

# Nematoden als indicators voor bodemclassificatie

J. COOSEMANS

## Inleiding

### *Nematoden en bodembeoordeling*

Bosbodems verdienen, vanuit nematologisch standpunt, omwille van hun multifunctionaliteit en hun relatief onverstoorde karakter bijzondere aandacht. Al dan niet door menselijk toedoen kunnen er verstoringen optreden in een bodemecosysteem. Deze induceren veranderingen in de bodemfauna zoals een diapauze, migratie, vervanging en eliminatie van soorten, enz. Effecten op het bodemleven kunnen nog aantoonbaar zijn nadat de oorzaak van de verstoring fysisch of chemisch niet meer te bepalen is. De verstoringen worden opgevolgd door een geleidelijk herstel van het ecosysteem. Dit herstel wordt gereflecteerd in een zich wijzigende samenstelling van de nematodenpopulatie in de bodem.

Op basis van dit principe heeft men verscheidene methoden ontwikkeld om aan de hand van de nematodenpopulatie de ecologische toestand van de bodem te karakteriseren. Reeds in 1974 wijst JOHNSON op het feit dat nematodengemeenschappen kunnen gerelateerd worden aan bostypes, successiestadia van bos en belangrijke bodemkarakteristieken (JOHNSON *et al.* 1974). Op grond van analyses van de nematodenfauna van een beperkte reeks bodemtypen met min of meer natuurlijke vegetaties wordt geconcludeerd (BONGERS *et al.* 1989) dat nematoden verschillend reageren ten opzichte van de afzonderlijke ecosysteemparameters. Er komen plantenparasieten voor die uitsluitend in een bepaald vegetatietype aangetroffen worden, andere soorten zijn typerend voor een bepaald bodemtype of combinatie van bodemtype en vegetatie. Er zijn soorten met een geringe ecologische amplitude, andere soorten daarentegen komen ogenschijnlijk onder alle milieuomstandigheden voor.

### *Nematoden als bio-indicator*

De nematodenfauna vertoont een aantal eigenschappen die nematoden potentieel geschikt maken voor de ontwikkeling van een bodembeoordelingssysteem (BONGERS *et al.* 1989, BONGERS 1990):

– nematoden komen in grote aantallen voor: in een liter grond worden er gemiddeld 30.000 aangetroffen, verdeeld over 30 à 50 soorten. Na de micro-organismen en

de Protozoa zijn ze de best vertegenwoordigde bodemorganismen. Een uitzondering hierop zijn tropische bodems waar nematoden minder aanwezig zijn, wellicht door competitie met meer gespecialiseerde tropische organismen (PROCTER 1990);

- de diversiteit van nematoden is hoog: er zijn ongeveer 5000 vrijlevende terrestrische soorten;
- de staalname is relatief eenvoudig;
- door hun permeabele cuticula staan nematoden in direct contact met solventen in het capillaire bodemwater. Zo blijkt bv. de onderklasse Secernentea een hogere tolerantiegrens te hebben voor chemische verstoringen dan de Adenphorea (SOHLENIUS 1997);
- nematoden vormen een trofisch zeer heterogene groep. Zo zijn er plantenparasieten, schimmeleeters, bacterieeters, omnivoren, algeneters en carnivoren;
- verscheidene species overleven anaërobe condities. Er kunnen ook nematoden voorkomen in extreem koude, warme of droge omstandigheden waar andere groepen invertebraten geen kans maken (PROCTER 1990). Nematoden zouden volgens dezelfde auteur ook beter nutriëntstress kunnen opvangen;
- ze kunnen gevonden worden in alle seizoenen. Hier dient wel rekening gehouden te worden met eventuele variatie in nematodensamenstelling tussen de seizoenen. Deze variatie wordt grotendeels veroorzaakt door temperatuursverschillen en fluctuaties in het vochtgehalte van de bodem (YEATES 1972);
- bepaalde species kennen een parthenogenetische voortplanting wat de noodzaak van een minimale populatiedichtheid voor voortzetting van de soort opheft.

### *Bodemverstoring*

Van verscheidene bodemverstoringen werd de invloed op nematoden reeds onderzocht:

- bekalking en stikstofbemesting (HYVÖNEN & HUHTA 1989);
- bemesting en begassing van bodems (ETTEMA & BONGERS 1993);
- zure neerslag in een bodem van een sparrebos (RUESS *et al.* 1996);
- kaalkap in *Pinus sylvestris* bestanden (SOHLENIUS 1997).

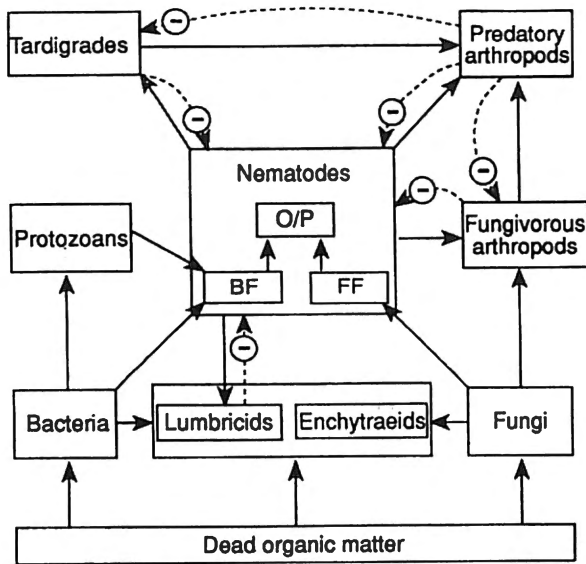


Fig. 1 — Conceptueel diagramma van de trofische interacties. BF = bacterievoedende nematoden, FF = schimmel-etende nematoden, O/P = omnivoren/predatoren. Volle pijlen wijzen op nutriëntenfluxen (bottom-up effecten), onderbroken pijlen op controlerende invloeden op de nematodenpopulatie (top-down effecten) (HYVÖNEN & PERSSON 1994).

Verstoring kan onderverdeeld worden in enerzijds chemische verstoringen zoals bemesting en verzuring, anderzijds in fysische verstoringen zoals bosbouwkundige ingrepen (dunningen, kaalkap, enz.), windworp en andere. Men neemt aan dat de nematodenpopulatie voornamelijk veranderingen ondergaat omwille van wijzigin-

gen in het voedselaanbod. Zo komen na een kaalkap heel wat nutriënten vrij door het afsterven en verteren van wortels. Hierdoor volgt een sterke toename van het aantal afbrekende micro-organismen welke het voedsel vormen voor bepaalde nematodentaxa.

Chemische verstoringen, zoals een beïnvloeding van de pH, veroorzaken eveneens een wijziging in de nutriëntenbeschikbaarheid zodat veranderingen in populaties van andere bodemorganismen plaatsgrijpen. Het dynamisch bodemecosysteem (fig. 1) raakt zo uit evenwicht en bepaalde nematodenspecies treden op de voorgrond terwijl andere species verdwijnen. Wanneer bijvoorbeeld micro-arthropoda zoals Collembola en Oribatida aangetroffen worden, heeft dit zijn invloed op de nematodenpopulatie door een vermindering van de predatiedruk (HYVÖNEN & PERSSON 1994).

De stijging in de populatiedichtheid is dus vaak terug te brengen tot een groter voedselaanbod, minder predatie en competitie en mildere klimaatsomstandigheden. Een daling in het aantal aangetroffen nematoden is dan het gevolg van een kleiner voedselaanbod, een grotere predatie en competitiedruk of andere negatieve biotische en abiotische omstandigheden. In mindere mate spelen directe effecten mee zoals bijvoorbeeld de invloed van bepaalde basen op het uitkomen van de eieren. Veranderingen in nematodenfauna-samenstelling blijken ook gekoppeld te zijn aan wijzigingen in de vegetatie en de ontwikkeling van het bodemprofiel.

#### Het gebruik van nematoden als bio-indicator

Vlak na een verstoring wordt een bodem als "arm" bestempeld. Na de verstoring zal de bodem zich vanuit deze "arme" situatie terug herstellen tot wat men een

Tabel 1 — Enkele van de met r- en K-selectie gecorreleerde kenmerken.

	r-selectie	K-selectie
<i>Klimaat:</i>	Variabel en/of onvoorspelbaar, onzeker	Relatief constant en/of voorspelbaar, zekerder
<i>Mortaliteit:</i>	Meestal catastrofaal, niet gericht, onafhankelijk van de densiteit	Meer gericht, afhankelijk van de densiteit
<i>Overleving van de kiemplanten:</i>	Waarschijnlijk kort, maar het grootste deel van de populatie	Waarschijnlijk lang, maar slechts een zeer klein gedeelte van de populatie
<i>Populatie-grootte:</i>	Variabel in de tijd, niet in evenwicht; gewoonlijk onder de draagkracht; niet verzadigde gemeenschappen of gedeelten hiervan; ecologisch vacuüm; rekolonisatie ieder jaar, seizoenaal; opportunistisch	Vrij constant in de tijd, in evenwicht, op of nabij draagkracht; verzadigde gemeenschappen; geen rekolonisatie maar geleidelijke vervanging van de individuen
<i>Intra- en interspecifieke competitie:</i>	Variabel, vaak vaag	Gewoonlijk intens
<i>Selectie begunstigt:</i>	1. snelle ontwikkeling 2. hoge maximale reproductiesnelheid 3. vroege reproductie 4. gewoonlijk klein van habitus 5. continu hoge reproductiesnelheid, veelal éénmalig	1. trage ontwikkeling 2. grotere competitieve kracht 3. latere en meer gespreide reproductie 4. gewoonlijk groter 5. relatief lage reproductiesnelheid, herhaaldelijk optredend
<i>Levensduur:</i>	Kort, één- of tweejarige spp., pionierssoorten	Langer, meestal meer dan 2 jaar
<i>Leidt tot:</i>	Productiviteit	Efficiëntie
<i>Positie in successie:</i>	Vroeg	Laat

“rijpe” bodem noemt. De plaats van nematoden in dit geheel wordt besproken aan de hand van verschillende indices. Diverse methodieken zijn ontwikkeld om aan de hand van de resultaten van bodemanalysen en extractie van nematoden het effect van bodemverstoringen en het geleidelijke herstel na te gaan. Dit herstel wordt gekenmerkt door een secundaire successie in nematodenfauna. De meeste indices zijn gebaseerd op soortenrijkdom, frequentie, abundantie en dominantie van soorten, similariteit of op een combinatie van deze factoren.

#### a) *r- en K-strategen*

JOHNSON *et al.* (1974) bekwaam met zijn studie over de structuur van nematodengemeenschappen belangrijke resultaten die in latere analyses gebruikt worden. Het is dan ook nuttig zijn onderzoek en besluiten kort uiteen te zetten om de hierna voorgestelde methoden beter te begrijpen.

JOHNSON bestudeerde species van de volgende orden: 1. Tylenchida; 2. Dorylaimida; 3. Rhabditida, Teratocephalida, Araeolaimida, Monhysterida, Chromadorida, Enoplida.

Op basis van studies rond o.a. het aantal gevonden species en individuen concludeerde hij dat in zeer verstoorde gebieden weinig Dorylaimida en veel Tylenchida voorkomen. De Dorylaimida bleken sterk beïnvloed te worden door verstoringen. Hij legde de link met de r- en K-selectie die door plantecologen gebruikt werd (tabel 1). Zo beschouwde JOHNSON de Dorylaimida als K-strategen. Ze zijn immers tamelijk groot, zijn aangepast aan gespecialiseerde habitats van niet verstoorde plaatsen, hebben een lange levenscyclus met weinig nakomelingen per individu en verschijnen pas laat in de successiereeks. Rhabditida vallen onder de categorie van de r-strategen. Ze vermenigvuldigen zich zeer snel in verschillende omgevingen en komen in het begin van de successiereeks voor. Tylenchida bevinden zich ergens in het r-K-continuüm. Ze zijn competitief in stabiele habitats, maar kunnen zich ook in stand houden in verstoorde gebieden.

Naarmate de ouderdom van een bos toeneemt, constateert men een grotere diversiteit in nematodengemeenschappen. Een hoger aantal soorten gaat gepaard met een meer evenredig aandeel per soort. Deze variatie in soorten-samenstelling kan toegeschreven worden aan een “rijping en vervolmaking” van het bodemecosysteem met de leeftijd en aan een aanpassing aan de successiestadia van het bos. De strooiselproductie draagt bij tot de creatie van een humuslaag en beter gestructureerde bodempopulaties. Bij deze evolutie nemen de K-strategen af in aantal terwijl de r-strategen talrijker worden (ARMENDÁRIZ & ARPIN 1996).

Na verstoring valt er een toename in een beperkt aantal genera van bacterievoedende nematoden waar te nemen, nl. *Acrobeloides* is de dominante soort, maar *Rhabditis* en *Cephalobidae* spp. gedijen ook zeer goed. *Plectus* en *Wilsonema* kenden een toename na N-bemesting en bij de wortel- en fungivoedende aaltjes stelde men een toe-

name vast van *Tylenchus* en *Aphelenchoides* (HYVÖNEN & HUHTA 1989). DE GOEDE *et al.* (1993a) vermeldt dat ZELL (1989) spreekt over *Plectus acuminatus* en *Rhabditis silvatica* als eerste bacterievoedende colonizers op afgevalen beukenbladeren. Uit onderzoek van HÁNĚL (1996) in sparrenbossen (*Picea abies*) in Tsjechië blijkt dat Tylenchida en bacteriofage nematoden zoals *Rhabditis*, *Rotylenchus*, *Plectus*, *Filenchus*, *Acrobeloides*, *Aglenchus* en *Eudorylaimus* s.l. het meest abundant zijn. Een experiment van SALMINEN en SULKAVA (1996) toont aan dat *Rhabditis*, *Acrobeloides*, *Plectus*, *Monhystera*, *Bunonema* en de schimmeletende *Aphelenchoides* het grootste koloniserend vermogen hebben. *Rhabditis* wordt geleidelijk vervangen door andere bacterievoedende nematoden zoals *Plectus* en *Acrobeloides* wanneer de voedselvoorziening schaarser wordt.

#### b) *Aantal species en individuen*

Haast in alle studies worden totale aantallen van species én individuen berekend. Een verstoring wordt meestal gereflecteerd in een verminderd aantal species. Het totale aantal individuen kan gelijk blijven maar er treedt normaliter een verschuiving op binnen de species: species behorende tot de K-strategen worden schaarser, r-strategie soorten worden talrijker. Om beter conclusies te kunnen trekken deelt men de nematoden vaak in functionele groepen op. Zo zijn de resultaten van de analyse overzichtelijker en kan men doelgericht besluiten trekken.

#### c) *Sørensens similariteitsindex (S<sub>s</sub>)*

SØRENSEN (1948) gaat de verwantschap na tussen verschillende stalen aan de hand van aan- of afwezigheid van bepaalde nematodengroepen in een staal (HÁNĚL 1996, SALMINEN & SULKAVA 1996).

$$S_s = \frac{2s}{S_1 + S_2} \times 100$$

s = aantal gemeenschappelijke soorten

s<sub>1</sub> = aantal soorten aanwezig in staal 1

s<sub>2</sub> = aantal soorten aanwezig in staal 2

#### d) *Shannon-Weaver (1949) diversiteitsindex (H')*

Deze index gebruikt de proportie (pi = proportie van elk taxon in het staal) volgens de volgende formule:

$$H' = \sum p_i \cdot \ln p_i$$

Deze index werd door ARMENDÁRIZ & ARPIN (1996) en MCSORLEY (1997) gebruikt. ETTEMA & BONGERS (1993) gebruikt hem in vergelijking met de Maturity Index.

#### e) *Maturity Index (MI)*

Deze index werd opgesteld door BONGERS (1990). Aangezien deze index sinds 1990 vaak gebruikt wordt en door verschillende auteurs nog verbeterd is, volgt hier een uitgebreide uiteenzetting over de definitie van deze index, de kritieken vanwege andere auteurs en de aanpassingen die er in de loop der jaren aan gebeurd zijn.

• Wat is de Maturity Index?

De Maturity Index is een semi-kwantitatieve maat die, gebaseerd op de samenstelling van de nematodenpopulatie, de toestand van een ecosysteem weergeeft. Het is mogelijk om een toenemende waarde te geven aan elk van de taxa die achtereenvolgens een verstoorte habitat kunnen bevolken. Het gewogen gemiddelde van deze waarden geeft een aanwijzing van het stadium van rijpheid of "maturity" waarin het herstel verkeert. Om de index te berekenen wordt aan elke niet-plantparasitaire nematodenfamilie een waarde op de c-p schaal toegekend. De extremen op deze schaal zijn "colonizers" (c) met een c-p waarde gelijk aan 1 en voor "persisters" (p) een waarde van 5. Ruwweg komen ze overeen met r- en K-strategen.

De kolonistors worden gekenmerkt door een korte levenscyclus, een groot kolonisatievermogen, een hoge reproductieconstante ondermeer omdat ze het voordeel hebben dauer-larven of andere resistente stadia te vormen om perioden van voedselgebrek te overleven. Ze zijn relatief ongevoelig voor chemische pollutanten (xenobiotica) en fysische verstoringen, eutrofiëring en anoxibiose. Ze kunnen dehydratatie goed doorstaan, zijn vaak numeriek dominant en vertonen hoge fluctuaties in populatiedichtheden. Ze hebben grote gonaden, zetten veel kleine eitjes af en zijn vaak vivipaar. Species van de families Rhabditidae, Panagrolaimidae, Diplogasteridae en Monhysteridae behoren tot de typische kolonistors.

Persisters anderzijds worden gekenmerkt door een lagere reproductieconstante. Ze hebben een lange levenscyclus, een laag koloniserend vermogen en zijn gevoelig aan verstoringen. Ze behoren nooit tot een dominante soort in een staal. Hun aantallen schommelen sterk doorheen het jaar. Ze hebben kleine gonaden, zorgen voor grote eieren en leveren weinig nakomelingen. Persisters leven vooral in duurzame, stabiele habitats. De meest uitgesproken persisters behoren tot de families van de Nygolaimidae, Thornematidae, Belonidiridae, Actinolaimidae en Discolaimidae.

De Maturity Index wordt als volgt berekend:

$$MI = \sum_{i=1}^n v_i \cdot f_i$$

$v_i$  = c-p waarde van taxon  $i$

$f_i$  = aandeel van dat taxon t.o.v. het totaal in een staal

$n$  = aantal taxa

Wanneer een lage MI-waarde bekomen wordt, wijst dit op de aanwezigheid van veel kolonistors of een hoge mate van verstoring, terwijl een hoge MI-waarde eerder een "rijpere" bodem karakteriseert met meer persisters. Het geleidelijke herstel van een bodem zal zich uiten in een stijgende Maturity Index. Tabel 2 geeft de posities van de verschillende niet-plantenvoedende nematoden op de c-p schaal aan.

Een lage index wijst dus op de aanwezigheid van veel kolonistors en weinig persisters. Men heeft in dat geval

Tabel 2 — C-p waarden voor terrestrische en aquatische nematodenfamilies:

1 = colonizer, 5 = persister (BONGERS 1990).

Neotylenchidae	2	Achromadoridae	3
Anguinidae	2	Etmolaimidae	3
Aphelenchidae	2	Cyatholaimidae	3
Aphelenchoididae	2	Desmodoridae	3
Rhabditidae	1	Microlaimidae	3
Alloionematidae	1	Odontolaimidae	3
Diplogasteridae	1	Aulolaimidae	3
Bunonematidae	1	Bastianiidae	3
Cephalobidae	2	Prismatolaimidae	3
Ostellidae	2	Ironidae	4
Panagrolaimidae	1	Tobrilidae	3
Myolaimidae	2	Onchulidae	3
Teratocephalidae	3	Tripylidae	3
Diplogasteridae	1	Alaimidae	4
Neodiplogasteridae	1	Bathyodontidae	4
Diplogasteroididae	1	Mononchidae	4
Tylopharyngidae	1	Anatonchidae	4
Odontopharyngidae	1	Nygolaimidae	5
Monhysteridae	1	Dorylaimidae	4
Xyalidae	2	Chrysonematidae	5
Linhomoeidae	3	Thornematidae	5
Plectidae	2	Nordiidae	4
Leptolaimidae	3	Qudsianematidae	4
Halphanolaimidae	3	Aporcelaimidae	5
Diplopeltidae	3	Belonidiridae	5
Rhabdolaimidae	3	Actinolaimidae	5
Chromadoridae	3	Discolaimidae	5
Hypodontolaimidae	3	Leptonchidae	4
Choanolaimidae	4	Diphtherophoridae	3

te maken met een verstoorte bodem. Het geleidelijk herstel van een bodem na een verstoring zal te zien zijn in een stijgende Maturity Index.

• Verfijningen van de MI

Men dient ook rekening te houden met het feit dat de MI afhankelijk is van bodemeigenschappen zoals textuur, pH, redoxpotentiaal, zoutgehalte, enz. Daarom is het noodzakelijk een referentiewaarde te gebruiken opdat de resultaten juist kunnen worden geïnterpreteerd. Als referentie gebruikt men een onbehandelde bodem met dezelfde eigenschappen als de behandelde bodem. Er is ook een seizoenale fluctuatie van de MI. Zo noemt SOHLENIUS (1997) *Rhabditis* een "wintergeslacht" omdat ze talrijk aanwezig zijn in koude, natte omstandigheden. Aangezien *Rhabditis* een kolonistor is, is dus een daling van MI in de winter mogelijk.

• Plant Parasite Index (PPI)

In de MI worden de plantparasitaire nematoden niet in rekening gebracht. Hiervoor zijn twee redenen aan te halen:

Tabel 3 — Experimentele plaatsing van families van plantparasitaire nematoden op de c-p schaal (BONGERS 1990).

c-p 2	c-p 3	c-p 4	c-p 5
Tylenchidae	Dolichodoridae	Trichodoridae	Longodoridae
Psilenchidae	Hoplolaimidae		
Tylodoridae	Pratylenchidae		
Phoridae	Heterodoridae		
Paratylenchidae	Meloidogynidae		
Anguinidae	Criconematidae		
	Hemicycliophoridae		

- plantparasitairen hangen af van de aanwezigheid van hogere planten. Dit maakt hun voedselvoorziening moeilijker dan die van bijvoorbeeld omnivoren. In verstoorde bodems zal de rekolonisatie van plantparasitairen langer op zich laten wachten dan deze van niet-plantparasitairen omdat de eerste afhankelijk zijn van de groei van planten;
- de levensstrategie van plantparasitairen is niet vergelijkbaar met die van niet-plantparasitairen.

Daarom is er voor de plantparasitairen een aparte index – de Plant Parasite Index (PPI) – opgesteld. De c-p waarden van de verschillende plantparasitaire families zijn gegeven in tabel 3. Merk op dat extreme koloniatoren niet voorkomen.

De aanwezigheid van de aan verstoring gevoelige Trichodoridae en langlevende Longidoridae wijst dus op stabiliteit, vandaar de hoge c-p waarde.

Onder bepaalde condities blijkt de MI een inverse relatie te hebben met de PPI (BONGERS *et al.* 1997). Wanneer planten meer biomassa zouden produceren door bemesting, stijgt de PPI, maar de MI zal afnemen door deze vorm van verstoring. Dit is ondermeer een aanwijzing dat de levensstrategie van plantparasitaire aaltjes niet vergelijkbaar is met die van niet-plantparasitairen. Eerstgenoemde soort is immers afhankelijk van de aanwezigheid van hogere planten wat hun voedselvoorziening betreft en plantengroei reageert verschillend op verstoringen dan andere potentiële voedselbronnen van nematoden. Het meenemen van plantparasieten in de MI zou dus wel degelijk leiden tot een minder gevoelige index. De verhouding tussen MI en PPI wordt voorgesteld als een zeer gevoelige parameter voor het nagaan van verstoringen.

## Materiaal en methoden

Op basis van het bestaande grid van de bosinventarisatie en in samenspraak met het IBW (Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap) werden 50 bosplots geselecteerd.

De nematodenextractie gebeurde volgens een gemodificeerde decanteer/zeeftechniek, gebaseerd op de Cobbs' methode of de "cotton-wool filter method".

Om de nematoden langere tijd te kunnen bewaren werden ze gedood en gefixeerd. Dit gebeurde tegelijkertijd door ze over te brengen in een hete ( $\pm 90^{\circ}\text{C}$ ) 4 % formaline oplossing. Hierdoor komen ze mooi gestrekt te liggen of nemen een soortspecifieke vorm aan waarop de identificatie ondermeer kan gebaseerd worden.

## Resultaten

In totaal werden 490.856 individuen geteld. Gemiddeld bevatten de grondmonsters 32.720 nematoden per liter grond. Dit getal ligt sterk in de buurt van de 30.000 nematoden per liter grond, dat als algemeen gemiddelde aanvaard wordt (BONGERS 1994). Uitschieters werden aangetroffen op het terrein 22 met meer dan 100.000 (!) nematoden per liter grond en in Sevedonck waar slechts 1450 ind/l grond werden aangetroffen. Op het moment van de staalname stond dit laatste bos wel onder water. Voor de meeste bemonsteringsplanten en per bosplot blijkt er een sterke homogeniteit (tabel 4).

### Identificatie

Per bosplot werden 3 massapreparaten gemaakt waarvan per preparaat 100 nematoden geïdentificeerd werden zodat per bos 300 identificaties gebeurden.

### Resultaten en bespreking

In tabel 5 worden alle aangetroffen geslachten/soorten vermeld.

Er werden in totaal nematoden uit 33 families geïdentificeerd, verdeeld over 58 geslachten en minstens 94 soorten. Hierbij blijkt dat er soorten zijn welke in vrijwel elk bos voorkomen, bv. *Filenchus* sp., levend van mossen, algen en hogere planten, werd vastgesteld in 45 van de 50 bossen. Ook *Aphelenchoides* sp., welke zich voedt met hogere planten en schimmels, wordt algemeen aan-

Tabel 4 — Aantal nematoden in de 50 bemonsterde bosplots (bemonsterde laag vooral; L = organisch, A = mineraal).

Bosplots			#nematoden/100 ml bodem		
			1	2	3
Herhaling:					
1 Het Kamp	Schilde	L	585	2790	1540
2 Beerse Heide	Beerse	L	1755	1165	1165
3 Inslag	Brasschaat	L	2050	1330	2225
4 Walenbos	Houwaart	L	5825	2995	5065
5 Koolhembos	Puurs	A	2990	4470	2980
6 Muizenbos	Ranst	A	1855	2055	585
7 Bos Ter Rijst - Edingen	Ravels	L	5885	6955	7905
8 Burreken	Ravels	L	1870	1340	1960
9 Withoefse Heide	Kalmthout	L	2105	1485	1630
10 Withoefse Heide	Kalmthout	L	1095	1250	1280
11 Sevendonck	Turnhout	L*	270	145	1345
12 Kapellebos	Binkom	L	5295	6165	4360
13 Meerdaalwoud	Oud-Heverlee	L	3225	4365	7820
14 Zoniënwoud	Hoeilaart	L	3430	4445	2320
15 Hallerbos	Halle	L	3915	2655	1835
16 Zoniënwoud 23	Hoeilaart	L	3405	2620	2535
17 Zoniënwoud 24	Hoeilaart	L	4835	5165	5820
18 Zoniënwoud 25	Hoeilaart	L	5510	4735	5915
19 Meerdaalwoud drie eiken	Oud-Heverlee	L	8820	2950	7970
20 Meerdaalwoud grote konijnenpijp	Oud-Heverlee	L	9505	8550	8385
21 Brakelbos	Tielt-Winge	L	1725	2140	3495
22 Belgacom-terrein	Liedekerke	L	8760	10600	5220
23 Pijnven	Hechtel	L	1025	1100	795
24 Heiderbos	Opplabbeek	L	2425	2345	5665
25 Oude Mombeek	Wimmertingen	A	975	1365	1665
26 Gellikerheide	Gellik	L	4935	5420	3825
27 Heiwijk	Maasmechelen	L	3280	2145	2905
28 Pijnven	Hechtel	L	1135	1895	1165
29 Grootbroek-Bree	Bree	L*	1090	5495	3835
30 Grootbroek-Bree	Bree	L*	2625	2645	2070
31 Lanklaarderbos	Lanklaer	L	1455	3435	2615
32 Paddepoelebos	Maldegem	A	2215	1725	2320
33 Zandputten	Serskamp	A	2915	2690	1485
34 Kenisberg-Kruisberg	Deurne	L	1610	1630	2700
35 Aelmoeseneiebos I	Gontrode	A	870	920	985
36 Aelmoeseneiebos II	Gontrode	A	2120	3315	2465
37 Buggenhoutbos	Buggenhout	L	2790	3310	1470
38 Neigembos - bestand 7	Meerbeke	L	5760	4855	6915
39 Neigembos - bestand 7bis	Meerbeke	L	7470	4990	6370

40 Parikebos	Parike	L	6710	4570	2710
41 Kluisbos	Kluisbergen	L	2530	925	1400
42 Het Leen	Eeklo	L	2235	1900	2970
43 Bos Terrijs	Schorisse	L	6875	4110	4585
44 Raspaillebos	Geraardsbergen	L	4615	7515	4010
45 Drongengoed	Knesselare	L	1750	1690	2115
46 Wijnendalebos	Wijnendale	L	1310	720	975
47 Houthulstbos	Houthulst	L	4155	2588	3223
48 Nieuwenhovenbos	Oostkamp	L	2955	1520	1180
49 Vorte bossen	Ruiselede	A	2160	2175	2560
50 Helleketelbos	Poperinge	L	3670	3050	3740
* zeer nat					

Tabel 5 — Aangetroffen nematodensoorten in de 50 onderzochte bossen.

	Aantal bossen waarin soort gevonden werd	Trofische/Ecologische karakteristie- ken per nematodenfamilie
Tylenchidae		Kosmopolitische soorten levend aan de wortels van hogere planten, aan mossen, algen
– <i>Lelenchus sp.</i>	17	
– <i>Malenchus sp.</i>	20	
– <i>Malenchus bryophilus</i>	19	
– <i>Malenchus acarayensis</i>	1	
– <i>Malenchus andrassayi</i>	2	
– <i>Tylenchus sp.</i>	1	
– <i>Tylenchus davaini</i>	1	
– <i>Filenchus discrepans</i>	3	
– <i>Filenchus helenae</i>	3	
– <i>Filenchus terrestris</i>	1	
– <i>Filenchus ditissimus</i>	11	
– <i>Filenchus sp.</i>	45	
Tylodoridae		Bodembewoners, grasland
– <i>Cephalenchus hexalineatus</i>	4	
Ecphyadophoridae		Voorkomend op vochtige grond, weiland
– <i>Ecphyadophora tenuissima</i>	1	
Dolichoridae		Grasland, weiden
– <i>Tylenchorynchus sp.</i>	12	
Hoplolaimidae		Grasland, weiland, brede waardplantreeks
– <i>Helicotylenchus sp.</i>	13	
– <i>Helicotylenchus pseudorobustus</i>	6	
– <i>Rotylenchus goodeyi</i>	4	
– <i>Rotylenchus robustus</i>	1	
– <i>Rotylenchus sp.</i>	1	

Criconematidae		Aan graswortels, gaande van droge duingrond tot vochtige poelen
– <i>Criconema sp.</i>	5	
– <i>Criconema demani</i>	1	
– <i>Criconema mutabile</i>	1	
– <i>Criconemoides sp.</i>	1	
Hemicycliophoridae		Algemeen plantparasitair aaltje in vochtige gronden
– <i>Hemicycliophora sp.</i>	3	
Paratylenchidae		Grassen en andere plantenwortels
– <i>Paratylenchus straeleni</i>	1	
– <i>Paratylenchus sp.</i>	1	
Pratylenchidae		Plantparasitair aaltje
– <i>Haplotylus femina</i>	1	
Anguinidae		Endo-plantparasitaire soorten
– <i>Ditylenchus sp.</i>	2	
– <i>Pseudahelenchus sp.</i>	1	
Aphelenchidae		Schimmelvoedende nematoden op rottend materiaal o.a. boomschors
– <i>Aphelenchus avenae</i>	4	
Aphelenchoididae		Parasiet van hogere planten en schimmels
– <i>Aprudites guidetti</i>	1	
– <i>Aphelenchoides sp.</i>	49	
Rhabditidae		Terrestrische soorten, in rijk organisch materiaal, rottend hout, schors, mest, ...
– <i>Rhabditis terricola</i>	5	
– <i>Rhabditis longicaudata</i>	6	
– <i>Rhabditis sp.</i>	33	
– <i>Coarctadera cystilarva</i>	1	
– <i>Protorhabditis filiformis</i>	9	
– <i>Protorhabditis oxyuroides</i>	1	
– <i>Rhabditophanes schneideri</i>	1	
Bunonematidae		Houtmorm, humus, mest
– <i>Bunonema sp.</i>	2	
– <i>Bunonema reticulatum</i>	11	
– <i>Bunonema richtersi</i>	10	
– <i>Craspedonema sp.</i>	6	
Cephalobidae		Algemeen voorkomende bodembewoner
– <i>Cephalobus sp.</i>	18	
– <i>Heterocephalobus elongatus</i>	4	
– <i>Heterocephalobus longicaudatus</i>	13	
– <i>Heterocephalobus sp.</i>	5	
– <i>Cervidellus serratus</i>	5	
– <i>Acrobeles mariannae</i>	6	
– <i>Acrobelloides buetschlii</i>	19	



Panagrolaimidae		Op organisch afval, rottend materiaal voorkomend
– <i>Panagrolaimus rigidus</i>	2	
– <i>Panagrolaimus subelongatus</i>	2	
– <i>Panagrolaimus sp.</i>	2	
Teratocephalidae		Algemene bodembewoner, voorkeur voor moerassen, veenmos
– <i>Teratocephalus sp.</i>	1	
– <i>Teratocephalus costatus</i>	3	
– <i>Teratocephalus terrestris</i>	18	
– <i>Metateratocephalus crassidens</i>	32	
Neodiplogasteridae		Vooral bacterievoeders
– <i>Pristionchus lheritieri</i>	2	
Monhysteridae		Voorkomend in vochtige bodems, in aquatische milieus
– <i>Eumonhystera sp.</i>	10	
Plectidae		Algemene bodembewoners, meestal voorkeur voor zuurstofrijk substraat
– <i>Anaplectus sp.</i>	2	
– <i>Plectus acuminatus</i>	18	
– <i>Plectus armatus</i>	2	
– <i>Plectus cirratus</i>	2	
– <i>Plectus geophilus</i>	3	
– <i>Plectus longicaudatus</i>	15	
– <i>Plectus parietinus</i>	1	
– <i>Plectus parvus</i>	21	
– <i>Plectus sp.</i>	26	
– <i>Tylocephalus auriculatus</i>	10	
– <i>Wilsonema otophorum</i>	38	
Prismatolaimidae		Voorkeur voor kalkarm substraat
– <i>Prismatolaimus sp.</i>	7	
– <i>Prismatolaimus dolichorus</i>	20	
– <i>Prismatolaimus intermedius</i>	11	
Tripylidae		In vochtige grond voorkomend
– <i>Tripyla filicaudata</i>	1	
Dorylaimidae		In wortelzone van planten, natte grond
– <i>Dorylaimus sp.</i>	14	
Alaimidae		Kosmopolietische en terrestrische soort
– <i>Alaimus mucronatus</i>	2	
– <i>Alaimus proximus</i>	1	
– <i>Alaimus sp.</i>	3	
– <i>Amphidelus sp.</i>	1	
Mononchidae		Bacterievoedende nematode
– <i>Mononchus sp.</i>	2	
– <i>Clarkus papillatus</i>	11	
– <i>Prionchulus sp.</i>	5	

Thornenematidae		Voorkomend op vochtig weiland
– <i>Prodorylaimus rotundiceps</i>	1	
– <i>Prodorylaimus sp.</i>	5	
– <i>Mesodorylaimus sp.</i>	2	
– <i>Ophistodorylaimus sylphoides</i>	1	
Nordiidae		Voorkomend op grasland
– <i>Pungentus sp.</i>	1	
Qudsianematidae		Voorkomend op vochtige bladeren
– <i>Thonus sp.</i>	2	
– <i>Eudorylaimus carteri</i>	5	
– <i>Eudorylaimus sp.</i>	13	
– <i>Allodorylaimus sp.</i>	1	
– <i>Epidorylaimus consobrinus</i>	1	
– <i>Microdorylaimus modestus</i>	7	
– <i>Microdorylaimus sp.</i>	12	
Aporcelaimidae		Algemene bodembewoner
– <i>Aporcelaimellus obtusicaudatus</i>	2	
Actinolaimidae		Bodembewoner van drassige gronden
– <i>Paractinolaimus macrolaimus</i>	1	
Leptonchidae		Verscheiden habitat: droge zandbodem tot zoet water
– <i>Tylencholaimus sp.</i>	1	
Diphtherophoridae		Voorkomend op vochtig weiland
– <i>Tylolaimophorus typicus</i>	23	

getroffen (50 op 50). Hetzelfde geldt voor de Plectidae met o.a. *Plectus sp.* en *Wilsonema sp.*, geobserveerd in 45 van de 50 stalen.

Andere soorten komen in meer dan de helft van de stalen voor, bv. Rhabditidae, Bunonematidae, Cephalobidae en Teratocephalidae. Het zijn organismen aangepast aan rijk organisch materiaal. Zij kunnen aanzien worden als primaire kolonisatoren.

Andere soorten komen dan weer in een geringer aantal bosbodems voor, bv. Dorylaimidae en aanverwante families als Actinolaimidae en Aporcelaimidae. Zij zijn typische K-strategen en karakteristiek voor ongestoorde, stabiele substraten.

Op grond hiervan kunnen soorten behorende tot de Rhabditidae, Bunonematidae, Cephalobidae en Teratocephalidae versus Dorylaimidae (Actinolaimidae en Aporcelaimidae) als specifieke indicator-organismen beschouwd worden voor een bepaalde maturiteit (verstoorde versus onverstoordheid) van de bodem.

Voor de 50 stalen werd de Maturiteits Index (MI) bepaald (zie hoger voor formule).

Er werd een MI berekend over alle nematoden heen alsook een MI voor de plantparasitaire nematoden (= PPI, Plant Parasite Index) en een MI voor saprofytaire nematoden. Steunend op deze MI werden verschillende klassificaties doorgevoerd.

Bij een klassering volgens het totaal aantal nematoden welke per staalnamepunt geteld werden is er geen verband met de boomsoorten vast te stellen: de hoogste waarden komen voor zowel bij beuk, berk, eik. De laagste waarde is het gevolg van een overstroemd bosplot op het moment van de staalname.

Er werd verder een klassering doorgevoerd volgens de som van de totale MI waarden (zowel plantparasitaire als saprofytaire). Een hogere MI waarde verwijst naar een stabielere bodem.

Bij het overlopen van de vegetatiekolom blijkt dat alle vegetaties verspreid voorkomen. Conform hetgeen gesteld werd bij de uitleg over de Maturity Index, is het aangewezen een aparte MI op te nemen voor de plantparasitaire nematoden (= PPI).

De klassering volgens de som van de PPI (MI) laat duidelijk een verband zien met de bosvegetatie, nl. alle

dennenbestanden komen voor bij de 15 kleinste MI (plantparasitair); de hoogste waarden bij eik, berk/eik, eik/beuk, beuk, berk/populier.

Bij een klassering volgens de som MI van de saprofytische nematoden werd de hoogste MI index hier bekomen bij de dennenbestanden, de laagste bij eik, beuk/berk, populier.

Uit deze gegevens wordt vastgesteld dat er een inverse relatie bestaat tussen de MI saprofytische nematoden en de MI plantparasitaire nematoden, waarnaar ook BONGERS *et al.* (1997) reeds verwezen.

## Besluit

Uit literatuuronderzoek blijkt de mogelijkheid om nematoden te gebruiken als indicator voor een ecologische bodemkarakterisatie. De staalname geschiedt best niet vlak na de winter vermits in de lente, vroege zomer specifieke colonisers in hogere aantallen voorkomen. Op het aantal soorten per staal heeft dit echter geen invloed. Het aantal soorten per bosplot verschilt gering van staalnamepunt tot staalnamepunt (cfr. huidig onderzoek).

Kwantitatief gezien is er een grote variatie waar te nemen in aantal nematoden tussen de verschillende bos-typen. Het gebruik van een Maturiteits Index over alle nematodensoorten heen is een te ongevoelige benadering voor bosbodemclassificatie.

Per bostype, bv. dennenbestand versus beuk- of eikbestand, zijn er wel gelijkenissen wanneer gewerkt wordt met een verfijnde MI, nl. wanneer plantparasitaire en saprofytische nematodensoorten apart beschouwd worden.

Het voorkomen van Tylenchidae staat in verband met de vegetatie: nl. onderbegroeiing van hogere planten in het bosbestand. Aphelenchoididae wijzen op schimmel, wier of algen-aanwezigheid: gezien deze familie algemeen voorkomt is ze geen specifieke familie voor bosbodemkarakterisatie. Rhabditidae en Plectidae duiden op jongere, gestoorde bodems terwijl Dorylaimidae op stabiele/rijpere bosbodems wijzen.

Een identificatie tot op familieniveau, maakt een door-gedreven typologie van de bosbodems reeds mogelijk. Deze methode tot op familieniveau wordt ook in het buitenland toegepast om een typologie mogelijk te maken door niet-specialist nematologen. Tylenchidae, Aphelenchoididae, Rhabditidae, Plectidae en Dorylaimidae zijn families welke relatief eenvoudig te onderscheiden zijn.

Identificatie tot op de soort biedt wel heel wat informatie over de soortverscheidenheid in een bepaald bestand, maar is voor praktische doeleinden omwille van het tijdrovende karakter en de gespecialiseerde aanpak vrijwel niet haalbaar. Naast de soort/familie bepalingen is ook het totale aantal nematoden per staal belangrijk waarbij aantallen boven de 3000 exemplaren per 100 ml grond als een hoge populatie kunnen bestempeld worden.

Het aantal nematoden per substaal per bos is eerder

stabiel. Per bosplot komen in elk van de stalen dominante families en soorten voor, bijvoorbeeld soorten behorende tot de familie der Tylenchidae, Aphelenchoididae, Rhabditidae, Plectidae en Dorylaimidae. Elk van deze families weerspiegelen een welbepaald trofisch niveau of een karakteristiek habitat. Aan de hand van de verfijnde Maturity Index (gespecialiseerd voor plantparasitaire en saprofytische nematoden) en rekening houdend met de dominantie van de families der Tylenchidae versus Rhabditidae, Plectidae versus Dorylaimidae is het mogelijk bosbestanden te klasseren volgens rijpheidsstadium waarin een bepaald bos verkeert.

## Referenties

- ARMENDÁRIZ, I. & ARPIN, P., 1996. Nematodes and their relationship to forest dynamics: I. Species and trophic groups. *Biol. Fertil. Soils*, 23: 405-413.
- BONGERS, A.M.T., 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 83: 14-19.
- BONGERS, T., 1994. De nematoden van Nederland (2<sup>nd</sup> ed.). Uitgeverij Pirola: 408 pp.
- BONGERS, A.M.T., DE GOEDE, R.G.M., KAPPERS, F.I. & MANGER, R., 1989. Ecologische typologie van de Nederlandse bodem op basis van de vrijlevende nematodenfauna. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, rapport nr. 718602002: 109 pp.
- BONGERS, T., VANDERMEULEN, H. & KORTHALS, G., 1997. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutriënt conditions. *Applied soil ecology*, 6 (2): 195-199.
- DE GOEDE, R.G.M., GEORGIEVA, S.S., VERSCHOOR, B.C. & KAMERMAN, J., 1993a. Changes in nematode community structure in a primary succession of blown-out areas in a drift sand landscape. *Fundam. appl. Nematol.*, 16 (6): 501-513.
- ETTEMA, H.K. & BONGERS, T., 1993. Characterization of nematode colonization and succession in a disturbed soil using the Maturity Index. *Biol. Fertil. Soils*, 16: 79-85.
- HÁNĚL, L., 1996. Soil nematodes in five spruce forests of the Beskydy mountains, Czech Republic. *Fund. Appl. Nematol.*, 19 (1): 15-24.
- HYVÖNEN, R. & HUHTA, V., 1989. Effects of lime, ash and nitrogen fertilizers on nematode populations in Scots Pine forest soils. *Pedobiologia*, 33: 129-143.
- HYVÖNEN, R. & PERSSON, T., 1994. Fungivorous and predatory arthropods reduce nematode and tardigrade abundances in coniferous forest soils. In: HYVÖNEN, R. (ed.), Interactions between nematodes and other soil organisms in coniferous forest soils in relation to acid/base and nutriënt status. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Report 66: 1-12.
- JOHNSON, S.R., FERRIS, J.M. & FERRIS, V.R., 1974. Nematode community structure of forest woodlots: III. Ordinations of taxonomic groups and biomass. *J. Nematol.*, 6 (3): 118-126.
- MCSORLEY, R., 1997. Relationship of crop and rainfall to soil nematode structure in perennial agroecosystems. *Applied soil ecology*, 6 (2): 147-159.
- MCSORLEY, R. & PARRADO, J.L., 1981. Effect of Sieve Size on

Nematode Extraction Efficiency. *Nematropica*, 11 (2): 165-174.

PROCTER, L.C.D., 1990. Global overview of the functional roles of soil-living nematodes in terrestrial communities and ecosystems. *J. Nematol.*, 22 (1): 1-7.

RUESS, L., SANDBACH, P., CUDLÍN, P., DIGHTON, J. & CROSSLEY, A., 1996. Acid deposition in a spruce forest soil: effects on nematodes, mycorrhizas and fungal biomass. *Pedobiologia*, 40: 51-66.

SALMINEN, J. & SULKAVA, P., 1996. Distribution of soil animals in patchily contaminated soil. *Soil. Biol. Biochem.*, 28 (10-11): 1349-1355.

SOHLENIUS, B., 1997. Fluctuations of nematode populations in pine forest soil - Influence by clear-cutting. *Fundam. appl. Nematol.*, 20 (2): 103-114.

YEATES, G.W., 1972. Nematoda of a Danish beech forest: I. Methods and general analysis. *Oikos*, 23: 178-189.

Jozef COOSEMANS  
Laboratorium voor Fytopathologie  
Katholieke Universiteit Leuven  
De Croylaan 42  
B-3001 Heverlee