micorrizas arbusculares / José Oswaldo Siqueira — A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres / David A. Wardle, Mariangela Hungria — Biodegradação de xenobiontes : potencialidades e limites / Tomaz Langenbach.

1. Microbiologia. 2. Solo — Microrganismo. I. Araújo, Ricardo S. II. Hungria, Mariangela. III. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (Goiânia, GO). IV. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). V. Série.

CDD 631.46

© EMBRAPA 1994

APRESENTAÇÃO

Apesar do grande avanço científico na área de microbiologia do solo, poucos desses conhecimentos têm sido aplicados na tomada de decisões em relação às práticas agronômicas que visam o aumento da produtividade das culturas. Entretanto, a atividade biológica oriunda da grande massa de seres microscópicos que habitam o solo participa de vários eventos que o transformam em um ambiente propício ao crescimento das plantas.

Este livro traz os conhecimentos mais recentes sobre a atividade dos microrganismos do solo de importância agrícola. Os resultados nele apresentados e discutidos são frutos de muitos anos de pesquisa por dedicados cientistas e representam o estado-da-arte dos conhecimentos na área, qualificando este livro como bibliografia complementar de suma importância para estudantes de Agronomia, Biologia e Ciências afins. Sua publicação representa um esforço da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no sentido de divulgar o trabalho de seus especialistas e difundir tecnologias desenvolvidas para melhorar a agricultura brasileira.

Homero Aidar
Chefe do CNPAF

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 7
Ricardo S. Araujo & Mariangela Hungria

2. FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO EM SOJA 9
Mariangela Hungria, Milton A. T. Vargas, Allert R. Suhet & José Roberto R. Peres

3. FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO EM FEIJÃO 91
Ricardo S. Araujo

4. FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO EM ESPÉCIES ARBÓREAS 121
Fátima M. S. Moreira

5. MICORRIZAS ARBUSCULARES 151
José Oswaldo Siqueira

6. A BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO E SUA IMPORTÂNCIA NOS ECOSSISTEMAS TERRESTRES 195
David A. Wardle & Mariangela Hungria

7. BIODEGRADAÇÃO DE XENOBIONTES: POTENCIALIDADES E LIMITES 217
Tomaz Langenbach

INTRODUÇÃO

Ricardo S. Araujo[1]
Mariangela Hungria[2]

A fração biológica é um dos principais componentes do solo. Essa fração é composta por comunidades de pequenos animais (mesofauna) e microrganismos (microfauna e microflora). Muitas das propriedades dos solos são decorrentes da atividade biológica, sendo comum dizer-se que um solo sem atividade biológica é um solo sem vida. As relações e interações entre as diferentes comunidades de organismos do solo contribuem para a manutenção da vida do solo, e para diversos outros processos que, por sua vez, estão intimamente ligados à cadeia trófica.

Os componentes mais numerosos da fração biológica do solo são, sem dúvida, os microrganismos, representados por integrantes da microfauna (protozoários) e da microflora (fungos, bactérias, algas e vírus). Esses organismos participam ativamente da decomposição de resíduos orgânicos, dos ciclos de reciclagem do nitrogênio, do fósforo e do enxofre e da decomposição de poluentes. Muitos desses componentes, portanto, desempenham um papel vital na construção do solo como suporte físico para as culturas agrícolas.

A pesquisa nas últimas décadas rendeu muitos resultados que contribuíram para um melhor conhecimento das propriedades dos organismos do solo e aproveitamento dos processos biológicos que influenciam na produtividade agrícola. Como exemplos, temos os conhecimentos adquiridos sobre a capacidade de certos microrganismos de modificar ou destruir poluentes e defensivos agrícolas, a habilidade da microflora de produzir substâncias tóxicas às culturas agrícolas e aos animais, a utilização da inoculação de leguminosas em larga escala, a micorrização de mudas de café e árvores frutíferas para o transplante, a utilização de associações entre plantas e microrganismos do solo na recuperação de áreas degradadas pela mineração, remoção da cobertura vegetal e construção civil.

O advento das técnicas de biologia molecular permitiu o emprego de rigorosas análises genéticas nos estudos da composição e das propriedades das comunidades de microrganismos do solo. Com isso, foi possível, por exemplo, estudarem-se aspectos muito íntimos da relação entre as leguminosas e seus simbiontes fixadores de nitrogênio, da interação entre patógenos do solo e seus hospedeiros e até da manipulação genética de microrganismos para que atuem de acordo com o interesse do homem, quer seja como simbiontes de plantas, agentes de controle biológico de pragas e doenças, ou como condicionadores dos solos para o cultivo agrícola.

Este livro relata os avanços obtidos com a pesquisa sobre microrganismos do solo de importância agrícola. Ele está dividido em capítulos, de acordo com os assuntos abordados, contemplando aspectos relevantes da microbiologia dos solos agrícolas. Apesar de não ser uma revisão exaustiva sobre cada assunto, são apresentados os conhecimentos mais relevantes e recentes em cada área, e discutidas suas implicações para a produtividade agrícola e para a manutenção da vida do solo.

---

[1] Pesquisador, Ph.D., EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF), Caixa Postal 179, CEP 74001-970, Goiânia, GO.
[2] Pesquisadora, Ph.D., EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo), Caixa Postal 1061, CEP 86001-970, Londrina, PR.

Agradece-se a colaboração de cada um dos autores, partilhando informações e, sobretudo, se prontificando a ajudar a editar estas informações tão valiosas. Para finalizar, segue uma pequena estória para reflexão. Um dia, um professor disse a um de seus alunos, nascido e criado em uma fazenda, que enchesse alguns vasos com terra para que pudesse plantar um experimento. O aluno, então, respondeu que aquilo não era terra, mas sim solo. O professor respondeu dizendo que tudo depende do referencial: aquilo que cai de nossos sapatos no chão limpo das cozinhas de nossas mães é terra, enquanto que o suporte para as plantas é, realmente, solo.

Terra ou solo, o importante é que se lembre que ali vivem imensas comunidades de seres vivos que sofrem os mais diversos impactos em decorrência da atividade humana. Somente através de um manejo de solo que considere a vida presente será possível alcançar a tão almejada sustentabilidade da agricultura. Os capítulos são exemplos claros da importância dos microrganismos do solo para esse fim.

2.1. Introdução

A soja é uma cultura que apresenta grande demanda pelo nitrogênio (N) devido, particularmente, ao teor protéico elevado em seus grãos, de cerca de 40%. Mas justamente pelo seu teor protéico elevado, essa é uma cultura de grande importância econômica e o Brasil é o segundo maior produtor de soja, sendo responsável por 16,9 % da produção mundial (FAO, 1993).

As principais fontes fornecedoras do N necessário ao crescimento das plantas são: 1- nitrogênio do solo, proveniente da decomposição da matéria orgânica e das rochas; 2- nitrogênio fornecido por fertilizantes; e 3- nitrogênio fornecido pelo processo da fixação biológica do nitrogênio atmosférico (N_2). Existe, também, uma pequena contribuição pela reação das descargas elétricas com o N_2, resultando em nitrato, que é adicionado ao solo e representa cerca de 4% das entradas positivas no balanço de N na Terra. O fornecimento, utilização e perdas do N formam um ciclo complexo, denominado "ciclo do N". Para maiores detalhes, diversas revisões, particularmente da década de 70, quando houve um grande impulso nos estudos de fixação biológica do N_2, abordam esse assunto (Delwiche, 1970; Burns & Hardy, 1975; Brill, 1979; Postgate & Hill, 1979).

Os teores de N nos solos do Brasil, de um modo geral, não são elevados e geralmente se situam na faixa de 0,05% a 0,30 %. Com a intensificação da agricultura, as exigências nutricionais de N, bem como a sua remoção, são ampliadas; conseqüentemente, se o N do solo retirado pelas plantas não for reposto, o teor desse nutriente decrescerá rapidamente.

A síntese química de fertilizantes nitrogenados iniciou na primeira década deste século, quando Fritz Haber e Carl Bosch descobriram o processo que transforma o N_2 atmosférico em amônia. As necessidades para essa síntese química são: 1- hidrogênio (derivado de gás de petróleo); 2- catalisador contendo ferro; 3- altas temperaturas (300°C a 600°C); e 4- altas pressões (200 atm a 800 atm). Conseqüentemente, existe um custo elevado para a síntese de fertilizantes, resultante principalmente da necessidade de gastos com fontes de petróleo, que também não são renováveis. Calcula-se que, para a síntese de uma tonelada de amônia, sejam necessários seis barris de petróleo. Práticas agrícolas alternativas para diminuir esses custos precisam ser procuradas, principalmente para o Brasil, que importa fertilizantes nitrogenados para satisfazer a demanda interna.

O N_2 é abundante na natureza, constituindo quase 80% do gás atmosférico. Mas nenhum animal ou planta é capaz de utilizar o N_2 como uma fonte de proteína, devido à tripla ligação que existe entre os dois átomos do N_2, que é uma das mais fortes de que se tem conhecimento na natureza.

---

[1] Pesquisadora, Ph.D., EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo), Caixa Postal 1061, CEP 86001-970, Londrina, PR.

[2] Pesquisador, Ph.D, EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado (CPAC), Caixa Postal 700023, CEP 73301-970, Planaltina, DF.

[3] Pesquisador, M.Sc., EMBRAPA-CPAC.

Bactérias da família *Rhizobiaceae* formam estruturas altamente específicas, os nódulos, onde ocorre a conversão do N_2 atmosférico a amônia, que é então incorporada em diversas formas de N orgânico para a utilização por algumas plantas da família *Leguminosae*, como a soja. Essas bactérias conseguem quebrar a tripla ligação pela ação de um complexo enzimático, denominado dinitrogenase e o processo é denominado de fixação biológica do N_2.

Para que o N proveniente da fixação biológica possa suprir todas as necessidades da planta, porém, o processo precisa ser eficiente, o que resulta, principalmente, da escolha adequada dos parceiros simbióticos, ou seja, estirpes de bactérias mais eficientes e competitivas e genótipos de plantas que respondam ao microssimbionte. Embora exista controvérsia, conforme será discutido ainda neste capítulo, os gastos energéticos relacionados à fixação biológica do N_2 parecem ser mais elevados do que os gastos para a assimilação do N dos fertilizantes, além do gasto inicial com a formação e manutenção dos nódulos. Por isso, caso essa simbiose não seja eficiente, a associação pode se tornar parasítica.

A fixação biológica do N_2 é um passo crucial no ciclo do N. Em áreas não perturbadas, com vegetação clímax, esse processo biológico não é limitante. Também em áreas áridas, frias ou fracamente ensolaradas, a água, temperatura ou luz limitam a produtividade biológica. Mas, em áreas perturbadas e ainda férteis, a introdução do N através da fixação biológica, geralmente, limita a produtividade. Esses locais incluem as áreas agrícolas, áreas onde as florestas clímax foram perturbadas e replantadas e aquelas perturbadas por desastres naturais, como o fogo (Postgate & Hill, 1979).

No caso da soja, muitos estudos foram conduzidos no Brasil desde a introdução dessa cultura, tornando a simbiose muito eficiente e resultando em uma grande economia para o país, pela não utilização de fertilizantes nitrogenados. Para alcançar produtividades de 2500 $kg.ha^{-1}$, a soja absorve cerca de 200 kg de $N.ha^{-1}$, dos quais 67% a 75% são alocados para as sementes. Devido à baixa eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados, normalmente inferior a 50%, pois há perdas por lixiviação, nitrificação e desnitrificação, seriam necessários 300 a 400 kg de $N.ha^{-1}$ para se obter essa produtividade, portanto um custo certamente proibitivo para os agricultores. Utilizando dados do setor de economia do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo), da EMBRAPA, com uma estimativa de área colhida de 11.350.000 ha, na safra de 1993/94, uma produtividade média de 2156 $kg.ha^{-1}$ e considerando que a recomendação atual para essa cultura é de utilização de inoculação sem a suplementação de qualquer fonte de fertilizante nitrogenado, calcula-se que o país economize, hoje, cerca de 1 bilhão de dólares, por safra, pela inoculação da soja (**Tabela 2.1**). Além disso, as vantagens ecológicas da fixação de N_2 incluem a economia de petróleo e gás natural, que são fontes energéticas não renováveis, e a menor poluição dos rios e lagos, causada pela lixiviação dos fertilizantes. As principais vantagens e desvantagens da utilização de fertilizantes nitrogenados e do processo de fixação biológica do N_2 estão listadas na **Tabela 2.2**.

Finalmente, não poderia deixar de ser mencionada a importância da cultura da soja no que se refere ao valor protéico para a população, particularmente nos países com carências nutricionais, como o Brasil. Um hectare de soja produzindo 2156 kg de grãos com um teor protéico de 40% tem-se um acúmulo de 862 kg de proteína. Considerando que o consumo diário de proteínas recomendado pela FAO é de 53 $g.pessoa^{-1}$, constata-se que a proteína produzida seria capaz de suprir as necessidades protéicas de um adulto por 16.264 dias e que a produção nacional pode fornecer, para cada um dos 150 milhões de brasileiros, 179 g de $proteína.dia^{-1}$.