

Effekten af dyrkningspraksis på regnorme og deres mulige rolle som bioindikatorer

The effects of cultivation practices on earthworms and their possible role as bioindicators

O. Christensen, P. Daugbjerg, J. Hinge, J. P. Jensen og H. Sigurdardottir¹⁾

Resumé

Regnormefaunaens populationsudvikling i relation til dyrkningsbetingede faktorer er undersøgt på 3 forsøgspareller (raps, lucerne og kløvergræs) i perioden 13. maj 1985 til 15. januar 1986. Undersøgelsen er foretaget i tilknytning til »Projekt Jord« på Resengård, Vejlbj Landbrugsskole.

Den anvendte metodik, der er baseret på korte prøvetagningsintervaller, vådsigtning og bestemmelse af individvægt, sikrer præcis fastlæggelse af antal og biomasse gennem sæsonen. Vådsigtningsteknik muliggør fangst af alle regnormestadier, og bestemmelse af individvægt giver et detaljeret billede af regnormepopulationens vægtklasser.

På de 3 forsøgspareller er der registreret høje værdier for tæthed og biomasse af den samlede regnormefauna (ca. 450 indiv./m² og ca. 50 g tørvægt/m²).

Regnormefaunaen viser ikke statistisk signifikante forskelle i antal, biomasse, artssammensætning og dominansforhold mellem de 3 pareller.

Den dominerende regnormeart i de 3 forsøgspareller er *Aporrectodea longa*.

En nærmere analyse af en enkelt arts populationsparametre (f.eks. kokonproduktion, vækst, mortalitet og aldersfordeling) viser, at *A. longa* reagerer over for den anvendte dyrkningspraksis. Således registreres statistisk signifikante forskelle i aktivitet og produktion mellem de 3 pareller som følge af forskelle i tilførsel af organisk materiale. Der kan udredes reaktion på følgende dyrkningsforhold (enkeltvis eller i kombination): afgrøde, gødskning og jordbearbejdning. Det sandsynliggøres, at alle de arter, der naturligt forekommer i landbrugsjord, reagerer på en tilsvarende måde.

Regnormenes indikative værdi forenet med deres kobling til jordbundens fysisk-kemiske miljø, øvrige organismer og stofkredsløb, giver anledning til den konklusion, at regnorme kan give et godt billede af jordbundens biologiske tilstand. Regnorme er velegnede til at indikere kortsigtede effekter og tillige give et fingerpeg om den mere langsigtede betydning af forskellige dyrkningsmetoder.

Nøgleord: Regnorme, *Aporrectodea longa*, vådsigtning, individvægtbestemmelse, klimatiske forhold, afgrødevalg, gødskning, jordbearbejdning, bioindikation.

¹⁾ Adresse: Zoologisk Laboratorium, Institut for Zoologi og Zoofysiologi, Bygning 135, Universitetsparken, 8000 Århus C.

Summary

Seasonal variation in earthworm populations in relation to effects of cultivation is investigated in 3 experimental fields (rape, lucerne and clover-grass) during the period 13th May 1985 – 15th January 1986. The study is performed in connection with »Projekt Jord« at Resengård, Vejby Landbrugsskole.

The applied technique based on short sampling intervals, wet-sieving and determination of individual weight ensures a detailed and precise assessment of number and biomass. Wet-sieving allows the quantitative sampling of each of the earthworm stages, and determination of individual weight ensures a good description of the weight-classes of the earthworm population.

High values for number and biomass of the total earthworm fauna are found in the experimental fields (viz. 450 indiv./m² and 50 g dry wt/m²).

The earthworm populations of the experimental fields do not show statistically significant differences in number, biomass, species composition or dominance.

Aporrectodea longa is the dominant species in the 3 experimental fields.

A detailed analysis of the population parameters (e.g. cocoon production, growth, age-structure and mortality) for *A. longa* shows that *A. longa* responds to the type of cultivation, in particular crop, fertilizer and soil tillage. Thus, significant differences in *A. longa* activity and production between experimental fields result primarily from differences in supply of organic matter. It is suggested, that other earthworm species commonly found in arable land respond in a similar way.

The relationships between earthworm populations and the physico-chemical environment of the soil, other organisms and turnover of nutrients lead to the conclusion that earthworms are suitable bio-indicators of short-term changes in soil condition and may give an idea of long-term consequences of different cultivation practices.

Key words: Earthworms, *Aporrectodea longa*, wet-sieving, individual weight, climatic conditions, crop, fertilizer, soil tillage, bioindication.

Indledning

Regnorme er en dominerende faunagrube inden for jordbundsinveterater i en række terrestriske økosystemer; ofte udgør de mere end 50% af den totale faunabiomasse (29). Normalt registreres den største populationstæthed og artsrigdom af regnorme på muldrige lokaliteter med løvskov og vedvarende græs, hvor der er fundet tætheder og biomasser på henholdsvis 200–1000 indiv./m² og 100–300 g friskvægt/m² svarende til 20–60 g tørvægt/m² (11). De fleste dyrkede arealer i tempererede områder rummer en regnormefauna. Generelt er populationstætheden dog lavere bl.a. som følge af forstyrrelser fra jordbehandling, begrænset tilførsel af organisk materiale samt anvendelse af pesticider.

Regnormes rolle som nyttefauna er veldokumenteret (19). Ved findeling af store mængder organisk materiale, graveaktivitet og ekskrement-

produktion fremmer de direkte og indirekte mineraliseringen af visse næringsstoffer, og udøver en signifikant indflydelse på jordstrukturen ved at øge aggregatstabilitet, luftskifte, vandnedrivning og vandkapacitet. Den direkte værdi for planteproduktionen er vanskelig at påvise, idet en række dyrkningsbetingede effekter griber ind.

På forhånd synes regnorme velegnede som bio-indikatorer, dvs. de kan afspejle dyrkningsmetodernes positive og negative effekter på den biologiske jordbundskvalitet. Dette skyldes primært, at de har deres hovedudbredelse i de øverste 30 cm af jordbunden (=pløjelaget), hvor maksimal antropogen påvirkning finder sted. De er et dominerende faunaelement. De er relativt »følsomme« over for dyrkningsbetingede påvirkninger. De er i kontakt med jordbundsmiljøet og derfor potentielt udsat for såvel mekaniske som kemiske forstyrrelser. De er relativt fastboende og derfor

repræsentative for et givet forsøgsareal. Deres størrelse gør dem velegnede som forsøgsdyr i felt- og laboratorieeksperimenter.

Kun få resultater demonstrerer regnormes rolle som bioindikatorer. Kühle (17) finder således i sin undersøgelse af regnormepopulationer i tyske vinmarker, at »bioindikatorreaktioner« hos regnorme først og fremmest reflekterer følgende egenskaber ved jordbunden: dens strukturelle, mikroklimatiske, næringsmæssige og toksiske tilstand. Lofs-Holmin (20) finder, at pesticiders giftvirkning på regnorme kan monitoreres ved hjælp af reproduktions- og mortalitetsraten.

Regnormenes økologi er hyppigt blevet undersøgt (19). Imidlertid er der udført få analyser af dyrkningsbetingede effekter på deres økologi (3, 10, 22). Som regel har de benyttede udsorteringsmetoder og de relativt lange prøvetagningsintervaller forhindret en tilstrækkelig detaljeret faktoranalyse af den tidsmæssige variation af udviklingsstadiernes individualitet og biomasse.

Formålet med den foreliggende undersøgelse er at belyse regnormes populationsudvikling i re-

lation til de dyrkningsbetingede faktorer på 3 marker, samt at vurdere regnormes mulige rolle som bioindikatorer i jordbruget.

Beskrivelse af forsøgsområdet

Regnormeundersøgelsen er udført på arealer, der tilhører Resengård og ejes af Vejlbj Landbrugsskole. Forsøgsområdet er beliggende ca. 15 km nord for Århus og er skitseret på fig. 1.

Undersøgelsen indgår som led i »Projekt Jord« i samarbejde med Vejlbj Landbrugsskole (23). Det overordnede forskningsformål er at følge udviklingen i flora og fauna i og over jorden samt jordstruktur og jordbundskvalitet ved en gradvis ændring af dyrkningsmetoden fra almindeligt til et økologisk forbedret dyrkningssystem gennem 2 sædskifterotationer (14 år).

I hovedforsøgsområdet, hvis størrelse er 4,5 ha, er der i foråret 1985 fastlagt et 7 marks-sædskifte, som bl.a. tilsigter tilførsel af minimum 3 t organisk tørstof/ha/år, høj vinterdækningsgrad, optimal næringsstoffholdning og opretholdelse af god jordstruktur.

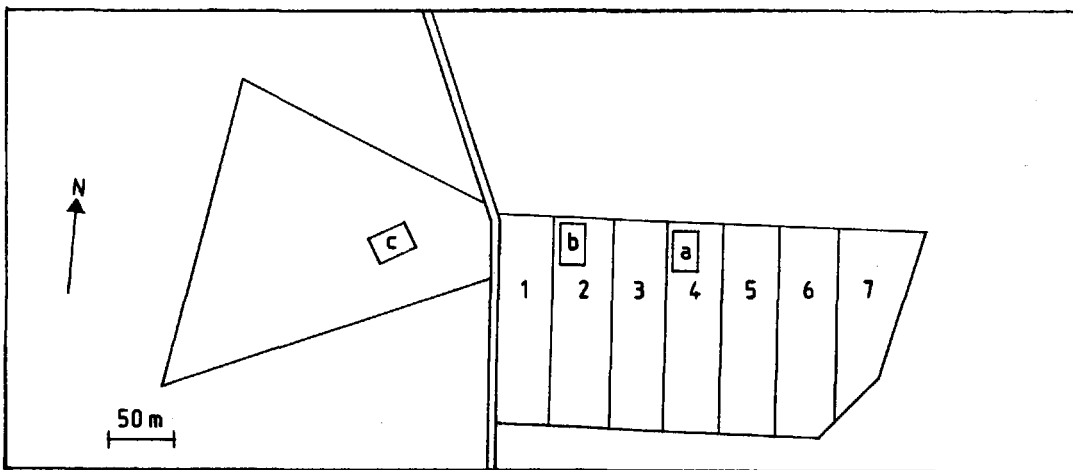


Fig. 1. Oversigt over forsøgsområdet, Resengård. (a) raps-, (b) lucerne- og (c) græsparcel. Numrene 1-7 angiver de 7 marker i »Projekt Jord«.

The experimental area, Resengård. (a) rape, (b) lucerne and (c) grass field. The numbers 1-7 show the seven fields at »Projekt Jord«.

Tabel 1. Dyrkningshistorie, afgrødevalg og aktuell jordbehandling af forsøgsparceller på Resengård.
Agricultural history, crop rotation and type of cultivation at Resengård.

Tidspunkt	Rapsparcel	Lucerneparcel	Græsparcel
Før 1985	Sædskifte med korn og grovfoderafgrøderne græs og roer. 1978: vårbyg; 1979: vårbyg; 1980 ¹⁾ : roer; 1981: vårbyg + ital. rajgræs (helsæd); 1982: vårbyg med græsudlæg; 1983: kløvergræs; 1984 ²⁾ : vårbyg + ital. rajgræs.		Flerårig kløvergræsmark. Afgræsning/slæt i ca. 15 år indtil 1982. Pløjet i 1982. Nyetablet som flerårig kløvergræsmark i 1983.
1985 ³⁾ : 10. april			Kalkammonsalpeter 370 kg/ha
18. –	Gylle 40 t/ha		
19. –	Gylle nedharvet	Let harvning	
22. –		Råfosfat 300 kg/ha Råkali 350 kg/ha	
24. –	Kalkammonsalpeter 155 kg/ha		
25. –	Såbedsharvning	Såbedsharvning	
26. –	Tromling	Tromling	
	Vårrops (Topas) udsæt	Lucerne (Vela) udsæt	
1. juni			Afgræsning (30 kvier indtil slutning af oktober)
15. juli			Kalkammonsalpeter 185 kg/ha
16. august		1. slæt	
20. –			Kalkammonsalpeter 196 kg/ha
30. –	Skårlægning		
4. september			Kalkammonsalpeter 75 kg/ha
18. –	Høstning		
23. –		2. slæt	
25. –	Halmsnitning		
22. oktober	Stubharvning		
29. –	Vinterhvede (Kraka) direkte sået		

¹⁾ Ca. 100 t/ha staldgødning forud for roer.

²⁾ Ca. 30 t/ha gylle i efterår 1984, derpå pløjet.

³⁾ Ingen pesticidbehandling af forsøgsparcellerne i 1985.

Dyrkningshistorie, aktuell jordbehandling og afgrødesammensætning er anført i tabel 1. Fysisk-kemiske jordbundsdata fremgår af tabel 2.

Metoder

Prøvetagning

I perioden 13. maj 1985 til 15. januar 1986 udtages hver 14. dag 5 jordprøver til regnormbestem-

melse fra hver af 3 udvalgte forsøgsmarker: raps-, lucerne- og græsparcel.

Prøvetagningsområder på 20×30 m er placeret på forsøgsmarkerne med en minimumsafstand på 2,5 m til nabomarker (fig. 1). Hvert prøvetagningsområde opdeles i 4×5 m net, og disse underopdeles yderligere i 1×1 m kvadratnet. Størrelse og placering af prøvetagningsområderne er valgt

Tabel 2. Fysisk-kemiske jordbundsdata ved Resengård. Teksturdata er fra Statens Forsøgsstation ved Ødum (prøvetagningsdybde 40 cm) (16). Resengårdjorden er af samme type som ved Ødum.
Physico-chemical properties of soil at Resengård. The data of texture are from Government Research Station, Ødum (sampling depth 40 cm) (16). The soil at Resengård is of similar type as at Ødum.

Dybde (cm) Depth	Rapsparcel Rape field			Lucerneparcel Lucerne field			Græsparcel Grass field		
	5	20	50	5	20	50	5	20	50
pH (CaCl ₂)	6,7	6,8	6,8	6,1	6,1	6,4	6,4	6,0	4,5
Calciumtal (ppm tørvægt) Exchangeable calcium (ppm dry wt)	2150	1850	1020	1300	1150	740	1840	1360	890
Glødetab (% tørvægt) Loss on ignition (% dry wt)	4,3	4,3	1,8	4,7	4,1	1,2	8,8	6,7	2,3
Kulstof (% tørvægt) Carbon (% dry wt)	1,9	2,0	1,1	2,3	2,3	1,0	4,0	2,7	0,5
Total organisk kvælstof (% tørvægt) Total organic nitrogen (% dry wt)	0,15	0,17	0,04	0,18	0,17	0,03	0,32	0,20	0,04
C/N	13	12	28	13	14	33	13	14	13
Retention (% af friskvægt) (% of fresh wt)									
pF 2,0	26	23	16	28	23	15	36	30	20
pF 3,2	17	13	8	15	12	9	23	17	13
pF 4,2	7	6	4	7	6	5	12	10	8
Tekstur - Texture									
Fraktion Fraction (mm)	Grovsand Coarse sand (2,0-0,2)		Finsand Fine sand (0,2-0,02)	Silt Silt (0,02-0,002)		Ler Clay (<0,002)	Humus Humus		
(% tørvægt) (% dry wt)	21,7		49,6	14,7		11,7	2,3		

med det sigte at begrænse jordbundsvariationers effekt på populationsestimaterne.

Ved prøvetagning af regnorme anvendes en stratificeret random metode (35). Ved hver prøvetagningsgang vælges tilfældigt 5 felter inden for det fastlagte 4×5 m net, således at der kun udtages en jordprøve inden for samme søjle og række i nettet. Den endelige placering af jordprøven foretages tilfældigt inden for 1×1 m kvadratnettet med den binding, at det samme kvadrat kun bliver udtaget en gang i undersøgelsesperioden.

Jordprøver på 25×25×25 cm graves op med en spade. I hullerne anvendes formalin-uddrivnings-teknik med henblik på at prøvetage dybtgående, aktive regnormearter. 2 behandlinger hver af 5 l 0,3% formalinopløsning gennemføres pr. jordprøve.

Udsortering

Udsortering af regnorme fra jordprøverne foretages ved hjælp af vådsigtningsteknik. Jordprøverne vaskes gennem sigter (40×30 cm) med ma-

skevidderne 10, 4, 2 og 1 mm. Sigterne med det tilbageholdte materiale undersøges af 2 personer. Herved sikres en effektiv opsamling af ikke alene store regnorme, men også nyklækkede og kokoner.

Bestemmelse af arter, stadier og individuel tørvægt

De udsorterede regnorme og kokoner placeres i mærkede glas forsynet med fugtigt filterpapir. Regnormematerialet opbevares ved 10°C i 3 døgn med henblik på en effektiv tømning af tarmen for jordpartikler, der ellers kan bidrage signifikant til regnormenes vægt.

I henhold til *Sims* og *Gerard* (34) foretages dels en artsbestemmelse og dels en stadiumopdeling i kokoner, juvenile, subadulte og adulte.

Herefter placeres hver enkelt regnorm i vejede aluminiumsbakker. Regnormene dræbes med nogle dråber 70% ethanol, og den individuelle tørvægt bestemmes efter tørring til konstant vægt ved 105°C.

Jordbundsfugtighed

I forbindelse med regnormeprøverne udtages 3 jordprøver fra hver prøvetagningsparcel. I disse jordprøver bestemmes det aktuelle vandindhold af friskvægten gravimetrisk efter tørring til konstant vægt ved 105°C.

Glødetabsbestemmelse

Glødetab (procent af tørvægt) bestemmes ved 550°C i de samme jordprøver, som benyttes ved bestemmelse af jordbundsfugtighed.

Jordbundstemperatur

Temperaturen registreres automatisk hver time i 5 cm dybde i alle 3 forsøgsmarker ved hjælp af Aanderaa dataloggere.

Statistisk behandling

De indsamlede data lagres på Zoologisk Laboratoriums databehandlingsystem ENTSYS (28). Dataoversigter og alle statistiske analyser gennemføres ved hjælp af programpakken SPSS (24).

Datamaterialet er transformeret til log (X+1).

Alle statistiske sammenligninger (variationsanalyser og t-tests) udføres på grundlag af 5% signifikansniveau ($P < 0,05$).

Resultater

Artssammensætning og dominans

Der er fundet høje værdier for den samlede regnormefaunas tæthed og biomasse på de 3 forsøgsparceller; der er registreret et maksimum i efteråret på ca. 450 indiv./m² og ca. 50 g tørvægt/m².

Regnormenes dominansstruktur på raps-, lucerne- og græsparcellen er angivet i tabel 3. Der er registreret 6 arter i alle 3 parceller.

Regnormesamfundenes sammensætning og dominansforhold er ikke statistisk signifikant forskellig i de 3 parceller, idet *Aporrectodea longa* (Ude), *Aporrectodea caliginosa* (Sav.), *Lumbricus terrestris* (L) og *Aporrectodea rosea* (Sav.), der er fællesarter for alle parceller, tilsammen udgør mere end 95% af regnormefaunaens totale antal og biomasse.

A. longa dominerer gennem undersøgelsesperioden (13. maj 1985 til 15. januar 1986) og udgør mere end 50% af antal og biomasse. Dette dominansforhold er uændret, selv om den tidsmæssige variation i regnormefaunaens dominansstruktur tages i betragtning. *A. longa* viser dog i de 3 parceller kun den næsthøjeste relative dominans med hensyn til kokonantal (tabel 3), men forskellen er ikke statistisk signifikant.

Da *A. longa* er den mest dominerende regnormeart i de 3 parceller gennem undersøgelsesperioden, og talmaterialet for denne art udgør det bedste statistiske grundlag for analyse af regnorme som bioindikatorer, vil *A. longa* blive behandlet i det følgende.

Sæsonvariation

Sæsonudviklingen i antal og biomasse af kokoner, juvenile og kønsmodne *A. longa* viser samme generelle forløb i alle forsøgsparceller (fig. 2-4). Endvidere fremgår det, at juvenile regnorme udgør det generelt dominerende udviklingsstadium i pløjelaget gennem undersøgelsesperioden.

Table 3. Gennemsnitlig antal (individer/m²), biomasse (g tørvægt/m²) og relativ dominans af regnormefaunaen indsamlet på Resengård i perioden maj 1985 – januar 1986.

Mean number (individuals/m²), biomass (gdw/m²) and relative dominance of earthworms sampled at Resengård during May 1985 – January 1986.

	Rapsparcel Relativ dominans Rape field Relative dominance	Lucerneparcel Relativ dominans Lucerne field Relative dominance	Græsparcel Relativ dominans Grass field Relative dominance
Regnorme (gns. antal)	285	231	269
<i>Earthworms (Mean number)</i>			
<i>Aporrectodea longa</i> (Ude)	0,59	0,65	0,66
<i>Aporrectodea caliginosa</i> (Savigny)	0,21	0,17	0,10
<i>Lumbricus terrestris</i> (Linnaeus)	0,10	0,05	0,16
<i>Aporrectodea rosea</i> (Savigny)	0,06	0,12	0,08
<i>Aporrectodea chlorotica</i> (Savigny)	0,03	0,00	0,00
<i>Octolasion tyrtaeum tyrtaeum</i> (Savigny)	0,02	0,01	0,00
Kokoner (gns. antal)	186	62	368
<i>Cocoons (Mean number)</i>			
<i>Aporrectodea longa</i> (Ude)	0,25	0,28	0,36
<i>Aporrectodea caliginosa</i> (Savigny)	0,13	0,24	0,11
<i>Lumbricus terrestris</i> (Linnaeus)	0,18	0,10	0,39
<i>Aporrectodea rosea</i> (Savigny)	0,26	0,37	0,14
<i>Aporrectodea chlorotica</i> (Savigny)	0,17	0,01	0,01
<i>Octolasion tyrtaeum tyrtaeum</i> (Savigny)	0,01	0,01	0,00
Regnorme (gns. biomasse)	22,8	16,3	22,3
<i>Earthworms (Mean biomass)</i>			
<i>Aporrectodea longa</i> (Ude)	0,76	0,81	0,76
<i>Aporrectodea caliginosa</i> (Savigny)	0,07	0,05	0,04
<i>Lumbricus terrestris</i> (Linnaeus)	0,13	0,10	0,16
<i>Aporrectodea rosea</i> (Savigny)	0,02	0,04	0,03
<i>Aporrectodea chlorotica</i> (Savigny)	0,02	0,00	0,00
<i>Octolasion tyrtaeum tyrtaeum</i> (Savigny)	0,01	0,00	0,00

Den akkumulerede vægtfordeling beregnet ud fra de individuelle tørvægte understreger dette dominansforhold (fig. 5). Individer af *A. longa* med en tørvægt mindre end 50 mg antages at repræsentere nyklækkede individer. Denne antagelse bygger i det væsentlige på laboratorieundersøgelser udført af *Lofs-Holmin* (21), der finder at *A. longa* ved optimale betingelser vejer ca. 250 mg friskvægt eller ca. 50 mg tørvægt 14 dage efter klækning.

Under behandlingen af *A. longa* er antallet af adulte (dvs. regnorme med fuldt udviklede køns-karakterer) og antallet af subadulte (dvs. regnorme med fuldt udviklede køns-karakterer på nær clitellum) slået sammen og benævnt kønsmodne

regnorme. Dette er hensigtsmæssigt, da adulte *A. longa* kan reducere clitellum og derfor vil fremstå som subadulte (32).

Rapsparcel

Ved undersøgelsens start (13. maj 1985) er antallet af juvenile regnorme stort (fig. 2a). Samtidig udgør nyklækkede regnorme (<50 mg tørvægt) ca. 65% af den samlede population (fig. 5a). I løbet af juni-juli sker en statistisk signifikant forøgelse af antallet til ca. 200 juvenile regnorme/m², og i samme periode øges andelen af nyklækkede individer fra ca. 65 til 90% af den samlede population. Biomassen af juvenile regnorme er størst i henholdsvis primo juni og september-oktober, og

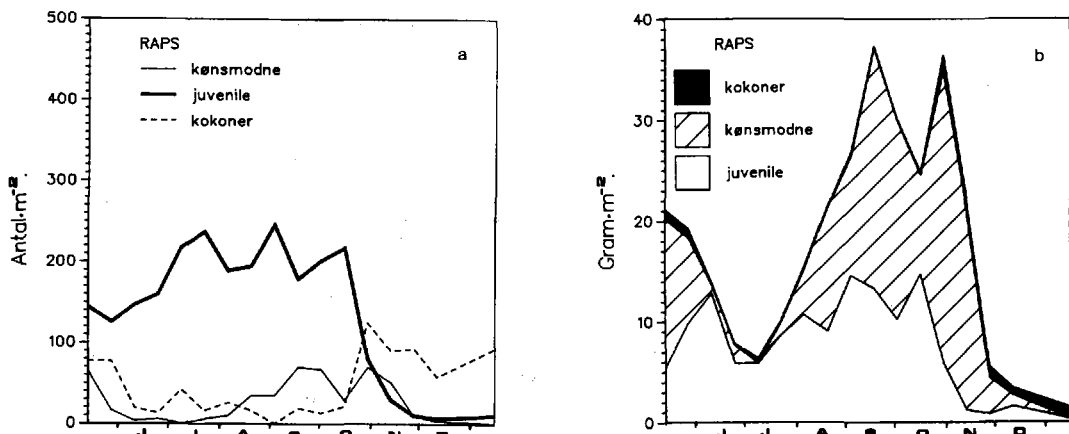


Fig. 2. Fænologi af *A. longa*. Rapsparcel. (a) antal (indiv./m²) og (b) biomasse (mg tørvægt/m²) for stadier. Phenology of *A. longa*. Rape field. (a) number (indiv./m²) and (b) biomass (mg dry wt/m²) of stages of development (cocoons, juveniles and mature).

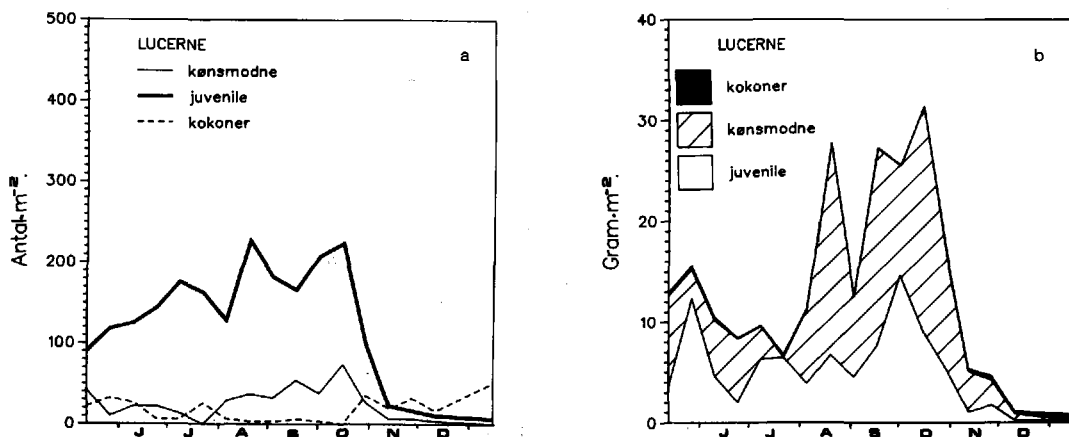


Fig. 3. Fænologi af *A. longa*. Lucerneparcel. (a) antal (indiv./m²) og (b) biomasse (mg tørvægt/m²) for stadier. Phenology of *A. longa*. Lucerne field. (a) number (indiv./m²) and (b) biomass (mg dry wt/m²) of stages of development (cocoons, juveniles and mature).

den er lavest i juni–juli. Imidlertid viser de observerede sæsonudsving i løbet af perioden juli–oktober ingen statistisk signifikante forskelle. I slutningen af oktober sker i løbet af få uger et markant fald både i de juvenile regnormes antal og biomasse (fig. 2a), der forbliver på lave værdier i resten af undersøgelsesperioden.

I perioden maj – primo juli, hvor de juvenile regnormes antal øges, falder kokonantallet fra

ca. 80 til 20/m². I oktober øges antallet af kokoner, og en konstant kokonpulje på ca. 90/m² findes i resten af undersøgelsesperioden.

Antal og biomasse af kønsmodne regnorme er størst i henholdsvis maj og august – medio november. I den tørre periode juni–juli (fig. 6) er både antal og biomasse af kønsmodne regnorme lavt. Fra medio november, hvor jordbundstemperaturen er ca. 1°C i 5 cm dybde (fig. 7a), falder køns-

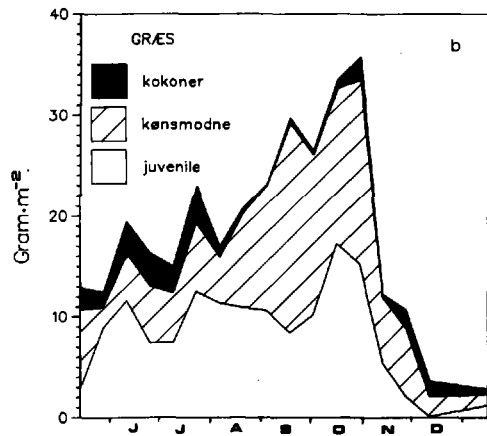
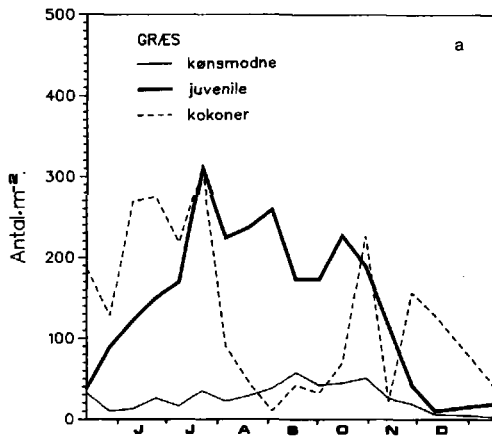


Fig. 4. Fænologi af *A. longa*. Græsparcel. (a) antal (indiv./m²) og (b) biomasse (mg tørvægt/m²) for stadier. Phenology of *A. longa*. Grass field. (a) number (indiv./m²) and (b) biomass (mg dry wt/m²) of stages of development (cocoon, juveniles and mature).

modne regnormes antal og biomasse; fra december er kønsmodne regnorme ikke aktive i pløjelaget (fig. 2).

Lucerneparcel

Nyklækkede regnorme (<50 mg tørvægt) udgør ca. 55% af det totale individantal ved undersøgelsens begyndelse (fig. 5b). Der sker en stigning i antallet af juvenile regnorme frem til juli, hvor 80% af det samlede individantal er nyklækkede regnorme (fig. 3a og 5b). I samme periode falder kokonantallet.

I den tørre periode i juni–juli falder de juvenile regnormes biomasse (fig. 3b), og herefter ligger antal og biomasse på et højt niveau uden statistisk signifikante forskelle frem til medio oktober.

I juni falder de kønsmodne regnormes antal og biomasse. Samtidig med at jordbundsfugtigheden stiger, ses en tilsvarende forøgelse i antal og biomasse i ultimo juli og forbliver på et højt niveau frem til medio oktober. Sidst i august, hvor de øverste jordlag er udtørrede (fig. 6), registreres et kraftigt fald i de kønsmodne regnormes antal og biomasse.

Fra midten af oktober stiger antallet af kokoner til samme niveau som i maj (fig. 3a). I denne periode, hvor jordbundstemperaturen falder fra

ca. 10 til 4°C i 5 cm dybde (fig. 7b), registreres et kraftigt fald i antal og biomasse af både juvenile og kønsmodne regnorme, og regnormeaktiviteten i november–januar er lav.

Græsparcel

Ved undersøgelsens start er antallet af kokoner højt (fig. 4a), og nyklækkede regnorme (<50 mg tørvægt) udgør mindre end 20% af det samlede individantal (fig. 5c). I de følgende uger, hvor temperaturen i 5 cm dybde stiger fra 10 til 17°C (fig. 7c), øges juvenile regnormes antal ($P=0,001$, 13. maj–8. juli) og biomasse betydeligt, og antallet topper sidst i juli med 310 juvenile regnorme/m². På dette tidspunkt har 70% af det samlede individantal en individvægt, der er mindre end 50 mg tørvægt. Frem til ultimo oktober er der et jævnt fald i antallet af juvenile regnorme, men faldet er ikke statistisk signifikant.

Antal og biomasse af kønsmodne regnorme stiger jævnt gennem perioden fra maj–oktober. Antallet af kokoner øges igen i oktober efter en kraftig reduktion i løbet af juli.

Samtidig med den faldende jordbundstemperatur i slutningen af oktober (fra 10 til 5°C i 5 cm dybde) falder antallet af juvenile og kønsmodne regnorme, og antallet er lavt i resten af undersø-

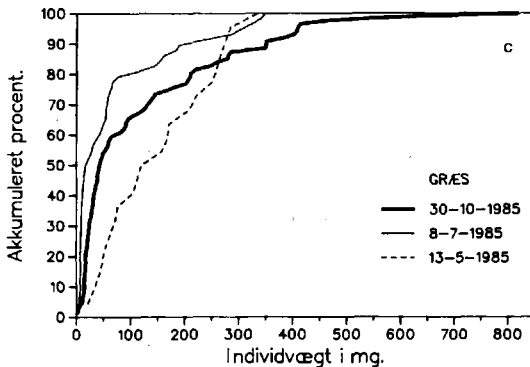
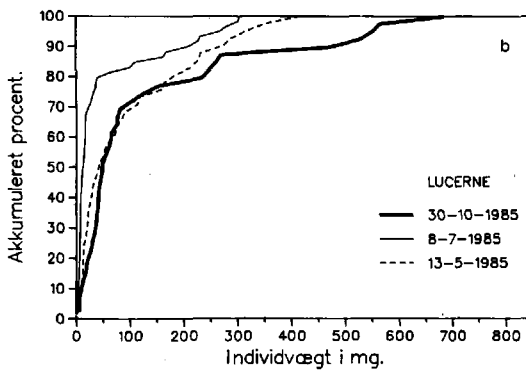
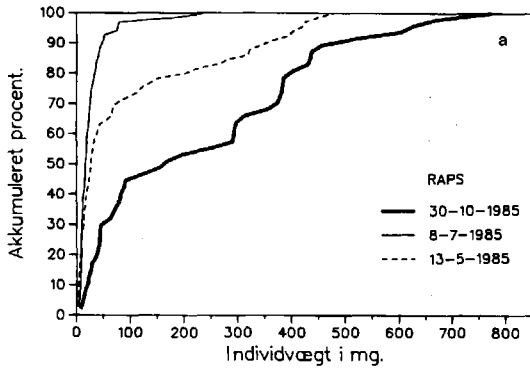


Fig. 5. Akkumuleret frekvens fordeling for individvægte af *A. longa*. (a) raps-, (b) lucerne- og (c) græsparcel.

The accumulated frequency distribution of individual weight of A. longa. (a) rape, (b) lucerne and (c) grass field.

gelsesperioden, hvor jordbundstemperaturen er ca. 0°C.

Diskussion

Metodekritik

De anvendte metoder er med korte prøvetagningsintervaller ret tidskrævende, men er nødvendige for at sikre en præcis fastlæggelse af fænologien gennem prøvetagningsperioden. Denne tidsmæssige præcision er vigtig i analysen af samspillet mellem regnormepopulationer og ændringer i ydre faktorer (f.eks. jordbehandling). Samtidig skal både antal og biomasse være fastlagt, således at væsentlige forskelle kan registreres ved sammenligninger gennem tiden inden for den enkelte parcel og mellem parceller.

I den foreliggende undersøgelse anses 5 prøver pr. parcel hver 14. dag for at være et rimeligt kompromis mellem præcision og arbejdsbelastning, når der anvendes vådsigtning og bestemmelse af individvægt i den videre analyse af prøverne (fig. 8).

Vådsigtning sikrer fangst af alle regnormestadier, dels fanges nyklækkede juvenile regnorme (fig. 5), og dels de mindste kokoner (*A. rosea* og *A. chlorotica* har en minimums-kokondiameter på 2,1 mm ifølge Sims og Gerard (34)). Dette stemmer overens med de senest publicerede resultater; Bouché og Gardner (9) påpeger, at vådsigtning i modsætning til andre mere gængse metoder (tørsigtning, formalin- og el-uddrivning) sikrer en præcis bestemmelse af antallet. Walther og Snider (36) finder, at metoden tilbageholder 99% af kokoner og nyklækkede regnorme.

Bestemmelse af regnormenes individvægt giver et detaljeret billede af regnormepopulationens forskellige vægtklasser og gør det muligt at differentiere effekter fra ydre faktorer på populationen væsentligt bedre end blot ved en opdeling af materialet i stadier.

Ved formalinuddrivningen de første 3 prøvetagningsgange fremkom ingen regnorme. Dette skyldes en ringe nedsvivning af formalinopløsningen i hullerne, eventuelt betinget af tilstopning af regnormegangene ved opgravningen i kombination med jordens høje lerindhold. Da metoden ikke

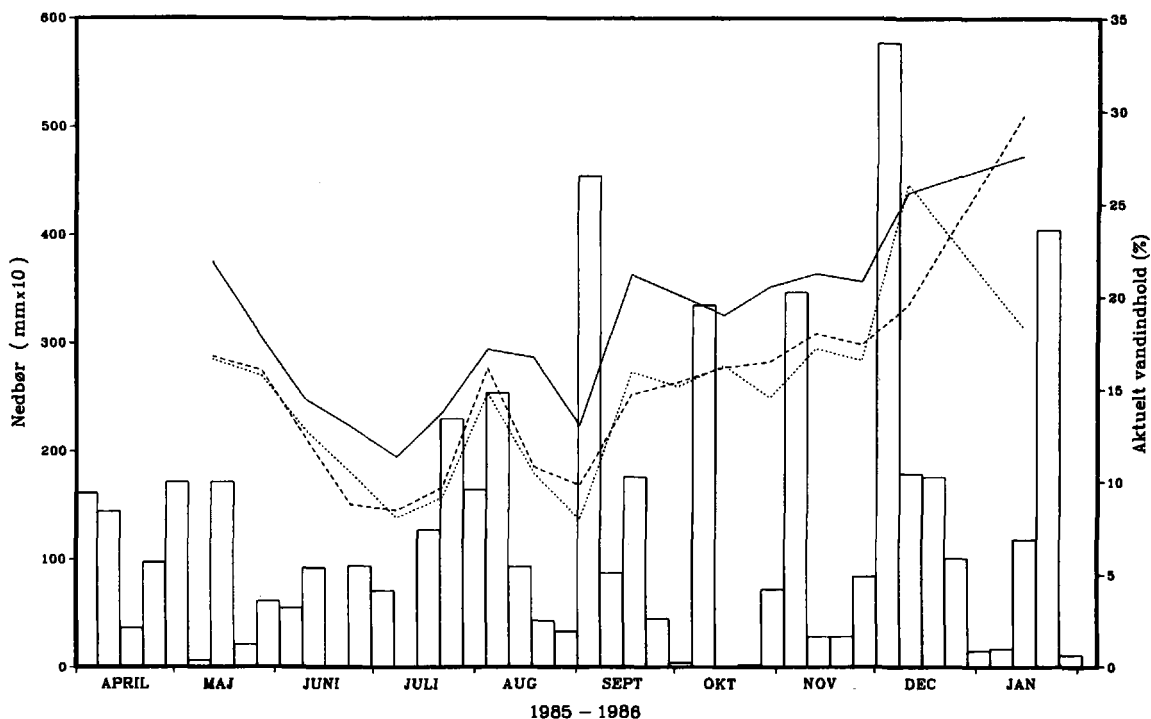


Fig. 6. Ugentlig nedbør (mm \times 10) målt ved Statens Forsøgsstation ved Ødum (ca. 3 km nord for Resengård). Gennemsnitlig jordbundsfugtighed (procent af friskvægt) i raps- (----), lucerne- (.....) og græsparcel (—) ved Resengård.

Weekly precipitation (mm \times 10) measured at Government Research Station, Ødum (3 km north of the Resengård site). Mean soil moisture (per cent of fresh weight) in the rape (----), lucerne (.....) and grass field (—) at Resengård.

gav noget resultat, blev den ikke anvendt fremover. Dette kan medføre en underestimering af regnormeantallet. I perioder med ringe jordbundsfugtighed menes de dybtgående arter (*A. longa* og *L. terrestris*) at søge til større jorddybder for at undgå ufavorable vilkår. Her vil de ofte gå i en dvalelignende tilstand (diapause) (32) og reagerer derfor ikke på formalin.

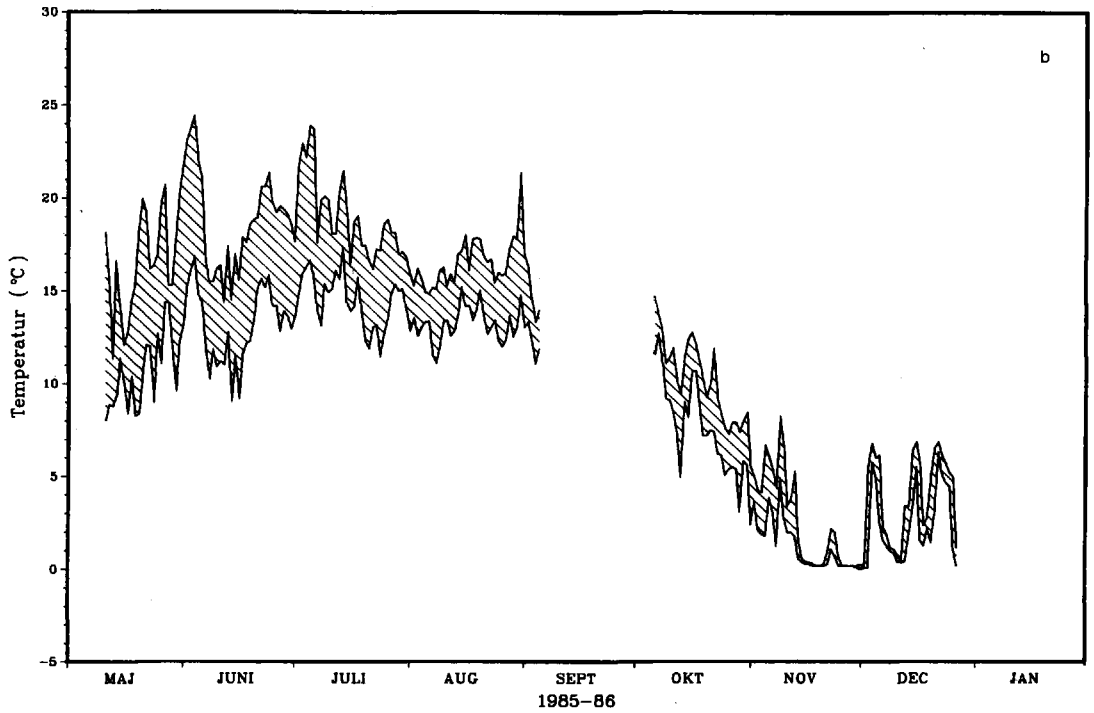
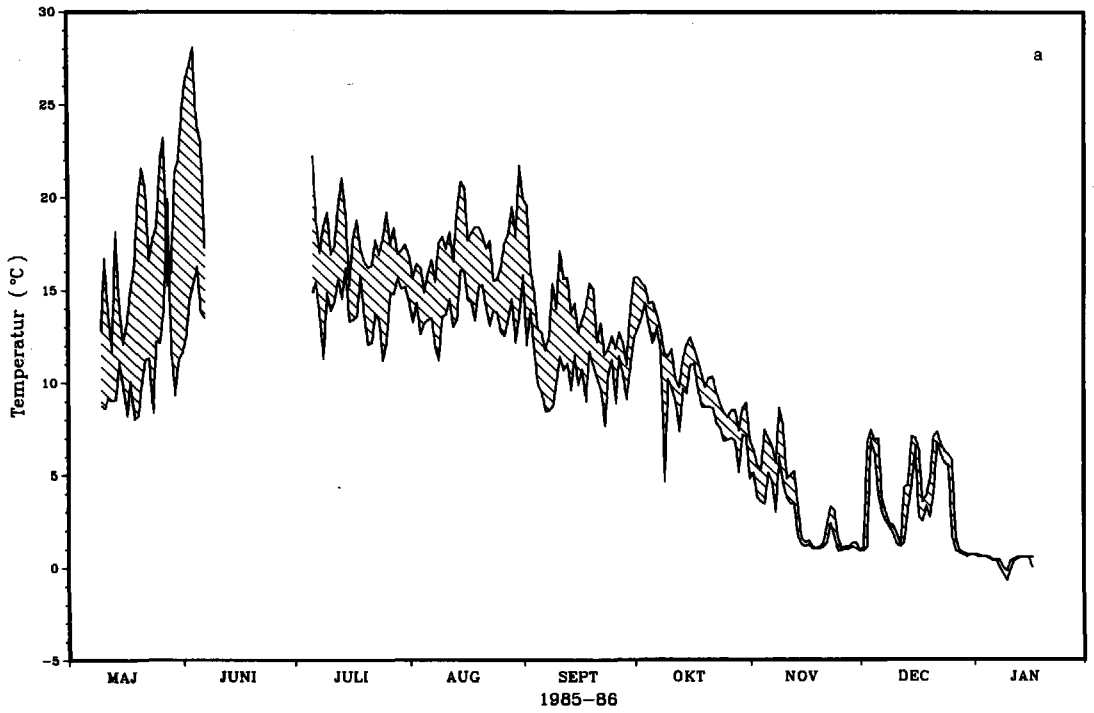
En mulig løsning vil være prøvetagning til en betydelig større dybde (f.eks. 1 m). Dette vil dog være forbundet med en næsten uoverkommelig arbejdsomkostning, hvis et minimum antal prøver skal fastholdes.

Artssammensætning og dominans

De 3 parcellers regnormefauna viser med hensyn til overordnede populationsstrukturer (antal, bio-

masse og dominansforhold) ingen statistisk signifikante forskelle. De påviste forskelle i jordbundens fysisk-kemiske forhold, herunder calciumtal og organisk indhold (tabel 2), giver ikke anledning til forskelle i regnormepopulationers størrelse og sammensætning. Det kan imidlertid ikke udelukkes, at de ikke-signifikante lavere værdier for regnormebiomasse og kokonantal i lucerneparcellen skyldes det lave calciumindhold (tabel 2). Satchell (33) påpeger, at et lavt calciumindhold i jorden kan være begrænsende for regnorme som følge af dets næringsmæssige og osmoregulatoriske rolle.

Det høje antal og den store biomasse, der er registreret i de 3 parceller, må skyldes tilførsel af en forholdsvis stor mængde organisk materiale dels via staldgødning og dels fra afgrøderester (tabel



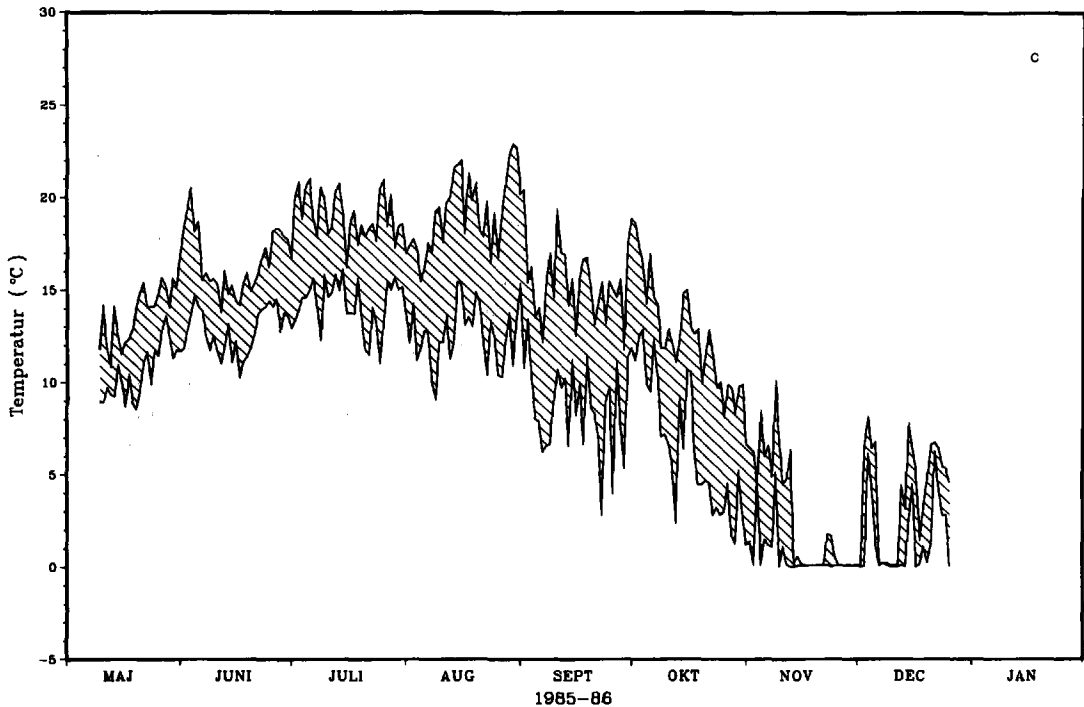


Fig. 7. Daglig maksimums- og minimumstemperatur i 5 cm dybde i (a) raps-, (b) lucerne- og (c) græsparcel ved Resengård.

Daily maximum and minimum temperature at 5 cm depth in the (a) rape, (b) lucerne and (c) grass field at Resengård.

1). I vurderingen af antallet bør udsorteringsmetodens effektivitet tillige inddrages. Dette gør en umiddelbar sammenligning med andre undersøgelser, hvor mindre effektive metoder er anvendt, problematisk.

Artssammensætningen viser, at de arter, der normalt forekommer i dansk landbrugsjord, er til stede i forsøgsarealet. *A. longa* er den dominerende art og har overtaget *A. caliginosa*'s normale rolle som den numerisk dominerende art i en dansk »gennemsnitsagerjord« (2). Dette må skyldes lokalitetens gode bonitet; både indholdet af ler og organisk materiale er højt. En positiv relation mellem indholdet af ler og antallet af *A. longa* er påvist af Guild (15). En lignende relation er fundet af Nordström og Rundgren (26) med hensyn til det organiske indhold i jorden.

Fænologi i relation til klimatiske forhold

I parcellerne registreres en klækning henholdsvis en produktion af kokoner som følge af favorable temperatur- og fugtighedsforhold, hvilket stemmer overens med tidligere svenske resultater (25). Tilgangen til puljen af juvenile *A. longa* i perioden maj-juli, som ses tydeligst i græsparcellen, antages at stamme fra klækningen af overvintrede kokoner. I den samme periode foregår en vis kokonproduktion, som aftager betydeligt i sommerperioden, hvor fugtighedsforholdene er ugunstige. I efteråret, når fugtigheden atter stiger i pløjelaget, bliver regnormene aktive, og der registreres en genoptaget kokonproduktion. Stigningen i de kønsmodnes kokonproduktion hæmmes af den faldende temperatur i det sene efterår, hvilket er i overensstemmelse med svenske undersø-

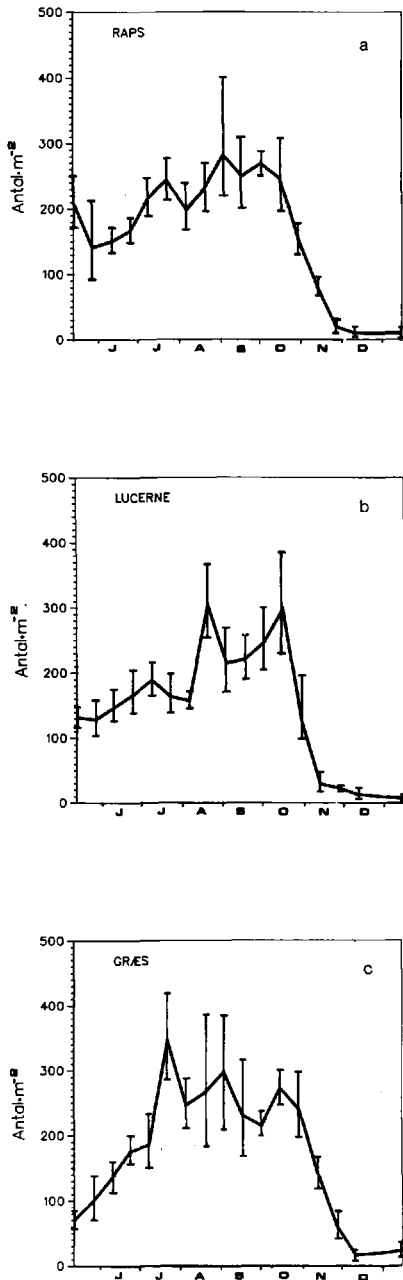


Fig. 8. Det samlede antal (indiv./m²) *A. longa* ± S.E. (Standard Error) gennem undersøgelsesperioden. (a) raps-, (b) lucerne- og (c) græsparcel.

The total number (indiv./m² of *A. longa* ± S.E. (Standard Error) during the research period. (a) rape, (b) lucerne and (c) grass field.

gelses (26). Den producerede kokonpulje udgør det følgende forårs potentielle klækning.

Det antalsniveau, der nås for juvenile regnorme i juli, er konstant helt frem til september. I denne periode må der ske en klækning fra den sparsomme kokonpulje, der dels opvejer mortaliteten af de juvenile regnorme og dels tilgangen til de kønsmodnes pulje fra de juveniles.

På grund af temperaturfaldet i november–december søger store juvenile og kønsmodne regnorme til større jorddybder, hvor de i modsætning til små juvenile regnorme genfindes ved en kvalitativ undersøgelse af regnormes vinter-vertikal-fordeling den 15. januar 1986. Det må derfor antages, at en stor procentdel af de små og nyklækkede juvenile regnorme dør som følge af temperaturfaldet.

Fænologi i relation til jordbehandling

I græsparcellen sammenlignet med raps- og lucerneparcellen afspejler tidspunktet for kokonklækning i foråret effekten af den mekaniske jordbearbejdning. Klækningen af kokoner er godt i gang på raps- og lucerneparcellen den 13. maj, hvilket er starttidspunktet på græsparcellen. Denne forskel i klækningstidspunkt er antagelig betinget af, at der ved såbedsharvningen opnås en højere gennemsnitstemperatur på raps- og lucerneparcellen sammenlignet med græsparcellen. Lal (18) og Griffith *et al.* (14) har således vist, at harvning bevirker en hurtigere opvarmning af jorden om foråret.

Kokonproduktionen varer ca. en måned længere på græsparcellen i sommerperioden, eventuelt betinget af en højere fugtighed. Forskydningen i forårets kokonproduktion kan være årsag til, at klækningen fortsætter længere i efteråret (fig. 5). Fænologibredden er for de juvenile regnorme – trods forskydningen – ens i de 3 parceller.

Fænologi i relation til afgrøde og gødskning

Raps- og lucerneparcellen har ikke statistisk signifikant forskelligt kokonantal først i prøvetagningsperioden (13. maj – 22. juli) (fig. 2 og 3); dette må skyldes, at dyrkningshistorien for de 2 parceller har været ens indtil 1985 (tabel 1).

Det højere kokonantal i græsparcellen sammenlignet med raps- og lucerneparcellen først i prøvetagningsperioden ($P=0,001$, 13. maj – 22. juli) (fig. 2–4) forklares med forskellen i dyrkningshistorie mellem de respektive parceller.

Det højere kokonantal på raps- sammenlignet med lucerneparcellen i efteråret ($P<0,001$, 30. oktober – 15. januar) tilskrives dels tilført gylle og kalkammonsalpeter til rapsparcellen i foråret (tabel 1) og dels forskellen i afgrøde. Tilførslen af organisk materiale og uorganisk kvælstof i normalt anvendte mængder er ofte tilskrevet positive effekter på regnormepopulationer (1,12). *Lofs-Holmin* (22) har påvist en positiv sammenhæng mellem regnormepopulationer og nedpløjet raps-halm. Tillige tilfører lucerne jorden en ringe mængde organisk materiale via døende rodrester i den første vækstsæson, og lucernemateriale er dårlig føde for regnorme i begyndelsen af dets nedbrydning (7).

Forskellen i kvantitet og kvalitet af afgrøderester bevirker en forskydning i antal og biomasse af kønsmodne regnorme mellem raps- og lucerneparcellen (fig. 2 og 3). Aktiviteten forlænges i rapsparcellen som følge af de bedre fødebetingelser efter nedharvning af rapshalm og stubbe i slutningen af oktober.

Det højere kokonantal i græs- i forhold til lucerneparcellen i efteråret ($P<0,002$, 30. oktober – 15. januar) skyldes forskelle i fødemængden. I den flerårige græsparcel er der således ophobet en større mængde afgrøderester (tabel 2). Mellem græs- og rapsparcellen ses ingen signifikante forskelle i kokonantallet i efteråret. Dette tolkes således, at den større mængde føde i græsparcellen opvejes af den bedre kvalitet i rapsparcellen.

Regnorme og bioindikation

Bodenheimer (6) påpeger, at regnorme ikke er begrænset af en enkelt faktor, men af en kompleks samling af ydre faktorer. Det er nødvendigt at inddrage alle disse i en nærmere analyse af regnormes adfærd og udbredelse.

Tidligere undersøgelser har vist, at regnorme reagerer tydeligt på ændringer i jordbundsmiljøet. *Satchell* (31, 32) angiver, at vegetationstype,

jordbundens tekstur, pH og organiske indhold er bestemmende for regnormepopulationers sammensætning, størrelse og udbredelse; eksempelvis kan regnormearter grupperes i relation til jordbundens pH. *Lee* (19) opregner de fysiske-ke-miske faktorer, herunder klimatiske, der er relateret til udbredelse og antal af regnorme. Ved hjælp af disse faktorer er det muligt at forklare regnormesamfundets artssammensætning og dominansforhold.

I den foreliggende undersøgelse er beskrevet regnormesamfund fra dansk landbrugsjord, og inden for dette er ændringer i populationsparametre hos *A. longa* behandlet. Regnormesamfundenes høje populationstæthed og store biomasse tilskrives forsøgsområdets dyrkningshistorie, herunder betydelig tilførsel af organisk materiale. Denne tilførsel har i kombination med jordbundens lerindhold bevirket, at *A. longa* er den dominerende art. På trods af tilnærmelsesvis ens populationsstruktur (antal, biomasse og dominans) er der påvist forskelle i aktivitet og produktion hos *A. longa* (eksempelvis kokonproduktion) som følge af dyrkningspraksis.

En række af de forskelle, der er påvist for *A. longa*, antages også at gælde for den øvrige regnormefauna. Af undersøgelserne fremgår det således, at effekten af afgrøde og gødskning giver sig udtryk i tilsvarende forskelle i kokonantallet både hos den samlede regnormefauna og *A. longa* (tabel 3). Endvidere antages, at de to forskellige typer af levevis, der er påvist (8, 13) med hensyn til fødesøgningsadfærd og vertikalfordeling mellem juvenile og kønsmodne *A. longa*, er repræsentativ for adfærden hos de øvrige almindeligt forekommende arter i landbrugsjord. Følgelig er de arter, der lever og søger føde i pløjelaget (f.eks. *A. caliginosa* og *A. rosea*) udsat for samme dyrkningsbetingede påvirkninger som juvenile *A. longa*, og tilsvarende udsættes de dybtgående arter (f.eks. *L. terrestris*), der søger føde på overfladen, for samme påvirkninger som kønsmodne *A. longa*. De indikationer på den anvendte dyrkningspraksis, der er fundet for *A. longa*, kan således overføres til den naturligt forekommende regnormefauna i landbrugsjord.

Bioindikatorer bør afspejle jordbundssystemets tilstand. Det er vigtigt, at bioindikatorer har en tæt kobling til andre organismer og deres funktion i jordbunden. Koblingen mellem regnorme og de øvrige organismer er derfor væsentlig. En positiv korrelation mellem mikroorganismer og regnorme er påvist ved flere undersøgelser (5, 30). Med hensyn til vekselvirkningen mellem regnorme og jordens mesofauna er erfaringerne begrænsede. *Atlavinyté et al.* (4) har dog fundet visse sammenfaldende reaktioner på forskellige dyrkningsforhold. Ligeledes foreligger der italienske undersøgelser (27), der påviser en positiv korrelation mellem regnorme og mesofaunaen (springhaler, mider, dipterlarver etc.) i landbrugsjord.

En bedømmelse af jordbundens biologiske kvalitet herunder dens strukturelle og funktionelle tilstand ved hjælp af en bioindikator opnås bedst, hvis indikatoren er centralt placeret i jordbundens stofomsætning og fysisk-kemiske miljø. Det er sandsynliggjort, at regnorme indtager en sådan placering og har en betydelig indikativ værdi.

Ved sammenligning inden for en enkelt parcel gennem tiden og tillige mellem parceller har *A. longa* vist sig at kunne benyttes som bioindikator for kortsigtede dyrkningsbetingede effekter. Desuden er det muligt at give et fingerpeg om, hvilke konsekvenser en bestemt dyrkningspraksis har på systemets biologiske tilstand på længere sigt.

Langsigtede konsekvenser af dyrkningsbetingede faktorer er vist af *Kühle* (17) i tyske vinmarker. En bestemt dyrkningspraksis gennemført gennem flere år resulterer i signifikante ændringer i regnormepopulationernes struktur (antal, biomasse, artssammensætning og dominansforhold). Disse ændringer må være forårsaget af kortsigtede effekter svarende til de, der er belyst i denne artikel.

Kombineres regnormenes indikative værdi med deres kobling til jordbundens fysisk-kemiske miljø, øvrige organismer og stofkredsløb kan det postuleres, at de udgør en effektiv organisme-gruppe til monitorering af jordbundens biologiske tilstand i landbrugssystemer.

En fastlæggelse af regnormes indikative værdi for langsigtede dyrkningseffekter kræver undersøgelser på samme forsøgsareal gennem flere sædskifterotationer.

Konklusion

Den anvendte metodik med korte prøvetagningsintervaller, vådsigtningsteknik og individvægtbestemmelse sikrer, at antal og biomasse af de enkelte arter kan følges detaljeret gennem undersøgelsesperioden. Dette er en nødvendig forudsætning for at analysere ydre faktoreres indflydelse på regnormepopulationers fænologi.

Den dominerende art *A. longa* har vist at reagere på følgende dyrkningsforhold (enkeltvis eller i kombination):

- afgrøde
- gødskning
- jordbearbejdning

Denne respons viser, at *A. longa* kan indikere forskelle i den anvendte dyrkningspraksis.

Det postuleres, at regnorme som følge af deres centrale placering i jordbundsmiljøet og deres følsomhed over for dyrkningsbetingede faktorer er velegnede til at indikere dels kortsigtede effekter og dels give ideer om den mere langsigtede betydning af forskellige dyrkningsmetoder; dvs. fungerer som bioindikatorer i jordbruget.

Erkendtlighed

Forfatterne ønsker at takke cand. agro. *Villy Jørgensen*, stud. scient. *Peter Kristensen*, lic. agro. *Kristian G. Mølle* og cand. mag. *Henning Petersen* for værdifulde kommentarer til manuskriptet. Vejby Landbrugsskole takkes for at have stillet forsøgsarealer til rådighed. Økonomisk støtte til undersøgelsen er ydet af *Ole Heyes* Fond, Direktør *Ib Henriksens* Fond og Carlsbergs Mindelegat for brygger *J. C. Jacobsen*.

Litteratur

1. *Andersen, C.* 1980. The influence of farmyard manure and slurry on the earthworm population (*Lumbricidae*) in arable soil. In »Soil Biology as Related to Land Use Practices« ed. D. L. Dindal, Proc. VIIth Int. Coll. Soil Zool., 325–335.
2. *Andersen, C.* 1983. Regnormene og os. Forlaget Ask.
3. *Andersen, C., Eiland, F. & Vinther, F.* 1983. Økologiske undersøgelser af jordbundens mikroflora og fauna i dyrkningssystemer med reduceret jordbehandling, vårbyg og efterafgrøde. Tidsskr. Planteavl 87, 257–296.
4. *Atlavinyté, O., Eitminavičiūtė, I., Grigelis, A., Liepinis, A., Strazdienė, V. & Šlepetienė, J.* 1967. Biocoenosis dynamics of invertebrate fauna in eroded soils under different crops. In »Progress in Soil Biology«, O. Graff & J. E. Satchell, eds. Proc. Coll. Dyn. Soil Com., 353–359.
5. *Atlavinyté, O. & Lugauskas, A.* 1971. The effect of *Lumbricidae* on soil microorganisms. Ann. Zool. Ecol. Anim. Special Publ. 4, 73–80.
6. *Bodenheimer, F. S.* 1935. Soil conditions, which limit earthworm distribution. Zoogeographica 2, 572–578.
7. *Boström, U. & Lofs-Holmin, A.* 1986. Growth of earthworms (*Allolobophora caliginosa*) fed on shoots and roots of barley, meadow fescue and lucerne. Studies in relation to particle size, protein, crude fiber content and toxicity. Pedobiologia 29, 1–12.
8. *Bouché, M. B.* 1984. Les modalités d'adaptation des lombriciens à la sécheresse. Bull. Soc. Bot. 1984 (2/3/4), 319–327.
9. *Bouché M. B. & Gardner, R. H.* 1984. Earthworm functions. VIII. Population affecting estimation techniques. Rev. Ecol. Biol. Sol. 21, 37–63.
10. *Edwards, C. A.* 1983. Earthworm ecology in cultivated soils. In »Earthworm Ecology. From Darwin to Vermiculture«, J. E. Satchell, ed. Chapman and Hall, London. 123–137.
11. *Edwards, C. A. & Lofty, J. R.* 1977. »Biology of Earthworms«. Second edition. Chapman and Hall, London.
12. *Edwards, C. A. & Lofty, J. R.* 1982. Nitrogenous fertilizers and earthworm populations in agricultural soils. Soil. Biol. Biochem. 14, 515–521.
13. *Gerard, B. M.* 1967. Factors affecting earthworms in pastures. J. Anim. Ecol. 36, 235–252.
14. *Griffith, D. R., Mannering, J. V. & Moldenhauer, V. C.* 1977. Conservation tillage in the eastern Corn Belt. J. Soil Water Cons. 32, 20–28.
15. *Guild, W. J. McL.* 1948. Studies of the relationship between earthworms and soil fertility. III. The effect of soil type on the structure of earthworm populations. Ann. Appl. Biol. 35, 181–192.
16. *Hansen, L.* 1976. Jordtyper ved Statens Forsøgsstationer. Tidsskr. Planteavl 80, 742–758.
17. *Kühle, J. C.* 1983. Die Bedeutung von Regenwürmer als Bioindikatoren – am Beispiel deutscher Weinbergböden. Verh. Gesell. Ökol. 10, 115–126.
18. *Lal, R.* 1976. No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria. Soil Sci. Soc. Amer. J. 40, 762–768.
19. *Lee, K. E.* 1985. Earthworms. Their Ecology and Relationship with Soils and Land Use. Academic Press, Australia.
20. *Lofs-Holmin, A.* 1982. Measuring cocoon production of the earthworm *Allolobophora caliginosa* (Sav.) as a method of testing sublethal toxicity of pesticides. Swedish J. agric. Res. 12, 117–119.
21. *Lofs-Holmin, A.* 1983a. Reproduction and growth of common arable land and pasture species of earthworms (*Lumbricidae*) in laboratory cultures. Swedish J. agric. Res. 13, 31–37.
22. *Lofs-Holmin, A.* 1983b. Earthworm population dynamics in different agricultural rotations. In »Earthworm Ecology. From Darwin to Vermiculture«, J. E. Satchell, ed. Chapman and Hall, London 151–160.
23. *Mikkelsen, A. M. K. & Refsgaard, H.* 1985. Projekt Jord. Vejlbj Landbrugsskole, årsskrift 1985, 24–26.
24. *Nie, N. H., Hull, C. H., Jenkins, J. G., Steinbrenner, K. & Bent, D. H.* 1975. SPSS. Statistical package for the social science. Second edition. McGraw-Hill, New York.
25. *Nordström, S.* 1975. Seasonal activity of lumbricids in southern Sweden. Oikos 26, 307–315.
26. *Nordström, S. & Rundgren, S.* 1974. Environmental factors and lumbricid associations in southern Sweden. Pedobiologia 14, 1–27.
27. *Paoletti, M. G.* in press. Soil tillage, soil predator dynamics, control of cultivated plant pests. From »IX International Colloquium on Soil Zoology«. Moscow, 1985.
28. *Pedersen, J.* 1981. ENTSYS. Databehandlingssystem. Zoologisk Laboratorium, Århus Universitet.
29. *Persson, T. & Lohm, U.* 1977. Energetical significance of the annelids and arthropods in a Swedish grassland soil. Ecol. Bull. (Stockholm) 23, 1–211.
30. *Ross, D. J. & Cairns, A.* 1982. Effects of earthworms and ryegrass on respiratory and enzyme activities of soil. Soil Biol. Biochem. 14, 583–587.

31. *Satchell, J. E.* 1955. Some aspects of earthworm ecology. In »Soil Zoology«, *D. K. McE. Kevan*, ed. Butterworth, London 180–202.
32. *Satchell, J. E.* 1967. *Lumbricidae*. In »Soil Biology«, *A. Burges & F. Raw*, eds. Academic Press, London 259–322.
33. *Satchell, J. E.* 1980. Earthworm populations of experimental birch plots on a calluna podzol. *Soil. Biol. Biochem.* 12, 311–316.
34. *Sims, R. W. & Gerard, B. M.* 1985. »Earthworms«. Synopses of the British fauna (New Series) No. 31 (*D. M. Kermack & R. S. K. Barnes*, eds.). The Linnean Society of London.
35. *Southwood, T. R. E.* 1978. »Ecological Methods with Particular Reference to the Study of Insect Populations«. Second edition. Chapman & Hall, London.
36. *Walther, P. B. & Snider, R. M.* 1984. Techniques for sampling earthworms and cocoons from leaf litter, humus and soil. *Pedobiologia* 27, 293–297.

Manuskript modtaget den 8. december 1986.