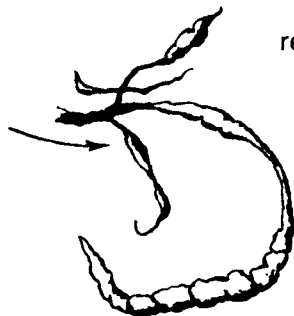


As Meloidoginoses da Soja: Passado, Presente e Futuro

Luiz Carlos C. Barbosa Ferraz¹

1. A cultura da soja: breve histórico e importância econômica no Brasil

D'Emilie Aug. Gödli del. Rio de Janeiro, 1887.



A soja, *Glycine max* (L.) Merr., é originária das regiões central e norte da China, onde ocorreu a sua 'domesticação'. No Japão e na Coréia, o cultivo da soja foi introduzido entre 200 a.C. e 300 A.D. (Hymowitz, 1970). Na verdade, descrições de plantas de soja já figuravam em publicação chinesa intitulada *Pen Ts'ao Kang Mu*, produzida pelo imperador Shen Hung e datada do período compreendido entre 3000 e 2000 a.C. (Probst & Judd, 1973).

Nos Estados Unidos, apesar de certa controvérsia a respeito, a introdução da soja deu-se no século XVIII, ao que tudo indica no estado da Geórgia, em 1765 (Hymowitz & Harlan, 1983).

No Brasil, o primeiro registro de cultivo data de 1882, no estado da Bahia. O Instituto Agrônomo de Campinas (IAC/SP), renomada instituição centenária dedicada à pesquisa agrônoma, foi uma das pioneiras em estudos com a cultura, promovendo distribuição de sementes aos produtores rurais. Há também relato antigo, datado de 1900, de avaliação do potencial da soja para a produção de forragem no Rio Grande do Sul (Hasse, 1996).

¹ Professor titular, ESALQ/USP, Setor de Zoologia, 13418-900, Piracicaba, SP; email: lccbferr@carpa.ciagri.usp.br

A notável expansão no cultivo da soja no Brasil teve lugar, no entanto, nos anos 70, passando a figurar entre os principais produtos capazes de gerar divisas ao País em termos de exportação e tornando-se, a partir de então, fator decisivo ao equilíbrio da balança comercial. Ao final da década de 1970, a cultura passou a ocupar vasta área de cerrados na região Centro-Oeste, de aproximadamente 6 milhões de hectares, o que representou grande desafio aos pesquisadores, haja vista que o cultivo em regiões de latitudes inferiores a 20° era considerado pouco recomendável sob o ponto de vista de desempenho agrônômico. O trabalho admirável desenvolvido pelos melhoristas possibilitou a obtenção de cultivares que se mostraram, a um só tempo, bem adaptadas àquela região e altamente produtivas (Silva, 2000).

O Brasil participa com cerca de 18% da produção mundial e apresenta inegável potencial de expansão de área. A produção agrícola brasileira representa ao redor de 10% do Produto Interno Bruto e a soja participa com 11% do PIB agrícola (Embrapa, 1998). Foram colhidas 31.644.100 toneladas na safra 1999/2000, sendo a produtividade média da ordem de 2.374 kg/ha.

Todos os dados e fatos mencionados corroboram a grande importância da sojicultura para o Brasil e evidenciam claramente as razões pelas quais a soja ocupa atualmente lugar de destaque no mercado de *commodities* do país.

Apesar de todos esses aspectos positivos, há de se considerar que os níveis nacionais de produtividade hoje alcançados ainda podem e devem ser melhorados. Há fatores diversos que os afetam, destacando-se os edafoclimáticos e os sanitários. Dentre estes, ressaltam os problemas devidos a ataques por nematóides parasitos de raízes, pertencentes a diferentes gêneros, tais como *Meloidogyne*, *Heterodera*, *Pratylenchus*, *Rotylenchulus* e outros. Além dos danos diretos que causam às plantas, reduzindo-lhes o crescimento e podendo torná-las totalmente improdutivas, tais organismos muitas vezes interagem com

outros patógenos de solo (fungos, bactérias), facilitando-lhes a entrada nos sistemas radiculares parasitados.

2. Principais nematoses da soja no Brasil

Várias são as espécies de nematóides capazes de parasitar a soja em todo o mundo, pertencentes a diversos gêneros; uma sinopse das formas já encontradas associadas à cultura no Brasil pode ser observada na tabela 1. Todavia, dentre todas as formas alistadas, as de maior importância e interesse econômico são: i) os nematóides de galhas (*Meloidogyne* spp.); ii) o nematóide de cisto da soja (*Heterodera glycines*); iii) os nematóides das lesões (*Pratylenchus brachyurus* e afins); e iv) o nematóide reniforme (*Rotylenchulus reniformis*). Todos são nematóides endoparasitos (ou semi-endoparasitos, para alguns), no geral sedentários (exceto *Pratylenchus*); os ectoparasitos migradores, embora de ocorrência freqüente na cultura, não foram ainda adequadamente estudados quanto à ação patogênica e à extensão dos danos que eventualmente possam causar.

Há muitas décadas, o nematóide de cisto da soja (NCS), *H. glycines*, tem grande importância econômica na Ásia (China, Japão) e principalmente nos Estados Unidos. No Brasil, a espécie foi assinalada na safra 1991/92 e já causou prejuízos superiores a 100 milhões de dólares, entre perdas diretas e indiretas. Foi relatado recentemente também na Argentina. Trata-se de espécie altamente daninha à soja, podendo constituir fator limitante ao seu cultivo. Contudo, nos últimos anos, os avanços tecnológicos proporcionados pela pesquisa nacional possibilitaram aos sojicultores o estabelecimento de estratégias de controle integrado que têm permitido a continuidade do cultivo da soja mesmo nas regiões infestadas pelo NCS. Dado o reconhecido interesse desse nematóide, várias publicações nacionais já foram editadas tratando dos mais variados aspectos de suas interações com a soja,

desde a morfologia básica e a identificação das raças até as modalidades de manejo hoje recomendadas.

Os efeitos do parasitismo por nematóides das lesões têm sido pouco estudados no Brasil. Apesar disso, há indicações de que *Pratylenchus brachyurus* pode causar danos à soja, em especial nas áreas em que o cultivo desta é antecedido por plantios com gramíneas, particularmente o milho, que são ótimas hospedeiras dessa espécie. Tendo em vista que a rotação com gramíneas constitui uma das medidas mais indicadas ao controle do NCS, tal situação poderá adquirir expressão bem maior em futuro próximo, de modo a tornar as pesquisas referentes a tal grupo de nematóides essenciais e inadiáveis.

Por fim, o nematóide reniforme, *R. reniformis*, é parasito relativamente comum da soja em praticamente todos os países produtores do mundo, entretanto, nos estudos desenvolvidos, os danos causados pela espécie mostraram-se bem variáveis em função de fatores bióticos (infecção conjunta ou não com outros nematóides ou com microrganismos fitopatogênicos; cultivares testadas) e abióticos (temperatura, umidade e textura do solo e outros). Também no Brasil, sucedem-se os relatos de parasitismo no campo, porém dados sobre efeitos depressivos na produtividade ainda não estão disponíveis.

Nesse contexto, ressaltam em importância os nematóides de galhas, *Meloidogyne* spp., que, há pelo menos 50 anos, vêm constituindo constante preocupação aos sojicultores do Brasil e, com frequência, causado elevadas perdas diretas, por redução na produção, e indiretas, por limitação ao uso agrícola das áreas infestadas. A publicação de Carnielli & Souza (1989), intitulada "Nematóides em soja : Resumos Informativos", interessante e útil compilação dos estudos desenvolvidos sobre nematóides na cultura da soja no País, corrobora plenamente tal fato, haja vista que, dos 210 resumos de artigos ali incluídos, a grande maioria refere-se a trabalhos que tratam de nematóides de galhas. Tendo em vista tais fatos e o inegável interesse

TABELA 1. Alguns nematóides fitoparasitos encontrados associados à cultura da soja em diferentes áreas de produção do Brasil.

Classe	Gênero	Espécie	Hábito de parasitismo
Secernentea	<i>Aorolaimus</i>	<i>holdemani</i>	ecto, migrador
	<i>Criconemella</i>	sp.	ecto, migrador
	<i>Helicotylenchus</i>	<i>dihystera</i>	ecto, migrador
		<i>pseudorobustus</i>	ecto, migrador
	<i>Hemicycliophora</i>	<i>loofi</i>	ecto, migrador
	<i>Heterodera</i>	<i>glycines</i>	endo*, sedentário
	<i>Hoplolaimus</i>	sp.	endo*, migrador
	<i>Meloidogyne</i>	<i>arenaria</i>	endo, sedentário
		<i>hapla</i>	endo, sedentário
		<i>incognita</i>	endo, sedentário
		<i>javanica</i>	endo, sedentário
		<i>Pratylenchus</i>	<i>brachyurus</i>
		<i>penetrans</i>	endo, migrador
	<i>Rotylenchulus</i>	<i>reniformis</i>	endo*, sedentário
	<i>Scutellonema</i>	sp.	ecto*, migrador
<i>Tylenchorhynchus</i>	sp.	ecto, migrador	
Adenophorea	<i>Paratrichodorus</i>	<i>minor</i>	ecto, migrador
	<i>Xiphinema</i>	<i>elongatum</i>	ecto, migrador
		<i>krugi</i>	ecto, migrador

*ou semi-endoparasito, para certos autores.

Fonte: Costa Manso *et al.* (1994); Ponte (1977).

que cerca o conhecimento dos mais diferentes aspectos ligados às meloidoginoses da soja, em particular no Brasil, surgiu a idéia de se produzir a presente publicação, que se espera possa ser capaz de resumir boa parte das informações já obtidas relativamente ao assunto, em termos de atualidade e abrangência.

3. Considerações gerais sobre as meloidoginoses da soja no Brasil

3.1. O gênero *Meloidogyne* no Brasil e no mundo

Criado originalmente por E. A. Goeldi em 1887 no Brasil, para designar grupo de parasitos radiculares do cafeeiro e conter uma nova espécie de nematóide proposta como *Meloidogyne exigua*, o gênero *Meloidogyne* passou quase despercebido por muito tempo, sendo revalidado e amplamente aceito apenas a partir de 1949, após a publicação do artigo clássico de B.G. Chitwood intitulado "Root-knot nematodes: Part I. A revision of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1887". Desse trabalho, além da espécie-tipo (*M. exigua*), resultaram umas poucas espécies incluídas como válidas dentro do gênero, conseqüentes à formação de novas combinações, como *M. arenaria*, *M. incognita* e *M. javanica*, ou por descrição como novas entidades, a exemplo de *M. hapla*. Com o passar dos anos, muitas outras novas espécies foram sendo dadas a conhecer dentro do gênero, que teve a sua enorme importância econômica plenamente reconhecida e é hoje considerado o de maior interesse em todo o mundo. Para se ter noção do tamanho do gênero, Eisenback (1997) alistou 79 espécies tidas como válidas para o gênero, mas este número já se alterou, como era de se prever, pois outras espécies foram descritas ainda mais recentemente, inclusive uma do Brasil, *M. petuniae* (Charchar et al., 1999), o que reflete o extraordinário dinamismo que caracteriza os acontecimentos ligados a esse grupo de nematóides.

Até o presente, sabe-se da ocorrência de várias espécies no Brasil, como *M. arenaria* (e seu sinônimo *M. thamesi*), *M. coffeicola*, *M. exigua*, *M. graminicola*, *M. hapla*, *M. incognita* (e seus sinônimos *M. elegans* e *M. inornata*), *M. javanica* (e seus sinônimos *M. bauruensis* e *M. lordelloi*), *M. paranaensis* e *M. petuniae*. Há fortes indicações de que outras espécies devam ocorrer também no País, sabendo-se de populações que podem vir a constituir inclusive novas espécies, mas aguardam descrição formal (*nomena nuda* como *M. goeldii*, *M. tihohodi* e outras). Dentre essas espécies, as mais freqüentes e importantes para a sojicultura nacional, a exemplo do que acontece em muitos outros países produtores, como os Estados Unidos (Kinloch, 1974; Schmitt & Noel, 1984), são *M. incognita* e *M. javanica*, secundadas por *M. arenaria*.

3.2. Breve histórico das pesquisas sobre o assunto no Brasil

Num brevíssimo resumo, poderia aqui ser lembrado que as pesquisas sobre as meloidoginose da soja no Brasil iniciaram-se no princípio da década de 50, com as primeiras observações de campo a respeito da eficiência do nematicida Dowfume W-10 no controle dos principais nematóides ocorrentes na cultura (Boock, 1950) e das reações de diferentes variedades frente aos nematóides de galhas na região paulista de Campinas (Silva *et al.*, 1952). Carvalho (1954) alertava os sojicultores sobre os sérios problemas causados por nematóides parasitos de raízes, em especial os causadores de galhas. A partir de 1954, Lordello (1954, 1955, 1956 a,b) iniciou a publicação de uma seqüência de trabalhos relativos às nematoses da soja, com grande destaque aos danos causados pelos nematóides de galhas. Na ocasião, descreveu *M. bauruensis* e *M. inornata*, duas novas formas filiadas ao gênero *Meloidogyne* que parasitavam freqüentemente a soja no interior do estado de São Paulo e representavam séria ameaça à cultura; ambas são atualmente tidas como sinônimos, respectivamente de *M. javanica* e *M. incognita* (Jepson, 1987; Eisenback, 1997).

Seguiram-se relatos esparsos de associações nematóide-soja até os anos 70, quando o assunto foi retomado com real interesse pelos nematologistas, concomitante à grande expansão que a cultura experimentava na época. A partir desse período, intensificaram-se os estudos, que tratavam desde meros levantamentos de ocorrência nas mais diferentes regiões produtoras até a avaliação de técnicas de controle, aplicadas isoladamente ou de modo integrado. Na área taxionômica, vale registrar a descrição de curioso nematóide encontrado associado a lavouras de soja em declínio no estado do Paraná; tratava-se de *Tubixaba tuxaua* (Monteiro & Lordello, 1980), espécie de dimensões excepcionais para um nematóide de solo, considerada suspeita de parasitismo nas raízes de soja e causadora de redução na produção de trigo no interior paranaense (Carneiro & Carneiro, 1983). Também a ressaltar, a expressiva quantidade de trabalhos desenvolvidos a partir dos anos 80 na linha de melhoramento genético visando à obtenção de genótipos resistentes a *M. incognita* e principalmente *M. javanica*, alistados por Carnielli & Souza (1989) e considerados como muito relevantes. Com o assinalamento do NCS no início dos anos 90, por algum tempo as atenções estiveram predominantemente voltadas aos estudos com tal espécie, mas já se verifica, atualmente, que as pesquisas sobre os nematóides de galhas voltam a ocupar o habitual lugar de destaque de antes. Trabalhos cada vez mais elaborados passaram a ser produzidos recentemente, envolvendo métodos avançados de biologia molecular e mesmo outras técnicas criativas de laboratório e casa de vegetação, que vêm permitindo não apenas um melhor conhecimento dos complexos aspectos das interações *Meloidogyne* / soja como a respeito de formas mais eficientes, seguras e econômicas de controle desses importantes nematóides. Muitos dos resultados de tais estudos irão ser apresentados e discutidos na presente publicação, nos capítulos subseqüentes.

3.3. Os nematóides de galhas como parasitos da soja

3.3.1. Dispersão, estratégia de parasitismo e adaptações biológicas

Originalmente restrito às zonas temperadas, o cultivo da soja expandiu-se, de modo gradual, também para muitas regiões subtropicais e tropicais, em especial do Brasil, Extremo Oriente e, mais recentemente, África (Sikora & Greco, 1990). Com isso, a cultura passou a ser alvo comum não apenas de *M. incognita*, mas igualmente de outras duas espécies de nematóides de galhas que se encontram muito disseminadas nas regiões tropicais, *M. arenaria* e especialmente *M. javanica*. Isso tornou-se bem evidente, por exemplo, nos Estados Unidos (Schmitt & Noel, 1984).

No Brasil, os ataques por nematóides de galhas devem provavelmente confundir-se com o próprio cultivo da soja, tão freqüente é a verificação de infestação do solo utilizado para a sojicultura com as formas de *Meloidogyne* mencionadas. Embora não haja relatos comprobatórios, é possível que desde o século XIX, quando se procederam às tentativas iniciais de introdução da cultura no País, a ocorrência de meloidoginoses já fosse uma realidade. Pessoalmente, pude verificar tal fato no ano de 1975, ao visitar áreas experimentais do Centro de Pesquisas da EMBRAPA em Planaltina (DF), então recém-implantado. Em área típica de cerrado, iniciavam-se os experimentos de campo dos pesquisadores da instituição e chamou a atenção um ensaio comparativo de desempenho agrônômico de cultivares de soja, que apresentava características reboleiras de plantas subdesenvolvidas, levemente cloróticas. Autorizado o arrancamento, foi possível de imediato determinar-se a causa do enfezamento das plantas, qual seja a presença de grande número de galhas tornando os sistemas radiculares atrofiados, rasos, pouco eficientes; houve casos em que o sistema mostrava-se reduzido a um único aglomerado de galhas formado na raiz principal. A secção de algumas galhas possibilitou a fácil visualização

de fêmeas de *Meloidogyne* ainda no campo, depois identificadas como sendo de *M. javanica*. Como se tratava de área de cerrado recém-desbravada, fica claro que o nematóide vinha sobrevivendo no local parasitando raízes de uma ou mais espécies vegetais típicas daquele tipo de vegetação nativa e que, quando se passou a praticar a monocultura com hospedeiro muito favorável como a soja, os níveis populacionais aumentaram rapidamente, ao ponto de, em apenas um ou dois anos, provocarem danos sérios e evidentes.

O evento relatado está relacionado a um dos marcantes atributos que *M. incognita*, *M. javanica* e algumas outras espécies de nematóides de galhas apresentam como parasitos de plantas: o alto grau de polifagia. De fato, essas duas espécies, ao lado de *M. arenaria*, representam autênticos flagelos à Agricultura em quase todo o mundo, pontificando entre os agentes causais de declínio dos mais variados tipos de culturas. Seus largos círculos de hospedeiros incluem tanto plantas cultivadas (perenes, semi-perenes e anuais) como daninhas, pertencentes às mais diferentes famílias botânicas (Goodey et al., 1965; Taylor & Sasser, 1978; Lordello, 1982). É óbvio que a capacidade reprodutiva dos nematóides de galhas varia em função da planta hospedeira, mas o fundamental é que, podendo adaptar-se à vida em raízes de tantas e tão distintas espécies vegetais, conseguem assegurar a sobrevivência por longos períodos em diferentes tipos de ecossistemas naturais, como ora mencionado para as condições de cerrado; bastará que ocorra a transformação em um agroecossistema, particularmente em regime de monocultivo, para que se tenha grandes possibilidades de aparecimento de sérios problemas devidos a tais nematóides em curto espaço de tempo, as vezes já no primeiro ou segundo ano da cultura. Somando-se a isso o comércio (nacional e internacional) indiscriminado de mudas e materiais de propagação vegetativa parasitados por espécies de *Meloidogyne* que vem ocorrendo há muitas décadas, fica mais fácil o entendimento de como tais nematóides tornaram-se tão cosmopolitas.

Outra característica muito importante dos nematóides de galhas é a *competitividade biológica*. Tal atributo é decorrente de uma série de adaptações pelas quais passaram os membros do gênero, que são alistadas e brevemente comentadas na seqüência.

Em primeiro lugar, tais organismos desenvolveram elaborada estratégia de parasitismo pela qual células das raízes da planta hospedeira são induzidas a se transformar em tecido nutridor diferenciado, capaz de prover-lhes o fornecimento regular dos nutrientes necessários ao total desenvolvimento e à plena reprodução. O processo consta, objetivamente, do seguinte: i) pelo estilete bucal, juvenis infectivos vermiformes (J2) de *Meloidogyne* injetam secreções esofagianas no citoplasma de um pequeno grupo de células localizadas no cilindro vascular ou nas suas adjacências (periciclo, endoderme); ii) as células injetadas logo evidenciam alterações morfológicas (ficam hipertrofiadas) e fisiológicas (citoplasma de aspecto denso, granuloso, associado a sucessivas divisões dos núcleos, não acompanhadas de divisões da própria célula), passando a ser chamadas de células gigantes ou nutridoras; iii) os nematóides passam então a ingerir o conteúdo citoplasmático dessas células modificadas, que lhes serve de alimento; as células gigantes conectam-se às células sadias vizinhas, delas recebendo, regularmente, parte dos solutos e fotoassimilados produzidos pela planta; iv) à medida que se alimentam, os parasitos vão avançando aos estádios juvenis seguintes e, por fim, atingem o estágio adulto.

Em segundo lugar, *Meloidogyne* é um gênero em que as fêmeas são formas sedentárias, apresentando corpo obeso, aberrante, que lembra um saco arredondado; tal mudança possibilita que possam conter dois ovários muito longos e bem desenvolvidos, transformando-se em verdadeiras "máquinas de formar ovos" (as espécies tidas como mais importantes, *M. incognita* e *M. javanica*, originam ao redor de 400 ovos, em média, ao longo de período variável de quatro a seis semanas, sob condições favoráveis).

Em terceiro lugar, os ovos formados ficam aglomerados em massas junto aos corpos das fêmeas, interna ou externamente às raízes, protegidos em meio a substância gelatinosa por elas produzida. Além da proteção relativa que oferece frente a inimigos naturais, tal material atua como "sinalizador" de eventuais condições externas desfavoráveis; assim, quando ocorre condição de seca mais prolongada e déficit hídrico no solo, a "geléia" fica fortemente desidratada, observando-se subsequente interrupção ou suspensão temporária do desenvolvimento embrionário no interior dos ovos.

Em quarto lugar, no gênero *Meloidogyne* podem ocorrer diferentes modalidades reprodutivas, todas de natureza sexuada; existem espécies que se reproduzem tipicamente por anfimixia (reprodução sexuada do tipo padrão, com concurso obrigatório de machos e razão sexual equilibrada na maioria das populações), outras que são anfimíticas mas que, sob certas condições, passam a exibir, temporaria e facultativamente, reprodução por partenogênese do tipo meiótica, e as que se reproduzem exclusivamente por partenogênese, no caso do tipo mitótica (Tabela 2). As espécies mais importantes do ponto de vista econômico e também para a sojicultura, como *M. arenaria*, *M. incognita* e *M. javanica*, incluem-se na última categoria, isto é, são partenogênicas obrigatórias. Tal condição implica em importantes aspectos como: a) não há necessidade do concurso do macho para a formação dos ovos, representando vantagem apreciável tanto pela economia de energia que seria gasta na busca do parceiro sexual como pela ausência de risco de não encontrá-lo; b) as populações são normalmente constituídas apenas por fêmeas (= partenogênese telítoca), por sucessivas gerações, aparecendo machos normais ou sexualmente revertidos apenas eventualmente, no geral sob condições de estresse nutricional (Leroi & Jones, 1998). Como os juvenis femininos e principalmente as fêmeas são formas fitoparasitas (os machos não são, aparentemente) e estas produzem elevado número de ovos, a importância de tais espécies como parasitos vegetais fica, portanto, muito evidente.

TABELA 2. Modalidades de reprodução em algumas espécies do gênero *Meloidogyne*.

Espécie	Número cromossômico	Tipo de reprodução
<i>Meloidogyne arenaria</i>	2n (34-38) 3n (51-56)	Partenogênese mitótica Partenogênese mitótica
<i>Meloidogyne carolinensis</i>	n (18)	Anfimixia
<i>Meloidogyne exigua</i>	n (18)	Partenogênese meiótica
<i>M. graminicola</i>	n (18) ou 2n (36)	Anfimixia ou P. meiótica
<i>M. hapla</i> (raça A)	n (15-17)	Anfimixia ou P. meiótica
(raça B)	2n (30-32)	Partenogênese mitótica
(raça B)	3n (45-48)	Partenogênese mitótica
<i>M. incognita</i>	2n (41-44)	Partenogênese mitótica
<i>M. javanica</i>	2n (43-48)	Partenogênese mitótica
<i>M. microcephala</i>	2n (36-38) 4n (74)	Partenogênese mitótica Partenogênese mitótica
<i>M. microtyla</i>	n (18-19)	Anfimixia

Adaptada de Evans (1998).

Além do que foi dito, a partenogênese mitótica em *Meloidogyne* está comumente associada à ocorrência de poliploidia e aneuploidia (Tabela 2). Isso se explica porque, nessa modalidade, durante a oogênese, os oócitos parecem amadurecer citologicamente de modo idêntico ao observado nas espécies anfimíticas, porém os cromossomos permanecem univalentes, não sofrendo sinapse. A única divisão que ocorre é mitótica e o pronúcleo do ovo mantém a condição somática (2n cromossomos), bem como o faz o outro produto da divisão, o

núcleo polar. Assim sendo, tal tipo de reprodução exclui qualquer possibilidade de *crossing-over* entre os cromossomos homólogos, como é típico da divisão meiótica, e, em teoria, deve limitar as fontes ou causas de variabilidade genética à ocorrência de raras mutações ao acaso (Evans, 1998). A questão, fundamental, que se impõe no caso é: como foi possível a um tipo de reprodução não anfimítica como esse - a partenogênese mitótica obrigatória - não apenas persistir mas tornar-se dominante em grupos de fitonematóides de tão elevado interesse agrônômico a exemplo de *Meloidogyne* e *Pratylenchus* ?

Segundo o conhecimento biológico tradicionalmente adquirido, a anfimixia deveria constituir-se na única modalidade reprodutiva que, por envolver plena integração entre os conteúdos dos gametas masculino e feminino, poderia assegurar, a longo prazo, contínua capacidade de adaptação das espécies às modificações do ambiente ou, em outras palavras, de evoluir ao longo do tempo. Expressões da reprodução por métodos em que a meiose se mostre de algum modo deficiente, como na partenogênese meiótica facultativa, parecem ser toleradas apenas como alternativas temporárias adotadas pela espécie até que seja possível o retorno ao pleno exercício da anfimixia dentro da população. Dentro desse contexto e seguindo-se os mesmos critérios de conceituação, a partenogênese mitótica obrigatória tem sido definida como um “beco sem saída evolutivo”, pois baseia-se na ocorrência de mutações ocasionais nas células germinativas dos oogônios para que possam vir a acontecer “novidades” genéticas e, conseqüentemente, desenvolva-se algum grau de seleção natural. A poliploidia, que com freqüência tem sido associada à partenogênese mitótica, provavelmente atuaria no sentido de disponibilizar maior número de cópias dos genes e, portanto, de favorecer ou facilitar as mutações, amenizando a situação; todavia, essa possibilidade não torna menos embaraçosa a aceitação do fato de que um gênero como *Meloidogyne*, considerado o mais importante e sofisticado grupo dentre os fitonematóides, possa ter atingido tão alto nível de desenvolvimento utilizando tal método de

reprodução (Blok et al., 1997; Evans, 1998). As pesquisas sobre tão controvertido assunto intensificaram-se nas últimas décadas e já se sabe atualmente que tais formas “ameióticas” clonais, como muitas espécies de *Meloidogyne* ou populações da bactéria *Escherichia coli*, de fato apresentam mecanismos pelos quais conseguem acumular certa variabilidade genética; verificou-se, por exemplo, que os fenótipos modificados induzidos por mutações presentes em algumas populações clonais assexuadas da citada bactéria eram resultantes de defeitos em genes envolvidos na atividade de restauração do DNA (Sneigowski et al., 1997). Em resumo, a verdade é que, independente de quantos são ou como agem tais mecanismos, as espécies de nematóides de galhas que se reproduzem por partenogênese mitótica obrigatória, principalmente *M. arenaria*, *M. incognita* e *M. javanica*, conseguiram consolidar a condição de agentes causais de sérios danos e vultosas perdas econômicas não apenas no Brasil e em particular para a sojicultura mas em relação à agricultura mundial, justificando o destaque que lhes será dado na presente publicação.

3.3.2. Sintomas, danos e alternativas para o controle

Na grande maioria das plantas hospedeiras favoráveis, as secreções esofagianas injetadas pelos nematóides de galhas induzem não apenas a formação do tecido nutridor (= conjunto de células gigantes) no cilindro vascular e áreas adjacentes como também podem incitar certo grau de hiperplasia local e principalmente causar hipertrofia de células do parênquima cortical, em especial daquelas que circundam o corpo do nematóide em desenvolvimento. Disso resulta que as raízes tornam-se engrossadas na região em que o parasitismo ocorre, podendo atingir diâmetros equivalentes ao dobro ou triplo do normal. Tais áreas diferenciadas, no geral passíveis de fácil visualização a olho nu, constituem as chamadas *galhas*, que apresentam tamanho, forma e localização preferencial no sistema radicular, variáveis em função da espécie de *Meloidogyne* considerada, da planta hospedeira envolvida e do nível de infecção observado.

Em soja, as plantas parasitadas por *M. arenaria*, *M. incognita* ou *M. javanica* caracterizam-se pela presença de grande número de galhas radiculares, tanto nas raízes secundárias (radicelas) como principalmente na raiz principal. Deve-se destacar que o ataque à raiz principal não é comum nas meloidoginoses, porém é bastante freqüente no caso da soja e, em razão disso, nas infecções mais severas, o sistema radicular pode ficar muito atrofiado, reduzido apenas a um aglomerado ou massa de galhas coalescentes nela incitadas. As galhas formadas nas raízes de plantas de soja pelas três espécies referidas podem atingir grandes dimensões e no interior delas é possível encontrar-se tanto juvenis em desenvolvimento como fêmeas com massas de ovos em números muito elevados.

É importante salientar que as células gigantes e as galhas são respostas distintas a um mesmo evento, qual seja a injeção de secreções produzidas pelas glândulas esofagianas do nematóide em células das raízes da planta hospedeira. As células gigantes são essenciais ao desenvolvimento e à reprodução do parasito, porém as galhas não são. As galhas, na verdade, constituem apenas bons indicadores da extensão das reações hiperplástica e hipertrófica dos tecidos afetados pelas secreções, podendo ser formadas bem antes que as células gigantes e mesmo na ausência destas.

Os danos causados às plantas resultam dos múltiplos sítios de alimentação, ou seja, dos conjuntos de células gigantes estabelecidos no cilindro vascular, periciclo e endoderme, bem como das áreas do córtex em que ocorrem hiperplasia e/ou hipertrofia celular. Em maior ou menor escala, dependendo da associação 'espécie de *Meloidogyne* x planta hospedeira' considerada, tais anomalias podem provocar forte compressão e até obliteração de elementos de vaso do xilema, resultando em completa desorganização do cilindro vascular. Interferência na absorção e transporte interno de solutos e fotoassimilados tem sido verificada, com indicação de que os nematóides em desenvolvimento nas raízes possam atuar como

eficientes drenos metabólicos (Carneiro et al., 1999), aspecto que será melhor discutido em capítulo posterior desta publicação. Além da intensa formação de galhas conspícuas, pode ocorrer inibição à emissão de raízes secundárias. Na parte aérea da cultura, observa-se crescimento lento e desigual entre plantas, evidenciando-se muitas vezes enfezamento nas plantas da parte central das reboleiras; sintomas de desequilíbrios nutricionais são comuns, o mais das vezes expressos por clorose que pode variar de leve a intensa. As reduções na produção variam em função de diferentes fatores, em particular dos níveis populacionais ocorrentes no solo por ocasião do plantio (= Pi), da(s) espécie(s) de *Meloidogyne* presente(s) na área, das variedades cultivadas e do manejo fitotécnico adotado nas condições locais. Tais aspectos relevantes, incluindo-se considerações mais específicas sobre os níveis de dano econômico para as espécies *M. incognita* e *M. javanica*, serão tratados em maior profundidade em capítulo posterior.

Quanto ao controle dos nematóides de galhas na sojicultura brasileira, tem sido preocupação constante não apenas dos pesquisadores, mas de técnicos fitossanitaristas e mesmo de produtores mais avançados. Nos anos 60, 70 e 80, por exemplo, no estado de São Paulo, significativos progressos foram alcançados nessa área de estudos mediante a contribuição dada pelo agricultor H. (Carlos) Kage, que logo verificou a importância dos nematóides como sérios inimigos da sojicultura e co-participou de muitos trabalhos experimentais conduzidos em várias de suas áreas de produção. As técnicas utilizadas têm sido principalmente a rotação de culturas, o cultivo de plantas antagonistas e o plantio de variedades resistentes/tolerantes, muitas vezes havendo a combinação delas. Quanto ao controle químico, embora possível e já praticado com certa intensidade no passado, sua adoção mostra-se hoje dependente não apenas de aspectos técnicos, mas principalmente econômicos.

A rotação, embora muitas vezes constitua a opção preferencial dos sojicultores, como em relação ao nematóide de cisto, esbarra em

algumas dificuldades no caso das meloidoginoses, pois as espécies de *Meloidogyne* são altamente polífagas e restringem muito as alternativas econômicas para substituição da cultura principal; em certas áreas infestadas, o problema fica ainda mais complexo pelo fato de ocorrerem misturas de populações, em especial de *M. incognita* e *M. javanica*. Culturas antagonistas, resistentes aos nematóides de galhas e que podem ser úteis como adubos verdes, como crotalárias, mucunas, aveias e outras, têm sido comumente indicadas para a ocupação temporária de áreas produtoras de soja muito infestadas.

A inclusão de variedades resistentes ou tolerantes aos nematóides de galhas em esquemas de rotação ou para plantio definitivo também representa valiosíssima ferramenta na busca de soluções aos problemas das meloidoginoses na sojicultura. Aliás, há mais de 30 anos que os nematologistas e melhoristas vêm oferecendo expressivas contribuições ao assunto no Brasil, e continuam a oferecer. Em relação a *M. incognita*, já se dispõe de opções bastante interessantes no germoplasma nacional, mas para *M. javanica* e *M. arenaria*, embora se tenha avançado nos últimos 20 anos, ainda há muito o que fazer, como se verá no capítulo relativo à resistência genética da soja aos nematóides de galhas.

3.3.3. Novos horizontes de pesquisa sobre as meloidoginoses da soja

Com o relativamente recente advento (ou o aperfeiçoamento) de métodos de estudo em laboratório e sob condições controladas aplicáveis aos fitonematóides, tais como os relativos à Biologia Molecular, algumas linhas de trabalho, tão promissoras quanto instigadoras, passaram a merecer especial atenção da partes dos pesquisadores interessados em solucionar certos problemas nematológicos.

Em termos das meloidoginoses da soja, envolvendo especialmente *M. incognita* e *M. javanica*, existem linhas que ainda representam apenas

perspectivas de trabalho e outras que já vêm sendo desenvolvidas. Na área taxionômica, por exemplo, tem-se buscado avançar no conhecimento a respeito do que alguns chamam de “complexo de *M. incognita*”, isto é, por meio de técnicas que possibilitam análise criteriosa e precisa da composição genômica de organismos, vêm sendo estudadas populações de nematóides de galhas que, mesmo aparentando possuir certas características típicas, peculiares, continuam a ser identificadas como *M. incognita*. As inter-relações entre tais formas necessitam de fato ser muito bem estabelecidas, de maneira a permitir que futuras proposições de novas espécies, bastante próximas mas realmente distintas de *M. incognita*, venham a ser feitas com precisão e atendendo ao rigor científico exigido. Também em relação a *M. javanica* é possível que se venha a alcançar progressos em futuro próximo, mediante o emprego de tais recursos metodológicos modernos, capazes de levar ao esclarecimento das causas de variação na virulência observada entre diferentes populações em relação a diversas plantas hospedeiras, inclusive e principalmente a soja. Tem sido sugerida, com certa freqüência, a criação de raças ou patótipos dentro de *M. javanica* (Tihohod & Ferraz, 1986), proposta de pronto rejeitada por muitos especialistas; com isso, a controvérsia se mantém e o assunto permanece indefinido, o que chega até a dificultar o desenvolvimento de pesquisas correlatas, como as de melhoramento genético visando à resistência de variedades frente a tal espécie. Em termos de relação parasito-hospedeiro, têm sido tentadas com insistência, mediante a utilização de anticorpos monoclonais/policlonais e de técnicas complementares, a devida identificação e a detalhada caracterização das proteínas secretadas pelas glândulas esofagianas sub-ventrais e dorsal de juvenis J2 e fêmeas de *M. javanica* e principalmente *M. incognita*, bem como a definição de quão crítica seja a participação de cada uma delas na expressão da ação patogênica sobre a planta (Davis et al., 1994; Rosso et al., 1996; Hussey & Grundler, 1998). Embora muito complexos, tais estudos, se bem sucedidos no sentido de disponibilizar as informações altamente

específicas buscadas, poderão vir a abrir caminho à elaboração de estratégias que permitam neutralizar o efeito indutor de tais secreções sobre as células das raízes, impedindo a formação das células gigantes e o desenvolvimento do nematóide de galha, e, com isso, oferecendo condições de posterior incorporação de tal atributo às variedades de soja de maior potencial agrônômico através dos programas de melhoramento genético.

Muitas outras linhas de trabalho aplicáveis às meloidoginoses da soja, recentemente implementadas, mostram-se bastante promissoras e algumas delas, embora aqui não mencionadas, serão referidas e/ou discutidas ao longo da presente publicação.

4. Bibliografia consultada

BLOK, V.C.; EHWAETI, E.; FARGETTE, M.; KUMAR, A.; PHILLIPS, M.S.; ROBERTSON, W.M.; TRUDGILL, D.L. Evolution of resistance and virulence in relation to the management of nematodes with different biology, origins and reproductive strategies. **Nematologica**, Leiden, v.43, p.1-13, 1997.

BOOCK, O.J. O 'Dowfume W-10' no combate aos nematóides que parasitam as plantas de soja. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.24, p.297-304, 1950.

CARNEIRO, M.R.D.G.; CARNEIRO, R.G. Estudos preliminares sobre o nematóide *Tubixaba tuxaua* na cultura do trigo no sudoeste do Paraná. **Sociedade Brasileira de Nematologia**, Piracicaba, v.7, p.251-9, 1983.

CARNEIRO, R.G.; MAZZAFERA, P.; FERRAZ, L.C.C.B. Carbon partitioning in soybean infected with *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. **Journal of Nematology**, Hanover, v.31, p.348-55, 1999.

CARNIELLI, A.; SOUZA, M.I.F. **Nematóides em soja: resumos informativos**. Brasília: EMBRAPA-DID; Dourados: EMBRAPA-UEPAE, 1989. 169p.

CARVALHO, J.C. A soja e seus inimigos do solo. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v.14, p.45-52, 1954.

CHARCHAR, J.M.; EISENBACK, J.D.; HIRSCHMANN, H. *Meloidogyne petuniae* n. sp., a root-knot nematode parasitic on petunia in Brazil. **Journal of Nematology**, Hanover, v.31, p.81-91, 1999.

CHITWOOD, B.G. Root-knot nematodes, part 1: a revision of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1887. **Proceedings of the Helminthological Society of Washington**, Washington, v.16, p.90-104, 1949.

MANSO, E.C.; TENENTE, R.C.V.; FERRAZ, L.C.B.; OLIVEIRA, R.S.; MESQUITA, R. **Catálogo de nematóides fitoparasitos encontrados associados a diferentes tipos de plantas no Brasil**. Brasília: Embrapa/SPI, 1994. 488p.

DAVIS, E.L.; ALLEN, R.; HUSSEY, R.S. Developmental expression of esophageal gland antigens and their detection in stylet secretions of *Meloidogyne Incognita*. **Fundamental and Applied Nematology**, Paris, v.19, p.545-54, 1994.

EISENBACK, J.D. (Ed.) **Root-knot nematode taxonomic database**. Wallingford: CAB International, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil: 1998/99**. Londrina: CNPSo, 1998. 182p.

EVANS, A.A.F. Reproductive mechanisms. In: PERRY, R.N.; WRIGHT, D.J. (Ed.) **The physiology and biochemistry of free-living and plant-parasitic nematodes**. Wallingford, CAB International, 1998. p.133-154.

GOODEY, J.B.; FRANKLIN, M.T.; HOOPER, D.J. **T.Goodey's: the nematode parasites of plants catalogued under their hosts.** 3.ed. Farnham Royal: CAB, 1965. 214p.

HASSE, G. **O Brasil da soja: abrindo fronteiras, semeando cidades.** Porto Alegre: L&PM; Poço Grande: Ceval Alimentos, 1996. 256p.

HUSSEY, R.S.; GRUNDLER, F.M.W. Nematode parasitism of plants. In: PERRY, R.N.; WRIGHT, D.J. (Eds.) **The physiology and biochemistry of free-living and plant-parasitic nematodes.** Wallingford: CAB International, 1998. p.213-243.

HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Economic Botany**, Lawrence, v.24, p.408-21, 1970.

HYMOWITZ, T.; HARLAN, J.R. Introduction of soybean to North America by Samuel Bowen in 1765. **Economic Botany**, Lawrence, v.37, p.371-9, 1983.

JEPSON, S.B. **Identification of the root-knot nematodes (*Meloidogyne* species).** Wallingford: CAB, 1987. 265p.

KINLOCH, R.A. Response of soybean cultivars to nematicidal treatments of soil infested with *Meloidogyne incognita*. **Journal of Nematology**, Saint Paul, v.6, p.7-11, 1974.

LEROI, A.M.; JONES, J.T. Developmental biology. In: PERRY, R.N.; WRIGHT, D.J. (Eds.) **The physiology and biochemistry of free-living and plant-parasitic nematodes.** Wallingford: CAB International, 1998. p.155-180.

LORDELLO, L.G.E. *Meloidogyne inornata*, a serious pest of soybean in State of São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v.16, p.65-70, 1956.

LORDELLO, L.G.E. Nematodes attacking soybean in Brazil. **Plant Disease Reporter**, Beltsville, v.39, p.310-11, 1955.

LORDELLO, L.G.E. **Nematóides das plantas cultivadas**. São Paulo: Nobel, 1982. 314p.

LORDELLO, L.G.E. Nematóides que parasitam a soja na região de Bauru. **Bragantia**, Campinas, v.15, p.55-64, 1956.

LORDELLO, L.G.E.; GALLO, D. Bekämpfung der wichstigen schädlinge der brasilianischen landwirtschaft. **Anzeiger Fur Schädlingkunde**, Berlim, v.27, p.49-55, 1954.

MONTEIRO, A.R.; LORDELLO, L.G.E. *Tubixaba tuxaua* n. gen., n. sp., a suspected parasitic nematode of soybean roots. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.55, p.301-4, 1980.

PONTE, J.J. da. **Nematóides das galhas: espécies ocorrentes no Brasil e seus hospedeiros**. Mossoró, RN: Brascan Nordeste, 1977. 99p.

PROBST, A.H.; JUDD, R.W. Origin, US history and development, and world distribution. In: CALDWELL, B.E. (Ed.) **Soybeans: improvement, production and uses**. Madison: American Society of Agronomy, 1973. p.1-19.

ROSSO, M.N.; SCHOUTEN, A.; ROOSIEN, J.; BORST-VRENSEN, T.; HUSSEY, R.S.; GOMMERS, F.J.; BAKKER, J.; SCHOTS, A.; ABAD, P. Expression and functional characterization of a single-chain FV antibody directed against secretions involved in plant nematode infection process. **Biochemistry and Biophysics Research Communications**, Bruxelas, v.220, p.255-263, 1996.

SCHIMITT, D.P.; NOEL, G.R. Nematode parasites of soybeans. In: NICKLE, W.R. (Ed.) **Plant and insect nematodes**. New York: Marcel Dekker, 1984. p.13-59.

SIKORA, R.A.; GRECO, N. Nematode parasites of food legumes. In: LUC, M.; SIKORA, R.A.; BRIDGE, J. (Ed.) **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Wallingford: CAB International, 1990. p.181-235.

SILVA, J.F.V. **Genética quantitativa associada ao uso de marcadores moleculares para a seleção de genótipos de soja com resistência a *Meloidogyne javanica***. 2000. 73f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, J.G.; LORDELLO, L.G.E.; MIYASAKA, S. Observações sobre a resistência de algumas variedades de soja ao nematóide de galhas. **Bragantia**, Campinas, v.12, p.59-63, 1952.

SNEIGOWSKI, P.D.; GERRISH, P.J.; LENSKI, R.E. Evolution of high mutation rates in experimental populations of *E. coli*. **Nature**, Londres, v.387, p.703-5, 1997.

TAYLOR, A.L.; SASSER, J.N. **Biology, identification and control of root-knot nematodes**. Raleigh: NCSU Graphics. 111p.

TIHOHOD, D.; FERRAZ, S. Variabilidade de três populações de *Meloidogyne javanica* em plantas de soja. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v.10, p.163-171, 1986.

*Não vejo outro meio de sair desta dificuldade systematica senão classificando provisoriamente o nosso verme em um novo genero. Quanto à espécie, concordo em dizer que não se pôde identificá-la com alguma espécie até hoje descripta, de modo a poder ser a todo o tempo e em qualquer localidade claramente reconhecida. Estudos futuros, especialmente dirigidos para este assumpto, permitirão talvez desanover todas as duvidas e fazer entrar definitivamente a nossa especie no quadro systematico. Por ora propohe-lhe para o nosso verme o nome scientifico: *Meloidogynus eriquei* (indicando o genero a forma particular da femina entkistada, imitando uma maça ou herança, e a especie a exiguidade das dimensões).*

